



東京大学

宇宙線研究所

Institute for Cosmic Ray Research
The University of Tokyo

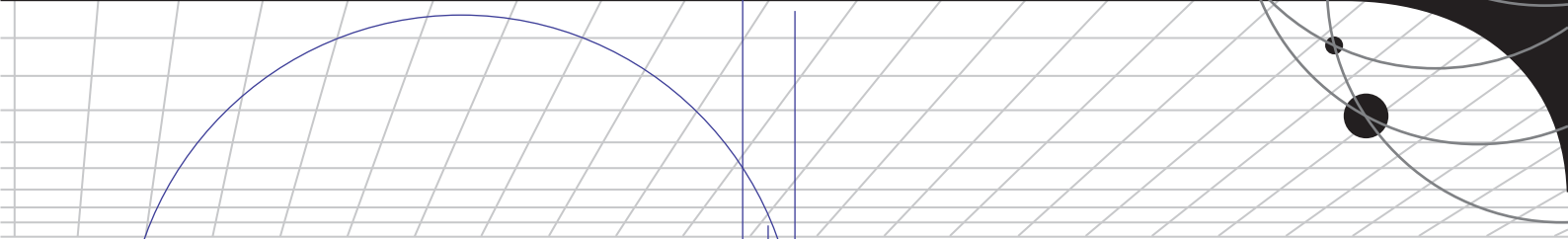
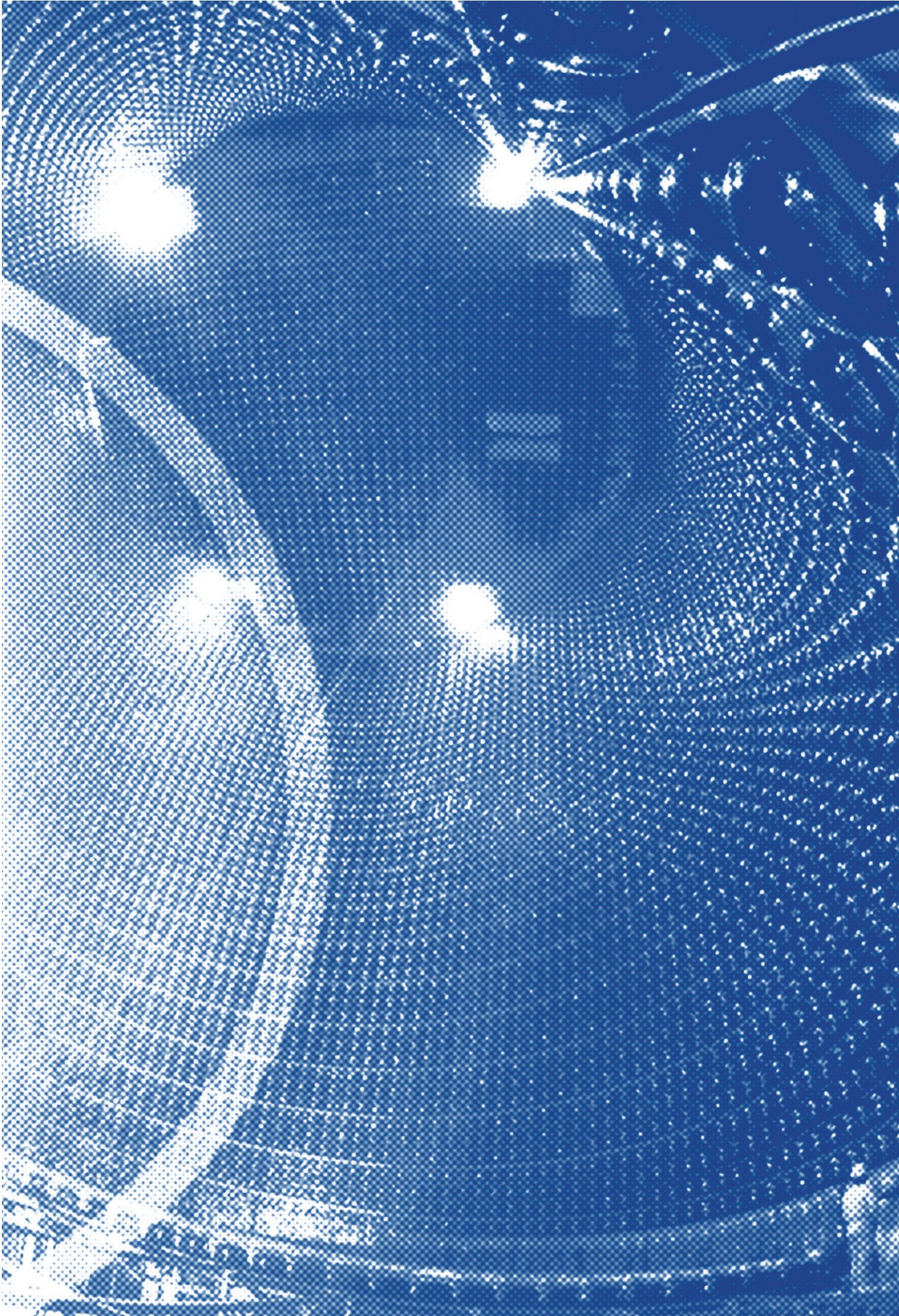
■柏キャンパス

