



# World Premier International Research Center Initiative

世界トップレベル研究拠点プログラム

Vol.  
**19**  
2024.6

# Contents

Message from Program Committee Chair	01
About WPI	02
WPI centers	
Tohoku University: Advanced Institute for Materials Research (WPI-AIMR)	06
The University of Tokyo: Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (Kavli IPMU, WPI)	08
Kyoto University: Institute for Integrated Cell-Material Sciences (WPI-iCeMS)	10
Osaka University: Immunology Frontier Research Center (WPI-IFReC)	12
National Institute for Materials Science (NIMS): Research Center for Materials Nanoarchitectonics (WPI-MANA)	14
Kyushu University: International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (WPI-I <sup>2</sup> CNER)	16
University of Tsukuba: International Institute for Integrative Sleep Medicine (WPI-IIS)	18
Tokyo Institute of Technology: Earth-Life Science Institute (WPI-ELSI)	20
*Tokyo Institute of Technology and Tokyo Medical and Dental University are merged to establish Institute of Science Tokyo in October 2024.	
Nagoya University: Institute of Transformative Bio-Molecules (WPI-ITbM)	22
The University of Tokyo: International Research Center for Neurointelligence (WPI-IRCN)	24
Kanazawa University: Nano Life Science Institute (WPI-NanoLSI)	26
Hokkaido University: Institute for Chemical Reaction Design and Discovery (WPI-ICReDD)	28
Kyoto University: Institute for the Advanced Study of Human Biology (WPI-ASHBi)	30
High Energy Accelerator Research Organization (KEK): International Center for Quantum-field Measurement Systems for Studies of the Universe and Particles (WPI-QUP)	32
Osaka University: Premium Research Institute for Human Metaverse Medicine (WPI-PRIMe)	34
Hiroshima University: International Institute for Sustainability with Knotted Chiral Meta Matter (WPI-SKCM <sup>2</sup> )	36
Keio University: Human Biology-Microbiome-Quantum Research Center (WPI-Bio2Q)	38
Tohoku University & JAMSTEC: Advanced Institute for Marine Ecosystem Change (WPI-AIMEC)	40
Information	41

## Message from Program Committee Chair

World Premier International  
Research Center Initiative

We, human being, have witnessed a huge and disastrous change in our societies caused by the COVID-19 pandemic. This highly infectious disease has caused the deaths of over 7-million people and has devastated economies especially in developing countries. In addition to the pandemic, various conflicts across human societies have led to supply chain disruptions and energy and food crises. Such problems, it may be said, are rooted in global changes that humanity is facing in common for the first time due to population explosion and environmental destruction.

Given such enormous and complicated difficulties, one might worry whether there's a smart way to overcome them. If so, it will be by way of advancing science, technology, and innovation.

For Japan, the first step will be to empower the nation's research capacity. By advancing basic research that leads to discovering and elucidating new phenomena and creating innovative technologies that produce world-leading research results, we will be able to contribute more fully to the wellbeing of human society. To achieve breakthroughs in science and technology, there's a need to establish research centers driven by innovative concepts and transcending the boundaries of nations and disciplines.

The World Premier International Research Center Initiative (WPI Program) has had four missions since its launch in 2007: Advancing research at the highest world standard, making scientific breakthroughs by fusing research disciplines, establishing internationally open research environments, and reforming research and administrative systems in Japan. By the year 2018, thirteen WPI centers had been established. The highly innovative activities conducted at these centers have attracted to them excellent researchers working on the frontiers of research around the world. The wealth of achievements attained by the centers have accrued to making the WPI Program Japan's research flagship, highly evaluated in both Japan and throughout the world.

In December 2020, the WPI Program added a new mission to its program titled "Values for the Future." While making enhancements to the ongoing four missions, the new mission works to foster young researchers by adding higher education initiatives to the centers' operations. It also functions to ensure the centers' sustainability after their WPI funding ends. As of 2023, five centers had been selected under the format of this new mission.

These program innovations will make Japan's research more adaptive to changing times while providing platforms for revolutionizing the way research is conducted in Japan. With the addition of other initiatives, including digital transformation (DX) of the research environment, the WPI Program will continue to make structural reforms that give new shapes and capabilities to Japanese research.

While we continue working to advance the critical role played by the WPI Program in strengthening Japan's research capacities, we sincerely ask your sustained support and cooperation.

*M. Hamaguchi*



### Emblem Concept

The emblem of WPI adopts the motif of a bird, symbolizing the program's driving concept of "upward flight." Undaunted by today's turbulent global climate of twisting and turning winds, the bird flies on steady, azure wings through the sky. In its beak, it carries a seed of new innovation. This radiant dot over the "i" also serves to light the path ahead in pioneering the frontiers of scientific discovery.



# Toward Enhancing and Strengthening "Highly Visible Research Centers"

## Background

An intensifying global demand for talented researchers is accelerating the need to circulate good brains among the world. This trend has prompted Japan to establish new research centers that attract top-notch researchers from around the world so as to be a hub within global brain circulation.

## Program Summary

WPI provides concentrated support for projects to establish and operate research centers that have at their core a group of very high-level investigators. These centers are to create a research environment of a sufficiently high standard to give them a highly visible presence within the global scientific community—that is, to create a vibrant environment that will be of strong incentive to frontline researchers around the world to want to come and work at these centers.

## Formulation of New Missions

In December 2020, new missions were formulated with the addition of "Values for the Future," and the enhancement of the four conventional missions: Science, Fusion, Globalization, and Reform.

## New WPI Mission

### World-Leading Scientific Excellence and Recognition

- The Highest Level of Research Impact
- Expanding Knowledge Frontiers through Interdisciplinarity and Diversity

### Global Research Environment and System Reform

- Harnessing Talent and Potential through Global Brain Circulation
- Interdisciplinary and Inter-organizational Capacity Building
- Effective, Proactive and Agile Management

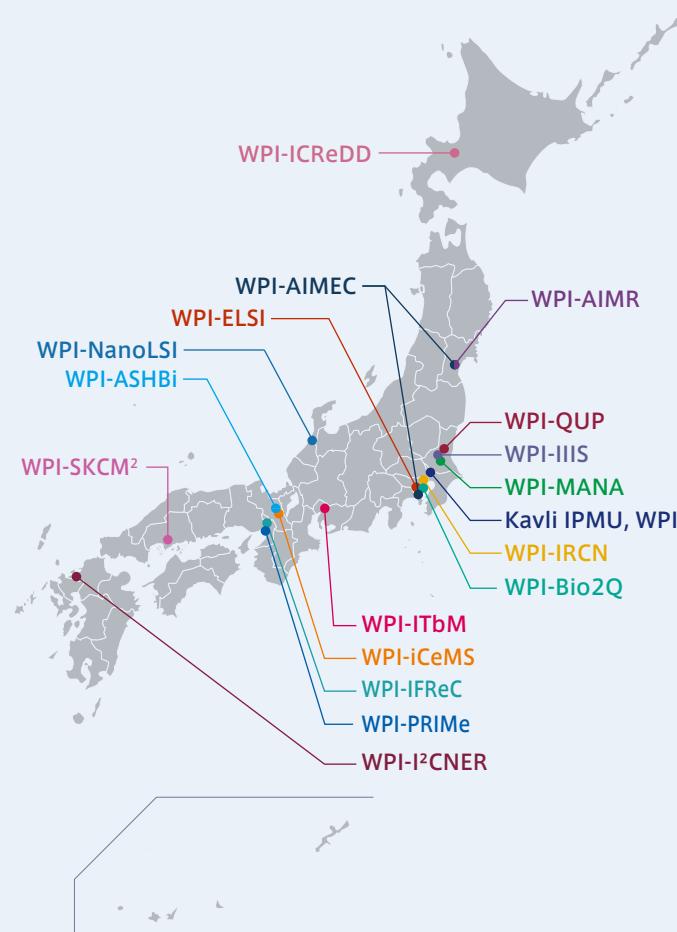
### Values for the Future

- Societal Value of Basic Research
- Human Resource Building: Higher Education and Career Development
- Self-sufficient and Sustainable Center Development



## WPI centers (total: 18 centers)

※ 5 centers launched in and after 2021 were selected under the new missions.




## WPI Academy

### Five centers adopted in 2007

- P.06**  Tohoku University: Advanced Institute for Materials Research (WPI-AIMR)
- P.08**  The University of Tokyo: Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (Kavli IPMU, WPI)
- P.10**  Kyoto University: Institute for Integrated Cell-Material Sciences (WPI-iCeMS)
- P.12**  Osaka University: Immunology Frontier Research Center (WPI-IFReC)
- P.14**  National Institute for Materials Science (NIMS): Research Center for Materials Nanoarchitectonics (WPI-MANA)

### One center adopted in 2010

- P.16**  Kyushu University: International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (WPI-I<sup>2</sup>CNER)

### WPI Academy

WPI Academy, comprised of WPI centers which are certified as "world premier" status having achieved the WPI missions, was founded in FY2017 for maximizing the impact of WPI through enhancement of the WPI brand, international circulation of talented researchers, and spreading the experience and knowhow of WPI.

### Three centers adopted in 2012


- P.18**  University of Tsukuba: International Institute for Integrative Sleep Medicine (WPI-IIIS)
- P.20**  Tokyo Institute of Technology: Earth-Life Science Institute (WPI-ELSI)  
\*Tokyo Institute of Technology and Tokyo Medical and Dental University are merged to establish Institute of Science Tokyo in October 2024.
- P.22**  Nagoya University: Institute of Transformative Bio-Molecules (WPI-ITbM)

## Centers Currently Receiving Funding


### Two centers adopted in 2017

- P.24**  The University of Tokyo: International Research Center for Neurointelligence (WPI-IRCN)
- P.26**  Kanazawa University: Nano Life Science Institute (WPI-NanoLSI)




### Two centers adopted in 2018

- P.28**  Hokkaido University: Institute for Chemical Reaction Design and Discovery (WPI-ICReDD)
- P.30**  Kyoto University: Institute for the Advanced Study of Human Biology (WPI-ASHBi)


### One center adopted in 2021

- P.32**  High Energy Accelerator Research Organization (KEK): International Center for Quantum-field Measurement Systems for Studies of the Universe and Particles (WPI-QUP)

### Three centers adopted in 2022

- P.34**  Osaka University: Premium Research Institute for Human Metaverse Medicine (WPI-PRIME)
- P.36**  Hiroshima University: International Institute for Sustainability with Knotted Chiral Meta Matter (WPI-SKCM<sup>2</sup>)
- P.38**  Keio University: Human Biology-Microbiome-Quantum Research Center (WPI-Bio2Q)

### One center adopted in 2023

- P.40**  Tohoku University & JAMSTEC: Advanced Institute for Marine Ecosystem Change (WPI-AIMEC)

## Program Contents

<b>Funding period</b>	10 years (up to 15 years for centers selected in or before FY 2012)
<b>Project funding</b>	About ¥700 million per fiscal year for each center (¥1 billion per year for the Multiple Host WPI center selected in FY 2023)
<b>Evaluation</b>	Each year, a thorough follow-up review is conducted of the centers. A midterm evaluation is conducted in their 5th year and a final evaluation in their 10th year. These reviews are conducted by the Program Committee, comprising Nobel laureates and top-level researchers, and by program directors and program officers.

The Japan Society for the Promotion of Science assists in smoothly and effectively implementing the WPI Program.

WPI Website→



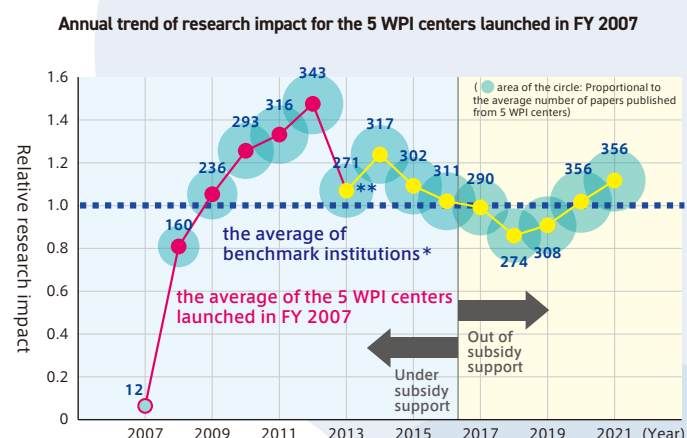
WPI has continuously produced the world's highest-level achievements in  
WPI has tackled the challenge of creating an excellent world-class  
WPI centers yield productive ripple effects that improve the operation

fused research.  
environment for advancing research.  
of their host institutions.



# 1 Science (Implementing the world's highest level of research)

- Since their establishment, the WPI centers have steadily produced research papers on a level commensurate with the world's top-level research institutions.
- Three WPI center researchers have won Nobel Prizes. Others have gained international recognition by winning such prestigious awards as the Canada Gairdner International Award. Still others have received top domestic awards such as Japan's Order of Culture.
- Despite their focus on basic research, WPI centers enjoy high appraisal by society as seen in the large donations and investments they receive from foundations, corporations and other private entities.

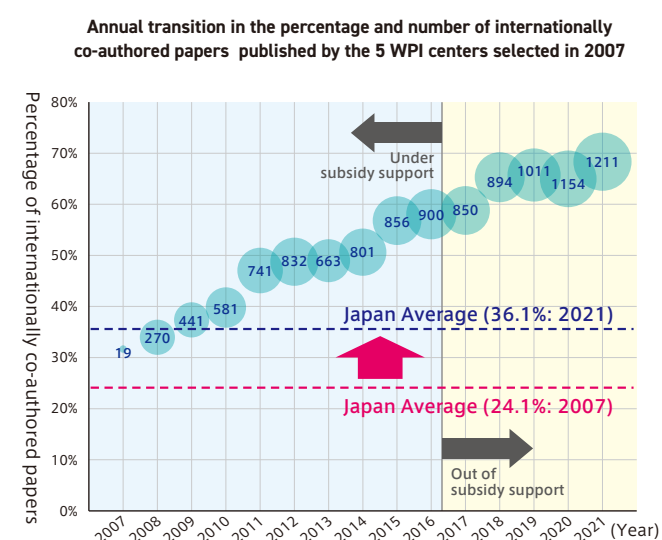


\* Benchmark institutions: For each WPI center, five benchmark institutions at a top world level in a similar research domain are set by each center's working group.  
\*\* Figures through 2012 count papers authored by researchers affiliated with WPI centers. Figures after 2013 count papers that include the names of WPI centers in the authors' affiliations.

- This figure was created by MEXT and JSPS based on data from Clarivate Analytics (collected in July 2023).  
- Research impact (RI): The sum of all the impact factors of the journals in which papers are published in a year, used as a proxy variable to show the international visibility and competitiveness of a center.  
- Relative research impact: Ratio of the centers' average research impact to the average research impact of their benchmark institutions.  
- The vertical axis shows relative research impact while the radius of the circle and the blue numbers in them indicate the average number of papers published from WPI centers in that year.

# 3 Globalization (Creating international research environments)

- English is the working language in WPI centers. Overseas researchers make up approximately 40% of the center's research staff.
- By recruiting internationally for postdoctoral researchers and taking measures to promote the employment of overseas researchers, WPI centers are establishing highly competitive, internationally attuned research systems. By establishing systems to support their life and work in Japan, the centers are creating environments that allow the researchers to both independently and comfortably carry out their work.
- More than 60% of the papers published by WPI centers stem from international joint research, attesting to the positioning of the centers within international research networks.



- The WPI portion of the graph was created by MEXT and JSPS based on data from Clarivate Analytics (collected in July 2023). The Japan average is extracted from NISTEP's "Japanese Science and Technology Indicators 2023." (Reference Research Material-328, August 2023)  
- The radius of the circles and blue numbers inside them show the number of internationally co-authored papers.

# 2 Fusion (Generating fused research domains)

- Besides advancing research in each of their fields, WPI centers also contribute to pioneering various new interdisciplinary domains.
- A cascade of fused research achievements is being generated. Examples include an elucidation of the structure of glass by fusing mathematics and materials science and the discovery of a method for combating the parasitic plant Striga made by fusing animal/plant biology and synthetic chemistry.
- A "flat" organization with no partitioning between research fields and an open building architecture with no walls between labs spawn intellectual inspiration and a collaborative atmosphere of friendly rivalry among researchers.

# 4 Reform (Innovating research organizations)

- WPI centers act as the nucleus for system innovation within their host universities and research institutions. The reforms they achieve are shared and applied to their host institutions, elevating system-wide internationalization and strengthening research capabilities. Some spinoffs of center reforms include:
  - Groundbreaking introduction of cross-appointment systems and of merit-based pay systems for researchers
  - Introduction of top-down management systems revolving around the center director
  - Horizontal development of large-scale funding acquisition know-how

## Outreach (Disseminating information to society)

Steadfast results are being achieved as WPI carries out various joint outreach activities with an aim to broaden its visibility within society.

### • WPI Science Symposiums

These symposiums are held to give participants a feeling of familiarity for cutting-edge research by introducing them to WPI programs and their research results. They are attended by students from junior high and high schools and members of the general public.

### • WPI News Portal on EurekAlert!

A newly launched WPI news portal on EurekAlert! aggregates the latest news releases from WPI centers.



WPI News Portal on EurekAlert!

## Education (Fostering next generation of researchers)

WPI is working to create a framework for human resource development aimed at fostering the next generation of researchers. It includes:

- Double mentoring by instructors from diverse research fields whose training enhances the ability of young researchers to do fused research
- Collaborative relationships with WISE Program
- Collaborative relationships with overseas graduate schools



Annual Meeting of Nagoya University WISE Program (GTR)



# Bringing Advanced Materials Science to the World through Cooperation with Mathematics

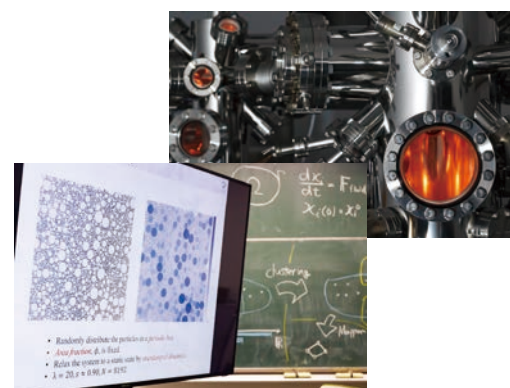
AIMR aims to contribute to society by further developing the collaboration between mathematics and materials science and to contribute to society through materials discovery and development. Based on the results, AIMR will form a research hub that brings advanced materials science to the world.

## [Purpose of the Research]

### Reinforcing original scientific foundation based on mathematics-materials science collaboration

A wide array of materials including metals, semiconductors, ceramics, and polymers contribute to modern technologies in every field from energy to ICT, medicine, healthcare, and high-speed transport, and many technological domains have been improved together with materials discovery and development. Progress in materials science as the scientific principle will continue to be essential for the acceleration of materials discovery and development.

As well as further reinforcing its original scientific foundation based on mathematics-materials science collaboration, by developing actual technological fields in concert with cutting-edge analysis techniques, AIMR will create materials that make a genuine contribution to society.



## [Unique Features of WPI Center]

### Advanced Target Projects & global brain circulation



One practical link that AIMR is forging between mathematics and materials science is the establishment of three Advanced Target Projects focusing on “control of local structure in topological functional materials,” “integrated control of bond variation and its time evolution,” and “improving self-organization technology and controlling biological responses.” Through the promotion of these research projects and expansion of its global network with three joint laboratories set up in the UK, US, and China, AIMR intends to create materials based on understanding and controlling atoms and molecules — the smallest units

for materials. AIMR is also actively pursuing global brain circulation by developing researchers who promote research initiatives worldwide, through methods such as providing outstanding young researchers with their own laboratories.

## [Message from TOMINAGA Teiji, President of Tohoku University]

### Leading Tohoku University in internationalization, systems reforms, and strengthening of research capabilities



In 2023, Tohoku University was selected as the only approved candidate for the University for International Research Excellence program. In the years to come, it will be more important than ever to disseminate throughout the university the achievements that AIMR has built up to date, including diverse support for non-Japanese researchers and the introduction of a new human resources system. As a world-leading center for research in materials science, I trust that AIMR will continue to lead the university in internationalization, systems reforms, and in making our research capabilities stronger than ever.

## Message from ORIMO Shin-ichi, Director of WPI-AIMR



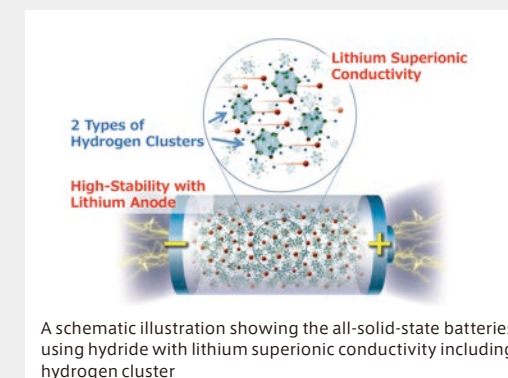
In October 2019, I was appointed as AIMR's Director. Working together under one roof, materials scientists and a wide range of mathematicians spanning pure and applied mathematics have achieved major successes and established AIMR's identity of the collaboration between mathematics and materials science. As well as further reinforcing AIMR's unique academic foundations by developing actual technological fields in concert with cutting-edge technologies in areas such as measurement, we will create materials that make a genuine contribution to society. AIMR is striving to bring advanced materials science to the world. I look forward to your continued support for us.

**Profile** After receiving his PhD from Hiroshima University, Prof. Orimo has held posts as JSPS Research Fellow and Guest Researcher at the Max-Planck Institute for Metal Research, before becoming Professor at the Institute for Materials Research (IMR), Tohoku University in 2009. He became Principal Investigator at AIMR in 2013 and was promoted to Deputy Director in 2018 and to Director in October 2019. Major awards include the Japan Institute of Metals and Materials Meritorious Award (2011), the Award for Science and Technology (Research Category), the Commendation for Science and Technology by MEXT (2012), the Science of Hydrogen & Energy Award (2015), and the 18th Honda Frontier Award (2021).

## Archive of research results

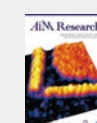
### “Hydride superionic conductor” can accelerate development of all-solid-state batteries

By designing the molecular structure of hydrogen clusters (complex ions containing high density hydrogen), a new hydride that exhibits lithium superionic conductivity at room temperature was developed. Using this hydride as a solid electrolyte, AIMR has also succeeded in demonstrating a lithium negative-electrode-type all-solid-state battery device with the world's highest energy density. AIMR is now conducting research aiming at elucidating the mechanism of ionic conduction and further improving superionic conductivity through mathematics and materials science collaboration.



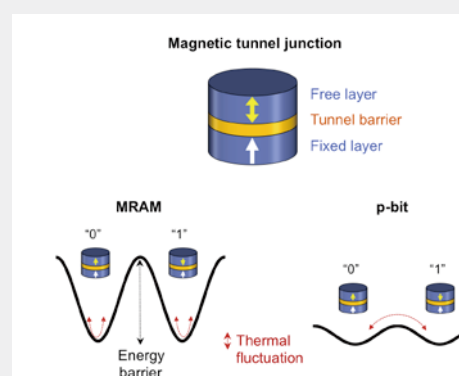
A schematic illustration showing the all-solid-state batteries using hydride with lithium superionic conductivity including hydrogen cluster

Director of AIMR / Device and System Group PI Shin-ichi Orimo et al. (Nature Communications, 2019)



AIMResearch is an online and print publication that highlights the scientific achievements of AIMR. AIMResearch selects the most important papers produced by AIMR scientists and distills the essence of the achievements into timely, concise and accessible research highlights that are easy to digest but retain all the impact and importance of the original research article. <https://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/en/aimresearch/>

### “Poor-man's q-bit” based on spintronics can solve quantum problems at room temperature



The structure of a magnetic tunnel junction and the design of the energy barrier for MRAM and p-bit applications. The magnetic tunnel junction consists of ferromagnetic free and fixed layers which sandwich a thin insulating tunnel barrier.

AIMR has developed a new-concept spintronics device that utilizes thermal fluctuation and can operate at room temperature. Using this device as a pseudo quantum bit (probabilistic bit, or p-bit), AIMR has succeeded in demonstrating factorization by applying a method similar to quantum annealing. The results are promising in terms of paving an unexplored pathway towards a new computing paradigm that is particularly well-suited for certain classes of problems like optimization.

Device and System Group PI Shunsuke Fukami (Nature, 2019)



# Cross-Disciplinary Research Center for Addressing the Origin and Evolution of the Universe

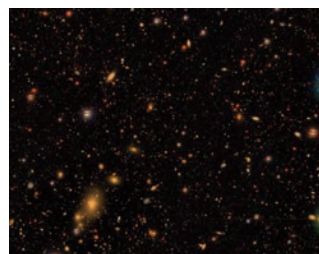
Establishing a world-class research center for the most urgent issues in basic science such as dark energy, dark matter, and unified theories, with close collaboration between mathematics, physics and astronomy.

## [Purpose of the Research]

### Uncover the origin and evolution of the Universe

Until recently, it had been believed that atoms were the only components of the Universe. However, new advances in observational cosmology have shown that galaxies contain invisible "dark matter," which keeps the stars from dispersing, and that the Universe is filled with mysterious "dark energy," which is accelerating the Universe's expansion. But the true identity of dark matter and dark energy has yet to be revealed.

"Unified theories," such as string theory and quantum gravity, are developing as physics and mathematics enhance our understanding of the Big Bang and black holes. Recent advances have led many researchers to speculate that many hidden dimensions exist beyond the third dimension, and that the origin and evolution of the Universe are closely related to their geometries. Kavli IPMU delves into these deep mysteries of the Universe.



Galaxies captured  
by the Hyper Suprime-Cam  
(Credit: Princeton University/  
HSC Project)

## [Unique Features of WPI Center]

### Cross-disciplinary research in mathematics, physics and astronomy



Kavli IPMU teatime

At the Kavli IPMU, more than 280 researchers\* in a variety of fields including physics, mathematics, and astronomy are working together to solve fundamental questions about the Universe. Every day at 3 pm, researchers gather in our commons area for tea and cookies and share ideas. Such informal exchanges across disciplines have resulted in world-leading discoveries. In addition to promoting research by integrating different fields, the institute has created a truly international environment, with more than half of its membership coming from overseas. The Kavli IPMU is increasing its efforts to improve its diversity, and continuing to generate new ideas and insights through lively engagement with diverse views, values, cultures, and disciplines.

\* Including affiliate members.

## [Message from FUJII Teruo, President of the University of Tokyo]

### Driving reform at the University of Tokyo via a quest for global knowledge and cutting-edge initiatives



At the Kavli IPMU, leading researchers from around the world are engaged in exciting exploration of knowledge that pushes the boundaries of fields such as mathematics and physics in order to unravel the mysteries of the Universe. By gathering a diverse body of researchers and advancing cutting-edge initiatives such as those on workplace reform, the Institute has helped to improve the overall competitiveness of the University of Tokyo. I hope that the Kavli IPMU continues to produce high-level research results and to be a trailblazer for reform in the University.

## Message from YOKOYAMA Jun'ichi, Director of Kavli IPMU, WPI



The Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (Kavli IPMU) was established in 2007 at the University of Tokyo's Kashiwa Campus and has been supported by the Kavli Foundation since 2012. Sixteen years after it was built from scratch, it has truly earned its global reputation as a WPI. The Institute employs 90 full-time scientists, 60% of whom are non-Japanese. It hosts more than 10 international research conferences every year, and attracts more than 1,000 domestic and international visitors, maintaining a truly international research environment in the university, and producing research results that rank among the world's leading research institutes. We are contributing to the future of humanity by clarifying fundamental properties of the Universe through the collaboration of theoretical and experimental researchers covering a wide range of fields from mathematics, string theory, particle physics, cosmology, and astrophysics.

**Profile** Starting his career as a research associate at the physics department of the University of Tokyo in 1989, Yokoyama has held posts at Fermi National Accelerator Laboratory, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Stanford University, and Osaka University before joining Research Center for the Early Universe (RESCEU) at the University of Tokyo in 2005 as a professor. He became director of Kavli IPMU in November 2023. He served as president of the Association of Asia Pacific Physical Societies in 2020-2022, and is currently serving as director of RESCEU, too.

## Archive of research results

### Ultra-wide-field multi-object spectrograph PFS equipment arrives in stages in Hawaii

The Prime Focus Spectrograph (PFS) project, which is being developed by an international team led by the Kavli IPMU, aims to start scientific observations in early 2025. Meanwhile, participating institutes continue to produce its parts, which are transferred for onboard testing and observation testing on the Subaru Telescope in Hawaii. With PFS, about 2,400 optical fibers can be used for spectroscopic observations over a wide wavelength range at once, allowing researchers to unravel the mysteries of dark matter and dark energy, and reveal the evolution history of the Universe.

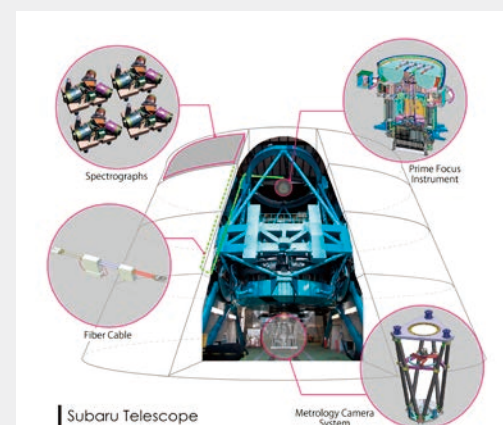
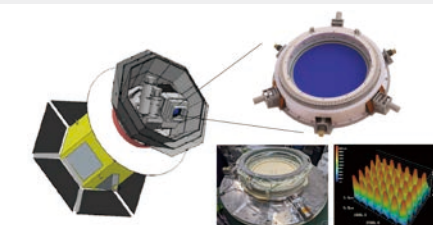


Image: Schematic of the general appearance of PFS (Credit: PFS Project / Kavli IPMU / NAOJ)

### LiteBIRD satellite plans take a step forward



A CAD model of LiteBIRD and the polarization modulator with the breadboard model of the rotation mechanism and the broadband anti-reflection sub-wavelength structure on sapphire.  
(Credit: ISAS/JAXA, Y. Sakurai et al., T. Hasebe et al., R. Takaku et al.)

Plans are moving forward with the LiteBIRD satellite, where Kavli IPMU is a member. The project aims to find a footprint of primordial gravitational waves left in the cosmic microwave background to test the inflation theory of the Universe. In 2019, LiteBIRD was selected as a ISAS/JAXA strategic L-class mission. It was also named an important large-scale research project in the 2020 Master Plan announced by the Science Council of Japan. It is scheduled to launch in the early-2030s. Kavli IPMU is responsible for the polarization modulator in the low-frequency telescope and the data analysis. The polarization modulator is crucial to achieving high-sensitivity polarization measurement at a large angular scale, where the inflationary B-mode polarization signal becomes prominent. Researchers have been deriving the key requirements of this instrument from the science goal and demonstrated its feasibility.

This project involves members including Associate Professor Tomotake Matsumura and Project Professor Masashi Hazumi.





# Towards the Integration of Materials Science and Cell Biology

iCeMS' mission is to produce chemicals necessary for understanding and manipulating cellular functions, to use these chemicals to explore the mysteries of life, and to create new functional materials inspired by cellular functions.

## [Purpose of the Research]

### Exploring the relationship between matter and life – Opening new horizons of science and technology

Cells sustain life through self-organization and cooperative interactions between a great number of chemical substances. The behaviors of these chemicals are constantly in flux. To understand this chemistry, we need to look at molecules working in the mesoscopic region, rather than in the nanometer region. To this end, iCeMS continues to develop a variety of imaging and modeling techniques, as well as physical and chemical methods to analyze the complex activities of cells. We expect that replication of cellular functions with designed materials is possible with a deep understanding of cellular processes. We are advancing research through understanding and creation.



## [Unique Features of WPI Center]

### An international and interdisciplinary environment with many young PIs



1) iCeMS is an environment that fosters active discussion and exchange across disciplines through open offices, laboratories, and shared lab equipment that bring together researchers from different fields. Face-to-face meetings help generate ideas for collaborations. 2) The Overseas Researchers Support Office (ORSO) assists foreign researchers, who make up about 20% of the total, so that they can concentrate on research activities. ORSO provides support for obtaining a status of residence in Japan, procedures for employment, and finding housing to help overseas researchers and their families. 3) We hold many international symposia

and seminars in Japan and abroad, in order to grow international and interdisciplinary research collaboration. 4) The Research Administration Division (RAD) reinforces the international research network and returns iCeMS' research results to society. RAD works to obtain external funds and to accelerate human resource exchange through industry-academia or academia-academia collaborations, and also holds outreach activities boosting brain circulation and disseminating research results both domestically and internationally.

## [Message from MINATO Nagahiro, President of Kyoto University]

### The international development of new academic fields at Kyoto University On-site Laboratories



The pursuit of a flexible and dynamic approach to knowledge creation is a key concept of Kyoto University's aims under the Japanese government's Designated National University program. iCeMS contributes to that endeavor through its development of new academic fields integrating materials science and cell biology. We also anticipate the international development of unique integrated fields through the efforts of the university's locally-managed "On-site Laboratories," which are established and operated in collaboration with overseas partner institutions.

## Message from UESUGI Motonari, Director of WPI-iCeMS

At iCeMS, we believe "chemical self-assembly" forms the boundary between matter and life. Through the coordinated fusion of cell biology and chemistry, we endeavor to understand the principles that govern intracellular self-assembly and aspire to let this wisdom inspire the innovation of functional self-assembling materials as we seek solutions to global problems. With these intentions, we are bringing together a wide range of researchers from disparate fields to achieve both diversity and focus.



**Profile** Born in Osaka, Japan in 1967. After completing his doctoral studies at the Graduate School of Pharmaceutical Sciences, Kyoto University in 1995, he worked as a researcher at Harvard University and as an associate professor at Baylor College of Medicine. He became a professor at the Institute for Chemical Research, Kyoto University in 2005. From 2007, he also served as a professor at iCeMS, where he became a deputy director in 2013. He has served as director since 2023.

## Archive of research results

### Hi-CO unravels the complex packing of nucleosomes

A new technology combining high-resolution genome structural analyses with large-scale simulations developed by a group led by Yuichi Taniguchi resolves the structure of the genome in three-dimensions at the nucleosome level. DNA is packed into the nucleus by wrapping around protein structures called histones and then folding into a tightly packed space. These wrapped structural units are called nucleosomes. Gene expression depends not just on the sequence of DNA, but also upon the way in which it is packaged. "Being able to analyse this structure should help clarify the origins and control principles of many biological phenomena, including cell differentiation and immunity," says molecular biologist Masae Ohno, who conducted the experiments and analyses.

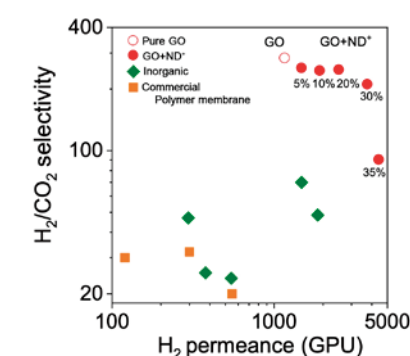


The research group has developed a new technology to analyze the 3D positions and orientations of nucleosomes using a next-generation genome sequencer and a supercomputer. (©Mindy Takamiya/Kyoto University iCeMS)

Professor/PI Yuichi Taniguchi (Nature Protocols, May 2021)

### Nanodiamonds are key to efficient hydrogen purification

A group led by Easan Sivaniah found that by incorporating positively charged nanodiamonds into graphene oxide sheets they were able to create humidity-resistant membranes which could be used to separate hydrogen gas during fuel production. Graphene oxide membranes offer an economic option touting high selectivity for gas separation, but quickly degrade in practical conditions of hydrogen purification. With an eye towards the future of green hydrogen production, the nanodiamond incorporated sheets were designed to retain durability and performance in the high humidity environment of water splitting. The sheets could also find application in micro supercapacitors, fuel cells and sensors.



The red circles in the top right corner represent the graphene oxide / nanodiamond sheets created in this study compared with existing inorganic and polymer filters. The GO/ND<sup>+</sup> membranes showed both exceptional H<sub>2</sub> permeance (>3,700GPU) and H<sub>2</sub>/CO selectivity (>200).

Professor/PI Easan Sivaniah (Nature Energy, December 2021)



# Comprehensive Understanding of Immune Reactions and Contribution to the Society

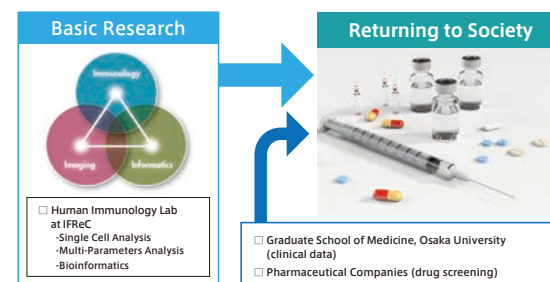
IFReC's important mission is to construct a world-class immunology research center.

Furthermore, in addition to efforts in advanced research on basic immunology, IFReC has been actively engaging in serving society through the results of its research.

## [Purpose of the Research]

### Striving to lead the world in interdisciplinary and immunology research

Since its inception in 2007, IFReC has advanced interdisciplinary research through a team of outstanding researchers in the fields of immunology, bioimaging, and bioinformatics. Numerous articles have been published in many top journals and with the increasing number of academic awards, IFReC's reputation has spread far and wide among the world's immunologists. Since 2017, in addition to basic research, we have endeavored to create a methodology for developing the results of our basic research into medical applications.



## [Unique Features of WPI Center]

### As a world-class research center



IFReC Advanced Postdoctoral fellows from around the world (as of March, 2021)

To further develop as an international research center, IFReC has increased its efforts in the study of human immunology, which is basic research using human cells with the cooperation of the Osaka University Graduate School of Medicine. Further, by incorporating the viewpoint of pharmaceutical companies, we are accelerating the sharing of our basic research with society.

Nurturing the next generation of researchers is also an important responsibility of IFReC. To recruit outstanding young researchers from all over the world, we have created the "Advanced Postdoc System", which offers a competitive salary and generous research budget.

IFReC provides an enticing environment for the next generation of researchers and aims to be an indispensable part of the career paths of talented international researchers.

## [Message from NISHIO Shojiro, President of Osaka University]

### IFReC leading the way at Osaka University



In April 2017, Osaka University established the International Advanced Research Institute (IARI) and IFReC became its first affiliate. IFReC has thus become part of this new world-class research hub in the university yet secured its independence in operation through comprehensive collaboration agreements with pharmaceutical companies for industry-university co-creation, and established methods to translate fundamental research results into applied research. IFReC significantly contributes to Osaka University not only in spearheading co-creation between industry and academia but also as a leader in internationalization.

## Message from TAKEDA Kiyoshi, Director of WPI-IFReC

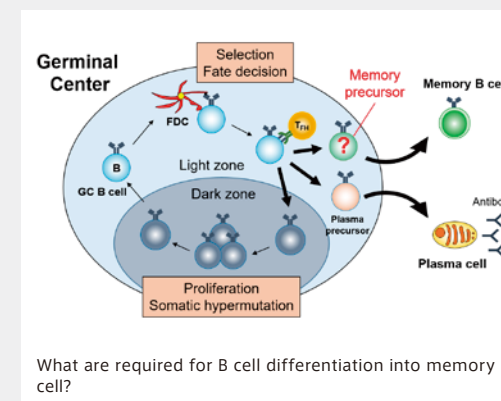


I will strive not only to deepen our basic research into immunology until now but also to make IFReC a world-class research center with the aim of overcoming immunological disorders of the future. IFReC has concluded comprehensive collaboration agreements with a number of pharmaceutical companies, thereby creating an industry-academia collaboration system for advancing free basic research, the first model of its kind in Japan. The future looks promising as IFReC accelerates world-class basic immunology research and the sharing of its results with society.

**Profile** | Osaka University, Medical School, MD 1992/PhD 1998. 2004: Professor, Medical Institute of Bioregulation, Kyushu University. 2007-Present: Professor, IFReC/Graduate School of Medicine, Osaka University. 2019.7-: Director of IFReC. Japanese Society for Immunology Award (2004). JSPS Prize (2010). Osaka Science Prize (2016). Bälz Prize (2016). Mochida Memorial Academic Award (2019). Takeda Prize for Medical Science (2022). Highly Cited Researchers (2014-2017). 2nd place at the "World Immunologist Ranking by Citations 2014" (Dr. Shizuo Akira, the former director of IFReC ranked first).

## Archive of research results

### Mechanism for the establishment of immunological memory



What are required for B cell differentiation into memory B cell?

Memory B cells, which are generated during the first infection, quickly differentiate into plasma cells (antibody-secreting cells) and block or eliminate antigens efficiently upon second infection. Vaccination is a strategy to artificially induce the immunological memory using this mechanism. A research group with Takeshi Inoue and Tomohiro Kurosaki identified and characterized a small GC population of precursors for memory B cells. They found the GC B cells with lower mTORC1 activity and increased survival signal from surface B cell receptors favor a memory B cell fate. This achievement provides the underlying mechanism for the establishment of immunological memory, which will help to develop new vaccine strategies.

Inoue et al. *J Exp Med*. 2022

### Celastrol improves the pathology of autoimmune disease



In silico modeling of the celastrol-bound COMMD3/8 complex. Celastrol, an herbal medicinal ingredient, improves the pathology of autoimmune diseases by suppressing the COMMD3/8 complex.

Celastrol, a bioactive molecule extracted from the *Tripterygium wilfordii* plant, has been shown to exhibit anti-inflammatory properties. However, its mechanism of action has not been fully elucidated. Kazuhiro Suzuki, and the research group showed celastrol suppresses humoral immune responses and autoimmunity by targeting the COMMD3/8 complex.

Shirai et al. *Sci Immunol*. 2023





# "Materials Nanoarchitectonics" - New Paradigm of Materials Development -

Nanotechnology is changing our lives.

MANA is pioneering a revolutionary technological system called "nanoarchitectonics" as a new paradigm for nanotechnology to create new materials and functions.

## [Purpose of the Research]

### Pioneering a new nanotechnology system to create next generation materials

Since its establishment in 2007, MANA has released numerous research achievements based on the concept of "Nanoarchitectonics," which creates materials from the bottom up at the nanoscale. The research in Nanoarchitectonics consists of two linked fields: the "Quantum Materials Field" which deals with materials that exhibit quantum functionalities by precisely controlling atomic and molecular scale configurations, and the "Nanomaterials Field" which is essential for innovative materials research such as 2D nanosheets, 1D nanowires and other low-dimensional materials. By working together with close collaboration, MANA accelerates its nanoarchitectonics research.

MANA will continue to create innovative next-generation materials and technologies to support various fields such as the environment, energy sustainability, next-generation computation & communication, and health & security.



## [Unique Features of WPI Center]

### International nanotechnology research center driven by challenges and field fusion



MANA administrative office welcomes foreign researchers

In order to create a world premier research center with global visibility, MANA strongly promotes the following management.

#### Melting pot environment

MANA provides a "melting pot" environment for gathering researchers of different fields, cultures and nationalities in one place. MANA is regarded as one of the most internationalized research organizations in Japan. MANA promotes fusion research between various fields for "Nano Revolution for the Future."

## [Message from HONO Kazuhiro, NIMS President]

### Pioneering Japan's world-leading science and technology



The National Institute for Materials Science (NIMS) supports the Research Center for Materials Nanoarchitectonics (MANA), one of the first five WPI research centers established in 2007.

MANA is promoting "Nanoarchitectonics (building nanoscale blocks)," a unique technology for creating nanomaterials.

The purpose is to discover new substances, new materials and new functions, and to produce research results with the aim of creating seeds that will lead to innovation in various fields.

I am convinced that the further development of WPI will be more and more important to enhance the presence of Japan's outstanding science and technology.

## Message from TANIGUCHI Takashi, Director of WPI-MANA



After overcoming the COVID-19 pandemic, diverse recovery efforts are being made on a global scale. In these endeavors, it is a crucial recognition for material science researchers to aim for contributions derived from cutting-edge scientific knowledge and technological innovations. MANA is committed to advancing nanotechnology through the development of new materials, devices and systems using active integration of nanomaterials and nanosystems through interface control, while leveraging our expertise in quantum technology innovation. By utilizing these nanotechnologies for new material development, we strive to contribute to solving various challenges that humanity has faced in recent years.

**Profile** 1987: Doctor of Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Research associate, Tokyo Institute of Technology; 1989: National Institute for Research in Inorganic Materials (NIRIM), Science and Technology Agency; 2001: Principal Researcher of National Institute for Materials Science (NIMS); 2018: NIMS Fellow; 2019: Vice Chairman of International Association for the Advancement of High Pressure Science and Technology (AIRAPT), Visiting Professor, The University of Tokyo; 2021: Director of Research Center for Materials Nanoarchitectonics (MANA); 2023: Executive Vice President, NIMS.

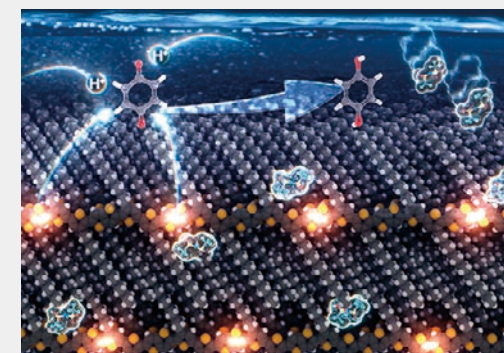
## Archive of research results

### Establishment of techniques for precise doping of organic semiconductors in aqueous solution

Doping is an essential process in manufacturing of semiconductor devices. However, doping of organic semiconductors has been limited in terms of controllability, reproducibility, accuracy, and the need for an inert atmosphere.

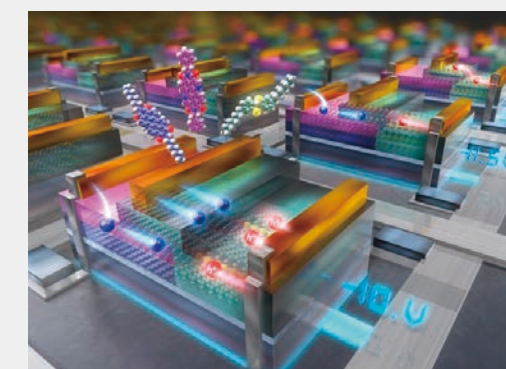
MANA's research team has developed an innovative chemical doping technique. Utilizing proton-coupled electron transfer (PCET), a mechanism also observed in photosynthetic electron transport systems, precise doping was achieved by simply immersing organic semiconductor thin films in aqueous solutions under ambient conditions.

This technology will contribute to fabrication of flexible devices, including sensors, circuits, displays, and solar cells, based on lightweight, printable organic semiconductors. A proof-of-concept for a thin-film pH sensor employing this technology has been demonstrated with promising applications in healthcare and biosensing.



Researcher Yu Yamashita, Group Leader Katsuhiko Ariga, NIMS Invited Researcher Jun Takeya (Nature, 2023)

### Organic quaternary logic circuits: forging new paths in computing architecture



Conventional microfabrication techniques fall short for organic integrated circuits, limiting their integration density. Therefore, novel strategies to develop the state-of-the-art organic integration circuits are highly required. The researchers at MANA have met this challenge head-on, using an innovative organic transistor, termed the "Antiambipolar Transistor." This transistor exhibits unique negative differential transconductance at room temperature, leading to the team's successful demonstration of a quaternary logic circuit. Impressively, the circuit consists of merely two transistors, although such logic operation needs at least six transistors in standard CMOS technology. This represents a substantial leap in the integration density and performance of organic integrated circuits, significantly accelerating the advancement of the next generation of organic electronics.

Principal Researcher Ryoma Hayakawa, Group Leader Yutaka Wakayama (Advanced Functional Materials, 2023)



# Contribute to the Creation of a Sustainable and Environmentally-Friendly Society

I<sup>2</sup>CNER's mission is to contribute to the creation of a sustainable and environmentally-friendly society by advancing low-carbon emission and cost-effective energy systems, and improvement of energy efficiency. Through its mission-driven basic research, I<sup>2</sup>CNER has been developing and conducting researches on scientific technologies to drastically reduce CO<sub>2</sub> emissions.

## [Purpose of the Research]

### Creation of basic science for realization of a low-carbon society

I<sup>2</sup>CNER aims at understanding and advancing the science of hydrogen production using photocatalyst; hydrogen tolerant materials; next-generation fuel cells; catalysis and "greening" of chemical reactions; CO<sub>2</sub> capture and utilization; CO<sub>2</sub> geological sequestration; and energy analysis. This broad-based agenda cuts across the boundaries of chemistry, physics, materials science, mechanics, geoscience, biomimetics, economics, and policy-making. The research in I<sup>2</sup>CNER bridges multi-dimensional spatial and temporal scales for various phenomena. I<sup>2</sup>CNER has focused on the creation of highly efficient conversion technology. As a next step, we newly added rapid conversion as a keyword and cultivate a new academic field by integrating disciplines.

## [Unique Features of WPI Center]

### Collaboration with UIUC and generating fused disciplines



Strategic partnership with UIUC



A state-of-the-art research environment

This is a unique collaborative project between Kyushu University and the satellite institute at the University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC). Kyushu University has a world-class, state-of-the-art hydrogen research environment, and the scientific exchanges and discussions that take place at Ito campus of Kyushu University have a strong influence on the international community.

I<sup>2</sup>CNER's strength is its young faculty members who have been encouraged to develop their own independent research programs, as well as intensively work with the international collaborators. We consider the quality of researchers as the top priority for I<sup>2</sup>CNER to be successful. The transition toward a carbon-neutral energy society is global issue and requires leveraging resources from the international community.

I<sup>2</sup>CNER provides unique opportunities for bottom-up research, supporting researchers to create and establish new research directions. Annual symposia also serve as opportunities for strengthening international collaboration and fostering interdisciplinary research.

To contribute to the realization of a carbon-neutral society, I<sup>2</sup>CNER has established centers and joint research divisions in collaboration with companies to develop and acquire cutting-edge environmental infrastructure technologies that contribute to carbon neutrality, as well as pursue practical use and commercialization of these technologies in relevant fields.

## [Message from ISHIBASHI Tatsuro, President of Kyushu University]

### Toward the realization of a Carbon-Neutral Energy Fueled World



Green innovation that utilizes CO<sub>2</sub> emission-free renewable energy sources is essential to ensure a sustainable supply of environmentally friendly energy for future generations. Kyushu University is committed to produce outstanding research accomplishments on energy science and foster world top-level researchers with I<sup>2</sup>CNER as a leader in achieving a carbon-neutral energy society.

## Message from ISHIHARA Tatsumi, Director of WPI-I<sup>2</sup>CNER



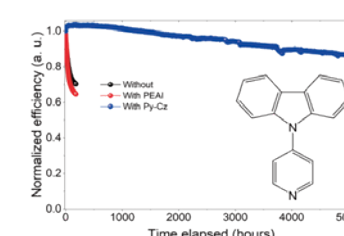
Shifting to carbon-neutral energy society is globally required important subjects. I<sup>2</sup>CNER will contribute to realize carbon-neutral society by required novel sciences and also open new research fields by interdisciplinary research. On the other hand, securing energy to support a prosperous life is an important global issue and I<sup>2</sup>CNER will propose social system which uses renewable energy by converting to hydrogen or hydrocarbon synthesized from CO<sub>2</sub> captured and lead to establish a carbon-neutral society.

**Profile** Prof. Ishihara received his PhD in Material Science and Engineering from Kyushu University in 1991. After working as a lecturer and assistant professor at the Faculty of Engineering, Oita University, he became a professor at the Faculty of Engineering, Kyushu University in 2003. In 2013, he was appointed as Associate Director of I<sup>2</sup>CNER, and has been Director of I<sup>2</sup>CNER since April 2023. His major awards include Catalysis Society of Japan Award and the Daiwa Adrian Prize. He has discovered a new pure oxide ion conductor used for fuel cell and electrolyzer which is found after 100 years.

## Archive of research results

### Defect passivation leads to higher-performance perovskite solar cells

Electron-hole recombination through defects at surfaces or grain boundaries of perovskite films is a serious issue which strongly limits perovskite solar cell performance. I<sup>2</sup>CNER has developed a new defect passivating organic material, which can increase both power conversion efficiency and operational durability of perovskite solar cells. I<sup>2</sup>CNER is aiming at developing new technologies making perovskite solar cells more durable for future commercialization.

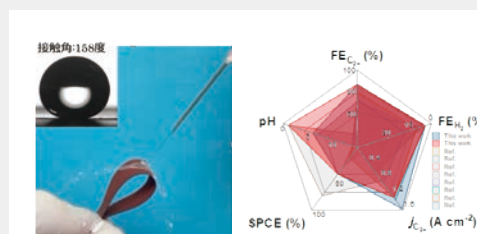


Operational durability of perovskite solar cells under illumination. Pyridine-carbazole (Py-Cz) or phenethylammonium iodide (PEAI) was used for defect passivation.

Toshinori Matsushima et al. (ACS Appl. Energy Mater., 2022)

### Gas diffusion enhanced electrode with ultrathin superhydrophobic macropore structure for acidic CO<sub>2</sub> electroreduction

Electrochemical CO<sub>2</sub> reduction is a chemical process that synthesizes high value-added chemicals from CO<sub>2</sub> and water using renewable electricity. Usually, an alkaline electrolyte is used to suppress hydrogen generation, which is a side reaction, but this poses the problem of electrode destruction due to the precipitation of carbonates formed by dissolving CO<sub>2</sub> in the electrolyte. In this research, we succeeded in efficiently synthesizing multi-carbon compounds by reducing CO<sub>2</sub> even in acidic solutions by using ultrathin copper electrodes with a porous structure and superhydrophobicity.



(Left) Copper electrodes with superhydrophobicity. (Right) Comparison of FE<sub>C<sub>2</sub><sup>+</sup></sub>, FE<sub>H<sub>2</sub></sub>, j<sub>C<sub>2</sub><sup>+</sup></sub>, SPCE and pH of bulk electrolyte on the superhydrophobic Copper with those of the state-of-the-art CO<sub>2</sub>RR.

Miho Yamauchi et al. (Nature Communications, 2024)





# Solving the Mysteries of Sleep

Sleep is one of the biggest black boxes of today's neuroscience.

Researchers at IIIS cooperate with each other aiming to elucidate the fundamental principles of sleep/wake regulation and develop new strategies to assess and treat sleep disorders.

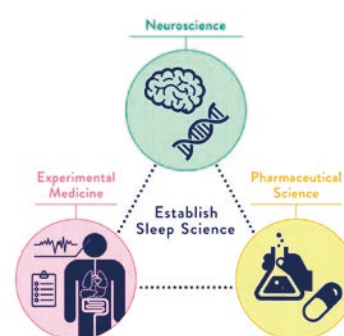
## [Purpose of the Research]

### Aiming to realize a society where people can sleep soundly

We spend nearly 1/3 of our lives asleep. The importance of sleep is clear because the loss of sound sleep lowers daytime performance and physical and mental health. However, the regulation and function of sleep remain unclear.

IIIS sets 3 missions to uncover the mystery of sleep and to solve sleep-related social problems:

1. To elucidate the functions of sleep and the fundamental mechanisms of sleep/wake regulation
2. To elucidate molecular pathogenesis of sleep disorders and related diseases
3. To develop preventive measures, diagnostic methods, and treatments for sleep disorders



## [Unique Features of WPI Center]

### Open and flat organization to maximize all members' capacity



Open floor space



Shared laboratory

Under the leadership of Prof. Yanagisawa, the researchers at IIIS collaborate with each other to drive forward innovative sleep research. Based on Prof. Yanagisawa's 20-plus-year experience as a PI at the University of Texas Southwestern Medical Center, IIIS has been established as a unique institute and the best sleep research center in Japan, by learning from the merits of the US-style academic "department". IIIS has created a free and vigorous atmosphere emphasizing: (i) flexible and timely appointments of independent PIs regardless of their age and career stage, with a necessary start-up package (e.g., funding, personnel and space); (ii) a flexible and dynamic allocation of floor space for each laboratory to facilitate free and open communications; and (iii) sharing of major facilities and capital equipment among laboratories. IIIS manages the organization so that all researchers and students can vigorously communicate and maximize their potential.

## [Message from NAGATA Kyosuke, President of University of Tsukuba]

### World-class sleep research from Tsukuba, to protect our health and well-being!



With 20% of Japanese suffering from sleep-related problems, Japan is listed as one of the worst countries regarding the total sleep hours compared with the rest of the world. Such a "sleep underdeveloped country" needs a world-class research institute for sleep medicine. The International Institute for Integrative Sleep Medicine (IIIS) of University of Tsukuba serves that role. Embodying the principles of the Designated National University even before they existed, IIIS has developed as a world-leading institute and will continuously solve the mysteries of sleep for contributing to next-generation medical care systems.

## Message from YANAGISAWA Masashi, Director of WPI-IIIS

Our discovery of the neuropeptide orexin and its prominent role in sleep/wake regulation has generated a highly active research field in the neurobiology of sleep. However, the fundamental governing principle for the regulation of sleep pressure remains a mystery. Based on my own experience as a PI in the US, and by learning from the merits of US academia while retaining the merits of Japanese traditions, IIIS provides a scientific culture and environment that strongly encourage all members to initiate and continue truly groundbreaking studies.



**Profile** Received a PhD from the Faculty of Medicine, University of Tsukuba. Served as a Professor at the University of Texas and a Researcher at the Howard Hughes Medical Research Institute for 24 years from 1991 to 2010. In 2010, his research project was adopted under the FIRST Program. In 2012, appointed Director and Professor of WPI-IIIS. In 2021, he was selected as a Project Manager of the AMED Moonshot R&D Program. Received numerous awards and distinctions, including the Medal with Purple Ribbon (2016), the Keio Medical Science Prize (2018), the Person of Cultural Merit (2019), the Ibaraki Prefecture Honor Award (2019), the Tokizane Award (2022), Breakthrough Prize in life sciences and Clarivate Citation Laureate (2023).

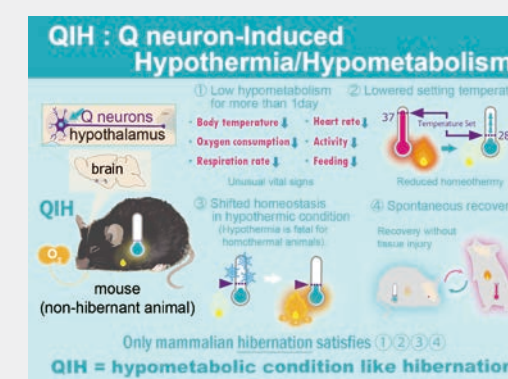
## Archive of research results

### A novel neuronal pathway that induces hibernation-like hypometabolic states

Hibernating mammals lower their body temperature and reduce energy expenditure, although the regulating mechanism of hibernation is still not well known.

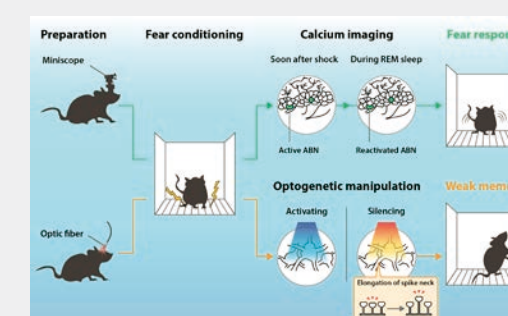
IIIS has found a population of hypothalamic neurons that induces a long-lasting hypothermic/hypometabolic state similar to hibernation (Q neurons). No obvious tissue/organ damage nor abnormalities in behavior have been observed after recovery.

This finding opens the door to the development of the induction of a hibernation-like state on non-hibernating mammalian species, including humans.



Takahashi, Sunagawa, Sakurai et al. (Nature, 2020)

### Sparse activity of hippocampal adult-born neurons during REM sleep is necessary for memory consolidation



The presence of dreaming during rapid-eye-movement (REM) sleep indicates that memory formation may occur during this sleep stage. But now, researchers have found that activity in a specific group of neurons is necessary for memory consolidation during REM sleep. The researchers of IIIS have revealed that adult-born neurons (ABNs) in the hippocampus, which is a brain region associated with memory, are responsible for memory consolidation during REM sleep.

More detailed clarification of the memory consolidation mechanism could facilitate the development of new treatments for memory disorders.

Kumar, Sakaguchi et al. (Neuron, 2020)



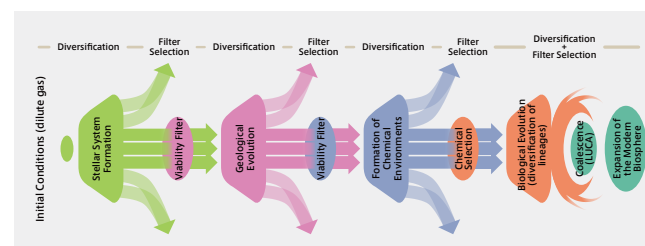
# World-class Interdisciplinary Research Hub Exploring the Origins of Earth and Life

ELSI's Earth/planetary and life scientists study the origins of Earth and life, and possible life forms on solar-system and extra-solar planets by testing what is unique and universal to Earth's life.

## [Purpose of the Research]

### How did the Earth form, and how did life begin and evolve?

ELSI specifically investigates how the Earth formed, the emergence of life in the early environment, co-evolution of the Earth-life system, and the emergence/occurrence of life elsewhere in the universe. These domains are achieved by using the ELSI model as a theoretical framework and a roadmap for origins of life research. The ELSI model captures the idea that the events from the Big Bang to life were a series of diversifications followed by selections.



ELSI model of the origins of life

## [Unique Features of WPI Center]

### An open and inclusive interdisciplinary research environment

ELSI remains a world-leading research and education hub through reform:

- Research environment:**
- Open and flat research environment for inclusiveness
  - Annual evaluation of researchers
  - Young researcher start-up funds to kickstart their career
  - Ample external funding, including Astrobiology Program established by private company donation
- Education pathways:**
- 5-year graduate program in English
  - Up to 10 fully-funded student scholarships each year, on a competitive basis
  - Includes courses on 'Collaboration with Industry' and 'Global Science Communication'
- Outreach and science communication:**
- Practice evidence-based outreach for efficient engagement
  - Conduct science communication training and workshops
  - Produce content with international standards in English



Open and flat research structure



Active collaboration between young and senior researchers

## [Message from MASU Kazuya, President of Tokyo Institute of Technology]

### Unravelling the wonders of the Earth and life



We, at Tokyo Tech, are proud of the accomplishments of ELSI, which include a highly successful recruiting strategy, the establishment of a global collaborative network of world-leading scholars, and a genuinely international environment that welcomes researchers from all over the world. ELSI is intended to be a role model for the university and forms a key part of my vision for Tokyo Tech to become one of the top-level research universities. ELSI and Tokyo Tech will continue to rise together.

## Message from SEKINE Yasuhito, Director of WPI-ELSI

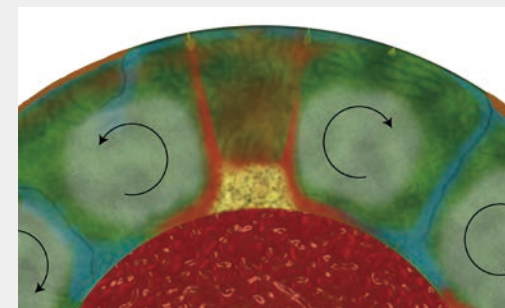


In the first ten years, ELSI provided the view of the sequence of diversifications and selection mechanisms that gave rise to the current Earth-Life system. While keeping the existing approaches at ELSI to understand key transitions toward the emergence of our Earth-Life system, we will explore new approaches to understanding and predicting the possibilities of alternative planet-life systems which may exist anywhere in the Universe. We will work in close cooperation with space exploration missions by extending the research scope from the Origins and Evolution of the Earth and Life to include searching for evidence of extra-terrestrial life.

**Profile** A top-level expert in the origins and evolution of both planetary atmospheres and oceans and habitability in the Solar System. He revealed the presence of ongoing hydrothermal systems in Saturn's moon, Enceladus, in 2015. His research aims to address questions such as "what makes Earth a habitable planet?" and "is there life beyond Earth in the solar system?" by understanding environmental factors and the chemistry among them that give rise to and support life on planets.

## Archive of research results

### Domains of ancient rocks preserved in the Earth's mantle

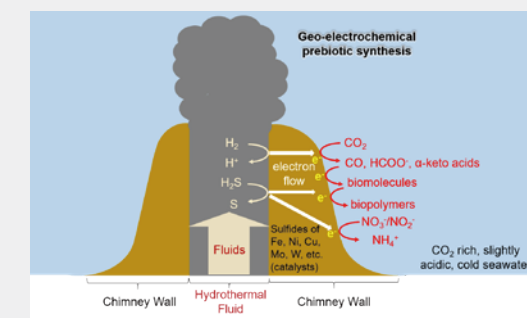


Mantle convection removes heat from our planet's interior and drives plate tectonics. Geochemical data suggests ancient domains are preserved >4.4 billion years in the mantle despite persistent convection and mixing. To explain this, ELSI established a new model of mantle material transport. In its simulations, high-viscosity mantle rock can stabilise unmixed mantle domains despite whole-mantle flow circulating within them. Preservation of ancient SiO<sub>2</sub>-rich domains may also explain SiO<sub>2</sub> depletion in the circulating mantle, relative to the solar system's average composition.

Ballmer M., Houser C., Hernlund J., Wentzcovitch R., Hirose K. Persistence of strong silica-enriched domains in the Earth's lower mantle. (Nature Geoscience, 2017)

### Geoelectrochemistry – a new field of study within OoL research

ELSI has demonstrated abiogenic electrochemical reduction of CO<sub>2</sub> to CO under geochemically plausible conditions. The significance of this result is that abiogenic CO has long been proposed as a feedstock for complex organic synthesis; the efficient reduction shows that the potentials obtained at hydrothermal vents are sufficient to drive carbon fixation.



Kitadai N., Nakamura R., Takai K., Li Y., Gilbert A., Ueno Y., Yoshida N., Oono Y. Geoelectrochemical CO production: Implications for the autotrophic origin of life. (Science Advances, 2018)





# Change the World with Molecules: Where Chemistry, Biology and Theory Meet

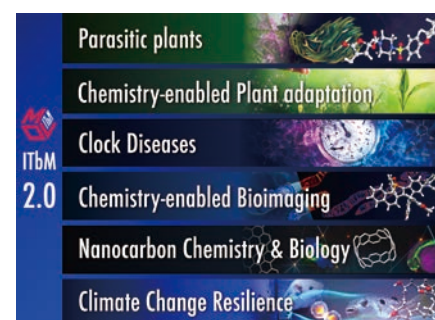
ITbM's dream is to develop "transformative bio-molecules" that can change the way we live.

By merging synthetic/catalytic chemistry, animal/plant biology, and theoretical science, ITbM will take up the challenges of solving global issues with molecules.

## [Purpose of the Research]

### Interdisciplinary research producing transformative bio-molecules

ITbM continues its research into creating innovative bio-functional molecules that will fundamentally transform life science research – "transformative bio-molecules." Through the dynamic cooperation of synthetic chemists, plant/animal biologists and theoreticians and the creation of a new field of research merging biology and chemistry, ITbM develops transformative bio-molecules that will have a great and positive impact on society. In 2020, ITbM will prioritize new areas of research as "ITbM 2.0," using molecules to tackle worldwide issues such as climate change, food supply and medical technologies.



ITbM's flagship research areas

## [Unique Features of WPI Center]

### Diverse and interdisciplinary research born from mixed spaces



Researchers and students from different fields work alongside one another in ITbM's Mix Lab and Mix Office



Poster session by students of the Graduate Program of Transformative Chem-Bio Research (GTR)

At ITbM, top level experts in a variety of fields from both Japan and abroad occupy the positions of Principal Investigators (PIs). ITbM's younger specialists take on the role of Co-PIs, cooperating with PIs to drive forward their research effectively and learn important research and laboratory management skills. With most of the post-doctoral researchers coming from overseas, and 30% of researchers

## [Message from MATSUO Seiichi, Chancellor of Tokai National Higher Education and Research System]

### ITbM is a treasure of Nagoya University and a global center for chemistry-biology fusion research



Sharing the thoughts of ITbM's director, young researchers gathered under one roof, produced many wonderful research results in a short time, and have taken on the challenge of creating new value. An outstanding graduate program by ITbM is in action, and the "ITbM spirit" of taking on challenging research while being excited beyond the boundaries of the field is spreading inside and outside the university. ITbM is an irreplaceable treasure for Nagoya University, and the whole university is very proud to support its activities.

## Message from YOSHIMURA Takashi, Director of WPI-ITbM

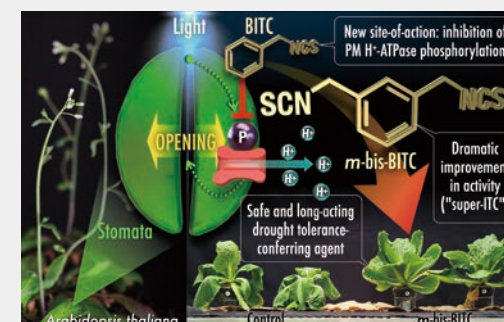


Our dream is to change the world through molecules. By fusing state of the art synthetic chemistry, biology and theoretical science, ITbM has developed a range of promising bio-functional molecules during its first ten years, "ITbM1.0." Our earth faces a number of critical issues that are vital to the sustainable future of humankind, such as achieving food security, combating climate change, and ensuring healthy lives. In ITbM's second chapter, "ITbM2.0," we will further accelerate and expand our research to solve these important social issues with the power of molecules.

**Profile** | Received his PhD from Nagoya University in 1999. Serving as a Professor at Nagoya University from 2008. Also served as Visiting Professor at the National Institute for Basic Biology from 2013 to 2019. ITbM Director in 2022. Received many awards and distinctions including Hoffenberg International Medal from the Society for Endocrinology (2010), Fellow of the Royal Society for Biology (2011), Van Meter Awards from the American Thyroid Association (2015), Aschoff and Honma Prize for Biological Rhythm Research (2020), and Kihara Memorial Foundation Academic Award (2021).

## Archive of research results

### Discovery of a natural product that suppresses stomatal opening and prevents wilting in plants!



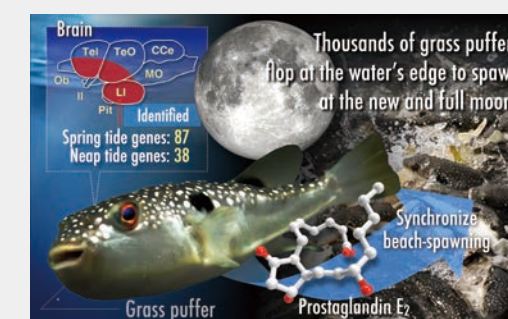
#### Effects of BITC and super ITC on suppressing stomatal opening and leaf wilting

BITC acts as an inhibitor of stomatal opening and super ITC could potentially be used as an agent of drought tolerance in plants.

ITbM discovered that benzyl isothiocyanate (BITC), the pungent component of horseradish, suppresses stomatal opening by inhibiting the action of the cell membrane proton pump, which is the driving force in the stomatal opening process. In addition, when super isothiocyanate (super ITC), whose inhibitory effect was greatly improved, was applied to leaves, it was demonstrated that stomatal opening was prevented and leaves were less likely to wilt. It is expected that this result will be used to maintain the freshness of cut flowers in the future.

Yusuke Aihara and Toshinori Kinoshita et al.  
(Nature Communications, 2023)

### The biological rhythms driven by the phases of the Moon



#### The mechanism how puffer fish spawn synchronously on the new and full moons

The activation of the genes (semilunar genes) involved in breeding behavior on spring tide days promotes the spawning behavior of the grass puffers. At the same time, prostaglandin E2 released into the seawater activates spawning and release of sperm and makes the surrounding individuals spawn simultaneously.

Various life phenomena, such as the simultaneous spawning of corals and the human menstrual cycle, are affected by the phases of the moon. Thousands of grass puffers have been known to gather on beaches to spawn at the same time on new and full moons, but the molecular mechanisms behind this behavior have not been elucidated. In this study, ITbM identified genes that are activated at the new and full moons through weekly genome-wide expression analysis. In addition, ITbM identified the molecule that promotes the spawning and release of sperm by surrounding individuals during the process, as well as the molecular mechanism that synchronizes the spontaneous spawning. This research is expected to contribute to a better understanding of the relationship between biological phenomena and lunar rhythms in the near future.

Takashi Yoshimura et al. (Current Biology, 2022)



# Tackling the Ultimate Question – “How Does Human Intelligence Arise?”

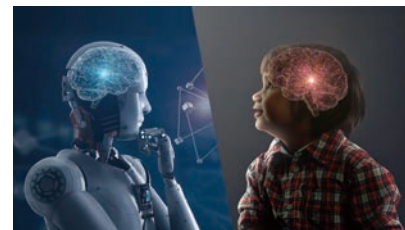
IRCN combines life sciences and information sciences to establish a new field, "neurointelligence."

By clarifying the essence of human intelligence, overcoming neural disorders, and developing new A.I.,  
IRCN will contribute to a better future society.

## [Purpose of the Research]

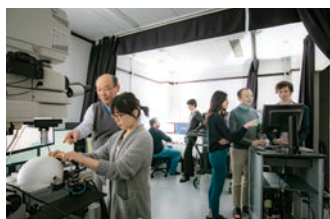
### To establish the new field of “neurointelligence”

Understanding the brain is a highly ambitious endeavor, challenging a fundamental scientific frontier on par with seeking the origins of the universe. IRCN aims to (1) discover fundamental principles of human intelligence, (2) understand the emergence of psychiatric disorders underlying impaired intelligence, and (3) use these principles to shape the development of next-generation artificial intelligence (A.I.). Through these approaches, IRCN is establishing the new interdisciplinary field of “neurointelligence.”



## [Unique Features of WPI Center]

### Global bridging – Brain development and computational science



Researchers from around the world at Imaging Core



IRCN offsite retreat provides a forum where lively discussion for fusion research is facilitated

IRCN convenes researchers from diverse backgrounds and disciplines who work together in a collaborative Team Science framework to create interdisciplinary "neurointelligence" research and applied innovations toward solutions for human and clinical challenges. Such Team Science produces new synergistic research outcomes through fusion research. IRCN aims to build the highest-level research organization worldwide by offering cutting-edge technologies and international environment.

#### Leading Global Network

Functioning as a research hub in collaboration with 20 key overseas institutions such as Boston Children's Hospital

#### Core Facilities for Interdisciplinary Research

Maintaining facilities which provide a platform for enabling researchers to seamlessly integrate hypothesis and verification cycles for efficient research

#### Nurturing Young Researchers

Encouraging trainees to exchange views and ideas through Science Salon, Retreat, and Neuro-Inspired Computation Course, which lead IRCN to new integrated research

## [Message from FUJII Teruo, President of the University of Tokyo]

### Human-centered intelligence for a technological society



As the second WPI institute at our University, IRCN is aiming to develop a new academic field called "neurointelligence" by bringing different knowledge on and off campus together ranging from life-science, medicine, linguistics, mathematical science and informatics. Through pursuing fundamental questions on "How does human intelligence arise?", I hope that IRCN delivers world-class research results globally and proactively disseminate the related knowledge throughout our society.

## Message from Takao K. Hensch, Director of WPI-IRCN

International Research Center for Neurointelligence was established in 2017 with a 10-year mission: to create a new discipline at the interface of human and artificial intelligence from the view of neurodevelopment and its disorders. We seek answers in the underlying principles of neural circuit development and how it goes awry in psychiatric disorders. This promises new insights for neuro-inspired A.I. and innovative, computational approaches to understanding the human condition. Come share our quest, key collaborations, state-of-the-art core facilities and unique culture!

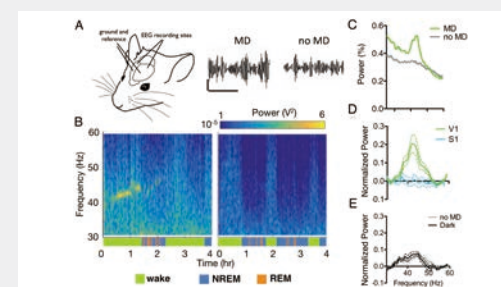


**Profile** After receiving his PhD from UCSF (1996), Hensch helped to launch the RIKEN BSI before returning to Harvard in 2006. Currently, he is Joint Professor of Neurology (HMS) and Molecular Cellular Biology (FAS), Director of the NIMH Silvio Conte Center for Mental Health Research, Director of IRCN, and Co-Director of the CIFAR Child Brain Development network. He has received several honors including the Young Investigator Award in both Japan (Tsukahara Prize, 2001) and the US (2005), the NIH Director's Pioneer Award (2007), and the Mortimer D. Sackler Prize (2016), and serves as Chief Editor of *Frontiers in Neural Circuits*.

## Archive of research results

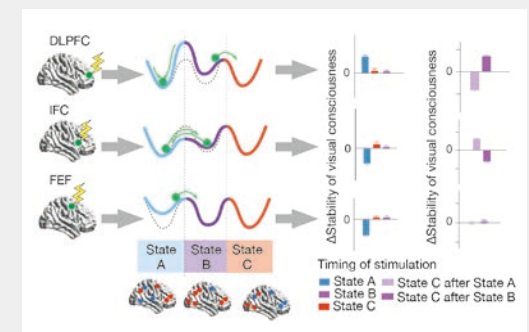
### Signature brain wave signals windows of brain plasticity

Critical periods are developmental windows of rapid remodeling and plasticity of brain networks, whose trajectories are not yet fully understood. IRCN Principal Investigator, Takao Hensch and colleagues identified a transient neuronal oscillation in the g-frequency range (~40Hz) that is induced by sensory imbalance in the mouse visual cortex only when such a plastic window is open. IRCN Affiliated Faculty, Dr. Nancy Kopell and Associate Research Fellow, Dr. Michelle McCarthy then used computational modeling to link the origin of these transient g-rhythms to specific inhibitory neurons. Their inputs were found to be the very first synaptic connections to be remodeled during the critical period plasticity. These findings offer a robust noninvasive biomarker of open critical period state with which to probe derailed trajectories in brain development (such as autism or ADHD) from mouse to human.



Director /Principal Investigator/Project Professor Takao K. Hensch  
Kathleen B. Quast, Rebecca K. Reh, Maddalena D. Caiati, Nancy Kopell, Michelle M. McCarthy, and Takao K. Hensch (2023) PNAS, DOI: 10.1073/pnas.2123182120

### Neurofeedback control of brain state dynamics underlying visual consciousness



Brain state dynamics are the patterns of brain-wide neuronal activity that emerge like travels between islands in a turbulent sea. These island travels are believed to underpin the remarkable powers of human cognition and to go awry in brain disorders. An understanding of brain state dynamics would unlock the mysteries of intelligence and the potential for therapeutic control. An IRCN team developed a neural stimulation device driven by particular brain state patterns for a behavior called "perceptual flexibility" where a person sees the perceptual flipping of a bistable visual illusion. They monitored whole brain neural dynamics until the expected patterns triggered an external stimulation to alter the percept. The study opens a window to the fine control of human consciousness and treating psychiatric conditions like autism (ASD) and ADHD.

Principal Investigator/Associate Professor Takamitsu Watanabe  
Daichi Watanabe, Takamitsu Watanabe (2023) eLife, DOI: 10.1523/ENEURO.0146-23.2023





# Nanoprobe Life Science: Exploring "Uncharted Nano World" of Life Sciences

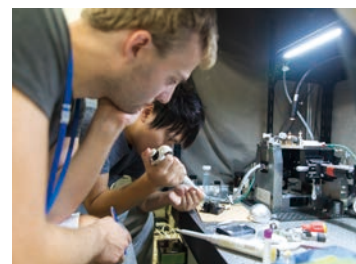
Scientists at the Nano Life Science Institute are making nanoscale observations of "life-phenomena" using unique scanning probe microscopes to demystify this "uncharted nano-world of life science" for the advancement of science.

## [Purpose of the Research]

### Nanoscale insights into dynamic mechanisms in life sciences

Countless molecules and cells that make up the body play critical roles in sustaining human life. However, humans are unable to directly observe the nanoscale dynamics and interactions of these molecules. This is the "uncharted nano-world" of life science.

NanoLSI is an interdisciplinary research institute where experts in nanometrology, life science, supramolecular chemistry, and mathematics are using cutting-edge scanning probe microscope technology to explore "unseen nano-cellular worlds." NanoLSI scientists directly observe complex mechanisms of "nanoscale life-phenomena" through world-class research and have created the new academic field of "nanoprobe life science" to advance knowledge in the life sciences.



An experiment using scanning probe microscope technology

## [Unique Features of WPI Center]

### Comprehensive programs for enhancing creativity and innovation



Group photo at the 8th Bio-SPM Summer School

NanoLSI organizes regular meetings for ideas to create new interdisciplinary fields: PI-centric NanoLSI Colloquia; T-Meetings, for "one-to-one inter-lab" interaction; and informal "plate in-hand" NanoLSI Luncheons. Outstanding ideas from these meetings receive "Transdisciplinary Research Promotion Grant" funding for "start-up projects."

Other activities include the Bio-SPM Summer School; Bio-SPM Collaborative Research; NanoLSI Visiting Fellows Program; and international symposia held at satellite hubs in the UK and Canada, with results fed back to young researchers at the Graduate School of Frontier Science Initiative, Division of Nano Life Science.

Through these various activities, NanoLSI serves as an international hub in the field of bioimaging and contributes to the promotion of advanced and innovative research.

## [Message from WADA Takashi, President of Kanazawa University]

### A virtuous cycle of people, knowledge, and society for advancing multidisciplinary research



Kanazawa University is establishing a global research hub based on its excellence in nurturing cutting-edge world-class research. Internationally renowned researchers and highly motivated students form the basis of a diverse group of scientists and engineers interacting to explore the infinite possibilities of creating new value for the benefit of society. As a center of knowledge that creates such a virtuous cycle of people, knowledge, and society, we are confident that the NanoLSI will contribute to global advances encompassing a wide range of disciplines.

## Message from FUKUMA Takeshi, Director of WPI-NanoLSI



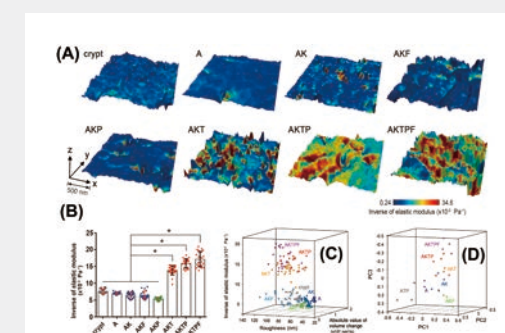
The origins of all the physical properties and phenomena can be explained by structures and dynamics of nanoscale (roughly 1/1,000,000,000 of a meter) species, such as atoms and molecules. We aim to develop new nanoprobe technologies that allow us to directly visualize nanodynamics in the uncharted nano-realms at the surface and interior of live cells. This will hereby contribute to dramatic progress in the life science field, and lead to the formation of a new academic discipline, "nanoprobe life science."

**Profile** Prof. Takeshi Fukuma received a PhD in Engineering from Kyoto University in 2003. Since then, he has worked at Kyoto University, Trinity College Dublin, and Kanazawa University. Since 2017, he has been the director of NanoLSI. He developed the world's first in-liquid frequency modulation atomic force microscopy (FM-AFM) that allows observation at atomic scale. He received the Young Scientists' Prize from the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT, 2011) and Japan Society for the Promotion of Science Prize (2018).

## Archive of research results

### Nano-scale physical properties of metastatic intestinal cancer cells identified by HS-SICM

We developed a method to simultaneously measure dynamic changes in topography and mechanical properties of living cells based on our high-speed scanning ion conductance microscopy (HS-SICM) technique. We applied this technique to genotype-defined mouse intestinal tumor-derived cells to elucidate the relationships between gene mutations and colon cancer phenotypes. These results indicate that the HS-SICM analysis is useful as a novel diagnostic strategy for predicting the metastatic ability of cancer cells. *Biomaterials* 280 (2022) 121256

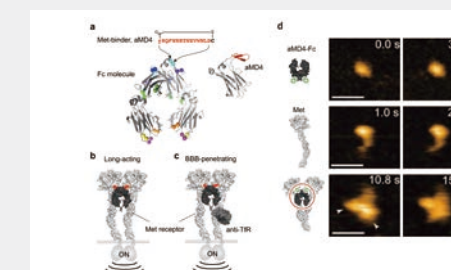


(A) Mapping of topography and inverse elastic modulus in the respective genotype cells. (B) Averaged-inverse elastic modulus (IE) of the representative genotype cells. (C) 3D representation of physical properties, such as IE, surface roughness, and the volume change. (D) The principal component analysis using the gene expression data of organoid cells for the representative genotype cells.

Dong Wang, Han Gia Nguyen, Mizuho Nakayama, Hiroko Oshima, Linhao Sun, Masanobu Oshima, Shinji Watanabe. *Small* published by Wiley-VCH GmbH, 2022

### Creation of high-performance artificial growth factor applicable for the treatment of intractable diseases

By interpolating cyclic peptide sequences that bind to growth factor receptor into scaffold proteins, we have created high-performance artificial growth factors that have the same activity as natural growth factor but that is highly stable in blood for a long time or that can be passing into the brain. High-speed atomic force microscopy (HS-AFM) revealed that this molecule dimerized the Met receptors, suggesting the induction of biological responses similar to those induced by the natural ligand. Our results may allow for designer protein therapeutics with enhanced stability and pharmacokinetics.



Generation of Artificial Growth Factors that Activate Met Receptors. (a) A pharmacophore sequence of Met receptor-binding macrocyclic peptide (aMD4; shown in red) was inserted into the loops (coloured balls) of human IgG1 Fc protein. (b) Long-acting artificial growth factor based on Fc. (c) Blood-brain-barrier (BBB) penetrating artificial growth factor based on an anti-TfR antibody. (d) Scanning by high-speed atomic force microscopy (HS-AFM).

Katsuya Sakai, Nozomi Sugano-Nakamura, Emiko Mihara, Nichole Marcela Rojas-Chaverra, Sayako Watanabe, Hiroki Sato, Ryu Imamura, Dominic Chih-Cheng Voon, Itsuki Sakai, Chihiro Yamasaki, Chise Tateno, Mikihiro Shibata, Hiroaki Suga, Junichi Takagi, Kunio Matsumoto. *Nature Biomedical Engineering* volume 7, pages164–176 (2023).



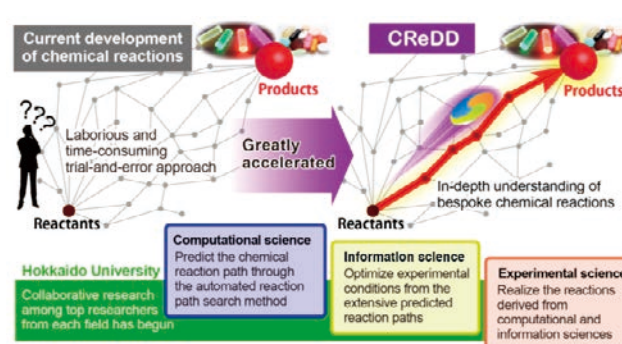
# In-depth Understanding and Efficient Development of Chemical Reactions

ICReDD aims to establish the scientific field of "chemical reaction design and discovery" through a combination of computational, information, and experimental sciences to efficiently develop new chemical reactions.

## [Purpose of the Research]

### The purposeful and efficient design of chemical reactions

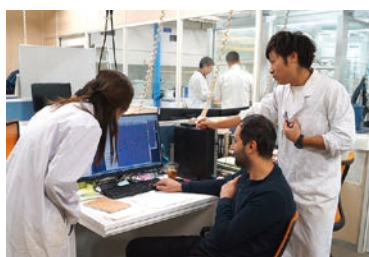
The current trial-and-error approach to the development of new chemical reactions is time-consuming and inefficient. ICReDD uses state-of-the-art reaction path search methods based on quantum chemical calculations and applies concepts of information science in order to extract meaningful information for experiments, thus narrowing down optimal experimental conditions. This approach considerably shortens the time required to develop chemical reactions and creates a feedback loop in which data obtained through experiments is circulated back to computations through information science.



The strategy of ICReDD

## [Unique Features of WPI Center]

### The MANABIYA Program fosters researchers proficient in three fields



Interdisciplinary discussion among young researchers

MANABIYA is a system to foster a new generation of researchers proficient in the three fields of computational, information and experimental sciences and to develop the new interdisciplinary academic field of "chemical reaction design and discovery" (ICReDD) worldwide. Within this system, ICReDD conducts joint research and education, trains individuals, and discovers new research ideas. Thus, ICReDD aims to form an academic network, becoming an internationally recognized research institution. In the academic branch, young researchers and graduate-level students from domestic and overseas institutions are invited to stay at ICReDD for 2 weeks to 3 months to acquire techniques for developing new chemical reactions. In the industry branch of the program, ICReDD promotes collaborations between faculty and corporate researchers in the form of consulting, research collaborations, and consortia.

## [Message from HOUKIN Kiyohiro, President of Hokkaido University]

### Shining a light from Hokkaido upon the world



As a flagship institute to help realize Hokkaido University's vision, "Shining a Light from Hokkaido Upon the World," ICReDD endeavors to develop new chemical reactions by fusing computational science, information science and experimental science to "shine the light of knowledge" from Hokkaido to the world. The university is providing full support for the further development of ICReDD, including the construction of a new building as well as personnel and financial resources. Please look forward to the future of ICReDD.

## Message from MAEDA Satoshi, Director of WPI-ICReDD



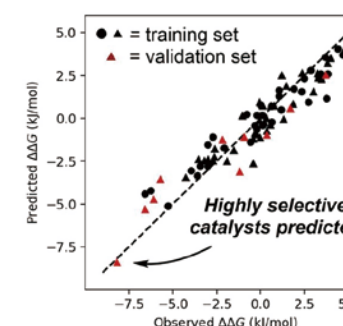
Reaction development that relies solely on the trial-and-error approach is too time-consuming to solve urgent global problems that include pollution as well as the scarcity of energy and resources. ICReDD will revolutionize the traditional approach to developing reactions by fusing computational, information, and experimental sciences. We strive to spread the benefits of this approach by establishing a global research center, integrating multiple disciplines. Our sincere hope is that ICReDD may contribute to a brighter and more prosperous future for all of humanity.

**Profile** After his PhD from Tohoku University, he served as a Postdoc at Emory University and Kyoto University. At 37, full Professor at Hokkaido University; at 39, youngest Director of a WPI center. Recipient of numerous awards, among them the JSPS Prize "to recognize and support young researchers with rich creativity and superlative research ability" and the WATOC Dirac Medal for an "outstanding theoretical and computational chemist under the age of 40." Developed the "artificial force induced reaction" (AFIR) method to calculate chemical reaction-path networks and predict unknown reactions.

## Archive of research results

### Synthesis robots and machine learning team up to discover highly selective asymmetric organocatalysts

ICReDD researchers Tsuji, List (organocatalyst), Nagata (synthesis robot), Sidorov and Varnek (information science) collaborated to utilize machine learning based on new 2D molecular descriptors to accurately predict and then verify highly selective asymmetric organocatalysts. Researchers developed new 2D molecular descriptors that explicitly represent cyclic and branched hydrocarbon structures, which are common in catalysts. The machine learning model was trained by experimental data obtained through a streamlined, semi-automatic process utilizing a synthesis robot. Through virtual screening, the model was able to predict catalyst structures with high selectivity, leading to the development of highly selective asymmetric organocatalysts based on this prediction.



Prediction of highly selective catalysts via machine learning using training data from moderately selective catalysts.

Nobuya Tsuji, Pavel Sidorov, Yuuya Nagata, Alexandre Varnek, Benjamin List, et al. (Angewandte Chemie International Edition, 2023. DOI: 10.1002/anie.202218659)

### Macro-scale visualization of molecular-scale damage in double-network hydrogels via luminescence

A collaboration between the experimental groups of Gong, Ito and Jin and the computational group of Maeda developed a method for being able to see molecular scale damage in double-network (DN) hydrogels in real-time via luminescence. Researchers incorporated prefluorescent probe molecules into the hydrogel and then stretched the gel to induce molecular scale damage, which generated radicals. These radicals reacted with the probe, making its luminescence stronger only in damaged locations. Computations suggested that a radical transfer process involving oxygen further increased luminescence, and experiments confirmed the important role of oxygen. This technique may prove useful for material evaluation in industry and the lab, as it enables the monitoring, in ambient environment, of molecular scale damage that can lead to macroscale material failure.



Visualization of molecular-scale damage (blue) in a hydrogel (green), induced by pressing with an "ICReDD" stamp.

Yong Zheng, Mingoo Jin, Satoshi Maeda, Hajime Ito, Jian Ping Gong, et al. (Journal of the American Chemical Society, 2023. DOI: 10.1021/jacs.2c13764)





# What Key Biological Traits Make Us "Human," and How Can Knowing these Lead Us to Better Cures for Disease?

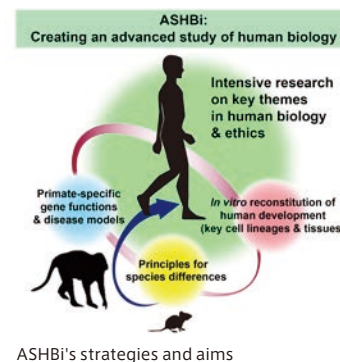
ASHBi investigates the core concepts of human biology with a particular focus on genome regulation and disease modeling, creating a foundation of knowledge for developing innovative and unique human-centric therapies.

## [Purpose of the Research]

### Creating an advanced study of human biology

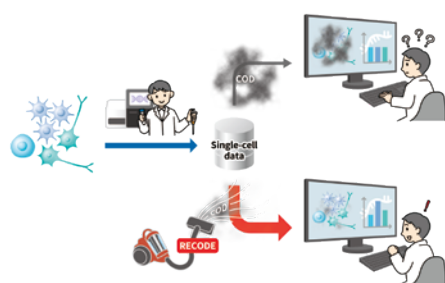
#### ASHBi's goals:

- 1) Promote the study of human biology, with a sharp focus on genome regulation
- 2) Clarify the principles defining the species differences and human traits
- 3) Generate primate models for intractable human diseases
- 4) Reconstitute key human cell lineages or tissues in vitro
- 5) Contribute to formalizing an international ethics standard for research on human biology



## [Unique Features of WPI Center]

### Facilitating fusion research with top-down & bottom-up manners



RECODE: a new noise reduction method for scRNAseq data (Imoto et al., 2022)

Creating advanced studies of human biology, ASHBi strongly pursues the development of novel principles through fusion of new ideas in biology, mathematics and ethics provoked by deep understanding of different disciplines.

#### Flagship Project

The 5 Flagship Projects represent key research direction of ASHBi and involve close collaborations/interactions among ASHBi PI groups. These projects contribute to addressing the fundamental question of our Institute: "what makes us human?" in a top-down manner.

#### Fusion Research Grant

Supporting new collaborations among young researchers from multiple ASHBi groups that aim to elucidate new scientific principles based on fused disciplines, we have established the ASHBi Fusion Research Grant.

## [Message from MINATO Nagahiro, President of Kyoto University]

### Shining light on ourselves, for the new era of human biology



ASHBi, established in 2018, seeks to elucidate the fundamentals of human development and pathogenesis. They integrate inquiry into the life sciences, mathematics, and humanities, contributing to the flexible and dynamic creation of knowledge as envisioned by KyotoU's status as a Designated National University. As part of the university's further global expansion of its research, we expect ASHBi to pioneer the field of human biology.

## Message from SAITOU Mitinori, Director of WPI-ASHBi



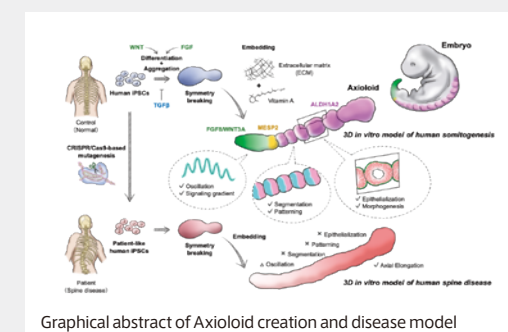
Understanding the basic biology of human beings is a fundamental challenge in life sciences. The knowledge gleaned from model organisms has often been difficult/impossible to translate to humans due to species differences in the regulations of key basic pathways. Accordingly, ASHBi will target humans and non-human primates as major research subjects in an effort to uncover the key principles of human traits and disease states, through a multi-disciplinary science approach. This takes place in our open and flexible international research environment, with full support for motivated, early-career investigators.

**Profile** SAITOU Mitinori has spent decades extensively investigating the genetic and epigenetic mechanisms that determine the development of germ cells, the cells fundamental to all life. His recent works include the generation of human oogonia-like cells from iPS cells and an ex vivo reconstitution of fetal oocyte development in humans and monkeys. He is the recipient of numerous prestigious awards including the Imperial Prize, the Japan Academy Prize, the Asahi Prize and the International Society for Stem Cell Research Momentum Award.

## Archive of research results

### Sculpting the human body plan in a dish

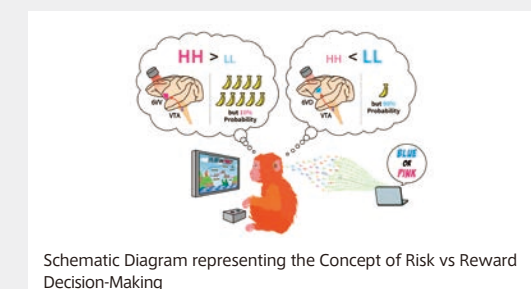
The human body consists of repetitive segments, and the most primitive version of such segments is the somite, which contributes to the formation of various structures in our body. The Axioloid, a 3-D model that can recapitulate the early development of our body, is created from human iPSC-derived cells with Matrigel and Retinoid (Vitamin A). The Axioloid is remarkably similar to Carnegie Stage 9-12 human embryos both morphologically and molecularly. By using iPSCs containing mutations commonly associated with congenital spine disease, the Axioloid mimics the morphological deficits observed in patients. This 3-D model and the synthetic approach open the door to a better understanding of human early development and the etiology of other congenital disease.



Yamanaka, Y. et al., (2022). Reconstituting human somitogenesis in vitro. *Nature*, DOI: 10.1038/s41586-022-05649-2

### Lighting the circuits to risky decision-making

Life consists of infinite possibilities, that then require decision-making in order to determine the best course of action. Although these higher cognitive processes occur seamlessly within the cerebral cortex, the exact underlying neural circuits have remained elusive due to the technical difficulty. In this study, by precise targeting of specific neural circuit with the optogenetics technology, the researchers reported that two neighboring regions in the frontal cortex (the dorsal and the ventral part of the Ventral Broadman area 6: 6VV and 6VD) influence this decision-making. These areas receive the dopaminergic input from the ventral tegmental area (VTA), which is essential for reward-associated processes. This optogenetics approach reveals that the VTA-6VV pathway shows High risk-High return preference and the VTA-6VD pathway prefers Low risk-Low return. Additionally, the VTA-6VV stimulation accumulates over time, providing the insight into potential mechanisms underlying pathological risk-task disorders such as gambling disorder.



Sasaki, R., et al., (2024). Balancing Risk-Return Decisions by Manipulating the Mesofrontal Circuits in Primates. *Science*, DOI: 10.1126/science.adj6645



# Bringing "New Eyes" to Humanity to See This Beautiful World

The "quantum field" is the origin of everything.

QUP will invent and develop new systems for measuring quantum fields.

With these new systems, we will bring innovation to human society,

while working on basic research on the space-time and matter of the universe.

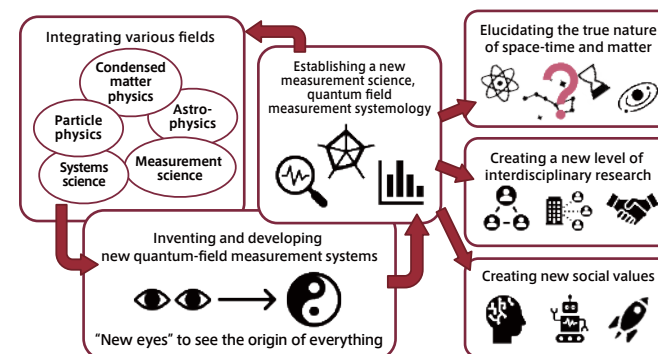
## [Purpose of the Research]

### Inventing and developing new quantum-field measurement systems

Quantum fields are space-time with particles and quasiparticles created and annihilated, and associated physical quantities.

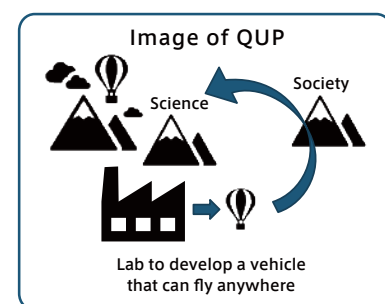
QUP aims to invent and develop new systems for measuring quantum fields by integrating particle physics, astrophysics, condensed matter physics, measurement science, and systems science. The new systems must bring innovation to measurements in cosmological observations and particle experiments, and elucidate the true nature of space-time and matter.

Furthermore, the new measurement systems create new social values through application to other fields and social implementation.



## [Unique Features of WPI Center]

### Conducting interdisciplinary research on "means" or "methodologies"



QUP will conduct interdisciplinary research on "means" or "methodologies." We are the only center in the world that integrates the invention of new measurement principles for experimental cosmology and particle physics, the development of systems to realize these principles, and the execution of projects.

Our unique approach will establish a new measurement science, quantum field measurement systemology, as a science of means through the above practices and create a new level of fusion of various research areas beyond physics and new social values through application to other fields and social implementation.

## [Message from ASAI Shoji, Director General of KEK]

### Quantum-field measurement opens the door to future research



QUP's goal to develop and invent the quantum-field measurement system is paramount for High Energy Accelerator Research Organization (KEK). Its various research platforms for infinite fields of research, including particle physics, material science, biology, and archeology, perpetually require superior-quality measurements. We strongly encourage QUP's mission to develop "new eyes" to serve as a catalyst for groundbreaking research at KEK. From there, it will continue to advance social implementation.

## Message from HAZUMI Masashi, Director of WPI-QUP

Marcel Proust said, "The only real voyage of discovery consists not in seeking new landscapes, but in having new eyes."

The quote precisely conveys our spirit, and QUP brings "new eyes" to humanity to see this beautiful world (the true nature of space-time and matter). I would like to make QUP a place where researchers from different fields can meet, ideas can spark, and dreams can come true. And I dream that QUP will become a cornerstone of human happiness in this way.

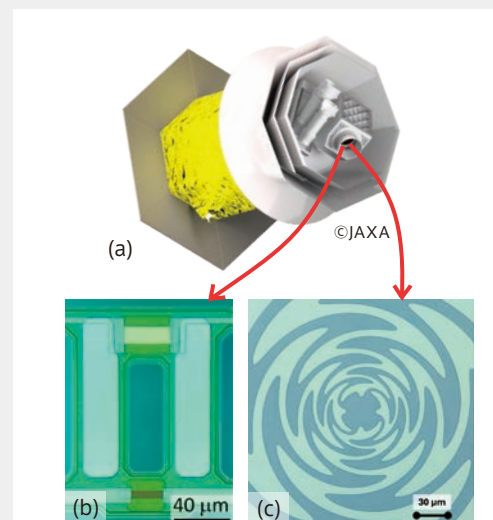


**Profile** After receiving his Ph.D. from the University of Tokyo, Hazumi served as an assistant professor at Osaka University and an Associate Professor at the High Energy Accelerator Research Organization (KEK) before becoming a Professor at KEK in 2007. He is also a project professor at the Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (Kavli IPMU), the University of Tokyo, since 2014, and a Specially-Appointed Professor at the Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency (ISAS/JAXA), since 2020. His research focuses on particle physics and experimental cosmology. He received the 4th JSPS Prize in 2007 for discovering CP violation in B-meson decays. He proposed the LiteBIRD satellite project in 2008 and currently serves as its global principal investigator.

## Archive of research results

### Development of the new superconducting sensor for implementation in the LiteBIRD satellite

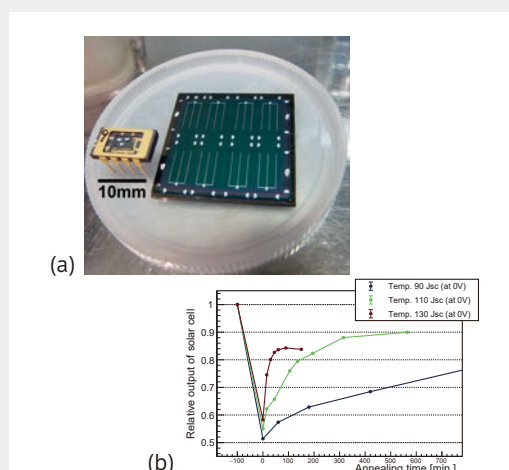
LiteBIRD is a JAXA-led satellite project targeting a launch in 2032 to observe the universe before the hot Big Bang. QUP Director Hazumi is the founder and PI of this mission. QUP is developing "new eyes" to catch the polarized microwave, which keeps the information of the inflation at the beginning of the Universe. QUP scientists designed superconducting detectors (TES bolometers) and sinuous antennas, while the QUP Berkeley satellite fabricated test samples in preparation for the first-ever use of this type of device in space.



A conceptual design of the LiteBIRD satellite (a) and a prototype of the superconducting sensor (b) and sinuous antenna (c).

### "CIGS semiconductor detector" has a recovery mechanism from radiation damage

The Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIGS) semiconductor is famous for its self-repair mechanism against radiation damage. It has amassed substantial attention for applications in high radiation environments, such as in particle detectors and cameras. The world's first CIGS particle detector was successfully developed at QUP, detecting single Xe ions with confirmed recovery from radiation damage through heat treatment. A detailed investigation of the temperature dependence of the recovery time was performed using CIGS solar cells. A rapid recovery was seen at temperatures at 130 °C.



(a) QUP CIGS particle detector and solar cell. (b) The time dependence of CIGS solar cell with  $7.5 \times 10^{15}$  MeV  $n_{eq}/cm^2$  proton irradiation. While comparing heat treatment temperatures of 90 °C, 110 °C, and 130 °C, significant temperature dependence was observed.





# Taking on a Grand Challenge: Conquering All Diseases

PRIME will create a new scientific field "Human Metaverse Medicine," for comprehensive and continuous understanding of the disease progression that occurs within each individual, resulting in prevention and effective treatment strategies. This discipline will significantly enhance well-being and foster sustainability in the future.

## [Purpose of the Research]

### Creation of a new scientific field "Human Metaverse Medicine"

We are embarking on the creation of digital twins of human body (termed "biodigital twins") that replicate biological phenomena and pathological processes within human organs in cyberspace. This platform pioneers a novel scientific field, "Human Metaverse Medicine," uncovering the mechanism underlying human diseases and predicting disease onset, progression and treatment response. Our ultimate goal is to develop personalized prevention and treatment approaches.

Furthermore, we are committed to advance the human metaverse as a premier information platform for the global dissemination and utilization of biodigital twins among researchers and medical professionals. Another objective is to establish a research environment where researchers from diverse backgrounds come together, fostering interdisciplinary and integrative research within a "under one roof" framework. This approach will also serve as a training ground for nurturing the next generation of leaders in this novel scientific field.



## [Unique Features of WPI Center]

### Internationally cutting-edge research creating biodigital twins

PRIME brings together outstanding researchers from two advanced fields: human-organoid biomedical science and information/mathematical sciences. It marks the world's first comprehensive integration of these two disciplines. The primary focus of PRIME lies in the creation of biodigital twins and the exploration of diseases affecting vital organs such as the eyes, liver, brain, heart, reproductive organs, and bones. These diseases are prevalent among aging populations. Furthermore, we are actively addressing the ethical, legal, and social issues (ELSI) associated with this research. We have established satellite research institutes in Canada, Mexico, and two locations in Japan. Additionally, we are engaged in collaborative efforts with research institutions in the United States, Ireland, and France to expedite international partnerships in this field.



WPI-PRIME International Symposium

## [Message from NISHIO Shojiro, President of Osaka University]

### Toward the realization of a healthy and sustainable society



PRIME brings together world-class researchers in the fields of human-organoid biomedical science and information/mathematical sciences to pioneer a new scientific field, "Human Metaverse Medicine," enabling the development of personalized preventive methods and curative treatments by elucidating disease mechanisms and states based on the construction of biodigital twins of humans. The society that PRIME is aiming at clearly fits the motto specified in our OU Master Plan: "Creating a society where each member leads a meaningful and fulfilling life."

## Message from NISHIDA Kohji, Director of WPI-PRIME



Conventional medicine has found causes for diseases that have a clear causal dependence on single genetic or environmental factors. Nowadays, life expectancy is significantly increasing, and aging-related diseases such as diabetes, dementia, and heart failure, is exploding, posing a threat to human population. Many of these diseases are caused by complex interactions between genetic and environmental factors over time, thus it is extremely difficult to gain a comprehensive understanding of their pathogenic mechanisms using animal models. We are attempting to eradicate all diseases by utilizing a novel approach to elucidating disease causes via metaverse.

**Profile** Obtained his MD and PhD from Osaka University, Faculty of Medicine. He initially practiced as a clinician until his relocation to the Salk Institute, and continued his career at Osaka and Tohoku Universities. He is the chairperson in the Department of Neural and Sensory Organ Surgery at Osaka University Graduate School of Medicine from 2010. With remarkable achievements, particularly in the fields of cornea and regenerative medicine, notably being the first physician to transplant iPS-derived corneal epithelium in four patients. His contributions have been recognized with prestigious awards, including the MEXT Minister's Award in Science and Technology, the Asia Pacific Eye 100 list (The 100 most Influential Ophthalmologists).

## Archive of research results

### Mice born from two fathers —the first study in the world using iPS cells—

Research groups in PRIME use various organoids derived from iPS cells in their investigations, including those derived from ovaries. The utilization of ovarian organoids aids in clarifying the fundamental question underlying developmental biology, namely the genesis of living organisms.

Dr. Katsuhiko Hayashi's research group achieved a significant breakthrough by generating mice from male cells. Initially, they generated iPS cells from the tail tissue of male mice, which inherently carries female chromosomes. Through the fertilization of these ova with spermatozoa from different male mice, they validated the efficacy of their innovative method in the birth of healthy pups. This novel approach holds promise for potential applications in infertility treatment.



*Nature* (2023)  
DOI: 10.1038/s41586-023-05834-x

### Breakthrough of screening analysis algorithm ACIDES

Protein screening represents a method used for both the creation and assessment of proteins and their functions. It stands as a major technology within medical research, an area in which PRIME is deeply engaged.

Dr. Takahiro Nemoto and his research team have pioneered the development of a screening analysis algorithm tailored for protein screening experiments, named ACIDES (Accurate Confidence Intervals for Directed Evolution Scores). Collaborating with Institut de la Vision in France, they have achieved significant breakthroughs in obtaining precise statistical confidence scores. They succeeded in gaining accurate statistical confidence scores, by combining statistical model which writes large dispersion of NGS noise and mathematical model of protein screening. ACIDES potentially may improve the advancement of viral vectors for gene therapy, personalized treatments such as genomic drug discovery, and other related fields.



*Nature Communications* (2023)  
DOI: 10.1038/s41467-023-43967-9



# International Institute Developing Artificial Matter to Secure a Sustainable Prosperous Future

While introducing a new research paradigm of “knotted chiral meta matter,” SKCM<sup>2</sup> aspires to create artificial materials with highly desirable material properties by design to help address challenging global problems, like the growing energy demand and climate change.

## [Purpose of the Research]

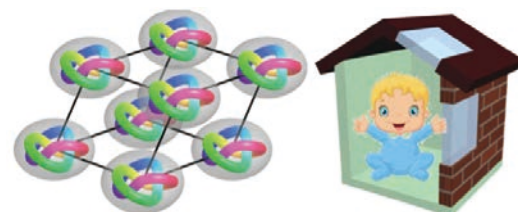
### Overcoming nature's limitations with artificial knotted chiral meta matter

We probe fundamental laws of nature at scales from its smallest building blocks to the entire Universe by recreating natural phenomena in experimentally accessible systems, like liquid crystals used in displays. We create crystals from knots in fields with fundamental particle properties and other artificial analogs of natural matter, making materials by design. By knotting and knitting physical fields and molecules, much like in the Mizuhiki art forms, we enable new physical behavior and desirable properties that overcome nature's limitations. For example, our metamaterials may enable thermal superinsulation that could save energy for heating and cooling buildings.

## [Unique Features of WPI Center]

### Interlinking topology and chirality knowledge research across disciplines and scales

SKCM<sup>2</sup> is the only institute globally that develops knots in fields as designable building blocks of artificial matter, thus introducing a new research paradigm of “knotted chiral meta matter.” In this process, researchers cross-pollinate mathematical knot theory and chirality knowledge across disciplines and scales. They then design and create materials from the artificial knot-like particles to exhibit highly unusual and technologically useful properties, overcoming nature's limitations, with the priority being the physical properties needed to mitigate climate change by saving energy and enabling a sustainable future.



## [Message from OCHI Mitsuo, President of Hiroshima University]

### World-class research on knotted chiral meta matter from Hiroshima to the world



SKCM<sup>2</sup> will develop artificial analogs of molecules, atoms, and even smaller building blocks of nature to gain a deeper understanding of the world around us. Also, SKCM<sup>2</sup> will introduce designable materials with highly desirable properties not encountered in nature and create foundations for technological innovation to solve global problems and enable a sustainable future. Hiroshima University will provide strong support for world-class research activities at SKCM<sup>2</sup> by focusing on human and financial support and developing a research environment.

## Message from Ivan Smalyukh, Director of WPI-SKCM<sup>2</sup>



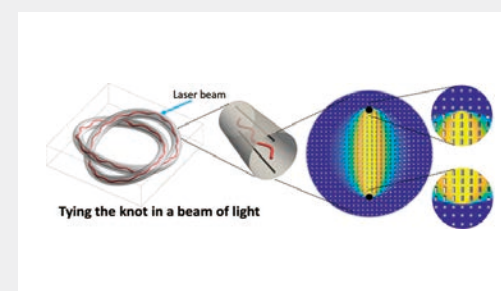
The slogan “building a sustainable world, knot by knot” embodies our vision to conduct highly fundamental interdisciplinary research on knotted chiral meta matter that not only expands the bulk of fundamental scientific knowledge but also contributes to achieving a sustainable future. The SKCM<sup>2</sup> is on a mission to develop artificial analogs of nature's building blocks and materials to gain a deeper understanding of the world around us and overcome limitations of natural systems. While pursuing this research, we also create a testbed for research-based graduate education reforms in Japan and beyond, connecting young talent globally.

**Profile** | Smalyukh is a world-leading physicist developing artificial forms of matter not encountered in nature, often aiming to address challenging problems like the growing energy demand. He received many awards, including Bessel, NASA iTech and Glenn Brown Awards, Career Awards from the International Liquid Crystal and American Physical Societies, and the Presidential Early Career Award from the Office of Science and Technology of the U.S. White House. He is an elected fellow of the American Physical Society, SPIE, and Optica.

## Archive of research results

### Steering of light by knotted vortices

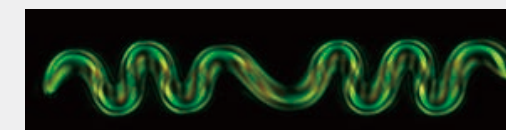
We demonstrated how optical axis patterns with singular vortex lines can steer beams of light. External stimuli can reconfigure these light-matter interactions. Periodic arrays of vortices enable the vortex-mediated fission of optical solitons, yielding their lightning-like propagation patterns. In high-birefringence liquid crystals vortex lattices can steer light into closed loops or even knots and may find technological uses in beam steering, telecommunications, virtual reality implementations and anticounterfeiting, as well as offering a model system for probing interaction of light with defects, including imagination-capturing light-steering action of cosmic strings, elusive defects in cosmology. [Nature Mater 22, 64-72 (2023)]



Nature Materials 22, 64-72 (2023)  
doi:10.1038/s41563-022-01414-y

### Möbius strip topology in liquid crystals

Topological solitons appear in different research fields, but examples of spatially localized objects with coexisting solitonic structures and singular defects are rare. We show how twist domain walls can co-self-assemble with vortices to form spatially localized topological objects with spontaneous folding, which we call ‘möbiusons’ because of their topology of molecular alignment field resembling that of the Möbius strip's surface. Upon supplying energy as electric pulses, möbiusons exhibit rotational and translational motions and topological cargo-carrying abilities controlled by tuning the applied fields. We show examples of encoding information by manipulating folds in such structures. [Nature Phys 19, 451-459 (2023)]



Nature Physics 19, 451-459 (2023)  
doi:10.1038/s41567-022-01851-1





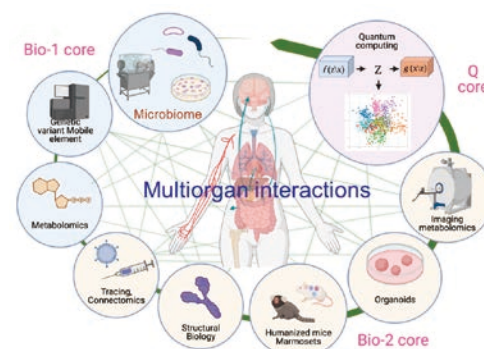
# Integrating Biology, Microbiome Research, and Quantum Computing for Healthy Longevity

Our health is maintained by the interplay between multiple organs. Bio2Q will collect data on how various organs and the microbiome interact in disease, development and aging, and develop a new life science to help us better understand human health.

## [Purpose of the Research]

### Elucidating the mechanisms of human homeostasis

Our research will focus on understanding how humans process external environmental information and maintain homeostasis by dispersing and integrating signals among cells/organs at resolutions higher than those achieved so far. We will address the question of how human homeostasis is regulated by the epithelial, immune, nervous, and metabolic systems, with an emphasis on microbiome analysis. Furthermore, we will develop a novel pipeline that implements quantum computing together with artificial intelligence (AI) to robustly analyze the collected multiomics data and uncover novel multiorgan interaction pathways.



## [Unique Features of WPI Center]

### Integrating world-class research and technology in a single organization

Bio2Q will establish a new life science methodology to discover and validate previously unexplored mechanisms of multiorgan homeostasis. To this end, Bio2Q brings together world leaders in microbiome research, organoid technology, metabolite analysis, neural circuit analysis, and quantum computing. The center promotes interdisciplinary research by utilizing cutting-edge technologies in three research cores: multidimensional data analysis core, homeodynamics mechanistic analysis core, and quantum computing core. It also fosters future leaders in integrated research by offering cross-core mentoring and by establishing a joint program between the Graduate School of Medicine, Graduate School of Pharmaceutical Sciences, and Graduate School of Science and Technology.

## [Message from ITOH Kohei, President of Keio University]

### Fostering integrative knowledge generation and organic growth as a leading research university



The Bio2Q research center integrates medicine, pharmacy, and science and technology to decipher complex human multiorgan regulatory mechanisms in collaboration with top research institutions worldwide. Keio University aims to create a unique research center with a strong global presence to foster integrative knowledge generation and achieve organic growth as a leading research university. Bio2Q will be central to realizing this plan, providing maximum organizational support, and helping accelerate higher education reform.

## Message from HONDA Kenya, Director of WPI-Bio2Q

As Japan's first microbiome research center, Bio2Q aims to understand the interactions between humans and their microbiome at the molecular level. We combine quantum computing with bioanalytical methods to understand such complexity and hope to develop new therapies for diseases that are currently difficult to treat. We are committed to making our organization globally competitive to attract a diverse team of researchers.



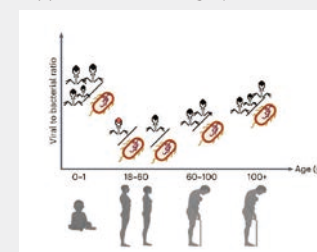
## Profile

After earning his M.D. degree from Kyoto University in 2001, he held various academic positions. He served as an Assistant Professor in the Department of Immunology at the Graduate School of Medicine, the University of Tokyo, followed by appointments as an Associate Professor in the Department of Immunoregulation at Osaka University Graduate School of Medicine and later in the Department of Immunology at the Graduate School of Medicine, the University of Tokyo. In 2013, he was appointed as the Team Leader of the lab for Gut Homeostasis at the Center for Integrative Medical Sciences, RIKEN (currently holding an adjunct position). Since 2014, he has been a Professor in the Department of Microbiology and Immunology at Keio University School of Medicine. Additionally, he is serving as Director of the WPI-Bio2Q Center at Keio University from 2022. He has been consistently recognized as a Clarivate Highly Cited Researcher from 2014 to 2023.

## Archive of research results

### Centenarians have a diverse gut virome with the potential to modulate metabolism and promote healthy lifespan

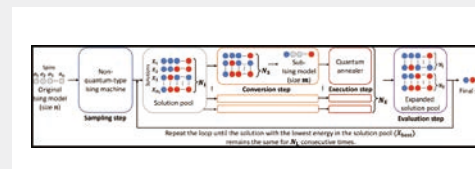
Distinct gut microbiome ecology may be implicated in the prevention of aging-related diseases as it influences systemic immune function and resistance to infections. Yet, the viral component of the microbiome throughout different stages in life remains unexplored. The team at the Broad Institute, in collaboration with members of Bio2Q, conducted a comprehensive profiling of the gut virome in centenarians. This research utilized previously published metagenomes obtained from a cohort of 195 individuals from Japan and Sardinia. Compared with gut viromes of younger adults (>18 yr) and older individuals (>60 yr), centenarians had a more diverse virome including previously undescribed viral genera, such as viruses associated with Clostridia. A population shift towards higher lytic activity was also observed. Finally, we investigated phage-encoded auxiliary functions that influence bacterial physiology, which revealed an enrichment of genes supporting key steps in sulfate metabolic pathways. Phage and bacterial members of the centenarian microbiome displayed an increased potential for converting methionine to homocysteine, sulfate to sulfide and taurine to sulfide. A greater metabolic output of microbial hydrogen sulfide in centenarians may in turn support mucosal integrity and resistance to pathobionts.



Nature Microbiology  
2023; 8: 1064–1078  
DOI: 10.1038/s41564-023-01370-6

### Hybrid optimization method using simulated-annealing-based ising machine and quantum annealer

Ising machines have been developed as fast and highly accurate solvers for combinatorial optimization problems. They are classified according to their internal algorithms, with examples including simulated-annealing-based Ising machines (non-quantum Ising machines) and quantum-annealing-based Ising machines (quantum annealers). Here, we have investigated the performance of a hybrid optimization method that exploits the advantages of both types, using a non-quantum Ising machine to improve the performance of the quantum annealer. In this method, the non-quantum Ising machine first solves an original Ising model multiple times during preprocessing. Then, sub-Ising models of reduced size generated by spin-fixing are solved by a quantum annealer. The performance of the method is evaluated by simulations using Simulated Annealing (SA) as a non-quantum Ising machine and D-Wave Advantage as a quantum annealer. In addition, the parameter dependence of the hybrid optimization method is investigated. The method outperforms the preprocessing SA and the quantum annealer alone in fully connected random Ising models.



J. Phys. Soc. Jpn. 92, 124002 (2023)  
DOI: 10.7566/JPSJ.92.124002



Tohoku University & JAMSTEC  
Advanced Institute for Marine Ecosystem Change (WPI-AIMEC)



# Unraveling Marine Ecosystem Change by Integrating Physics, Ecology, and Mathematical Science



To understand and predict the environmental response and adaptive mechanisms of marine ecosystems that play crucial roles in maintaining the Earth system, we will form an international research center with world-class scientists and contribute to the sustainability of marine ecosystems and human society.

## Message from SUGA Toshio, Director of WPI-AIMEC

Oceanography has developed individually by the physical, chemical, and biological sciences of the oceans. Progress has been made; however, mutual understanding has become difficult as research has deepened. To tackle the problem of changes in marine ecosystems in response to environmental change, fusion research has become indispensable. We will take on the challenges of studying climate-ocean-ecosystem interactions, and response and adaptation and its prediction of marine ecosystems through an approach that integrates multiple disciplines related to marine ecosystems. The scientific knowledge obtained through AIMEC's research activities will make a decisive contribution as the comprehensive knowledge towards the healthy oceans together with various stakeholders.

### [Purpose of the Research]

Understanding and forecasting response and adaptive mechanisms of marine ecosystems to Earth system dynamics

We challenge research on: 1) climate-ocean-ecosystem interactions, 2) response and adaptive mechanisms of marine ecosystems to environmental change, and 3) prediction of changes in marine ecosystems, using an integrative approach in physics, ecology, and mathematical and data science. Focusing on the phenomenon of "regime shift," in which the marine ecosystems change rapidly over a wide area, we use multiple data to deepen understanding of connectivity, stability, and adaptability in the marine ecosystems. Furthermore, by utilizing AI, we promote integrative analysis of big data in marine physics and ecology and build an advanced model for marine ecosystem change. This will lead to creating "Ocean-Ecosystem Change Systematics" as a new academic field.

### [Unique Features of WPI Center]

Fusion of Tohoku University's research-education and JAMSTEC's cutting-edge research functions

We will establish an interlaboratory system that links Tohoku University's advanced basic research and education with JAMSTEC's cutting-edge research capacity and computational infrastructure for marine science. Under this system, around 100 world-class scientists and outstanding young researchers will be brought together. In addition, the University of Hawaii will be an international satellite center, based on the past long-term collaborations, and linked to its marine research for international cross-disciplinary research. The advanced International Joint Graduate Degree Program and postdoctoral system will activate the international brain circulation and foster the next generation of global human resources.

### [Message from TOMINAGA Teiji, President of Tohoku University and YAMATO Hiroyuki, President of JAMSTEC]

Accelerating marine fusion research and higher education through host strengths



Tohoku University will support WPI-AIMEC by utilizing our strengths in basic science and higher education to foster young world-leading human resources and to promote international brain circulation and cross-disciplinary research.



JAMSTEC will support WPI-AIMEC toward elucidating the mechanisms of marine ecosystem change and forecasting by utilizing our advanced ocean research infrastructures and computational platforms.



# Information / 連絡先



Tohoku University  
**Advanced Institute for Materials Research (WPI-AIMR)**  
2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan  
Phone : +81 22 217 5922 Fax : +81 22 217 5129  
Email : aimr-soumu@grp.tohoku.ac.jp  
URL : www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp  
www.facebook.com/TohokuUniversity.AIMR  
twitter.com/TohokuUnivAIMR



The University of Tokyo  
**International Research Center for Neurointelligence (WPI-IRCN)**  
**The University of Tokyo Institutes for Advanced Study**  
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan  
Phone : +81 3 5841 4861 Fax : +81 3 5841 0738  
Email : pr.ircn@gs.mail.u-tokyo.ac.jp  
URL : ircn.jp/en



The University of Tokyo  
**Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (Kavli IPMU, WPI)**  
**The University of Tokyo Institutes for Advanced Study**  
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8583, Japan  
Phone : +81 4 7136 4940 Fax : +81 4 7136 4941  
Email : inquiry@ipmu.jp  
URL : www.ipmu.jp



Kanazawa University  
**Nano Life Science Institute (WPI-NanoLSI)**  
Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan  
Phone : +81 76 234 4550 Fax : +81 76 234 4559  
Email : nanolsi-office@adm.kanazawa-u.ac.jp  
URL : nanolsi.kanazawa-u.ac.jp/en



Kyoto University  
**Institute for Integrated Cell-Material Sciences (WPI-iCeMS)**  
**Kyoto University Institute for Advanced Study**  
Yoshida Ushinomiya-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan  
Phone : +81 75 753 9749 Fax : +81 75 753 9742  
Email : info@icems.kyoto-u.ac.jp  
URL : www.icems.kyoto-u.ac.jp  
twitter.com/iCeMS\_KU



Hokkaido University  
**Institute for Chemical Reaction Design and Discovery (WPI-ICReDD)**  
Kita 21, Nishi 10, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 001-0021, Japan  
Phone : +81 11 706 9649 Fax : +81 11 706 9652  
Email : office@icredd.hokudai.ac.jp  
URL : www.icredd.hokudai.ac.jp



Osaka University  
**Immunology Frontier Research Center (WPI-iFReC)**  
3-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan  
Phone : +81 6 6879 4275 Fax : +81 6 6879 4272  
Email : ifrec-office@ifrec.osaka-u.ac.jp  
URL : www.ifrec.osaka-u.ac.jp/en  
facebook.com/Osaka.Univ.iFReC



Kyoto University  
**Institute for the Advanced Study of Human Biology (WPI-ASHBi)**  
**Kyoto University Institute for Advanced Study**  
Yoshida Konoe-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan  
Phone : +81 75 753 9882  
Email : ASHBi-info@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp  
URL : ashbi.kyoto-u.ac.jp  
twitter.com/Ashbi\_KyotoU



National Institute for Materials Science (NIMS)  
**Research Center for Materials Nanoarchitectonics (WPI-MANA)**  
1-1 Namiki, Tsukuba, Ibaraki 305-0044, Japan  
Phone : +81 29 860 4709 Fax : +81 29 860 4706  
Email : mana@nims.go.jp  
URL : www.nims.go.jp/mana  
facebook.com/wpi\_mana  
twitter.com/wpi\_mana  
www.instagram.com/wpi\_mana/



High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
**International Center for Quantum-field Measurement Systems for Studies of the Universe and Particles (WPI-QUP)**  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan  
Phone : +81 29 879 6300 Fax : +81 29 864 5430  
Email : qup\_pr@ml.post.kek.jp  
URL : www2.kek.jp/qup/en



Kyushu University  
**International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (WPI-I<sup>2</sup>CNER)**  
744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan  
Phone : +81 92 802 6932 Fax : +81 92 802 6939  
Email : wpi-office@i2cner.kyushu-u.ac.jp  
URL : i2cner.kyushu-u.ac.jp/en/  
facebook.com/I2CNER.news  
twitter.com/I2CNER



Osaka University  
**Premium Research Institute for Human Metaverse Medicine (WPI-PRIME)**  
2-2 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan  
Phone : +81 6 6210 8314 Fax : +81 6 6210 8319  
Email : info@prime.osaka-u.ac.jp  
URL : prime.osaka-u.ac.jp  
facebook.com/Osaka.Univ.PRIME/  
twitter.com/WPI\_PRIME/



University of Tsukuba  
**International Institute for Integrative Sleep Medicine (WPI-IHS)**  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8575, Japan  
Phone : +81 29 853 5857 Fax : +81 29 853 3782  
Email : wpi-ihs-alliance@ml.cc.tsukuba.ac.jp  
URL : wpi-ihs.tsukuba.ac.jp  
facebook.com/WPI.IHS  
instagram.com/wpi.ihs



Hiroshima University  
**International Institute for Sustainability with Knotted Chiral Meta Matter (WPI-SKCM<sup>2</sup>)**  
2-313, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-0046, Japan  
Phone : +81 82 424 8079  
Email : chiral-secretary@office.hiroshima-u.ac.jp  
URL : wpi-skcm2.hiroshima-u.ac.jp



Tokyo Institute of Technology  
**Earth-Life Science Institute (WPI-ELSI)**  
\*Tokyo Institute of Technology and Tokyo Medical and Dental University are merged to establish Institute of Science Tokyo in October 2024.  
2-12-1 IE-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550, Japan  
Phone : +81 3 5734 3414 Fax : +81 3 5734 3416  
Email : information@elsi.jp  
URL : www.elsi.jp/en  
www.facebook.com/ELSIorigins  
www.twitter.com/ELSI\_origins



Keio University  
**Human Biology-Microbiome-Quantum Research Center (WPI-Bio2Q)**  
35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo 160-8582, Japan  
Phone : +81 3 6709 8106 Fax : +81 3 6709 9136  
Email : bio2q@info.keio.ac.jp  
URL : www.bio2q.keio.ac.jp



Nagoya University  
**Institute of Transformative Bio-Molecules (WPI-ITbM)**  
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan  
Phone : +81 52 747 6843 Fax : +81 52 789 3240  
Email : office@itbm.nagoya-u.ac.jp  
URL : www.itbm.nagoya-u.ac.jp  
facebook.com/NagoyaUniv.ITbM  
twitter.com/NagoyaITbM



Tohoku University & JAMSTEC  
**Advanced Institute for Marine Ecosystem Change (WPI-AIMEC)**  
6-3 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan  
Phone : +81 22 795 5614  
3173-25 Showa-cho, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-0001, Japan  
Phone : +81 45 778 3811 Fax : +81 45 778 5498  
Email : aimec-contact@grp.tohoku.ac.jp  
URL : wpi-aimec.jp/en/



# 目次

プログラム委員長からのメッセージ	43
世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) について	44
WPI 拠点	
東北大学：材料科学高等研究所（WPI-AIMR）	48
東京大学：カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU, WPI）	50
京都大学：物質－細胞統合システム拠点（WPI-iCeMS）	52
大阪大学：免疫学フロンティア研究センター（WPI-IFReC）	54
物質・材料研究機構（NIMS）：ナノアーキテクトニクス材料研究センター（WPI-MANA）	56
九州大学：カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（WPI-I <sup>2</sup> CNER）	58
筑波大学：国際統合睡眠医科学研究機構（WPI-IIIS）	60
東京工業大学：地球生命研究所（WPI-ELSI） *東京工業大学と東京医科歯科大学が統合し、2024年10月に東京科学大学が誕生します。	62
名古屋大学：トランスフォーマティブ生命分子研究所（WPI-ITbM）	64
東京大学：ニューロインテリジェンス国際研究機構（WPI-IRCN）	66
金沢大学：ナノ生命科学研究所（WPI-NanoLSI）	68
北海道大学：化学反応創成研究拠点（WPI-ICReDD）	70
京都大学：ヒト生物学高等研究拠点（WPI-ASHBi）	72
高エネルギー加速器研究機構（KEK）：量子場計測システム国際拠点（WPI-QUP）	74
大阪大学：ヒューマン・メタバース疾患研究拠点（WPI-PRIMe）	76
広島大学：持続可能性に寄与するキラルノット超物質拠点（WPI-SKCM <sup>2</sup> ）	78
慶應義塾大学：ヒト生物学-微生物叢-量子計算研究センター（WPI-Bio2Q）	80
東北大学・海洋研究開発機構（JAMSTEC）：変動海洋エコシステム高等研究所（WPI-AIMEC）	82
連絡先	83

## プログラム委員長からの メッセージ

世界トップレベル研究拠点プログラム委員会

私たちは新型コロナウイルス感染症のパンデミックが人類社会に大災害ともいえる甚大な変化を引き起こす様子を目の当たりにしてきました。深刻な感染拡大により700万人を超える人々が亡くなり、特に開発途上国においては経済が壊滅的な打撃を受けました。また、パンデミックに加えて、人類社会の様々な衝突・紛争はサプライチェーンの断絶、エネルギー危機や食糧危機を引き起こしています。このような問題の根底に共通するのは、人口爆発と環境破壊によって人類が初めて直面する地球規模の変化であるように思えます。

このような大規模で複雑な難題を前にして、これを解決し克服する方策があるとすれば、それは科学技術・イノベーションの革新的な推進しかありません。

我が国においては、そのために先ずもって研究力を高めることが重要です。新たな現象の発見・解明や革新的な技術創出をもたらす基礎研究の推進が、世界を先導する研究成果を生み出し、人類社会のウェルビーイングにさらに貢献していくことにつながります。更に、革新的な科学技術のブレイクスルーを生み出すには、従来の枠に収まらない新たな発想で、国や分野の境界を越えた研究拠点を立ち上げる必要があります。

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）は、2007年の発足以降、「世界最高水準の研究」「融合領域の創出」「国際的な研究環境の実現」「組織の改革」の4つのミッションを掲げ、2018年までに13の拠点を形成しました。これらの拠点による意欲的・挑戦的な活動は、世界の第一線で活躍する優れた研究者を国内外から惹きつけ、日本のみならず諸外国でも高い評価を受けるフラッグシッププログラムとなりました。

2020年12月には従来のミッションを高度化するとともに、「次代を先導する価値創造」を新たなミッションに加えました。これは高等教育と連動した若手研究者の人材育成や、補助金支援期間終了後の持続可能性の確保を目指すものです。この新たなミッションの下で、2023年までに5つの拠点を採択しました。

これらのプログラム改革は、時代の変化に対応し、日本の研究の在り方を変革するチャンスであると考えています。研究環境のDX（デジタルトランスフォーメーション）化などを通じて、日本の研究活動を新たな姿に変革していくなど、このプログラムを通じて更なる構造転換が図られることを期待しています。

WPIが引き続き、日本の研究力強化における重要な役割を果たすことができるよう、皆様と共に力を尽くしてまいりますので、今後とも、皆様の御理解と御協力をお願いいたします。



### ロゴデザイン・コンセプト

プログラムを象徴する本シンボルマークは、「上昇、飛躍感」を基本コンセプトに、「鳥」をモチーフとして作成しました。刻々と変化を遂げる世界の中でトップレベルを目指す研究拠点の様を、常に雲一つない空色を身にまといながら、革新的なイノベーションの種を運ぶ鳥の姿に見立てたものです。また、アルファベットの“i”の一部ともなっているこの種には、これから進むべき方向を照らす光の道案内の意味合いが込められています。

道に達成

# 「目に見える研究拠点」の充実・強化を

# 目指して

## 背景

近年、優れた頭脳の獲得競争が世界的に激化し、「ブレイン・サーキュレーション」と呼ばれる人材の流動が進んでいます。このような流れを受けて、優れた研究人材が世界中から集う、“国際頭脳循環のハブ”となる研究拠点を強化していくことが必要となっています。

## 目的

高いレベルの研究者を中核とした「世界トップレベル研究拠点」の形成を目指す構想に対して政府が集中的な支援を行うことにより、システム改革の導入等の自主的な取組を促し、第一線の研究者が是非そこで研究したいとして集うような、高度に国際化された研究環境と世界トップレベルの研究水準を誇る「目に見える研究拠点」の形成を目指しています。

## 新たな ミッションの策定

従来の「世界最高水準の研究」「融合領域の創出」「国際的な研究環境の実現」「組織の改革」という4つのミッションを高度化し、新たに「次代を先導する価値創造」を加えたミッションを令和2年12月に策定しました。

## WPI 新ミッション

### 世界を先導する卓越研究と国際的地位の確立

- ・世界最高水準の研究成果
- ・分野融合性と多様性による学問の最先端の開拓

### 国際的な研究環境と組織改革

- ・研究力向上のための国際的頭脳循環の達成
- ・分野や組織を超えた能力向上
- ・効果的・積極的かつ機動的な組織運営

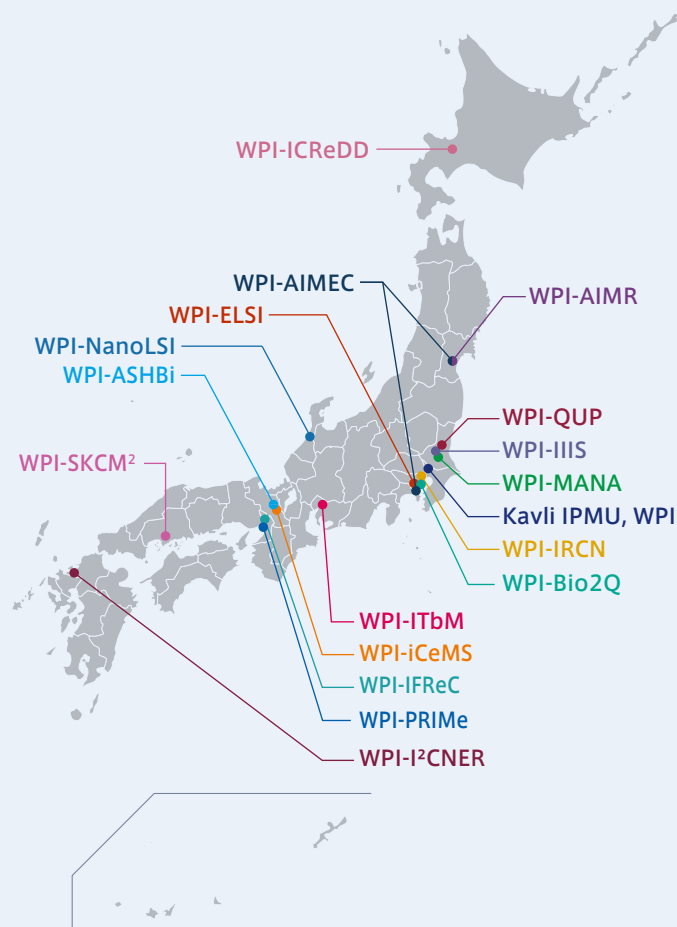
### 次代を先導する価値創造

- ・基礎研究の社会的意義・価値
- ・次代の人材育成：高等教育段階からその後の職業人生まで
- ・内製化を見据えた拠点運営、拠点形成後の持続的発展



## WPI 採択拠点一覧 (計:18 拠点)

※ 5 拠点 (令和3年度以降採択) は新ミッションの下、採択された。



## WPI アカデミー

### 平成19年度採択5拠点

- P.48 AIMR 東北大学 材料科学高等研究所 (WPI-AIMR)
- P.50 KAVLI IPMU 東京大学 カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU, WPI)
- P.52 iCeMS 京都大学 物質・細胞統合システム拠点 (WPI-iCeMS)
- P.54 iFReC 大阪大学 免疫学フロンティア研究センター (WPI-IFReC)
- P.56 IRN 物質・材料研究機構 (NIMS) ナノアーキテクトニクス材料研究センター (WPI-MANA)

### 平成22年度採択1拠点

- P.58 I²CNER 九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (WPI-I²CNER)

### WPI アカデミーについて

WPI のミッションを達成し世界トップレベルの研究拠点と認定された WPI 拠点をメンバーとして、WPI の知名度・ブランドの維持向上、国際頭脳循環の促進、WPI 拠点が持つ経験・ノウハウの横展開といった、WPI の成果の最大化を目的に平成29年度に設立。

### 平成24年度採択3拠点

- P.60 IIIS 筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構 (WPI-IIIS)
- P.62 ELSI 東京工業大学 地球生命研究所 (WPI-ELSI)  
\* 東京工業大学と東京医科歯科大学が統合し、2024年10月に東京科学大学が誕生します。
- P.64 ITbM 名古屋大学 トランスフォーマティブ生命分子研究所 (WPI-ITbM)

## 補助金支援中の拠点

### 平成29年度採択2拠点

- P.66 IRCN 東京大学 ニューロインテリジェンス国際研究機構 (WPI-IRCN)
- P.68 NanoLSI 金沢大学 ナノ生命科学研究所 (WPI-NanoLSI)

### 平成30年度採択2拠点

- P.70 ICReDD 北海道大学 化学反応創成研究拠点 (WPI-ICReDD)
- P.72 ASHBi 京都大学 ヒト生物学高等研究拠点 (WPI-ASHBi)

### 令和3年度採択1拠点

- P.74 QUP 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 量子場計測システム国際拠点 (WPI-QUP)

### 令和4年度採択3拠点

- P.76 PRIME 大阪大学 ヒューマン・メタバース疾患研究拠点 (WPI-PRIME)
- P.78 SKCM² 広島大学 持続可能性に寄与するキラリネット超物質拠点 (WPI-SKCM²)
- P.80 Bio2Q 慶應義塾大学 ヒト生物学-微生物叢-量子計算研究センター (WPI-Bio2Q)

### 令和5年度採択1拠点

- P.82 AIMEC 東北大学・海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 変動海洋エコシステム高等研究所 (WPI-AIMEC)

## 支援の内容

支援期間	10年間 (平成24年度以前の採択拠点においては最長で15年間)
支援額	原則年間7億円程度 (複数のホスト機関による令和5年度採択拠点においては10億円/年)
評価	毎年、ノーベル賞受賞者や著名外国人研究者等で構成されるプログラム委員会やPD・POによる丁寧かつきめ細やかなフォローアップを実施するとともに、事業開始5年目に中間評価、10年目に最終評価を実施

独立行政法人日本学術振興会は、世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)が円滑に実施できるよう、サポートを行っています。

WPI公式サイト→





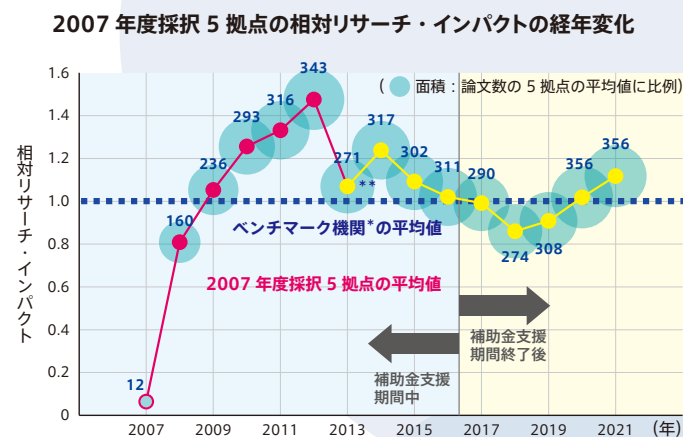
WPIは、世界最高水準の融合研究の成果を着実にあげています。

WPIは、国際水準の優れた研究環境と運営の実現に挑戦しています。

WPIのこれらの活動は、大学等ホスト機関へ良い波及効果を生んでいます。

# 1 Science (世界最高水準の研究)

- WPI拠点は設立以来、世界トップレベルの研究機関と比肩する論文成果を着実にあげ続けています。
- WPI拠点の研究者3名がノーベル賞を受賞しているほか、ガードナー国際賞などの著名な国際賞、文化勲章などの国内最高レベルの賞も授与されています。
- WPI拠点の卓越した研究力は、社会からも高く評価され、基礎研究を主としているにも関わらず、民間財団・企業等から大型の寄付金・投資を得るまでに至っています。



\* ベンチマーク機関：各WPI拠点と研究領域が近い世界トップレベルの拠点であり、当該WPI拠点がベンチマークとすべき存在として、1拠点につき5つ設定した研究機関。  
\*\* 2012年までは、WPI拠点に所属する研究者が共著者となっている論文。2013年以降は、論文における共著者の所属にWPI拠点名が含まれている論文。

クラリベイト・アナリティクス社提供のデータ（2023年7月取得）を基に文部科学省・日本学術振興会にて作成。グラフの縦軸は相対リサーチ・インパクト、円の半径及び青数字はWPI拠点から当該年に輩出された論文数の平均を示す。リサーチ・インパクトは、当該年に輩出された論文すべてについて、その論文が掲載された雑誌のインパクト・ファクターを足し合わせた数値で、国際的なvisibilityないし競争力の代理変数として使用。相対リサーチ・インパクトは、ベンチマーク拠点のリサーチ・インパクトの平均値に対して、WPI拠点のリサーチ・インパクトの平均値がその何倍にあたるかを示した数値。

# 2 Fusion (融合領域の創出)

- WPI拠点は各分野を牽引するだけでなく、様々な研究での融合分野開拓に貢献しています。
- 数学と材料科学の融合によるガラス構造の解明、動植物学と合成化学の融合による寄生植物ストライガを除去する方法の解明など、融合研究の成果を次々に発表しています。
- 研究者を分野ごとにまとめないフラットな組織や、各研究室間の壁を取り払ったオープンオフィスを採用する等、異分野研究者間の知的触発・切磋琢磨が日常的に行われる仕組みを構築しています。

## Outreach (社会への発信)

WPIを広く世の中から「見える」存在とするため、各種合同アウトリーチ活動を実施し、着実な成果をあげています。

- WPIサイエンスシンポジウム**  
先端科学を身近に感じるイベントを開催し、中高生や一般の人々にWPIの取組や成果を紹介
- 横展開ウェブサイト「WPI Forum」の運用**  
国際化を目指す大学や研究機関とWPIに蓄積されたノウハウ等を共有



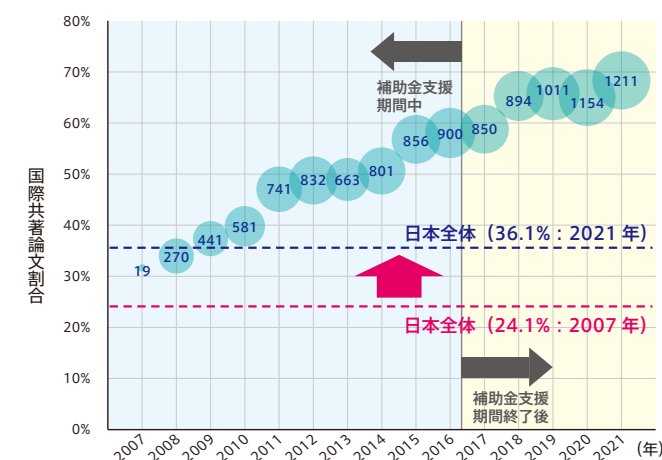
ウェブサイト  
「WPI Forum」



# 3 Globalization (国際的な研究環境の実現)

- 拠点内の公用語は英語で、研究者全体の約40%が外国人です。
- ポスドクの国際公募によって、国際的かつ競争的な体制が整備されています。外国人研究者雇用促進のための処遇の工夫や生活支援等によって、研究者が自律的にのびのびと研究できる環境が実現されています。
- 発表論文の60%以上が国際共同研究論文であり、WPI拠点が国際研究ネットワークの中に位置づけられていることを示しています。(右図)

2007 年度採択 5 拠点の国際共著論文割合・論文数の経年変化



WPI拠点は、クラリベイト・アナリティクス社提供のデータ（2023年7月取得）を基に文部科学省・日本学術振興会にて作成。日本平均は、文部科学省科学技術・学術政策研究所(NISTEP)の「科学技術指標2023」(調査資料-328、2023年8月)から引用。円の半径及び青数字は国際共著論文数を示す。

# 4 Reform (組織の改革)

- ホスト機関である大学や研究機関は、WPI拠点をシステム改革の核とし、その成果を共有・活用することにより機関全体の国際化・研究力の強化につなげています。
  - クロスアポイントメント制度の先駆的な導入や研究者の能力に応じた給与体系の導入
  - 拠点長を中心としたトップダウン型マネジメント体制の導入
  - 大型資金獲得ノウハウの横展開

## Education (次世代の研究者の育成)

WPIは、次世代の研究者を育てる人材育成の仕組み作りにも取り組んでいます。

- 融合研究に寄与できる若手研究者育成のための、分野の異なる複数の指導者によるダブルメンター制
- 卓越大学院プログラムとの連携
- 海外の大学院との連携



名古屋大学卓越大学院プログラム (GTR) 成果報告会

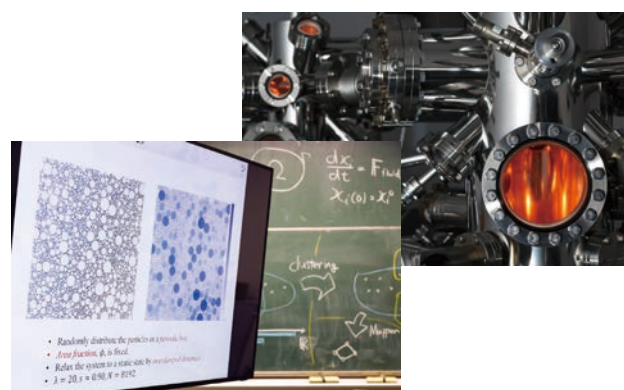
# 数学と連携した 社会と世界につながる先端材料科学

AIMR (東北大学 材料科学高等研究所) は、これまでに醸成された数学－材料科学連携の精神をさらに発展させ、革新的な材料創製により社会貢献を果たし、社会と世界につながる先端材料科学の研究拠点形成を目指します。

## 【研究の目標】

### 数学－材料科学連携に基づく独自の学術基盤をさらに強化

「材料」無くして私たちの社会は成り立ちません。金属・半導体・セラミックス・高分子などの様々な材料が、現代のエネルギー・情報通信・医療健康・高速移動などあらゆる技術分野を支えており、多くの技術分野は高度な材料の創製とともに発展してきたといえます。この材料創製を加速するためにも、学術的基盤としての「材料科学」を推進することは今後也不可欠です。AIMRは、数学－材料科学連携に基づく独自の学術基盤をさらに強化し、先端計測技術とも連携して現実の技術分野に展開することで、社会に貢献する材料創製を実現して参ります。



## 【WPI 拠点としての特徴】

### 発展ターゲットプロジェクト・国際頭脳循環の推進



数学と材料科学を強固につなぐために、3項目の発展ターゲットプロジェクトを設定、「トポロジカル機能性材料の局所構造制御」、「結合多様性とその時間発展の統合制御」、「自己組織化の高度化と応答制御」などを中心に研究を実施しています。これらの研究推進、および英国・米国・中国に設置したジョイントラボをハブとする国際ネットワークの拡大を通じて、物質・材料の最小単位である原子・分子の理解とその制御を基盤とした先端材料科学の研究拠点形成を目指します。また、これらの研究をグローバルに展開する研究者育成にも力を入れており、優秀な若手研究者に独立した研究室を与える国際頭脳循環の取り組みなどを鋭意進めています。

## 【東北大学総長 富永 倬二からのメッセージ】

### 国際化・システム改革・研究力強化で東北大学を先導



東北大学は2023年、国際卓越研究大学の唯一の認定候補として選定されました。外国人研究者への多様な支援や新たな人事制度の導入など、AIMRが積み重ねてきた実績の学内展開が今後ますます重要になります。世界をリードする材料科学拠点として、国際化・システム改革・研究力強化で本学を先導することを期待しています。

## 拠点長 折茂 慎一からのメッセージ

2019年10月にAIMR拠点長に就任しました。AIMRでは、これまで純粋数学から応用数学にわたる幅広い数学者が材料科学者とアンダーワンルーフで研究することで大きな成功を収め、アイデンティティーである数学－材料科学連携を確立しました。今後は、「予見に基づく材料科学」のための新たな学術基盤をさらに強化するとともに、先端計測技術などとも連携して現実の技術分野に展開することで、真に社会に貢献する材料創製を実現して参ります。【社会と世界につながる先端材料科学】を実現するAIMRに、今後ともご支援賜りますようどうぞよろしくお願い致します。



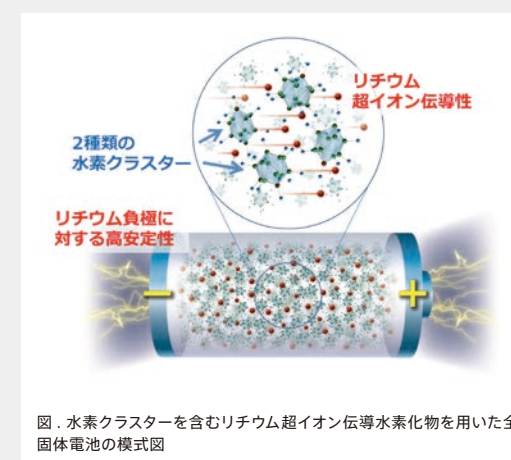
## プロフィール

1995年に広島大学大学院生物圏科学研究科博士課程を修了。日本学術振興会特別研究員(数物系)、マックスプランク研究所客員研究員などを経て、2009年から東北大学金属材料研究所教授。2013年に東北大学 AIMR 主任研究者、2018年に副拠点長、2019年に拠点長。主な受賞に日本金属学会功績賞(2011年)、科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(2012年)、Science of Hydrogen & Energy Award(2015年)、本多フロンティア賞(2021年)などがある。

## これまでの研究成果

### 全固体電池の 高エネルギー密度化を加速する 「水素化物超イオン伝導材料」を開発

水素クラスター(水素を高密度に含む錯イオン)の分子構造デザインにより、室温でリチウム超イオン伝導性を示す新たな水素化物を開発しました。この水素化物を固体電解質として用いることで、世界最高のエネルギー密度を持つリチウム負極型全固体電池のデバイス実証にも成功しました。現在、数学－材料科学連携により、イオン伝導メカニズムの解明や超イオン伝導性のさらなる向上を目指す研究を進めています。



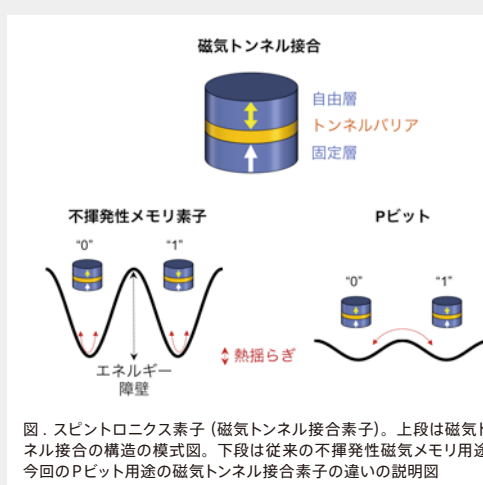
図・水素クラスターを含むリチウム超イオン伝導水素化物を用いた全固体電池の模式図

折茂慎一 AIMR 拠点長／デバイス・システムグループ PI 4  
(2019年「Nature Communications」誌に論文掲載)



AIMResearchはAIMRの優れた業績を紹介する出版物で、ウェブと印刷体の両方の媒体で展開しています。ウェブ版では毎月、AIMRの特筆すべき論文をタイムリーで分かりやすい要約記事(Research Highlight)として紹介しています。<https://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/aimresearch/>

### 室温動作スピントロニクス素子を用いて量子アニーリングマシンの 機能を実現



図・スピントロニクス素子(磁気トンネル接合素子)。上段は磁気トンネル接合の構造の模式図。下段は従来の不揮発性磁気メモリ用途と今回のPビット用途の磁気トンネル接合素子の違いの説明図

室温動作が可能な新概念:揺らぎ利用スピントロニクス素子を開発しました。この素子を疑似的な量子ビット(確率ビット:Pビット)として用いたデモシステムを構築し、量子アニーリングと同様な手法を適用して因数分解の実証に成功しました。最適化問題などの既存のコンピュータが苦手とする複雑なタスクを効率的に処理する新たな方式として期待されます。

深見俊輔 AIMR デバイス・システムグループ PI 4  
(2019年「Nature」誌に論文掲載)





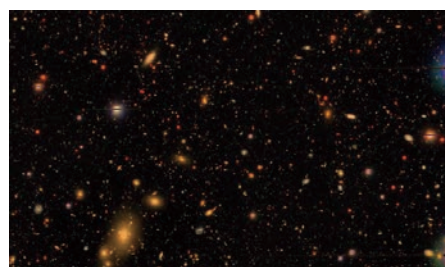
# 数学と物理、 天文の連携で宇宙の謎に迫る！

現代基礎科学の最重要課題である暗黒エネルギー、暗黒物質、統一理論（超弦理論や量子重力）などの研究を数学、物理学、天文学における世界トップクラスの研究者の連携によって進め、目に見える国際研究拠点の形成を目標としています。

## 【研究の目標】

### 宇宙の起源と進化の解明を目指す

最近まで宇宙全体は原子だけから出来ていると考えられてきました。しかし今では、銀河には「暗黒物質」が含まれていることが分かっています。そうでないと、星が飛び散ってしまい、銀河が形成されないからです。さらに、宇宙は「暗黒エネルギー」と呼ばれる不思議なエネルギーで満ちていて、宇宙の膨張を加速させていることも分かっています。しかし、これらの正体についてはまだなにも分かっていません。超弦理論や量子重力など「究極理論」と呼ばれる理論の発展と、ビッグバンやブラックホールの物理学および数学の間には密接な関係があると考えられています。Kavli IPMUはこのような深淵な宇宙の謎に迫ります。



Hyper Suprime-Cam で撮影された宇宙に広がる銀河  
(Credit: Princeton University/HSC Project)

## 【WPI 拠点としての特徴】

### 数学、物理、天文の分野を超えた融合型研究拠点



Kavli IPMU のティータイム

数学、物理学、天文学を含む様々な分野の280名を超える研究者（連携研究者含む）が、分野の垣根を超えて共同研究を行っています。毎日午後3時にはティータイムが行われ、その場での会話がきっかけとなった世界トップレベルの研究成果が次々と発信されてきました。異分野融合の積極的取り組みによる研究活動の発展だけでなく、外国人研究者の受入体制の拡充により構成員の半分以上は外国人研究者という非常に国際的な研究所へと成長しました。ダイバーシティの取り組みにも力を入れており、異なる考え方や属性、異なる文化、異なる分野間の活発な交流による新しいアイデアや洞察を今後も生み出そうとしています。

## 【東京大学総長 藤井 輝夫からのメッセージ】

### 世界的知の探究と先進的取り組みで東京大学の改革をリードする



Kavli IPMU では宇宙の謎を解明するため、世界中から集った一流の研究者が数学や物理学など分野の枠を超え、心躍らせるような知の探究を進めています。ここに集う研究者の多様性は本学が目指すべき姿であり、雇用制度改革等の先進的な取り組みが波及することで本学全体の競争力向上にも繋がっています。

Kavli IPMU が今後も高い研究成果を生み出し、本学の改革をリードする存在であり続けることを期待します。

## 拠点長 横山 順一からのメッセージ

カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU)は、2007年に東京大学柏キャンパスに設立され、2012年から米国カブリ財団の支援を受けています。設立から16年が経過し、WPI 拠点として世界的な評価を頂いています。研究所には常勤研究員が90名おり、その60%を外国人研究者が占めています。毎年10回以上の国際研究会議を開催し、国内外から1,000人以上のビジターが訪れるなど、大学内において真に国際的な研究環境を維持し、世界トップレベルの研究成果を生み出しています。数学、超弦理論、素粒子物理学、宇宙論、天体物理学など幅広い分野の理論や実験の研究者が連携し、宇宙の基本的な性質を明らかにすることで、人類の未来に貢献していきます。



## プロフィール

1989年に東京大学理学部物理学科助手としてキャリアをスタート。フェルミ国立加速器研究所、京都大学基礎物理学研究所、スタンフォード大学、大阪大学を経て、2005年に東京大学大学院理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター (RESCEU) 教授に就任。2023年11月に Kavli IPMU 機構長に就任。2020年から2022年にかけてアジア太平洋物理学会連合会長を務め、現在は RESCEU のセンター長も務める。

## これまでの研究成果

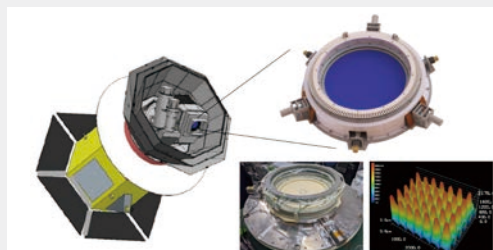
### 超広視野多天体分光器 PFSの装置が続々とハワイに到着

Kavli IPMU を中心とした国際チームにより製作が進められている超広視野多天体分光器 PFS (Prime Focus Spectrograph) プロジェクトでは、2025年前期の本格観測開始を目指して、各国で製作してきた装置を 続々とハワイのすばる望遠鏡へ運び、搭載試験やテストを行っており、本格的な試験観測も開始しています。約2,400本の光ファイバーで一度に幅広い波長範囲での分光観測が可能で、ダークマター・ダークエネルギーの謎の解明や銀河進化の歴史に迫ろうとしています。



図. PFS の全体像の模式図。(Credit: PFS Project/Kavli IPMU/NAOJ)

### LiteBIRD 衛星計画が進行中



LiteBIRD 衛星に搭載する偏光変調器の CAD モデルおよび実証のための超電動磁気軸受回転機構とサファイアのためのミリ波広帯域反射防止微細加工。  
(Credit : ISAS/JAXA, Y. Sakurai et al., T. Hasebe et al., R. Takaku et al.)

Kavli IPMUは、参加機関の一つとしてLiteBIRD 衛星計画を推進しています。本計画は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光観測から原始重力波の痕跡を検出し、インフレーション宇宙論仮説の検証を目指しています。JAXA宇宙科学研究所の戦略的中型衛星2号機として2019年に選定されました。日本学術会議が策定したマスタープラン2020の「重点大型研究計画」の一つにも選定されています。2030年代前半の打ち上げを目標に準備が進められており、Kavli IPMUは低周波望遠鏡の偏光変調器とデータ解析を担当しています。

偏光変調器はインフレーション偏光信号が特に優位となる大角度スケールの精密偏光観測を実現するために鍵となる観測装置です。科学目的から様々な観測要求を導出し、性能実証を実現しています。

松村知岳准教授、羽澄昌史特任教授らが参加





# 物質科学と細胞生物学の統合へ

細胞機能の理解に必要な化学物質や、細胞機能の操作に必要な化学物質を作製し、これらを用いて生命の謎に迫り、さらには、細胞機能に触発された新たな機能材料を創生することを目指します。

## 【研究の目標】

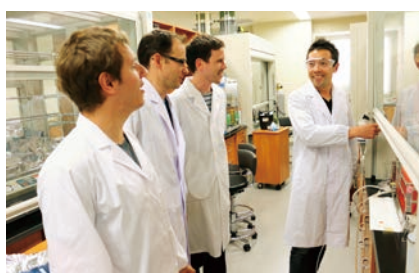
### 細胞機能を化学で理解し、物質により再現、操作することは可能か

細胞は、数多くの化学物質を自己組織化し、協同的に相互作用させることで生命活動を維持しています。それらの化学物質の挙動は時空間的に常に変化しています。これを化学で理解するには、ナノメートル領域ではなく、もう少し大きなメソスコピック領域で働く分子に目を向ける必要があります。このために、様々な可視化技術やモデル化技術、そして複雑な細胞の営みを解析する物理や化学の手法を開発します。さらに、細胞機能を物質で再現することにも挑戦します。細胞機能が理解できているなら、物質による細胞機能の再現は可能はずです。理解と創造により研究を推進します。



## 【WPI 拠点としての特徴】

### 国際的かつ学際的な研究環境



iCeMSでは、①異分野による融合研究に適した、分野の垣根を超えた活発な議論や交流が生まれるような環境を醸成するため、研究室ごとの区切りのないオープンオフィスやオープンラボに加え、異分野の研究者がともに使える共用実験機器などを整備しています。日頃から研究者同士が顔を合わせることで学際融合に関するアイデアが生まれやすい環境を整えています。また、②外国人研究者が研究に専念できる環境を整えるため、外国人研究者支援室を設置しています。ここでは、在留資格取得のための支援や就労に関する手続きのサポート、住まい探しや家族も含めた生活のサポートなどを行っています。さらには、③国際的かつ学際的な研究環境の実現に向けて、オンラインでの国際シンポジウムやセミナーを開催しています。④iCeMS内に設置された研究支援部門では、国際研究ネットワークの強化を図りながら、iCeMS内で生まれた研究成果を社会へ還元することを目指し、iCeMSの研究基盤を強化するための外部資金等の資金獲得や産学連携活動、学術交流などの人材交流を活性化するための取り組みを行うと同時に、国際的な頭脳循環に向けてのアウトリーチ活動や研究成果の国内外への発信に力を入れています。

## 【京都大学総長 湊 長博からのメッセージ】

### オンサイトラボラトリによる新しい学術領域の国際展開を期待



京都大学高等研究院の主要メンバーであるiCeMSは、材料科学と生命科学の融合による新しい学術領域の創出を目指す拠点として、本学が指定国立大学法人構想として掲げる「柔軟かつダイナミックな体制による知の創造」に大きく貢献しています。特に、海外の大学や研究機関等との協働による現地運営型研究室（オンサイトラボラトリ）の活発な運営を通し、独自の融合分野の国際展開を進められることを大いに期待しています。

## 拠点長 上杉 志成からのメッセージ

iCeMSでは、「化学物質の自己集合」が生命と化学物質の境界を形成すると考えています。細胞生物学と化学の有機的な融合によって、生命と物質の境界にある細胞内自己集合体の理解（学理）と、それらに触発された機能性自己集合材料によるイノベーション（応用）の両方に挑戦し、さまざまなグローバルな課題の解決を目指します。そのために、自己集合に関する多岐にわたる研究者をiCeMSに結集させ、ダイバーシティとフォーカスを両立させたいと考えています。



## プロフィール

1967年、大阪府生まれ。1995年、京都大学大学院薬学研究科博士後期課程を修了。その後ハーバード大学研究員、米国ベイラー医科大学助教授および准教授を経て2005年に京都大学化学研究所教授。2007年よりiCeMS教授を兼任、2013年より副拠点長を経て2023年より拠点長。

## これまでの研究成果

### 最も詳細な解像度でゲノム DNA の 3次元構造を導く技術

谷口雄一教授らの研究グループは、細胞内のゲノムDNAの3次元構造を、ヌクレオソームのレベルで決定する技術の詳細な実験マニュアルを公開しました。ヌクレオソームは、様々な遺伝子をコードするゲノムDNAが、160～200塩基対ごとにヒストンと呼ばれるタンパク質に巻きついて形成するゲノムDNAの構造単位です。従来、遺伝子領域に関わらず規則的にヌクレオソームが並んでいると考えられてきましたが、2019年に同グループは、遺伝子領域ごとにヌクレオソームの配列構造が異なっていることを発見しました。発生や分化などの際の遺伝子の発現が、その構造を基に制御されていることを示唆するものであり、様々な生命プロセスの発生起源を知るための重要な基盤技術として、世界的に大きく注目されています。

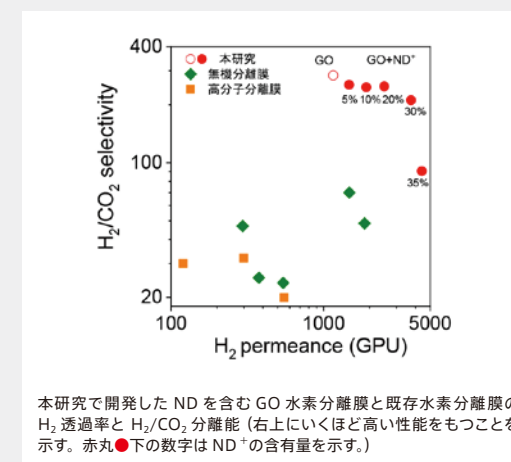


研究グループは、次世代ゲノムシーケンサーとスーパーコンピュータを用いてヌクレオソームの3次元的位置や方向を明らかにする技術を開発しました (© 高宮ミンディ/京都大学アイセムス)

谷口雄一教授/主任研究者  
(2021年5月 Nature Protocols にて論文公開)

### 世界最高の水素分離性能を有する 酸化グラフェン膜を開発

水素は脱炭素社会の実現に向けた新時代のエネルギーとして期待されていますが、大規模な水素供給を可能にするために、より効率的な水素の製造方法の確立が求められています。イーサン・シバニア教授らの研究グループは、湿度に弱い水素の分離に向いていないと考えられていた酸化グラフェン (GO) 膜に、正電荷を帯びたナノダイヤモンド (ND) を組み込むことで、最大の課題であった耐湿性を著しく向上させることに成功しました。本研究で開発したNDを含むGO水素分離膜は水素製造プロセスの効率化に加え、水素製造時に発生する二酸化炭素の高純度回収にもつながらる可能性をもつため、二酸化炭素貯留 (CCS) や資源活用 (CCU) への応用も期待されます。



本研究で開発したNDを含むGO水素分離膜と既存水素分離膜のH<sub>2</sub>透過率とH<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>分離能(右上にいくほど高い性能をもつことを示す。赤丸●下の数字はND<sup>+</sup>の含有量を示す。)

イーサン・シバニア教授/主任研究者  
(2021年12月 Nature Energy にて論文公開)





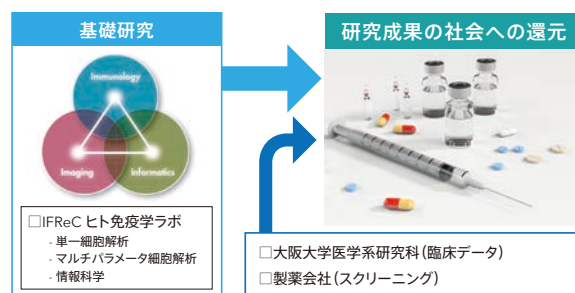
# 免疫学の統合的理解と社会への貢献

IFReCは、拠点設立時から、病原体感染や自己免疫疾患、がん細胞に対する免疫反応とその制御を目標に据えて研究してきました。これは、個々の免疫細胞の働きを明らかにしつつ、全身で起こる免疫反応を深く理解することです。WPIアカデミー拠点となって以降、高度な基礎免疫学の研究に加えて、それらの社会還元への動きも加速させています。

## 【研究の目標】

### 融合研究とともに免疫研究の頂点を目指す

IFReCは、2007年のWPI研究拠点設立時から、先端的研究課題に取り組むために、免疫学、バイオイメージング、バイオインフォマティクス各分野の優れた研究者を集めて融合研究を推進してきました。こうしてインパクトの高い論文が多くのトップジャーナルに掲載され、また数々の学術賞を獲得することで、世界の免疫研究者の間にIFReCの名前を浸透させることができました。2017年以降は、基礎研究のさらなる追求と同時に、研究成果の応用展開を図るためのシステム・組織作りに取り組んでいます。



## 【WPI 拠点としての特徴】

### 世界に冠たる研究拠点として



公募で世界中から選ばれたアドバンストポスドクのメンバー（2021年3月）

IFReCは研究成果を社会に還元するための一環として、最新の解析技術や研究環境を整えた「ヒト免疫学研究室」を立ち上げました。ここでは、大阪大学医学系研究科の協力のもと、ヒト細胞を用いた基礎研究を推進します。ここに製薬会社の視点も取り入れて、基礎研究の社会還元すなわち新規創薬・新規治療法開発を加速させていきます。

次世代の研究者を育てることも重要な責務です。IFReCが2011年から主催してきた若手研究者対象の免疫学ウインタースクールの教育内容をさらに充実させていきます。また、報酬・研究費を欧米諸国の標準に近づけた「アドバンストポスドク」制度を作り、世界公募で優秀な若手研究者をリクルートしています。IFReCは次世代の研究者が来たいような環境を提供し、グローバルな頭脳循環の場を目指します。

## 【大阪大学総長 西尾 章治郎からのメッセージ】

### 大阪大学を先導する IFReC



大阪大学は、2017年度に世界最先端研究機構（IARI）を設置し、IFReCをその最初の所属部局としました。IFReCは、製薬企業との産学共創を指向した包括連携契約により、独立した経営基盤を確立し、基礎研究成果を応用研究へと活用する手段を確立しています。また、産学共創のみならず、国際化を先導する研究機関として、大阪大学に極めて大きな貢献をしています。今後もこうした活動を継続し、大阪大学の免疫学・イメージング研究の伝統をさらに発展させることを期待しています。

## 拠点長 竹田 潔からのメッセージ

これまでIFReCが推進してきた融合研究による免疫学の基礎研究の深化のみならず、将来の免疫関連疾患克服を目標に世界的な研究センターを目指します。そのためにIFReCは複数の製薬会社と包括連携契約を結び、国内では初めてのモデルとなる自由な基礎研究を推進する産学連携システムを構築しています。さらに将来の免疫学を担う若手研究者の育成と各国研究機関との国際連携も推進していきます。世界トップレベルの免疫学の基礎研究とその社会還元を加速化するIFReCにこれからもご注目ください。

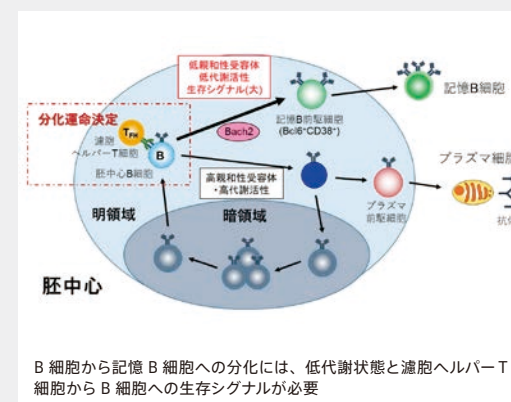


## プロフィール

大阪大学医学部卒業、医学博士。大阪大学微生物病研究所を経て、2004年九州大学生体防御医学研究所教授。2007年大阪大学大学院医学系研究科／IFReC 兼任教授、2019年7月よりIFReC 拠点長。  
日本免疫学会賞（2004）、日本学術振興会賞（2010）、大阪科学賞（2016）、ベルツ賞（2016）、持田記念学術賞（2019）、武田医学賞（2022）、Highly Cited Researchers 選出（2014-2017）。論文引用数による免疫学者世界ランキング 2014 で第2位（第1位は審良静男 IFReC 前拠点長）。

## これまでの研究成果

### 免疫記憶成立のメカニズムを解明



B細胞、T細胞といったリンパ球は、細菌・ウイルスなどの感染症において、免疫の中心的役割を担います。病原体の2度目の侵入時には、1度目の感染時にできた記憶B細胞が素早く抗体産生細胞（プラズマ細胞）に分化し、効果的に抗原をブロック・除去します。一方で、免疫記憶の仕組みを利用して、B細胞に人為的に記憶を誘導するのがワクチン療法です。

井上毅准教授、黒崎知博教授らの研究グループは、ワクチン療法の基本原理解である免疫記憶の中心を担う記憶B細胞が、胚中心B細胞から効率的に分化誘導されるメカニズムを明らかにしました。この研究は、毎年のワクチン接種が必要か？といった問いに答えるための基礎データを提供するものであり、革新的なワクチン開発につながる可能性があります。

井上 他 / *J Exp Med*. 2022

### 漢方薬の成分がリウマチ関節炎を抑える仕組み



イン・シリコ解析による画像。生薬の成分セラストロールがCOMMD3/8複合体に結合することで炎症を抑える

COMMD3/8というタンパク質の複合体は免疫細胞の移動制御に関わっており、免疫応答を強めることで炎症を引き起こすことが示されています。鈴木一博教授らのグループは、代表的な自己免疫疾患である関節リウマチのモデルマウスにおいて、COMMD3/8複合体を抑える化合物として、伝統的漢方薬ライコウトウの成分であるセラストロールを同定しました。セラストロールが実際に関節リウマチモデルマウスの病態を改善することも示しました。

白井 他 / *Sci Immunol*. 2023





# マテリアル・ナノアーキテクトニクス — 新材料開発のための新しいパラダイム —

私たちの生活を変えつつあるナノテクノロジー。

MANAは、新材料・新機能をつくり出すため、「ナノアーキテクトニクス (ナノ建築学)」と呼ばれる新しい技術体系 (パラダイム) で材料開発を進めています。

## 【研究の目標】

### 次世代材料を生み出す「ナノアーキテクトニクス」

MANAは、2007年の設立以来、ナノスケールでボトムアップから材料を構築する『ナノアーキテクトニクス』のコンセプトのもと、多くの世界トップレベルの研究成果を発表してきました。『ナノアーキテクトニクス』研究は、物質の原子・分子レベルの構造を精密制御することで発現する量子機能を扱う「量子材料分野」と、二次元ナノシートや一次元ナノワイヤーなどの革新的なナノマテリアルを扱う「ナノ材料分野」が密接に連携して発展し続けています。

MANAは、人類の豊かで持続可能な発展を支えるため、環境、エネルギー、資源、食糧、インフラ、情報、通信、診断、医療、安全など、あらゆる分野を支える革新的な次世代材料・技術を創っていきます。

## 【WPI 拠点としての特徴】

### 挑戦と分野融合が原動力、世界を代表するナノテク研究拠点



外国人受入体制の整う事務局

MANAは、WPIプログラムのミッションを達成するため、以下の研究環境を提供し、「目に見える」世界トップレベル研究拠点を目指しています。

#### メルティングポット環境

多彩な国籍、文化で育った研究者が集って話し合い、新たな研究テーマを生み出す「メルティングポット環境」を実現しています。この環境が、多様な融合を生み、優れた研究成果の源となります。

## 【物質・材料研究機構理事長 宝野 和博からのメッセージ】

### 世界に誇る日本の科学技術を切り拓く



国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS) は、2007年に最初に設置された5つのWPI拠点の一つである「ナノアーキテクトニクス材料研究センター (MANA)」を支援しています。

MANAでは独自のナノ材料創製技術、「ナノアーキテクトニクス (ナノの積み木細工)」を追究して、新物質、新材料、新機能を発掘し、様々な分野のイノベーションに繋がるシーズ創出を目指して研究を推進しています。

WPIのさらなる発展は、我が国の優れた科学技術の存在感を高めるためにもますます重要だと確信しています。

## 拠点長 谷口 尚からのメッセージ



2020年からの新型コロナウイルス禍の克服を経て、今般グローバルな視点で多様な取り組みがなされようとしています。この取り組みにおいて、先端の科学的な知見、技術革新から導かれる貢献を目指すことは自然科学、物質科学研究者としての重要な認識と言えましょう。MANAにおいてはナノアーキテクトニクスの概念の下で、ナノマテリアルの開発とその能動的な集積化、界面制御によるナノシステムの統合を基盤とした新材料、デバイス、システムの開発、さらにこれまで培ってきた技術、知見の量子技術イノベーションへの展開を目指しています。これらナノテクノロジーを駆使した新材料開発により、近年人類が直面している多様な課題の解決への貢献を目指します。

## プロフィール

1987年東京工業大学総合理工学研究科博士課程修了。同年東京工業大学工学部無機材料工学科助手。1989年科学技術庁無機材質研究所入所。2001年物質・材料研究機構 (NIMS) に改組、主席研究員。2018年 NIMS フェロー。2019年国際高圧力科学技術連合 (AIRAPT) 副会長、東京大学生産技術研究所客員教授。2021年ナノアーキテクトニクス材料研究センター (MANA) センター長。2023年物質・材料研究機構 (NIMS) 理事。

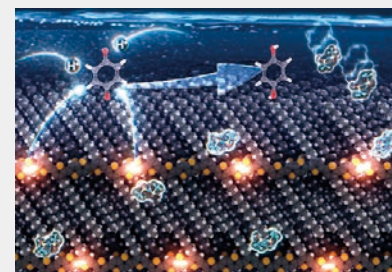
## これまでの研究成果

### 水溶液中における有機半導体の精密ドーピング手法の確立

半導体デバイスの製造にはドーピング処理が不可欠ですが、これまで有機半導体に対して行われてきた化学ドーピングは、真空中、窒素空気中などの不活性雰囲気で行うしかなく、さらにプロセスの制御性、再現性、精度が低いという課題が残されていました。

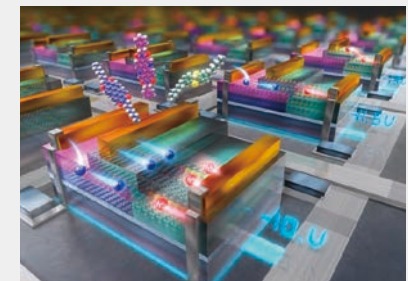
MANAの研究チームは、大気下・水溶液中で行うことのできる革新的な化学ドーピング手法を確立。光合成の電子伝達系などにおいて見られるプロトン共役電子移動を用いることで、水溶液に有機半導体薄膜を浸すだけで精密なドーピング制御を実現しました。

有機半導体は、柔軟かつ軽量であり、低コスト印刷プロセスに適した材料です。本技術により、フィルム型センサーや電子回路、ディスプレイ、太陽電池といったフレキシブルデバイスの産業応用が期待できます。本技術を用いたフィルム型pHセンサーの原理も実証しており、ヘルスケアやバイオセンシングへの展開も期待されます。



山下 侑 研究員、有賀 克彦グループリーダー、竹谷 純一 NIMS 招聘研究員 (2023年「Nature」誌に論文掲載)

### 有機 4 値論理回路：革新的コンピューティングアーキテクチャーの開発に向けて



有機集積回路は、有機材料の軽量性、柔軟性、生体親和性といった特徴から、ヘルスケアセンサーや電子タグといったヒューマンフレンドリーなモバイル情報端末への応用が期待されています。しかしながら、有機集積回路には既存の微細加工技術を適応できないことから、その集積度は極めて低く、素子の微細化だけに依存しない新たな有機集積回路の高性能化技術の開発が求められていました。

MANAの研究チームは、“アンチ・アンバイポーラトランジスタ”と呼ばれる、室温で負性微分トランスコンダクタンスを示す特殊な有機トランジスタを利用し、4値論理回路を実証。従来のCMOS技術では、6個以上のトランジスタを必要とする論理回路をたった2つのトランジスタで実現しました。これは、有機集積回路に大幅な高集積化、高性能化をもたらす成果で、次世代有機エレクトロニクス開発を加速させる研究成果です。

早川 竜馬 主幹研究員、若山 裕 グループリーダー (2023年「Advanced Functional Materials」誌に論文掲載)





# カーボンニュートラル・エネルギーによる 環境調和型で持続可能な社会の実現

I<sup>2</sup>CNERの使命は、低炭素排出とコスト効率の高いエネルギーシステムの推進、そして、エネルギー効率の向上による持続可能かつ環境に優しい社会の実現に貢献することです。

ミッション主導型の基礎研究を通じて、CO<sub>2</sub>排出量の飛躍的削減に向けた科学技術の研究開発を展開しています。

## 【研究の目標】

### 低炭素社会実現のための基礎科学の創出

I<sup>2</sup>CNERの研究目標は、光触媒を利用した水素製造、耐水素材料、次世代燃料電池、化学反応・触媒作用の「グリーン化」、CO<sub>2</sub>の分離・転換、CO<sub>2</sub>地中貯留（隔離）、エネルギーアナリシスなどの理解を深め、基礎科学を創出することです。戦略的な推進に際しては、化学、物理、材料科学、熱流体力学、地球科学、生物模倣学、さらには経済学や政策決定にいたるまで、様々な分野における融合研究や学際的研究が不可欠です。I<sup>2</sup>CNERの研究は非常に幅広く、水素、酸素及びCO<sub>2</sub>と物質とのインターフェイスで起こる現象及びその基本的メカニズムについて、多様な空間スケール（原子から、分子、結晶、地層まで）と時間スケールにまたがる研究をしています。効率的な変換科学に、高速エネルギー変換技術を加えて、分野融合により新しい学問領域の構築に取り組みます。

## 【WPI 拠点としての特徴】

### イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校との連携／融合研究領域の創出



UIUC との戦略的パートナーシップ協定の締結



世界に誇る最先端の研究環境

I<sup>2</sup>CNERは、米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校（UIUC）にサテライトを設置し、戦略的に連携を進める点において他に類のないWPI拠点です。九州大学は世界に誇る最先端の水素研究環境を備えており、伊都キャンパスで行われる科学的交流や議論は、国際社会に強い影響力をもたらしています。

I<sup>2</sup>CNERは、様々な国の科学分野で活躍する優れた研究者から構成されています。I<sup>2</sup>CNERの特徴は、若手研究者による独自の研究プログラムの発展をサポートし、彼らが海外の研究機関と活発な共同研究を行っていることにあります。I<sup>2</sup>CNERの成功のためには、研究者の質こそが最も重要であると考えます。低炭素社会への移行は、世界規模で取り組むべき課題であり、国際社会の中で人的資源を有効活用することが求められています。

またI<sup>2</sup>CNERでは、ボトムアップ研究のためのユニークな機会を提供し、新たな研究の方向性の創出を積極的に支援しています。毎年開催するシンポジウムは、異分野間の融合を追求し、分野横断的な研究方針を育み、研究計画を策定するための議論を交わす好機として活用されています。

I<sup>2</sup>CNERでは、カーボンニュートラル社会実現への貢献のために、企業との連携によりセンターや共同研究部門を設置し、最先端の環境基盤技術の開発、技術の実用化及び事業化を推進しています。

## 【九州大学総長 石橋 達朗からのメッセージ】

### カーボンニュートラル・エネルギー社会実現に向けて



次世代に対して環境に優しいエネルギーを持続的に供給するために、CO<sub>2</sub>排出を伴わない再生可能エネルギーを使用するグリーンイノベーションが求められています。九州大学は、カーボンニュートラル・エネルギー社会の実現を先導するI<sup>2</sup>CNERを中心に、本学の強みである環境・エネルギー科学研究での優れた研究成果の創出やトップレベルのリーダー研究者の育成に総力を挙げて取り組みます。

## 拠点長 石原 達己からのメッセージ

カーボンニュートラル・エネルギー社会へのシフトは世界的に取り組まなければならない重要な課題です。I<sup>2</sup>CNERは必要な革新的科学と分野融合による新しい学問領域を開拓して、社会の脱化石資源化に貢献しようとしています。それと同時に、エネルギー価格が高騰している現在、豊かな生活を支えるエネルギーの確保は、世界的に重要な課題です。I<sup>2</sup>CNERでは再生可能エネルギーを水素またはCO<sub>2</sub>から得た炭化水素へ変換利用する社会システムを提案し、カーボンニュートラル社会の構築に寄与したいと考えています。

## プロフィール

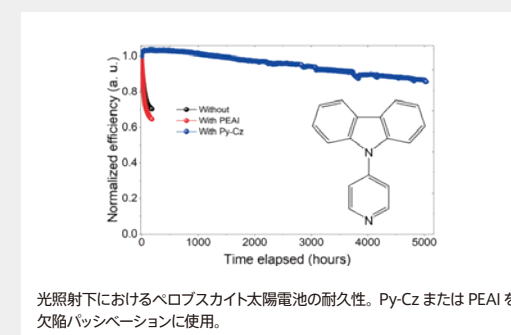
1986年に九州大学総合理工学研究科修士課程修了後、同大助手。工学博士（九州大学）。大分大学工学部講師、助教授を経て2003年から九州大学工学研究院教授に就任（現在まで）、2013年I<sup>2</sup>CNER副所長に就任。2023年4月からI<sup>2</sup>CNER所長を務める。主な受賞に触媒学会賞（学術部門）、Daiwa Adrian Prize等。専門は無機電気化学であり、燃料電池や電解に用いることができる高酸素イオン伝導体の新材料を100年ぶりに発見した。



## これまでの研究成果

### 欠陥パッシベーションによる ペロブスカイト太陽電池の高性能化

ペロブスカイト膜の表面や粒界に存在する欠陥を介して電子とホールとの再結合が生じ、それによりペロブスカイト太陽電池の性能が低下することが課題でした。I<sup>2</sup>CNERでは欠陥をパッシベーションするための新規有機材料を開発することに成功し、光電変換効率と耐久性を大きく向上させることに成功しました。ペロブスカイト太陽電池の実用化を目指して耐久性をさらに向上させるための新技術開発を行います。

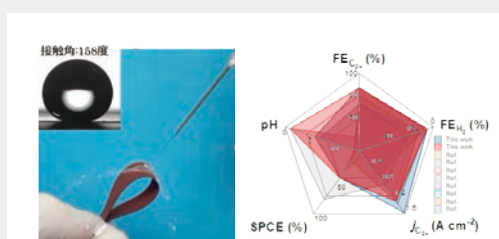


光照射下におけるペロブスカイト太陽電池の耐久性。Py-Cz または PEAI を欠陥パッシベーションに使用。

松島敏則（2022年「ACS Appl. Energy Mater.」誌に掲載）

### 酸性で駆動する 高性能二酸化炭素還元電極

電気化学的二酸化炭素還元反応は、CO<sub>2</sub>と水から再生可能な電力を使って高付加価値物質を合成する化学プロセスです。通常の実験では、副反応である水素発生を抑制するためにアルカリ電解質が用いられますが、CO<sub>2</sub>の電解質への溶解によってできる炭酸塩が析出することにより電極が破壊されるという問題がありました。本研究では、多孔構造と超疎水性を有する銅極薄電極を用いることで、酸性水溶液中においてもCO<sub>2</sub>を還元して効率よく多炭素化合物を合成することに成功しました。



超撥水性Cu電極（左）とこれまでの報告における多炭素化合物生成のファラデー効率（FE<sub>CO<sub>2</sub></sub>）、部分電流密度（j<sub>CO<sub>2</sub></sub>）、水素生成のファラデー効率（FE<sub>H<sub>2</sub></sub>）、一回反応の変換効率（SPCE）、pHの比較（右）。

山内美穂（2024年「Nature Communications」誌に掲載）





# 睡眠の謎に挑む

現代神経科学最大の謎の一つである「睡眠」。IISは、睡眠覚醒の神経科学および関連領域の世界トップレベル研究者を集結し、睡眠の機能（なぜ動物は眠るのか?）と制御機構（眠気とは何か?）の解明に挑んでいます。睡眠障害の診断・治療の新しい戦略を開発し、また睡眠に関する最先端情報を社会に発信し、人類の健康増進に貢献します。

## 【研究の目標】

### 全ての人々が健やかに眠れる社会の実現を目指して

私たちは人生の約1/3を睡眠に費やします。睡眠は身近な現象でありながら、その本質的な意義や機能、そして「眠気」の神経科学的な実体は未だ謎のままです。睡眠不足に陥ると、パフォーマンスが低下するばかりでなく心身の健康が蝕まれることから、睡眠の重要性は明かです。また、睡眠覚醒制御機構の破綻による睡眠障害は、甚大な社会的損失を生み出しています。

IISでは睡眠覚醒の謎を解明し、人々が健やかに眠れる社会を作るため、3つのミッションを掲げて研究を行っています。

1. 睡眠の機能と睡眠覚醒制御機構の解明
2. 睡眠障害とそれに関連する病態の解明
3. 睡眠障害の予防法・診断法・治療法の開発



## 【WPI 拠点としての特徴】

### 様々な国と分野の研究者と有機的につながる、オープンかつフラットな組織



オープンな研究空間



共用の実験室

IISには、20人の主任研究者からなる14のコア研究室と8つの学内連携・サテライト研究室があり、柳沢機構長のもと国内外の多岐にわたる研究分野の研究者と連携することで、睡眠医科学に関する革新的な研究活動を行っています。

柳沢機構長は、米国トップレベルのテキサス大学サウスウエスタン医学センターで20年以上にわたって教授・主任研究者として活躍してきました。この経験を活かし、IISでは米国式の「デパートメント（学部）」の長所を取り入れた研究組織を構築・運営しています。優秀な人材には年齢・キャリアを問わず主任研究者としての機会と十分な資金的サポートを与え、実験施設や高額機器などを機構内で共有することで、効率よく研究ができる体制を整えています。ラボ間の物理的・心理的な垣根を無くし研究者間の活発な交流を促す数々のメカニズムなど、従来の日本的な研究組織にはない自由闊達な雰囲気があります。さらに事務部門が手厚いサポートを行い、研究に専念できる環境を整えています。研究者・学生一人ひとりが最大限の能力を発揮し素晴らしい研究成果を出すことを常に考えながら、研究部門と事務部門が一丸となって組織運営を行っています。

## 【筑波大学長 永田 恭介からのメッセージ】

### 人々の健康と幸せを守る、世界レベルの睡眠研究をつくばから



日本人の5人に1人が睡眠に問題を抱えており、その総睡眠時間は世界的に最も短い国の一つです。睡眠後進国の我が国には、世界トップレベルの睡眠医科学研究機関が必要でした。それを実現したのが、筑波大学IISです。IISは学際的で国際的な組織を作り、最先端の研究を進めています。本学の指定国立大学法人の理念を先取りしたIISは、世界展開研究拠点として、睡眠の謎に挑戦し、次世代型の睡眠医療を牽引します。

## 拠点長 柳沢 正史からのメッセージ

私たちに、新規神経ペプチド「オレキシン」の発見とその睡眠覚醒制御における重要な役割の解明により、睡眠学の新しい研究領域が創成・展開されてきました。しかしながら、睡眠覚醒調節の根本的な原理は全く分かっていません。本拠点では、「睡眠」にテーマを絞り、この現代神経科学最大の謎を解き明かしたいと考えています。私自身の米国での24年間の研究経験を活かし、米国の大学システムの良い所に学び、かつ日本の伝統の良い部分を伸ばし、拠点に所属する全ての研究者が、各自のキャリアステージを問わず、「真に面白い」研究に挑戦することを常に奨励する環境と研究文化を提供し続けます。



## プロフィール

筑波大学医学専門学群・大学院医学研究科博士課程修了。1991年から24年間テキサス大学教授とハワード・ヒューズ医学研究所研究員を併任。2010年、内閣府最先端研究開発支援プログラム（FIRST）に研究プロジェクトが採択され、筑波大学に研究室を開設。2012年 文部科学省世界トップレベル研究拠点プログラム国際統合睡眠医科学研究機構（WPI-IIS）の発足時より機構長。2021年には、AMED ムーンショット型研究開発事業（目標7）のプロジェクトマネジャーに採択される。紫綬褒章（2016年）、慶應医学賞（2018年）、文化功労者（2019年）、茨城県民栄誉賞（2019年）、時実賞（2022年）、ブレークスルー賞 生命科学部門、クラリベイト引用栄誉賞（2023年）など受賞・顕彰多数。

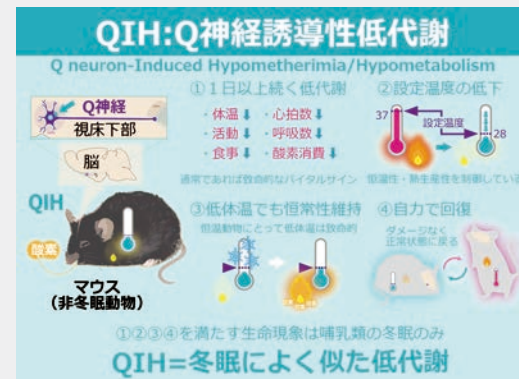
## これまでの研究成果

### 冬眠様状態を誘導する神経回路の発見 ～人工冬眠へ大きな前進～

冬眠中の動物は正常時と比べて代謝や体温が低下し、障害を伴うことなく元の状態に戻ります。しかし、マウスやラットなどの実験動物は冬眠しないため、冬眠のメカニズムは未解明でした。

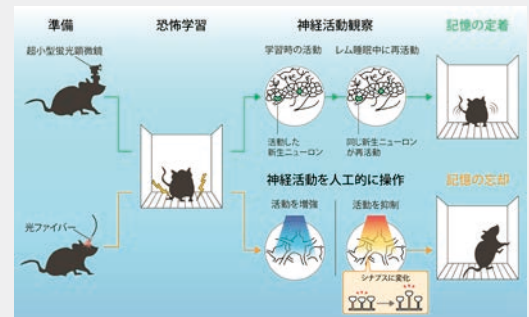
本研究では、マウスとラットで視床下部の神経細胞群（Q神経）を興奮させると、数日間にわたり冬眠様の低代謝・低体温となり、その後自発的に正常に戻る事が確認されました。

本研究で冬眠しない動物に冬眠様状態を誘導できる神経回路が明らかになり、人間へも応用できる可能性が示唆されました。



主任研究者 櫻井 武、大学院生 高橋 徹ら  
(2020年6月 Nature で論文公開)

### 睡眠中の脳の再生能力が記憶を定着させる ～怖い体験が夢でよみがえる仕組み～



成長期を過ぎると、脳の細胞は再生しないことが知られています。しかし、海馬ではごく少数の神経細胞が毎日再生する（新生ニューロン）ことが分かってきました。

この研究では、マウスの海馬では、恐怖体験をしたときに活動した発生後1か月程度の新生ニューロンが、その後のレム睡眠中にも活動することが分かりました。また、これを抑制すると、マウスが恐怖体験を忘れたようにふるまうことが分かりました。ここから、記憶の定着にはレム睡眠中の新生ニューロンの活動が関わっていることが示唆されました。

新生ニューロンが記憶を定着させるメカニズムを解明することで、アルツハイマーやPTSDなどの治療法の開発に応用できると期待されます。

主任研究者 坂口昌徳、研究員 ディベンドラ・クマールら  
(2020年6月 Neuron で論文公開)





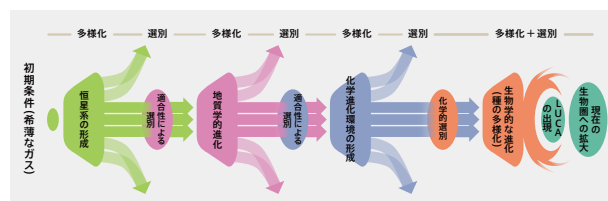
# 地球と生命の起源を探る 世界トップレベルの融合研究拠点

地球惑星科学および生命科学分野の世界一線級の研究者を結集し、「生命の起源」は「地球と惑星の起源」と不可分であるというコンセプトのもと、これらの起源への問いに挑戦します。さらに、生命惑星地球の特殊性と普遍性に注目しつつ、太陽系内および系外の生命探査研究も進めていきます。

## 【研究の目標】

### 地球はどのように生まれ、生命を育み、進化してきたのか

ELSIの研究テーマは、「地球はどのように生まれ、生命を育み、進化してきたのか」、そして「地球以外でも生命は発生するのか」という人類の根源的な謎の解明です。その理論的枠組みと研究の道筋を示すものが、ELSIモデル(右図)です。ELSIモデルは、宇宙の始まり(ビッグバン)から現在の生命までを、多様化と選別という過程の連鎖として捉えるユニークな考え方を表しています。



生命の起源に関する ELSI モデル

## 【WPI 拠点としての特徴】

### 開かれた魅力的な融合研究の拠点

ELSIは、次のような改革を通し、世界を牽引する研究・教育拠点であり続けます。

- |                 |  |
|-----------------|--|
| <b>研究環境</b>     | <ul style="list-style-type: none"><li>・異分野の研究も受け入れるオープンでフラットな研究体制</li><li>・毎年の業績評価と研究者へのフィードバック</li><li>・若手研究者のキャリア形成を支援する研究スタートアップファンド</li><li>・企業からの寄付で始まったアストロバイオロジープログラムなどユニークな外部資金の獲得</li></ul> |
| <b>教育分野での活動</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>・英語による5年間の大学院プログラム</li><li>・全額出資の学生奨学金を競争制で毎年最大10名に供与</li><li>・「産業界との研究連携」と「グローバルサイエンスコミュニケーション」コースを開設</li></ul>   |
| <b>広報活動</b>     | <ul style="list-style-type: none"><li>・効率的な活動を実現するためのエビデンスに基づいたアウトリーチの実践</li><li>・サイエンスコミュニケーショントレーニングやワークショップの実施</li><li>・国際基準の英語コンテンツ制作</li></ul>  |



融合研究を推進する  
オープンでフラットな研究組織



主任研究者が若手の研究員と議論中

## 【東京工業大学長 益 一哉からのメッセージ】

### 地球と生命の謎を解き明かす



ELSIは東京工業大学の研究拠点組織の中核研究所となっています。国際公募により研究者の約半数が外国人であること、世界トップクラスの研究者からなる共同研究ネットワークを築き上げたこと、真に国際的な研究環境を提供していることなど、ELSIは本学の誇りです。世界最高水準の理工系総合大学を目指す本学にとって、ELSIはその先導と位置づけられます。ELSIと本学はこれからも共に歩み、未来に向かって成長を遂げて行きます。

## 拠点長 関根 康人からのメッセージ



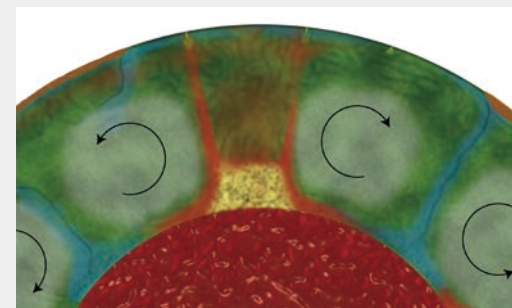
ELSIは最初の10年間で、現在の地球生命系を生み出した一連の多様化と淘汰のメカニズムについて  
の見解を示してきました。次の段階として、地球生命系の誕生に至る重要な変遷を理解するという  
試みを維持しつつ、さらに宇宙における別の惑星生命系を理解し、その存在を予測するための新しいア  
プローチを模索していきます。また、「地球と生命の起源と進化」から「地球外生命の兆候探し」へと研究  
範囲を広げ、宇宙探査ミッションと密接に連携していきます。

## プロフィール

惑星の大気と海洋の起源と進化、および太陽系におけるハビタビリティ(居住可能性)についてのトップレベルの専門家。2015年には、土星の衛星エンケラドスに現在も継続している熱水系が存在することを明らかにした。惑星に生命を誕生させ、維持するための環境因子と同環境における化学反応を理解することで、「何が地球をハビタブルな惑星にしているのか」、「太陽系には地球以外に生命が存在するのか」といった未解決問題を解き明かすための研究を行っている。

## これまでの研究成果

### 太古の岩石はマントルの中に 保存されている

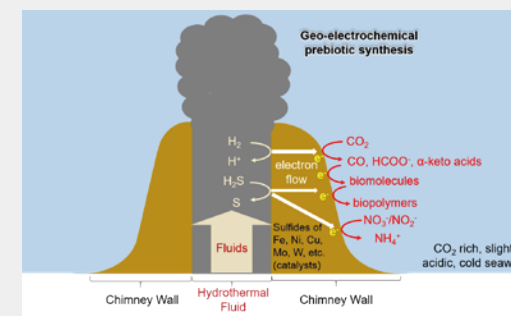


マントル対流は地球内部から熱を取り除き、プレートテクトニクスを駆動する役割を果たします。しかし地球化学的データによると、対流と物質混合が続いたにもかかわらず、マントルのどこかに太古の物質が44億年以上も保存されている証拠があります。この結果を説明するために私たちは、マントル物質輸送の新しいモデルを作りました。私たちの対流シミュレーションによると、マントルは全体としては対流し循環するにもかかわらず、粘性の高いマントル物質の領域は安定して存在し、流れはこの領域を壊さずにその周りを循環します。この結果は、循環するマントル内の二酸化ケイ素量が太陽系の平均組成よりも低いこととも合致します。

Ballmer M., Houser C., Hernlund J., Wentzcovitch R., Hirose K.  
Persistence of strong silica-enriched domains in the Earth's lower mantle. (Nature Geoscience, 2017)

### 地球電気化学 —— 生命の起源についての 新しい研究分野

私たちは、地球化学的にもっともらしい条件下で、生物を介さずに電気化学的反応だけで、二酸化炭素から一酸化炭素への転換(還元反応)が起こりうることを示しました。一酸化炭素は複雑な有機物合成の原料として長い間提案されてきたことから、この発見は重要な意味を持ちます。私たちは、熱水噴出孔で得られる電位差が還元反応を促進し炭素固定を推進したのではないかと考えています。



Kitadai N., Nakamura R., Takai K., Li Y., Gilbert A., Ueno Y., Yoshida N., Oono Y. Geoelectrochemical CO production: Implications for the autotrophic origin of life. (Science Advances, 2018)





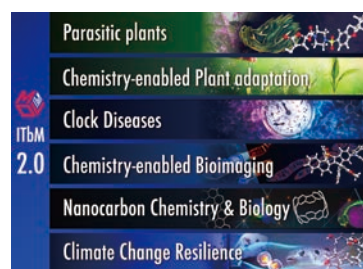
# 分子で世界を変える： 化学・生物学・理論科学が融合する場所

ITbMの夢は、私たちの生活を大きく変える革新的な生命機能分子「トランスフォーマティブ生命分子」を生み出すことです。名古屋大学の強みである合成・触媒化学、動植物生物学および理論科学の融合によって、大きな社会的波及効果をもたらしうる新たな研究分野を創生することを目指します。

## 【研究の目標】

### トランスフォーマティブ生命分子を生み出す融合研究

歴史を振り返ると、ペニシリン(抗生物質)、タミフル(抗インフルエンザ薬)、生命現象を可視化する緑色蛍光タンパク質(GFP)などの数々の著名な分子が世界を変えてきました。ITbMは、このような生命科学研究・技術を根底から変える革新的な生命機能分子をトランスフォーマティブ生命分子と定義し、これらを生み出すことを目標としています。合成化学者、動植物生物学者、および理論科学者のダイナミックな連携・融合を通じ新たな研究分野を開拓し、社会に大きな影響を与えるトランスフォーマティブ生命分子の開発を目指します。2020年、ITbMは新たな重点的研究領域(ITbM2.0)を設定し、環境問題、食糧問題、医療技術の発展などの世界的重要な課題を分子で解決すべく研究を推進しています。



ITbM2.0の重点的(フラッグシップ)研究領域

## 【WPI 拠点としての特徴】

### 多様な豊かな環境が融合研究を促進させる「ミックス」



異分野の研究者と学生が協力して働くITbM研究室内のMix LabおよびMix Office



卓越大学院「トランスフォーマティブ化学生命融合研究大学院プログラム(GTR)」の学生によるポスターセッション

ITbMには、世界を牽引するトップレベルの研究者が国内外から参画しています。海外PI 5名をはじめ、多くの海外出身の若手教員や博士研究員が参画し、女性研究者も3割を占めており、多様性の高い環境で研究者が育成されています。ITbMは、異なる分野の研究者が共に研究活動を行う「Mix Lab(ミックス・ラボ)」および「Mix Office(ミックス・オフィス)」を設置し、異分野融合を促進しています。研究分野・国籍・性別などにとらわれず自らの知的探究心に基づき最大限に力を発揮できる環境を提供し、研究者が日々ワクワクしながら研究に取り組むことで、数多くの生命機能分子が生み出されてきました。この取り組みを大学院教育にも反映させた卓越大学院「トランスフォーマティブ化学生命融合研究大学院プログラム(GTR)」に関連する研究科等とともに運営しています。

## 【東海国立大学機構機構長 松尾 清一からのメッセージ】

### ITbM は名古屋大学の宝で、化学－生命科学融合研究の世界的拠点



ITbMは拠点長の想いに共感した若手研究者が一つ屋根の下に集い、短期間に多くのすばらしい研究成果を生み出し、新しい価値の創造に挑んできました。ITbMを核とする卓越大学院プログラムを通じて、分野の壁を超えてワクワクしながら研究に“挑む”「ITbMスピリット」は学内外に広がっています。ITbMは人類社会の発展に貢献するかけがえのない宝であり、名古屋大学は誇りをもってその活動を全力で支援します。

## 拠点長 吉村 崇からのメッセージ



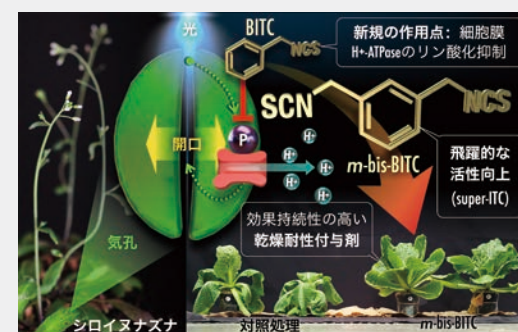
2022年4月よりITbMの拠点長に就任いたしました。私たちの夢は分子の力で世界を変えることです。ITbMは2012年の発足から10年の節目を迎えましたが、これまでの第一章では、合成化学、生物学、計算科学の融合研究によって、数多くの有望な分子を開発してきました。今日地球では食料安全保障、気候変動対策、健康的な生活の確保など、全人類の持続的な将来に不可欠な重要課題が山積しています。ITbMの第二章(ITbM2.0)では、これまでの研究をさらに加速、発展させることで、これら人類にとっての重要課題の克服を目指すとともに、新たな分野を切り拓いて参ります。

## プロフィール

名古屋大学大学院農学研究科にて博士号を取得(1999年)。名古屋大学農学部助手、同准教授等を経て、2008年より名古屋大学大学院生命農学研究科教授、2013年より本研究所教授、2013年～2019年基礎生物学研究所客員教授。2022年より本研究所拠点長。英国内分沁学会国際賞(2010年)、英国王立生物学会フェロー(2011年)、米国甲状腺学会ヴァンミーター賞(2015年)、アショフ・ホンマ生物リズム賞(2020年)、木原記念財団学術賞(2021年)などを受賞。

## これまでの研究成果

### 植物の気孔開口を抑え、 しおれを防ぐ天然物を発見！



#### ■BITCおよびスーパーITCによる葉のしおれ抑制効果

BITCは、細胞膜プロトンポンプに働き気孔開口を抑制する。スーパーITCは、乾燥耐性付与剤としての活用が期待される。

西洋わさびの辛味成分のベンジルイソチオシアネート(BITC)が、気孔開口の駆動力となる細胞膜プロトンポンプの働きを抑制することで、気孔開口を抑えることを発見しました。さらに、BITCの分子構造を改良し抑制効果を大幅に高めたスーパーイソチオシアネート(スーパーITC)を葉に塗ると、気孔が開かず葉がしおれにくくなることを実証しました。今後は切り花の鮮度保持などへの活用が期待されます。

相原 悠介、木下 俊則 ほか  
(2023年「Nature Communications」誌に論文発表)

### 月の満ち欠けによる 一斉集団産卵の仕組みを解明



#### ■クサフグが新月と満月に一斉集団産卵する仕組み

クサフグは、新月と満月の日に繁殖活動に関わる遺伝子を活性化することで、産卵行動を促進する。同時に、海水中に放出されるプロスタグランジンE2が周囲の個体の産卵や放精を促し、集団が同期して一斉に産卵する。

サンゴの一斉産卵やヒトの月経周期など、多様な生命現象が月の満ち欠けの影響を受けています。クサフグは、新月と満月の日に数千匹が一斉に海岸に集まって産卵しますが、その仕組みは未解明でした。本研究では、8週間にわたるゲノムワイド遺伝子発現解析により、新月、満月で活性化される遺伝子を発見しました。さらに、産卵時に周囲の個体の産卵と放精を促す分子を同定し、集団産卵が同期する分子機構を明らかにしました。本研究は、今後、月のリズムと生体リズムの関係の解明に役立つと期待されます。

吉村 崇 ほか(2022年「Current Biology」誌に論文発表)





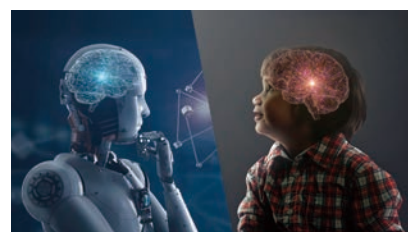
# ヒトの知性はどのように生じるか？ 脳神経発達の理解から迫る！

本機構では、生命科学と情報科学をつなぐ新しい学問分野である「ニューロインテリジェンス」を創成し、「ヒトの知性はどのように生じるか」という人類究極の問いに迫ります。発達障害を含む脳神経回路障害の克服、次世代型の人工知能の開発を通じて、より良い未来社会の創造に貢献します。

## 【研究の目標】

### 新たな学問分野『ニューロインテリジェンス』の創成へ

脳の働きを理解することは極めて複雑かつ困難な試みであり、宇宙の起源と並んで現代科学の最大のフロンティアともいえる研究領域です。ニューロインテリジェンス国際研究機構 (IRCN) は、ヒトの知性の特徴である柔軟な神経回路の形成原理を明らかにし、その原理に基づくAIの開発を促進するとともに、神経回路発達の障害により引き起こされる精神疾患の克服にも貢献する新しい学問分野の創成に挑んでいます。また、コンピュータサイエンスから得られるフィードバックをヒトの知性の理解に還元し、「ヒトの知性はどのように生じるか」という究極の問いに迫ろうとしています。



## 【WPI 拠点としての特徴】

### 国際連携のもとで脳の発達理論と計算論的科学の融合研究を推進



イメージングコア (海外からの研究者との連携)



融合研究を促進するリトリートでの活発な議論

IRCNでは関連する様々な分野の研究者の力を結集し「チームサイエンス」と呼ぶ協力体制を組むことによって、人類や臨床の問題解決に迫る「ニューロインテリジェンス」の創成のため融合研究を推進しています。さらにIRCNでは、世界でもトップクラスの最新の技術や国際的な研究環境を整え、世界に類を見ないハイレベルな研究拠点を構築します。

#### 国際的な共同研究ネットワークの構築

ボストン小児病院、マックスプランク研究所をはじめとする世界中の20ヶ所の研究組織との連携により研究ハブとしての機能を果たします。

#### 研究力強化を実現するエコシステムの構築

機構内に整備した5つのコアファシリティーが求心力となり、融合研究をより効率的・効果的に進められるよう研究者のサポートを行います。学際的な仮説の構築や検証手段を可能にするプラットフォームを国内外の研究者に提供しています。

#### 国内外の若手研究者の育成への取り組み

サイエンスサロンやリトリート、神経科学コンピューテーションコースを通じ、機構内の議論を活性化することで、次代を担う若手研究者を育成します。

## 【東京大学総長 藤井 輝夫からのメッセージ】

### ヒトの知性を探り、それに学び、社会に活かす新学問領域の創成



IRCNは東京大学に設置された2つ目のWPI拠点として、学内外の生命科学、医学、言語学、数理科学、情報科学の分野の知を結集・融合し、ニューロインテリジェンスという新たな学問分野の創成を目指しています。未だ解明されていない「ヒトの知性はどのようにして生じるか」という根源的な課題に迫る中で、世界最高水準の研究成果を世界に向けて発信していくとともに、得られた知見を社会に積極的に還元していくことを期待します。

## 拠点長 ヘンシュ 貴雄からのメッセージ

神経発達とその障害という観点から、ヒトの知性と人工知能を結びつける新しい学問分野の創設を目的に、ニューロインテリジェンス国際研究機構は2017年10月に発足しました。IRCNでは神経回路の発達過程の基本原則を究めるとともに、その異常によって生じる精神障害の発症メカニズムの解明を目指します。回路形成原理の理解は、これに基づく新しい人工知能の開発と革新的な計算手法に基づくヒト疾患の理解につながります。IRCNの唯一無二である生命科学・医学・数理科学・情報科学・言語学等の融合研究やこれを推進するコアファシリティーに是非ともご期待ください！



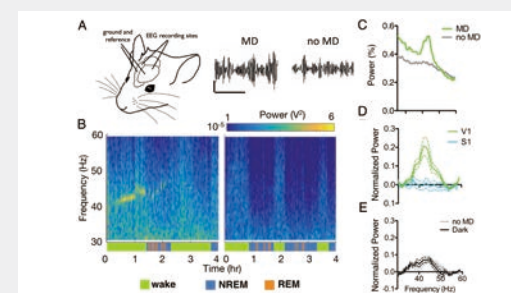
## プロフィール

UCSFにて博士号を取得後、理研 BSI 発足に神経回路発達室長として関わり、グループディレクターを務め2006年に米国に戻る。ハーバード大学とボストン小児病院で教授を兼任し NIMH Silvio O. Conte Center for Basic Mental Health Research を指揮。2017年より IRCN の機構長に着任し、2019年に CIFAR Child & Brain Development Program 共同ディレクターに就任。2016年 MD Sackler Prize、平成18年度文部科学大臣表彰科学技術賞、日本神経科学学会奨励賞 (塚原伸晃記念賞) 及び米国同賞等多数受賞。

## これまでの研究成果

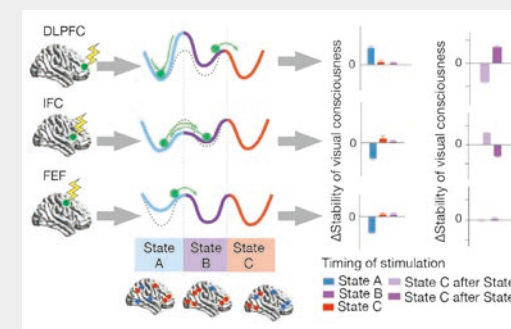
### 脳の可塑性状態を知らせる特徴的な脳波

脳の神経回路が活発に再編成される可塑性の高い発達時期を臨界期と言いますが、その過程はまだ完全には解明されていません。ヘンシュ貴雄IRCN主任研究者らの研究グループは、視覚野の感覚が不均衡な状態では、ガンマ周波数域 (~ 40Hz) の神経活動が臨界期においてのみ一過性に誘発されることを、マウスを用いた研究で明らかにしました。ナンシー・コペル連携研究者とミシェル・マッカーシー協力研究員は、数理モデルを使い、この一過性のガンマ・リズムの発生に特定の抑制性神経細胞が関与することを示し、その抑制性神経への入力に臨界期に再編成される最初期のシナプス結合であることを明らかにしました。この研究成果は、ガンマ・リズムが臨界期状態にあることの非侵襲的バイオマーカーとなり、マウスからヒトに至るまで、脳発達が正常から逸脱する過程 (自閉症やADHDなど) を探るのに利用できることを示しています。



Director /Principal Investigator/Project Professor Takao K. Hensch  
Kathleen B. Quast, Rebecca K. Reh, Maddalena D. Caiati, Nancy Kopell,  
Michelle M. McCarthy, and Takao K. Hensch (2023) PNAS, DOI: 10.1073/pnas.2123182120

### 脳活動の揺らぎを制御する



ヒトの意識は絶えず変化しており、その柔軟性こそが知性の鍵となっています。渡部喬光IRCN主任研究者らは、そういった認知の柔軟性は脳神経活動全体が柔軟に変化できることによって生み出されているということを明らかにしてきました。さらに今回、脳全体の神経活動の揺らぎをほぼリアルタイムに追跡し、最適なタイミングで自動的に神経刺激を与えるシステムを開発することで、認知の柔軟性に関する前頭前野の新たな機能を同定しました。加えてヒトの認知の柔軟性をコントロールすることにも成功しました。この手法は、さまざまな知性を生み出す神経ダイナミクスの同定に活用できるほか、自閉スペクトラム症やADHDといった疾患の新規治療法の開発にも応用されることが期待されます。

Principal Investigator/Associate Professor Takamitsu Watanabe  
Daichi Watanabe, Takamitsu Watanabe (2023) eLife, DOI: 10.1523/ENEURO.0146-23.2023





# ナノプローブ生命科学： 生命科学の「未踏ナノ領域」開拓

「目に見えない小さな世界を観る」ことは、あらゆる物性や現象の起源を学び、科学を発展させる基盤となります。ナノ生命科学研究所 (NanoLSI) は、独自の顕微鏡技術によって、これまで人類が目にしたことのない現象をナノスケールで直接観察し、科学に飛躍的な進展をもたらすことを目指しています。

## 【研究の目標】

### 生命現象の真理を、ナノスケールで解き明かす

身体を構成する細胞の内外には無数の分子が存在し、その相互作用によって生命現象を生みだします。しかし、人類は未だそれを直接観察することができません。生命科学の「未踏ナノ領域」です。NanoLSIは、世界最先端の走査型プローブ顕微鏡技術を核として、ナノ計測学、生命科学、超分子化学、数理計算科学の融合を進め、この未踏ナノ領域の開拓を目指しています。「これまで誰も見たことのない生命現象をナノスケールで直接観察し、その仕組みを根本的に理解する」 NanoLSIは、世界最先端の研究でこれを実現し、新たな学問領域「ナノプローブ生命科学」を創生して、生命科学に飛躍的な進展をもたらすべく努力しています。



走査型プローブ顕微鏡を用いて実験の様子

## 【WPI 拠点としての特徴】

### バイオイメーシング分野のハブとなる、唯一無二の研究拠点



第8回 Bio-SPM Summer School での集合写真

NanoLSIは、研究者が有機的に連携して自由に先進的な研究を進められるよう、多様な取組で支援をしています。研究所内では、PI中心に最新の研究成果を共有するColloquium、研究室同士が一对一でディスカッションをするT-meeting、ランチを片手にフラットな環境で対話をするLuncheonの3種類の研究会で、週1回以上の交流機会を設けています。そして、この交流から生まれた共同研究を融合研究推進グラントでスタートアップ支援しています。所外に対しては、若手を対象とするBio-SPM Summer School、多様な分野を対象とするBio-SPM Collaborative Research、世界トップクラスの研究室を対象とするVisiting Fellows Programの3つのOpen Facility Programsを展開し、バイオイメーシング分野で多彩な連携を構築しています。英国とカナダに設置しているサテライト拠点では、拠点を中心とする新たな連携の構築を目的として国際シンポジウムを開催し、複数の共同研究につなげています。また、これらの成果は大学院において若手研究者の育成に生かされ、次世代のバイオイメーシング研究者の育成に寄与しています。こうした多様な活動を通じて、NanoLSIはバイオイメーシング分野において国際的なハブとしての役割を果たし、先端的で革新的な研究の推進に貢献しています。

## 【金沢大学長 和田 隆志からのメッセージ】

### 人・知・社会の好循環を作り出し、学問の進展に力を尽くす



金沢大学は、卓越した世界トップレベルの研究力の強化、特色ある研究育成を基盤とし、世界の研究者が集う研究拠点の形成を推進しています。ナノ生命科学研究所は、まさにこの成果が結実したものです。世界各国から多様な研究者・学生が集まり、探求と交流を重ね、新たな価値を創造し、社会に問う。そんな、人・知・社会の好循環を生み出す知の拠点として、ナノ生命科学研究所が広く学問の進展に貢献することを期待しています。

## 拠点長 福間 剛士からのメッセージ

あらゆる物性や現象の起源は、ナノスケール (10億分の1メートル程度) の構造や動態で説明できます。したがって、これらを直接観て正確に理解することは、あらゆる科学技術に通じる究極の目標です。我々は、液中で原子や分子の動きを直接観ることのできるナノプローブ技術の開発で世界をリードしてきました。本拠点では、これらのユニークなイメージング技術を基盤として、細胞の表層や内部という「未踏ナノ領域」を開拓し、人類が観たことのない現象を直接可視化することで生命科学分野に飛躍的な進展をもたらすとともに、「ナノプローブ生命科学」という新たな学問分野を形成することを目指しています。



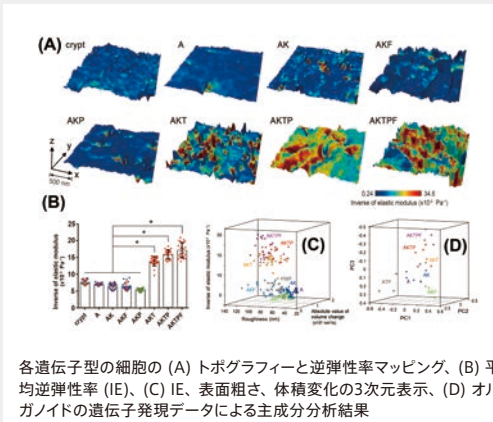
## プロフィール

2003年、京都大学博士課程修了。博士 (工学)。同大学博士研究員、Trinity College Dublin 主任研究者、金沢大学准教授を経て、2012年から同大学教授を務める。2017年に同大学ナノ生命科学研究所 (WPI-NanoLSI) の所長に就任し、現在に至る。世界初の液中原子分解観察可能な周波数変調原子間力顕微鏡 (FM-AFM) の実現により、原子・分子レベルの計測技術を化学・バイオ分野にもたらし、「未踏ナノ領域」開拓の契機となった。3D-AFM、電位分布計測技術の開発などナノプローブ技術で世界をリードする。日本学術振興会賞 (2018)、文部科学大臣表彰若手科学者賞 (2011) などを受賞。

## これまでの研究成果

### HS-SICM が解き明かす 腫瘍細胞のナノスケール物性

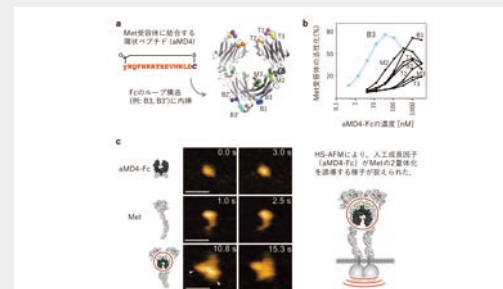
本研究では、高速走査型イオン伝導顕微鏡 (HS-SICM) の技術をベースに、生細胞のトポグラフィーと力学特性の動的変化を同時に計測する方法を開発しました。この技術を遺伝子型の異なるマウス腸管腫瘍の生細胞に応用した結果、遺伝子変異とがんの表現型である形態や柔らかさに関連があることが明らかになりました。これらの結果は、HS-SICM解析が、がん細胞の転移能を予測するための新しい診断戦略として有用であることを示唆しています。Biomaterials 280 (2022) 121256



Dong Wang, Han Gia Nguyen, Mizuho Nakayama, Hiroko Oshima, Linhao Sun, Masanobu Oshima, Shinji Watanabe. Small published by Wiley-VCH GmbH, 2022

### 難治疾患治療に有用な 高機能人工成長因子の創成

細胞成長因子受容体 (Met受容体) に結合する環状ペプチド配列を、血中に長期に維持される抗体Fc分子内や、脳内移行性をもつ抗体分子内に挿入することによって、細胞成長因子と同等の活性をもちながら、血中で長期安定な人工成長因子や脳内移行性を持つ高機能人工成長因子を創成しました。高速原子間力顕微鏡 (HS-AFM) による直接観察から、人工成長因子が活性化に必要な受容体の2量体化を誘導することが検証され、これにより、人工成長因子は天然のリガンドと同様の生物学的応答を誘導できることが解明されました。この人工成長因子は、肝硬変などの慢性疾患やパーキンソン病などの中枢神経疾患の治療に活用されることが期待されます。



Met受容体を活性化する人工成長因子の創成  
(a) Fcのループ構造 (T1~B3) の1組ずつにMet受容体結合環状ペプチド aMD4を挿入した。(b) 人工成長因子Fc (aMD4) B3は細胞上のMet受容体を活性化する。aMD4についてはB3ループへの挿入が最も活性が高い。(c) 人工成長因子Fc (aMD4) B3は2分子のMet受容体をドッキングする。右写真は高速原子間力顕微鏡 (高速AFM) による観察。

Katsuya Sakai, Nozomi Sugano-Nakamura, Emiko Mihara, Nichole Marcela Rojas-Chaverra, Sayako Watanabe, Hiroki Sato, Ryu Imamura, Dominic Chih-Cheng Yoon, Itsuki Sakai, Chihiro Yamasaki, Chise Tateno, Mikihiro Shibata, Hiroaki Suga, Junichi Takagi, Kunio Matsumoto. Nature Biomedical Engineering volume 7, pages164–176 (2023).





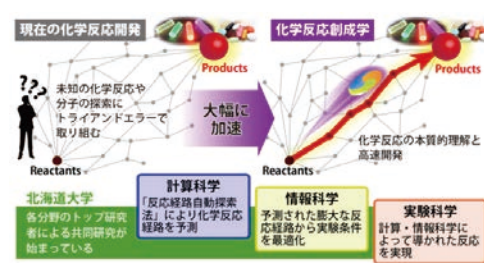
# 化学反応の本質的理解に基づく 自在設計と高速開発

化学反応は自然界のあらゆるところに存在しています。そのため化学反応の制御は、人類を豊かにする根幹をなす技術となります。ICReDDでは、計算科学に基づく化学反応の本質の解明、情報学的手法による化学反応の持つ複雑さに対する理解、および実験的な実証とフィードバックを通じて化学反応の自在設計と高速開発を目指しています。

## 【研究の目標】

### 計算科学・情報科学・実験科学の融合による化学反応の高速開発

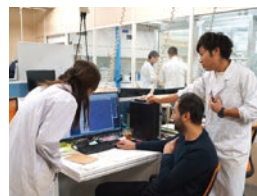
新しい化学反応を開発するための既存の試行錯誤的なアプローチは、非常に時間がかかります。そのためICReDDでは、理論先導型のアプローチにより化学反応の開発に要する時間を大幅に短縮します。前田拠点長が開発した量子化学計算に基づく最先端の反応経路自動探索法により化学反応経路ネットワークを算出したあと、情報科学の概念を応用し実験に必要な情報を抽出することで、最適な実験条件を絞り込むことが可能となります。また実験科学のデータを、情報科学を通じて計算科学へとフィードバックすることにより、新しい反応を合理的かつ効率よく開発できるようになります。このようにして私たちの未来に必要な不可欠な化学反応の高速開発を目指し、研究を推進します。



「化学反応創成学」による高速反応開発

## 【WPI 拠点としての特徴】

### 「化学反応創成学」の構築と MANABIYA システムによる国際連携



ミックスラボにおける若手研究者間の融合ディスカッション

ICReDDは、国際的に認知された拠点となること、また計算科学・情報科学・実験科学の3分野の融合により新たな化学反応の合理的かつ効率的な開発を可能にする新学術領域「化学反応創成学 (CReDD)」を早期に確立することに重点を置いています。これらの目標を達成する手段の一つが、世界スケールの高度人材育成の戦略的仕組みかつ国際的な研究者ネットワークを形成する基盤となる「MANABIYA (学び舎) システム」です。このシステムは、これら3つの分野に精通した新世代の研究者を育成し、新学術領域「化学反応創成学」を世界的に広め活用するためのものです。MANABIYAシステムは2つの部門で構成されており、MANABIYA学術部門では、国内外の大学・研究機関の若手研究者や大学院生が2週間から3ヶ月間、

ICReDDに滞在し、新しい化学反応を開発するための手法を習得します。また、MANABIYA産業部門では、ICReDDの研究者と国内外の企業研究者との間で、コンサルティング、共同研究、コンソーシアムなどの形で連携を推進します。どちらの部門においても、共に新たな研究シーズを発掘し、共同研究を進めていきます。これにより、MANABIYAシステムを通じて新しい化学反応開発の手法を習得したMANABIYA研究者が、国内外を問わずICReDDの手法を使い広めていくことになり、彼らを通じて化学反応創成学がさらに発展していくことが期待されます。

## 【北海道大学総長 實金 清博からのメッセージ】

### 「光」は「北」から 「北」から「世界」へ



ICReDD は、北海道大学のスローガンである『「光」は「北」から「北」から「世界」へ』を具現化するフラッグシップとして、「北の地」から「知の光」を「世界」に発信すべく、計算科学・情報科学・実験科学の融合による新しい化学反応の開発に取り組んでおります。本学は、新棟の建設や人的・財政的支援など、ICReDD のさらなる発展に向けて、全面的にバックアップしてまいりますので、ICReDD の今後にご期待ください。

## 拠点長 前田 理からのメッセージ

人類は、様々な化学反応の発見を積み重ねその生活を豊かにしてきました。一方で新しい反応の開発はトライアンドエラーに頼っており、真に革新的な化学反応が発見されるまでには数十年単位の時間を要しています。そのため、このままではエネルギーや資源の枯渇、汚染といった、大きな課題の解決には時間が足りません。そこで我々は、反応開発の進め方を一新すべく、計算科学・情報科学・実験科学を融合させた「化学反応創成学」を確立し、現在および将来の人类的課題の解決を目指します。さらには世界中に開かれた拠点を形成し、その効果を全世界へ波及させることで豊かな未来社会の創造に貢献します。



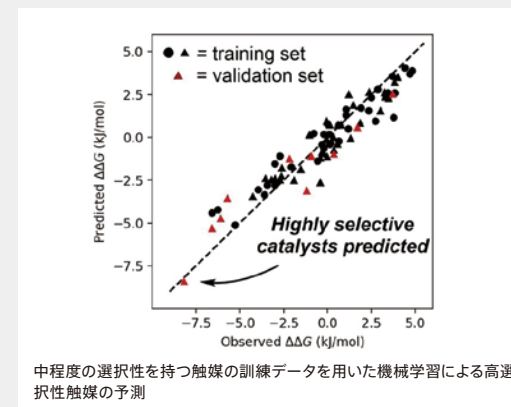
## プロフィール

東北大学にて博士号を取得後、日本学術振興会特別研究員として米国エモリー大学等で研究を行う。その後、京都大学および北海道大学にて化学反応経路ネットワークの計算や未知反応の予測を行う AFIR (人工力誘起反応) 法を開発。2017 年に 37 歳で北海道大学教授に就任、2018 年には 39 歳という若さで WPI 最年少の拠点長となる。日本学術振興会賞、世界理論・計算化学者協会 (WATOC) Dirac メダルなど受賞多数。Dirac メダルは毎年 40 歳以下の優秀な若手研究者 1 名に贈られる賞で日本人としては初の受賞となる。

## これまでの研究成果

### ロボットと機械学習による 選択性の高い不斉有機触媒の 予測手法の開発

ICReDDの辻、リスト (有機触媒)、長田 (合成ロボット) と、シドロフ、ヴァーネック (情報科学) は共同で、新たに開発した2次元分子記述子を用いた機械学習モデルにより、選択性の高い不斉有機触媒の構造を予測、実証しました。情報科学グループは、多くの触媒分子に見られる環状や分岐状の炭化水素構造を表現する新たな2次元分子記述子を開発し、機械学習モデルを構築しました。この機械学習モデルは、合成ロボットによる実験データで訓練され、高い選択性を発現する触媒構造をバーチャルスクリーニングにより予測しました。有機触媒グループは、この予測に基づき実際に選択性の高い不斉有機触媒を開発することに成功しました。



中程度の選択性を持つ触媒の訓練データを用いた機械学習による高選択性触媒の予測

辻 信弥、シドロフ・パベル、長田 裕也、ヴァーネック・アレクサンドル、リスト・ベンジャミンら共著 Angewandte Chemie International Edition, 2023 (DOI: 10.1002/anie.202218659)

### 発光によりダブルネットワークゲルの 分子レベルの損傷をマクロスケール で観察できる方法を開発

ICReDDの龔 (ゲン)、伊藤、陳 (ジン) (実験グループ) と、前田 (計算グループ) は共同で、ダブルネットワークゲル (DNゲル) の分子レベルの損傷を、発光によりリアルタイムで可視化する方法を開発しました。蛍光プローブ分子を組み込んだDNゲルを伸ばすことで分子レベルの損傷が生じ、損傷を受けた場所でのみ発光が強くなりました。計算から、酸素が関与したラジカル移動プロセスが発光をより強くすることが示唆され、実験的にも酸素の重要な役割が確認されました。この技術は、マクロスケールの材料破壊につながる分子スケールの損傷を空気中でモニターできるため、産業や研究室における材料評価に役立つことが期待されています。



DNゲル (緑) を「ICReDD」のスタンプで押して誘発した分子レベルの損傷 (青) の可視化

鄭 庸 (ジョン・ヨン)、陳 受究 (ジン・ミング)、前田 理、伊藤 肇、龔 劍萍 (グン・チェンビン) ら共著 Journal of the American Chemical Society, 2023 (DOI: 10.1021/jacs.2c13764)



# 多分野融合研究により、 ヒトの設計とその破綻機構を解明

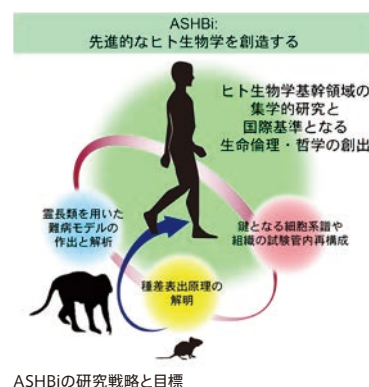
本拠点は、生命・数理・人文の融合研究を推進し、ヒトに付与された特性の獲得原理とその破綻を究明する先進的ヒト生物学を創出、革新的医療開発の礎を形成することを目指します。

## 【研究の目標】

### 先進的なヒト生物学の推進

- ASHBiでは、ヒト及びマカクザルを主な研究対象とし、
1. ヒト生物学基幹領域の集学的な研究の推進
  2. 多段階多階層ゲノム情報の新規数理解析による種差表出原理の解明
  3. 遺伝子改変カニクイザルによる難病モデルの確立
  4. 鍵となるヒト細胞・組織の再構成系の確立
  5. 先進的ヒト生物学研究における生命倫理・哲学の創成

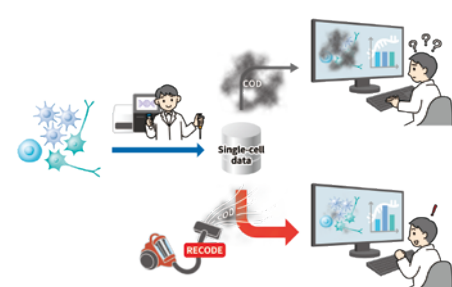
を実現します。これらの研究が、ヒトの本質を明示するとともに、難病を含む様々な病態の発症機序を解明し、その治療法の開発基盤を提示することで、ヒト社会の健全な進歩に貢献することを目指します。



ASHBiの研究戦略と目標

## 【WPI 拠点としての特徴】

### トップダウン&ボトムアップで進める異分野融合研究



RECODE: 1細胞遺伝子発現データ解析の次元の呪いを解決する前処理技術 (Imoto et al., 2022)

ASHBiでは先進的なヒト生物学を創造するため、研究室や分野の垣根を超えた異分野融合研究を積極的に推進しています。

#### フラッグシッププロジェクト

数学や生命倫理との融合研究を含む5つのフラッグシッププロジェクトを拠点レベルで推進しています。これら5つのフラッグシッププロジェクトは、研究上の関心も方法論も相互に関連しており、「ヒトをヒトたらしめるものは何か」という本拠点の根源的な問いにトップダウン方式で挑んでいます。

#### 融合研究グラント

拠点内に新たな分野融合を醸成する場を積極的に形成するボトムアップ方式の取り組みとして、ASHBi独自の融合研究グラントを構築しています。融合研究グラントでは、若手研究者自らが舵を取りプロジェクトを進めています。

## 【京都大学総長 湊 長博からのメッセージ】

### ヒト生物学を推進する国際的研究拠点としての成長を期待



ASHBiは平成30年に設置され、生命科学・数理科学・人文の融合研究の推進によってヒトの発生・発達および病態発症の解明に資する新たな知見を次々と見出して、本学が指定国立大学法人構想として掲げた「柔軟かつダイナミックな体制による知の創造」に大きく貢献しています。今後は国際的研究体制をさらに拡充させながら、ヒトの本質の解明に資する基礎研究から臨床研究までを広く展開されるよう期待しています。

## 拠点長 斎藤 通紀からのメッセージ



ヒトの成り立ちの解明は、根源的な課題です。これまでの生命科学は、生命現象の素過程が保存されていることを示してきました。一方で、それぞれの生物種毎に明確な種差があることも明らかで、モデル生物から得られた知見のヒトへの応用は容易ではありません。例えば、ヒトは、発生・発達に長い時間を費やし、特有の代謝機構を獲得し、その脳機能を著しく発達させました。ASHBiでは、ヒトや霊長類を用いた体系的な研究を推進し、進化が付与した多様性＝種差の表出原理を解明する、先進的なヒト生物学を創成し、オープンで柔軟性に富む国際的研究環境で、若手が伸び伸びと研究できる場を提供します。

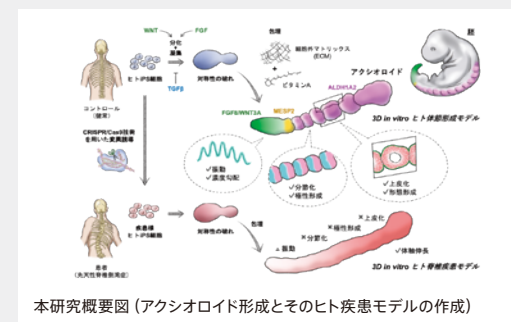
## プロフィール

2018年のWPI-ASHBi開設と同時に拠点長に就任。生命の根幹である生殖細胞の発生機構を解明し、それを試験管内で再構成する研究を推進、生殖細胞におけるゲノム・エピゲノム制御機構とその進化を研究している。最近では、ヒトiPS細胞から卵子の基となる卵原細胞を作製することや、ヒト・サル卵原細胞を体外で原始卵胞に分化させることに成功するなど、発生生物学研究を開拓する多くの成果を報告している。朝日賞、恩賜賞・日本学士院賞、国際幹細胞学会 (ISSCR) Momentum Awardなど、国内外の数々の賞を受賞。

## これまでの研究成果

### ヒト胚での3D体節形成モデルをiPS細胞から確立

本研究では、ヒトiPS細胞を用いて、ヒトの初期発生における体節形成を再現した3次元細胞培養モデル (Axioloid) を確立しました。これまで、体節形成をはじめとするヒト初期発生過程については、倫理上・技術上の問題から理解が進んでいませんでした。同モデルの作成により、上皮化された体節様構造の周期的な形成には、ビタミンA誘導体であるレチノイン酸と細胞外マトリックスが必要不可欠である事が明らかとなりました。同モデルは形態的な相同性だけでなく、遺伝子の発現パターンなどの分子的特徴の類似性も有し、体節形成における重要な遺伝子 (HES7, MESP2) に変異を持つiPS細胞から試験管内で先天性脊椎疾患を再現する病態モデルの確立にも成功しました。これまで困難であったヒトの初期発生のプロセスや疾患形成メカニズムの理解に貢献することが期待されます。



本研究概要図 (アキシオロイド形成とそのヒト疾患モデルの作成)

Alev Cantas 教授/主任研究者、山中 良裕 研究者ら (2022年12月 Natureに論文公開)

### リスクと報酬の意思決定バランスを調整する神経回路を同定

本研究では、霊長類におけるリスクと報酬の意思決定バランスを制御する神経回路を特定することに成功しました。これまで技術的に困難であった報酬系の神経活動の操作を光遺伝学の技術を用いて克服し、腹側被蓋野 (VTA) から腹外側6野 (6V) へ伸びる神経回路がこの選択に関わっていること、腹外側6野下端腹側 (6VV) への刺激により「ハイリスク・ハイリターン (HH)」の選択を、腹外側6野下端背側 (6VD) への刺激により「ローリスク・ローリターン (LL)」の選択を好むことを明らかにしました。さらに6VVへの刺激が蓄積することにより、よりHHの選択嗜好が高まることが認められました。これまで明らかとされていなかった意思決定プロセスの一端が明らかとなり、依存症の治療などへの臨床応用への一助となることが期待されます。



本研究概念図 (サルの意思決定調整とその解説)

伊佐 正 教授/主任研究者、佐々木 亮 助教ら (2024年1月 Scienceに論文公開)





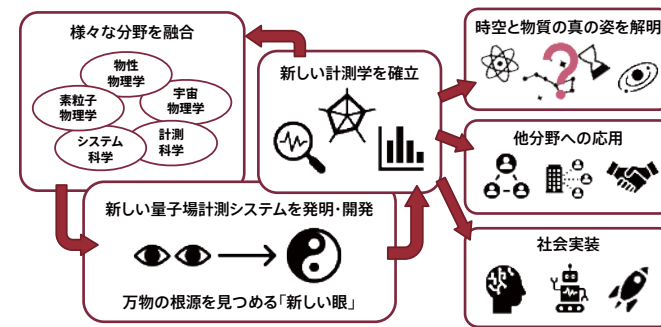
# 「新しい眼」を人類にもたらし、 この世界の成り立ちを見つめる

万物の根源「量子場」。QUPは、今までにない手段で量子場を計測する新システムを開発します。  
そして、この世界そのものの本質に迫るとともに、他分野や社会への展開を目指します。

## 【研究の目標】

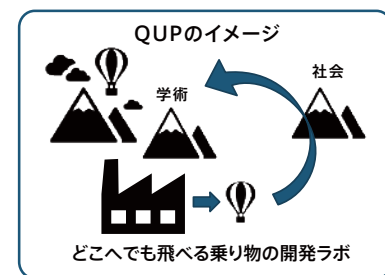
### 新しい量子場計測システムを発明・開発する

「量子場」とは、素粒子や準粒子とそれに伴う物理量を持つ時空そのもの、「物体と時空の根源」といえます。これを計測することは、極小の素粒子から極大の宇宙に至るまでの、世界に存在するすべての事象の本質を見つめることでもあります。QUPの使命は、宇宙物理、素粒子物理、物性物理、計測科学、システム科学を融合し、量子場を計測するシステムを発明・開発することです。これまでにない発想で作られたシステムは、新しい視点を宇宙観測や素粒子実験にもたらし、時空と物質の真の姿に迫ることができるに違いありません。



## 【WPI 拠点としての特徴】

### 研究のための「手段」を研究する



量子場計測システムという、研究のための「手段」を発明・開発することを目的に、測定原理の発明から、測定を実現するシステムの開発と観測プロジェクトの実行までを、様々な分野を融合しつつ一貫して行っていることが特徴です。いわば、目標に向かって進むというよりも、進むための乗り物を作るために、様々な分野の研究者が協力し合っているというイメージです。新しい乗り物を使えば、今まで行けなかった様々な場所に簡単にに行けるようになります。このため、物理学にとどまらないほかの分野や、社会への展開も可能と考えています。

## 【高エネルギー加速器研究機構長 浅井 祥仁からのメッセージ】

### 計測システムの発明・開発を強力にサポート



高エネルギー加速器研究機構 (KEK) は、大学共同利用機関として素粒子物理から物質生命、考古学に渡る広大な分野の研究にプラットフォームを提供しています。QUPによる「新しい眼」の開発が、KEKの新しい研究の起爆剤となり、そしてそこからさらに社会実装へと進んでいくことを大いに期待しています。このために、KEKはQUPのミッションを強力にサポートします。

## 拠点長 羽澄 昌史からのメッセージ

マルセル・ブルーストは「真の発見の旅とは、新しい景色を探すことではない。新しい眼で見ることなのだ。」と述べています。QUPでは、まさにこの精神で、「新しい眼」を人類にもたらし、この美しい世界の成り立ち (時空と物質の真の姿) を見つめていきたいと思っています。QUPを、異なる分野の研究者の出会いの場、アイデアがスパークする場、研究者のみなさんの夢をかなえる場にしたいと思います。そして、それが人類の幸福の礎になることが私の夢です。



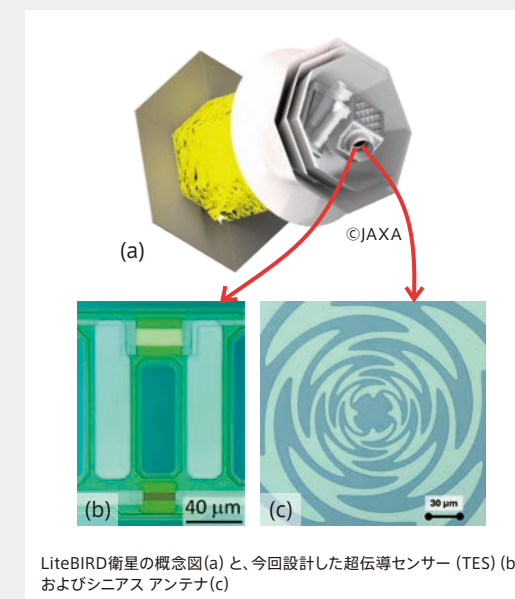
## プロフィール

東京大学大学院博士課程修了、博士 (理学) 取得。大阪大学理学部助手、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 助教授を経て、2007 年より同機構教授を務める。2014 年より東京大学国際高等研究所・カプリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU) 特任教授、2020 年より宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 (ISAS/JAXA) 特任教授を併任。専門は素粒子物理および実験的宇宙論。2007 年、B 中間子における CP 対称性の破れの発見により第 4 回日本学術振興会賞受賞。2008 年に LiteBIRD 衛星計画を提唱し、現在計画の世界代表を務める。

## これまでの研究成果

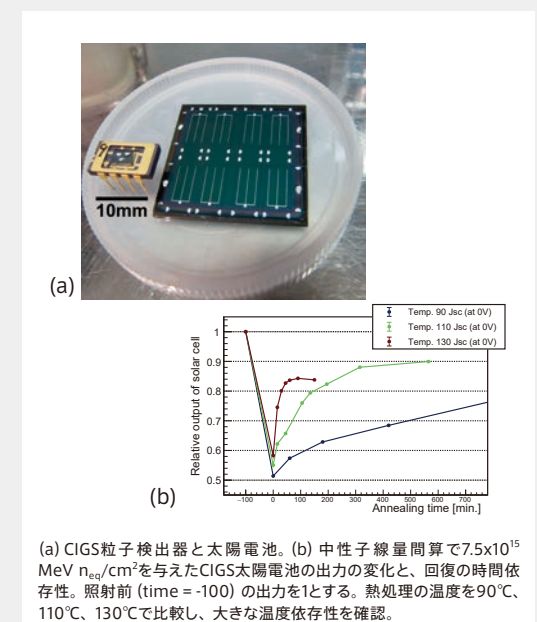
### 新しい超伝導センサーの開発 ～ライトバード衛星への 実装のために

ライトバードはJAXAが2032年度の打上げを目指す衛星計画で、ビッグバン以前の宇宙の観測を目的とします。QUP拠点長が発案し代表を務めています。QUPは宇宙初期のインフレーションの痕跡を捉えるための「新しい眼」として、偏極したマイクロ波を検出する新しいセンサーを開発しています。超伝導で動くTES検出器と特殊な形状のアンテナを開発し、パークレーサテライトで試作を行いました。このタイプのマイクロ波検出器を宇宙で使うのは初めてになります。



### 放射線損傷からの回復機構を持つ 「CIGS 半導体検出器」

$\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  (CIGS) 半導体は、放射線損傷で発生した欠陥を自己回復する機構を持つことが知られており、高放射線環境下で動作する粒子検出器や、カメラとしての利用に着目しました。世界初のCIGS粒子検出器を製作し、単Xeイオンの検出に成功、熱処理による放射線損傷からの回復を確認しています。この熱処理の温度、時間依存性を調査するため、放射線損傷を受けたCIGS太陽電池の熱処理を行い、130℃の処理では急速に回復することがわかりました。



(a) CIGS粒子検出器と太陽電池。(b) 中性子線量間算で $7.5 \times 10^{15} \text{ MeV n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ を与えたCIGS太陽電池の出力の変化と、回復の時間依存性。照射前 (time = -100) の出力を1とする。熱処理の温度を90℃、110℃、130℃と比較し、大きな温度依存性を確認。



# 人類の壮大な目標 「すべての病気の克服」に挑む

新たな科学分野「ヒューマン・メタバース疾患学」を創成し、一人ひとりの体内で病気が発症するプロセスを包括的・連続的に理解することで予防や治療につなげ、人類の健やかで持続可能な社会の実現に貢献します。

## 【研究の目標】

### 新たな科学分野「ヒューマン・メタバース疾患学」の創成

人間の体内器官で起こっている生命現象・病的プロセスを仮想空間内で再現した人のデジタルツイン（バイオデジタルツイン）を構築します。このバイオデジタルツインを用いて、ヒト疾患メカニズムの解明と発症進行・治療応答性の予測、個別化予防法や根治的な治療法の開発を目指す新しい科学分野「ヒューマン・メタバース疾患学」を創成します。

また、バイオデジタルツインを格納したヒューマン・メタバースを世界中の研究者・医療関係者が共有できる情報空間プラットフォームに発展させ、多様な研究者が常に交じり合って融合研究を行う研究環境を整備します。ヒューマン・メタバース疾患学を担う若手人材の育成にも取り組みます。

## 【WPI 拠点としての特徴】

### バイオデジタルツインを用いた最先端研究を国際的に展開

本拠点には、「ヒトオルガノイド（ミニ臓器）生命医科学」と「情報・数理科学」分野の世界的研究者が集結し、両分野を世界で初めて本格的に融合させます。まずは多くの人が加齢とともに悩まされる眼、肝臓、脳、心臓、生殖器、骨の病気を対象に、バイオデジタルツインを構築し研究を進めます。こうした研究に関する、倫理的・法的・社会的な側面の諸課題（ELSI）にも取り組みます。また、国内2ヶ所、カナダ、メキシコのサテライトに加え、米国、アイルランド、フランスの研究機関とも連携し、ヒューマン・メタバース疾患学を国際的に展開します。



WPI-PRIME 国際シンポジウム

## 【大阪大学総長 西尾 章治郎からのメッセージ】

### 人類の健やかで持続可能な社会の実現に向けて



PRIMEでは、ヒューマン・オルガノイド生命医科学と情報・数理科学に関わる世界的研究者が集結し、ヒューマン・バイオデジタルツインの構築に基づく疾患メカニズムや未病状態の解明を探究します。その成果をもとに、個別化予防法と根治的な治療法の開発を可能にする新しい科学分野「ヒューマン・メタバース疾患学」を切り拓きます。PRIMEが創造を目指す社会は、大阪大学が実現しようとする「生きがいを育む社会」そのものです。

## 拠点長 西田 幸二からのメッセージ

これまでの医学は、遺伝因子のみ、または環境因子のみで発症する因果が明快な病気について、その原因を解明してきました。結果として寿命が大幅に延びた反面、主に加齢に伴い発症する糖尿病や認知症、心不全のような病気が爆発的に増加し、現代人を脅かす状況となっています。これらの病気の多くは、遺伝因子と環境因子が時間をかけて複雑に相互作用し発症するため、従来のモデル動物を用いた要素還元的アプローチでは、その発症メカニズムの包括的な理解は非常に困難です。私たちは、ヒューマン・メタバースを用いた新たなアプローチで病気の原因解明に取り組み、すべての病気の克服に挑戦します。



## プロフィール

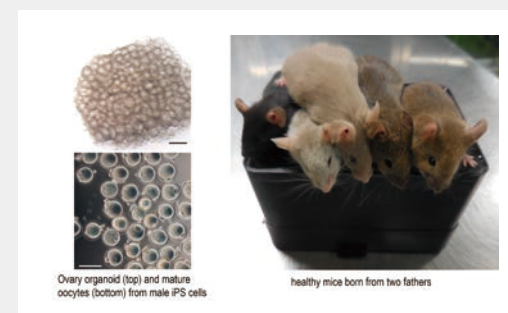
博士（医学）。大阪大学医学部を卒業後、同大学附属病院等での臨床経験を経て米国のソーク研究所で研究を行う。帰国後は大阪大学、東北大学で教育・研究活動に従事し、2010年大阪大学大学院医学系研究科主任教授（脳神経感覚器外科学（眼科学））に着任、2022年PRIMEの開設と同時に拠点長に就任。  
角膜・再生医療分野での実績が高く、iPS細胞から作製した角膜上皮を4人の患者に移植する世界初の臨床研究を行った（2019年～2020年）。文部科学大臣表彰科学技術賞研究部門（2009年）、日本再生医療学会賞（2017年）、Asia Pacific Eye 100（100 Most Influential Ophthalmologists）（2022年）などを受賞。

## これまでの研究成果

### 雄と雌のペアではなく、 雄マウス2匹から赤ちゃんが誕生 ～iPS細胞を用いた世界初の成果～

PRIMEの研究グループではiPS細胞を用いて作製された様々なオルガノイド（ミニ臓器）を扱っており、その1つに卵巢があります。卵巢オルガノイドを用いることで、生物がどのように誕生するのか、といった発生生物学の分野が大きく発展します。

林克彦教授らは、世界で初めて雄の細胞だけを用いて赤ちゃんを誕生させることに成功しました。まず、雄マウスの尾の細胞から雌性染色体を含むiPS細胞を作製し機能的な卵子を形成したのち、この卵子と別の雄の精子と受精させることで、正常な赤ちゃんマウスが誕生することが示されたのです。この技術は、性染色体異常または一部の染色体数の変異による不妊症の治療の光となることが期待されています。

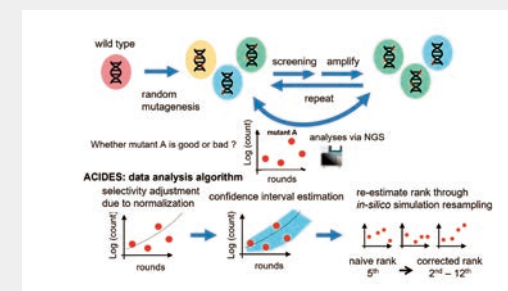


Nature (2023)  
DOI: 10.1038/s41586-023-05834-x

### ACIDES: スクリーニング解析アルゴリズムの 技術革新

タンパク質スクリーニングはタンパク質の創出や機能測定で使われる実験手法の一つで、PRIMEでも重要視している創薬や病気のメカニズム解明など、医療分野の実験において広く使用されている技術です。

根本孝裕特任准教授（常勤）らは、タンパク質スクリーニング実験を解析するアルゴリズムACIDESを開発しました。フランスのInstitut de la Visionの研究グループと共同で、高分散なNGSノイズを記述する統計モデルとタンパク質スクリーニングの数理モデルを組み合わせることにより、今までにない精度でタンパク質スクリーニング実験の統計誤差決定を可能にしました。遺伝子治療法で使われるウイルスベクターの開発や、個別化医療ゲノム創薬など、今後様々な応用が期待されます。



Nature Communications (2023)  
DOI: 10.1038/s41467-023-43967-9





# 持続可能で豊かな未来のために、人工物質を研究開発する国際研究所

SKCM<sup>2</sup>は、「キラルノット超物質」という新しい研究パラダイムを導入することで、非常に有用な材料特性を持つ人工物質をデザインし、エネルギー需要の増大や気候変動などの地球規模の課題解決に挑戦します。

## 【研究の目標】

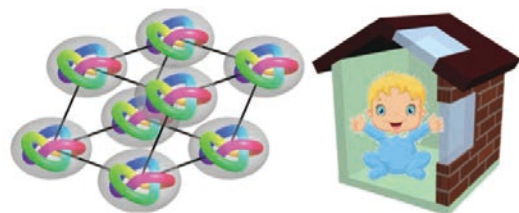
### 自然の限界を凌駕する人工的なキラルノット超物質

私たちは、ディスプレイに使われている液晶のような実験しやすい対象を用いて自然現象を再現し、自然の最小構成要素から宇宙全体までを支配する基本法則を探索します。基本粒子の特性をもつ物理場の結び目を利用して作製した結晶や、自然界に存在する物質に類似した人工物質など、物質をデザインして作ります。水引のように物理場と分子を結んだり編み込んだりすることで、自然の限界を超えた新しい物理的特徴や有用な特性を見い出しています。例えば、私たちが開発した超物質を用いれば、冷暖房の消費エネルギーを削減できる超断熱性能を実現できるかもしれません。

## 【WPI 拠点としての特徴】

### トポロジー×キラリティ：分野や規模を超えた相互連携

SKCM<sup>2</sup>は、人工物質の構成要素を自由にデザインすることができる物理場の結び目を開発する世界で唯一の研究機関であり、「キラルノット超物質」という新しい研究パラダイムを導入します。これにより、研究分野や研究対象の規模を超えて、数学的結び目理論とキラリティの知見を掛け合わせた研究を展開します。そして、結び目のような人工粒子を用いて、特異で技術的に有用な特性をもつ物質をデザインして作製します。特に、省エネや持続可能な未来を実現して、気候変動を緩和するために必要な物理特性をもつ物質を優先的に開発します。



## 【広島大学長 越智 光夫からのメッセージ】

### 世界トップレベルのキラルノット超物質研究を広島から世界へ



SKCM<sup>2</sup>は、分子や原子などの自然界を構成する要素の人工類似体を開発し、自然界をより深く理解することを目指します。また、自然界には存在しない材料特性を持つ人工材料を自在に創成して、地球規模の問題を解決し、持続可能な未来を実現するための技術革新の基盤を構築します。広島大学は人的・財政的支援や研究環境整備などを重点的に行之、SKCM<sup>2</sup>で世界トップレベルの研究活動を実施できるよう強力にサポートします。

## 拠点長 イワン スマリユクからのメッセージ

私たちは、「結び目（ノット）をつないで持続可能な世界を構築する」というスローガンのもと、キラルノット超物質に関する高度で学際的な基礎研究を推進しています。基礎科学の知見を広げるとともに、持続可能な未来の実現に貢献することを目指します。SKCM<sup>2</sup>は、自然の構成要素や物質の人工的な類似物を開発することで、私たちの身の回りの世界をより深く理解し、自然の限界を克服することを使命としています。また、日本や世界における、研究活動に基軸を置いた大学院教育を先導し、若くて優秀な人材を世界規模で結びつける活動を推進します。



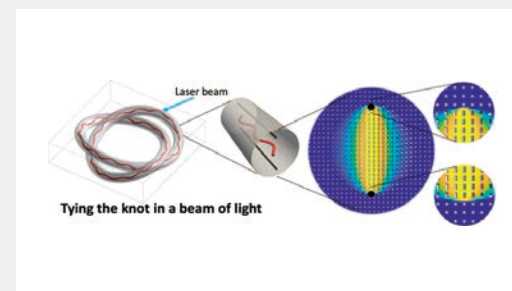
## プロフィール

自然界に存在しない人工物質の開発において、世界をリードする物理学者である。エネルギー需要の増加などの難題解決を目指した基礎研究を行っている。ベッセル賞、NASA iTech 賞、グレン・ブラウン賞、国際液晶学会 Mid-Career 賞、アメリカ物理学会キャリア賞、米国ホワイトハウス科学技術局大統領アーリーキャリア賞など、受賞多数。アメリカ物理学会、国際光工学会、およびアメリカ光学会のフェロー。

## これまでの研究成果

### 結び目構造をもつ渦による光導波の制御

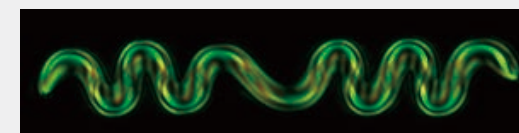
特異的な渦線で構成される光軸パターンを形成することで、光の導波経路を制御できることを示しました。光に対して外部から摂動を加えることで、光と物質の相互作用を変化させることができます。液晶分子で作った周期的な渦構造の中を光が通過すると、光が液晶分子と相互作用して発生する光ソリトンの導波経路が稲妻のような形に分岐します。高い複屈折率をもつ液晶を用いた場合、閉じた輪の形状や結び目形状の経路に光を誘導することができます。このような技術は、ビームステアリングや情報通信、バーチャルリアリティの実装および偽造防止への応用が見込まれます。また、宇宙論で提唱されており、観測が困難な欠陥である宇宙ひもによる光の屈折現象など、光と欠陥構造の相互作用の研究に役立ちます。



Nature Materials 22, 64-72 (2023)  
doi:10.1038/s41563-022-01414-y

### 液晶中に作製したメビウスの帯のようなトポロジー

様々な分野で研究されているトポロジカルソリトンのなかで、空間的に局在した、ソリトン構造と特異的な欠陥の特徴を併せもつ例はまれです。そのような例として、twist型ドメインウォールが液晶分子で作った渦構造と一体となって自己組織化すると、折り畳まれた構造をもつ空間的に局在したトポロジカルオブジェクトが形成されることを見出しました。形成された“メビウソン”の分子配向場のトポロジーは、メビウスの帯の表面形状に類似しています。液晶に印加する電場を制御することで、メビウソンの回転・並進運動およびメビウソンがトポロジカルソリトンを貨物として運搬する機能を誘起できます。また、メビウソンの折り畳み構造を制御することで、情報をコード化できることを示しました。



Nature Physics 19, 451-459 (2023)  
doi:10.1038/s41567-022-01851-1



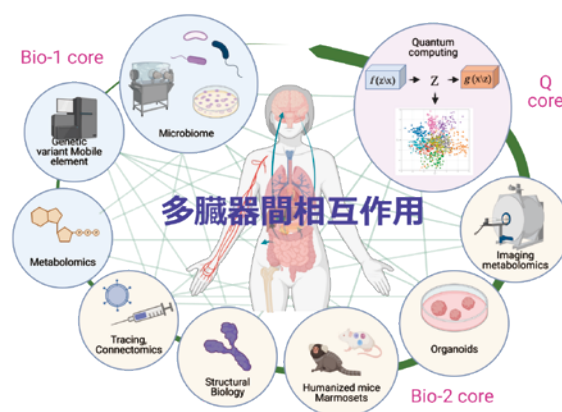
# ヒト生物学-微生物叢-量子計算の研究融合から健康長寿へ

ヒトの健康は多臓器が連動して機能することで維持されています。本拠点は様々な疾患や発達・老化に関係する多臓器解析データ、微生物叢データを収集し、健康の分子基盤の理解を深化させる新しい生命科学を展開します。

## 【研究の目標】

### 生体恒常性の制御機構の解明を目指して

ヒトが如何にして外部環境情報を処理し、細胞/臓器間が階層ごとに連動しながらシグナルを分散・統合・制御し恒常性を維持しているのかを理解します。これまでヒト生体において大きなブラックボックスとして残されていたマイクロバイオームという重要な因子を加味しながら、粘膜上皮・免疫・神経・代謝系などによって生体恒常性がどのように統御されているかという問いに継続してチャレンジします。また、超マルチオミクスデータをAI及び量子計算を用いて解析し、ヒト表現型の背後に隠れた未知の多臓器連関経路を開拓します。



## 【WPI 拠点としての特徴】

### 世界トップレベルの研究・技術群を一つの組織に統合

本拠点では、これまで明らかにされなかった恒常的臓器円環メカニズムを発見し検証するという新しいライフサイエンスの方法論を確立します。そのためにBio2Qには微生物叢研究・オルガノイド技術・代謝物解析・神経回路解析・量子計算の世界的リーダーが集結し、ヒト多臓器多次元データ解析コア、多臓器円環機構解析コア、量子コンピューティングコアの3つの研究コアで最先端技術を活用しながら、コアを越えた融合研究を推進しています。また、医学研究科・薬学研究科・理工学研究科の3つの大学院研究科による横断連携英語プログラムの設立やコア間メンターリングによって、融合研究推進の中軸を担う人材の育成を目指していきます。

## 【慶應義塾長 伊藤 公平からのメッセージ】

### 総合知の創成と自律して成長する研究大学に向けて



Bio2Qは、医学、薬学、理工学が連携し、世界トップレベルの研究機関と国際協調しながら、複雑なヒト多臓器円環メカニズムについての解明を行う研究センターです。総合知を創成し、自律して成長する研究大学の実現に向け、世界から見える国際研究拠点の構築を目指す本学にとって、Bio2Qはこの計画を総合的に実践する事業です。最大限の支援を行い、大学のシステム改革につなげていきたいと考えます。

## 拠点長 本田 賢也からのメッセージ



Bio2Q拠点は、日本で初めてのマイクロバイオーム研究拠点です。マイクロバイオームとヒトとの相互作用を分子レベルで明らかにしていきます。この複雑性を理解するため私たちは従来の生物学的手法と共に量子コンピューター技術を用います。将来的には現在治療困難な疾患の新しい治療法の開発につなげたい。研究者にとって魅力的で、世界レベルで戦える組織にしたいと考えています。

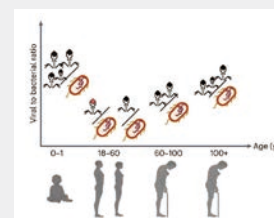
## プロフィール

2001年に京都大学にて博士号（医学）を取得後、東京大学医学部医学系研究科免疫学講座助手、大阪大学大学院医学系研究科免疫制御学准教授、東京大学医学部医学系研究科免疫学講座准教授を経て、2013年に理化学研究所統合生命医科学研究センター消化管恒常性研究チームリーダーに就任（継続中）。2014年に慶應義塾大学医学部微生物学免疫学教室教授に就任（継続中）。2022年より慶應義塾大学 WPI-Bio2Q 拠点長に就任（継続中）。Clarivate Highly Cited Researchers に選出される（2014年～2023年）。

## これまでの研究成果

### 百寿者は多様な腸内ウイルス叢を持っており、代謝を調節し健康寿命を促進する可能性がある

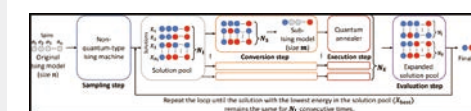
腸内細菌叢の生態系は、全身の免疫機能や感染症に対する抵抗性に影響を及ぼすため、老化に関連した疾患の予防に関与している可能性があります。しかし、様々なライフステージにおけるマイクロバイオームのウイルス構成要素については、未解明のままです。Broad研究所のチームはBio2Qメンバーと共同して、日本とサルデーニャの195人の既発表のメタゲノムを用いて、百寿者の腸内ウイルス叢の特徴を解析しました。若年成人（18歳以上）および高齢者（60歳以上）の腸内ウイルス叢と比較して、百寿者は、クロストリジウムに関連するウイルスなど、これまで未記載のウイルス属を含むより多様なウイルス叢を有していました。また、より高い溶菌活性への集団シフトも観察されました。最後に、ファージがコードする細菌の生理機能に影響を与える補助機能について調べたところ、硫酸代謝経路の主要なステップをサポートする遺伝子の濃縮が明らかになりました。百寿菌のファージと細菌は、メチオニンをホモシステインに、硫酸塩を硫化物に、タウリンを硫化物に変換する可能性が増大していました。百寿者の微生物による硫化水素の代謝産生が多いことは、ひいては粘膜の完全性と病原菌に対する抵抗性を支えているのかもしれない。



Nature Microbiology 2023; 8: 1064–1078  
DOI: 10.1038/s41564-023-01370-6

### シミュレーテッドアニーリングに基づくイジングマシンと量子アニーラーを用いたハイブリッド最適化法

イジングマシンは、組合せ最適化問題の高速・高精度ソルバーとして開発されています。イジングマシンはその内部アルゴリズムによって分類され、シミュレーテッドアニーリングに基づくイジングマシン（非量子型イジングマシン）と量子アニーリングに基づくイジングマシン（量子アニーラー）がその例として挙げられます。ここでは、非量子型イジングマシンを用いて量子アニーラーの性能を向上させ、両者の長所を生かしたハイブリッド最適化手法の性能を調べました。この手法では、まず非量子アニーリングイジングマシンが前処理として元のイジングモデルを複数回解きます。その後、スピン固定によって生成された縮小サブイジングモデルを量子アニーラーによって解きます。非量子型イジングマシンとしてシミュレーテッドアニーリング(SA)を、量子アニーラーとしてD-Wave Advantageを用いたシミュレーションにより、本手法の性能を評価しました。さらに、ハイブリッド最適化手法のパラメータ依存性を調べました。その結果、提案手法は、全結合ランダムIsingモデルにおいて、前処理のSAや量子アニーラーを単独で用いた場合の計算性能を超えることを明らかにしました。



J. Phys. Soc. Jpn. 92, 124002 (2023)  
DOI: 10.7566/JPSJ.92.124002





東北大学・海洋研究開発機構 (JAMSTEC) |  
変動海洋エコシステム高等研究所 (WPI-AIMEC)



# 物理学、生態学、数理科学を 統合して紐解く海洋生態系変動



地球システムの維持に不可欠な役割を担う海洋生態系の環境応答・適応メカニズムを理解・予測し、人間社会の持続可能性に資するため、世界トップクラスの研究者を糾合した国際的な研究拠点の形成を目指します。

## 拠点長 須賀 利雄からのメッセージ

海洋学は、海の物理学・化学・生物学に分かれて発展してきました。諸現象の理解は進みましたが、研究が深化するほど相互の理解は難しくなりました。環境変化に対する海洋生態系の変化の問題に取り組むためには、個別の分野を一体的に扱う融合研究が不可欠となってきています。私たちは、海洋生態系に関する学問を融合するアプローチにより、気候―海洋―生態系の相互作用、海洋環境の変化に対する生態系の応答・適応、そして、海洋生態系の変動予測に挑んでいきます。本拠点の研究活動により創出される「科学知」を国内外のステークホルダーと共に「総合知」へと発展させ、海洋および生態系の再生と回復に強力に貢献する所存です。

### 【研究の目標】

## 地球システム変動に対する海洋生態系の応答・適応機構の解明と予測

海洋物理学、生態学、数理・データ科学を融合したアプローチにより、1. 気候―海洋―生態系の相互作用、2. 海洋環境の変化に対する生態系の応答・適応メカニズム、3. 海洋生態系の変動予測、の研究に挑みます。海洋生態系が広い範囲で急激に構造を変える「レジームシフト」と呼ばれる現象に着目しつつ、生物地球化学データを含む海洋観測、eDNA分析、室内実験等を利用し、海洋生態系の維持に重要な運動性・安定性・適応性の理解を深めます。更に、AIなどを活用し、海洋物理―生態系ビッグデータの統合解析を進め、現実の海に適用可能な海洋生態系変動モデルを構築します。それにより、新しい学術領域として「海洋生態系変動システムティクス(Ocean-Ecosystem Change Systematics)」の創成を目指します。

### 【WPI 拠点としての特徴】

## 東北大学の研究教育と JAMSTEC の最先端の海洋研究機能の融合

東北大学の基礎研究や教育に関する高度な機能と、JAMSTEC の海洋調査や計算基盤の最先端の機能を連携させて活動する仕組み（インターラボラトリーシステム）を構築します。この連携体制の下に、幅広い分野から世界トップクラスの研究者や優秀な若手研究者約100名を結集します。また、東北大学・JAMSTECと強い連携関係にあるハワイ大学を国際サテライト拠点に位置付け、同大学の海洋観測や生態系研究の機能とも結びつけることで、先端的な国際分野融合研究を推進します。同時に、海外の研究者と共同で大学院生を指導する国際共同大学院プログラムを発展させることにより、国際的な頭脳循環と分野融合研究を活性化させ、世界で活躍する次代のグローバル人材を育成します。

### 【東北大学総長 富永 悌二、海洋研究開発機構理事長 大和 裕幸からのメッセージ】

## 分野横断的な海洋研究と高等教育を両宿主拠点の強みで加速



東北大学は、基礎学術の強みや高等教育機能を活用し、世界をリードする若手人材の育成と国際的な頭脳循環・分野横断研究の推進へ向けてWPI-AIMECを支援していきます。



海洋研究開発機構は、先進的な海洋調査インフラや計算プラットフォームを活用し、海洋生態系変動メカニズムの解明と予測の実現に向けてWPI-AIMECを支援していきます。



## Information / 連絡先



東北大学  
材料科学高等研究所 (WPI-AIMR / エーアイエムアール)  
〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1  
Phone : 022-217-5922 Fax : 022-217-5129  
Email : aimr-soumu@grp.tohoku.ac.jp  
URL : www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/  
www.facebook.com/TohokuUniversity.AIMR  
twitter.com/TohokuUnivAIMR



東京大学  
国際高等研究所 ニューロインテリジェンス国際研究機構 (WPI-IRCn / アイアールシーエス)  
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1  
Phone : 03-5841-4861 Fax : 03-5841-0738  
Email : pr.ircn@gs.mail.u-tokyo.ac.jp  
URL : ircn.jp



東京大学  
国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU, WPI / カブリアイビーエムユー)  
〒277-8583 千葉県柏市柏の葉5-1-5  
Phone : 04-7136-4940 Fax : 04-7136-4941  
Email : inquiry@ipmu.jp  
URL : www.ipmu.jp/ja



金沢大学  
ナノ生命科学研究所 (WPI-NanoLSI / ナノエルエスアイ)  
〒920-1192 石川県金沢市角間町  
Phone : 076-234-4550 Fax : 076-234-4559  
Email : nanolsi-office@adm.kanazawa-u.ac.jp  
URL : nanolsi.kanazawa-u.ac.jp



京都大学  
高等研究院 物質―細胞統合システム拠点 (WPI-iCeMS / アイセムス)  
〒606-8501 京都市左京区吉田牛ノ宮町  
Phone : 075-753-9749 Fax : 075-753-9742  
Email : info@icems.kyoto-u.ac.jp  
URL : www.icems.kyoto-u.ac.jp  
twitter.com/iCeMS\_KU



北海道大学  
化学反応創成研究拠点 (WPI-ICReDD / アイクレッド)  
〒001-0021 札幌市北区北 21 条西 10 丁目  
Phone : 011-706-9649 Fax : 011-706-9652  
Email : office@icredd.hokudai.ac.jp  
URL : www.icredd.hokudai.ac.jp/ja



大阪大学  
免疫学フロンティア研究センター (WPI-iFReC / アイフレック)  
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘3-1  
Phone : 06-6879-4275 Fax : 06-6879-4272  
Email : ifrec-office@ifrec.osaka-u.ac.jp  
URL : www.ifrec.osaka-u.ac.jp  
facebook.com/Osaka.Univ.iFReC



京都大学  
高等研究院 ヒト生物学高等研究拠点 (WPI-ASHBi / アッシュビー)  
〒606-8501 京都市左京区吉田近衛町  
Phone : 075-753-9882  
Email : ASHBi-info@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp  
URL : ashbi.kyoto-u.ac.jp/ja  
twitter.com/Ashbi\_KyotoU



物質・材料研究機構 (NIMS)  
ナノアーキテクトニクス材料研究センター (WPI-MANA / マナ)  
〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1  
Phone : 029-860-4709 Fax : 029-860-4706  
Email : mana@nims.go.jp  
URL : www.nims.go.jp/mana/jp  
facebook.com/wpi.mana  
twitter.com/wpi\_mana  
www.instagram.com/wpi\_mana/



高エネルギー加速器研究機構 (KEK)  
量子場計測システム国際拠点 (WPI-QUP / キューユービー)  
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1  
Phone : 029-879-6300 Fax : 029-864-5430  
Email : qup\_pr@ml.post.kek.jp  
URL : www2.kek.jp/qup



九州大学  
カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (WPI-I2CNER / アイスナー)  
〒819-0395 福岡市西区元岡744  
Phone : 092-802-6932 Fax : 092-802-6939  
Email : wpi-office@i2cner.kyushu-u.ac.jp  
URL : i2cner.kyushu-u.ac.jp/ja/  
facebook.com/I2CNER.news  
twitter.com/I2CNER



大阪大学  
ヒューマン・メタバース疾患研究拠点 (WPI-PRIME / プライム)  
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-2  
Phone : 06-6210-8314 Fax : 06-6210-8319  
Email : info@prime.osaka-u.ac.jp  
URL : prime.osaka-u.ac.jp/ja/  
facebook.com/Osaka.Univ.PRIME/  
twitter.com/WPI\_PRIME/



筑波大学  
国際統合睡眠医科学研究機構 (WPI-IHS / トリプルアイエス)  
〒305-8575 茨城県つくば市天王台1-1-1  
Phone : 029-853-5857 Fax : 029-853-3782  
Email : wpi-iiis-alliance@ml.cc.tsukuba.ac.jp  
URL : wpi-iiis.tsukuba.ac.jp/japanese  
facebook.com/WPI.IIIS  
instagram.com/wpi.iiis



広島大学  
持続可能性に寄与するキラルノット超物質拠点 (WPI-SKCM2 / エスケューシーエムスクエア)  
〒739-0046 広島県東広島市鏡山 2-313  
Phone : 082-424-8079  
Email : chiral-secretary@office.hiroshima-u.ac.jp  
URL : wpi-skcm2.hiroshima-u.ac.jp/jp/



東京工業大学  
地球生命研究所 (WPI-ELSI / エルシー)  
\*東京工業大学と東京医科歯科大学が統合し、2024年10月に東京科学大学が誕生します。  
〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1-IE-1  
Phone : 03-5734-3414 Fax : 03-5734-3416  
Email : information@elsi.jp  
URL : www.elsi.jp  
www.facebook.com/ELSIorigins  
www.twitter.com/ELSI\_origins



慶應義塾大学  
ヒト生物学・微生物叢・量子計算研究センター (WPI-Bio2Q / バイオツーキュー)  
〒160-8582 東京都新宿区信濃町 35  
Phone : 03-6709-8106 Fax : 03-6709-9136  
Email : bio2q@info.keio.ac.jp  
URL : www.bio2q.keio.ac.jp



名古屋大学  
トランスフォーマティブ生命分子研究所 (WPI-ITbM / アイティービーエム)  
〒464-8601 名古屋市中千種区不老町  
Phone : 052-747-6843 Fax : 052-789-3240  
Email : office@itbm.nagoya-u.ac.jp  
URL : www.itbm.nagoya-u.ac.jp/index-ja.php  
facebook.com/NagoyaUniv.ITbM  
twitter.com/NagoyaITbM



東北大学・海洋研究開発機構 (JAMSTEC)  
変動海洋エコシステム高等研究所 (WPI-AIMEC / エイメック)  
〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3  
Phone : 022-795-5614  
〒236-0001 神奈川県横浜市長谷区 3173-25  
Phone : 045-778-3811 Fax : 045-778-5498  
Email : aimec-contact@grp.tohoku.ac.jp  
URL : wpi-aimec.jp



## Contact



### MEXT

Basic and Generic Research Division, Research Promotion Bureau  
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology  
3-2-2 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8959, Japan  
Phone : +81 3 5253 4111  
Email : kisokiban@mext.go.jp

### 文部科学省

研究振興局基礎・基盤研究課  
〒100-8959 東京都千代田区霞が関3-2-2  
Phone : 03-5253-4111  
Email : kisokiban@mext.go.jp



### JSPS

Center for World Premier International Research Center Initiative  
(WPI Program Center)  
Japan Society for the Promotion of Science  
5-3-1 Kojimachi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0083, Japan  
Phone : +81 3 3263 0967  
Email : jspstoplevel@jsps.go.jp  
URL : [www.jsps.go.jp/english/e-toplevel](http://www.jsps.go.jp/english/e-toplevel)  
Facebook: [facebook.com/wpi.japan](https://facebook.com/wpi.japan)

### 独立行政法人日本学術振興会

世界トップレベル拠点形成推進センター  
〒102-0083 東京都千代田区麹町5-3-1  
Phone : 03-3263-0967  
Email : jspstoplevel@jsps.go.jp  
URL : [www.jsps.go.jp/j-toplevel](http://www.jsps.go.jp/j-toplevel)  
Facebook: [facebook.com/wpi.japan](https://facebook.com/wpi.japan)