〒277-8582 千葉県柏市柏の葉5-1-5 TEL: 04-7136-3102 (総務係)

■Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo,
5-1-5 Kashiwa-no-Ha, Kashiwa City, Chiba 277-8582, Japan
Phone: +81-4-7136-3102 (Speak Japanese)

平成24年度(2012)

<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/>



CONTENTS

目次

◆研究内容について

ご挨拶	2
Preface	
宇宙線とは？	4
What'sCosmic Ray?	
宇宙ニュートリノ研究部門	
Cosmic Neutrino Research Division	
スーパーカミオカンデグループ	8
Super-Kamiokande Group	
T2K実験	10
T2K Experiment	
XMASSグループ	12
XMASS Group	
高エネルギー宇宙線研究部門	
High Energy Cosmic Ray Division	
チェレンコフ宇宙ガンマ線グループ	14
Cherenkov Cosmic Gamma Ray Group	
TAグループ	16
TA Group	
チベットグループ	18
Tibet Group	
高エネルギー天体グループ	20
High Energy Astrophysics	
Ashraグループ	22
Ashra Group	
宇宙基礎物理学研究部門	
Fundamental Astrophysics Research Division	
一次線グループ	23
Primary Cosmic Ray Group	
重力波推進室	24
Gravitational Wave Project Office	
観測的宇宙論グループ	26
Observational Cosmology Group	
理論グループ	28
Theory Group	

◆施設と所在地について

宇宙ニュートリノ観測情報融合センター(RCCN)	30
Research Center for Cosmic Neutrinos	
神岡宇宙素粒子研究施設	31
Kamioka Observatory	
乗鞍観測所	32
Norikura Observatory	
明野観測所	33
Akeno Observatory	
チャカルタヤ宇宙物理観測所	34
Chacaltaya Observatory of Cosmic Physics	

◆研究所について

沿革	36
History	
年表	38
Timeline	
組織・運営	40
Organization and Administration	
教職員数・歴代代表者	41
Number of Staffs and Directors So Far	
経費・施設	42
Research Budget・Facilities	
共同利用研究・教育／国際交流	43
Inter-University Research,Education/International Exchange	
成果発表と受賞歴	44
Announcement of Achievements and Award History	
柏キャンパス	47
Kashiwa Campus	



東京大学宇宙線研究所長
梶田 隆章

宇宙線研究所と宇宙線の研究

宇宙線が発見されたのはほぼ1世紀前の1912年頃でした。従って2012年は宇宙線発見100年にあたります。Victor F. Hessは当時知られていた地上での放射線が地中から来ているのか確認するために、気球に乗り、高度と共に放射線の強度の変化を調べました。この結果は驚いたことに、高度が上がると放射線強度が上がるということを示しており、この観測が宇宙から飛来する放射線「宇宙線」の発見となりました。この観測によって、宇宙には我々が目で見える光以外に、高エネルギーの放射があることが示されました。すなわち高エネルギー宇宙の発見です。

その後この宇宙線がどのようなものであるかを探る研究が続きます。それと共に20世紀半ばまでにこれらの研究を通して、ミューオン、パイ、K中間子などが発見され、現在で言う素粒子物理学の発展にも大きく寄与しました。しかしその後加速器の技術が発達して、素粒子の研究の中心舞台は加速器を用いた実験に移りました。一方、宇宙線がどこで生成され、どのように地球まで飛来するのも重要な問題で多くの研究がなされました。宇宙線がどこで生成されたかを知るには宇宙線粒子の飛来方向を測定すればよいかというと、そうはいかないことがわかります。つまり、宇宙線は電荷をもっており、また宇宙には磁場があるため、宇宙線は生成されたところから地球に飛来するまでに曲げられてもとの生成場所と到来方向には全く関係がなくなってしまうのです。このような理由のため、宇宙線がどこで生成されるのかなどの天文学的問題の解決には長い間大きな進展がありませんでした。

しかし、近年の観測技術の急速な進歩によって、宇宙線の研究は飛躍的に発展し、宇宙線研究は黄金期と言っても過言でないと思われます。宇宙線の起源を探る手段として、電荷を持たない高エネルギーガンマ線や宇宙ニュートリノの観測が非常に大切ですが、近年のガンマ線観測の進展は本当に目を見張るものがあります。また、高エネルギー宇宙ニュートリノもいよいよいつ発見されてもおかしくない時代になってきました。また、 10^{20} eVという超高エネルギーになれば宇宙線が銀河内を飛行する際に磁場で曲がる角度は数度以内になります。このエネルギー領域の最高エネルギー宇宙線の観測では新たな装置による大規模な国際共同研究が始まり、もしかしたら最高エネルギー宇宙線を生成している天体が同定され、最

高エネルギー宇宙線天文学とでもいうような新たな研究分野が開拓されつつあると予感させます。これらの研究と共に、宇宙を見る新しい目として、重力波の検出も世界中で感度向上の努力が続けられ、いよいよ10年以内に観測され、新たな重力波天文学と言われる研究分野が生まれる可能性が高くなってきたと思われます。宇宙のエネルギーの96%を占めながらその正体が全くつかめていないダークマターやダークエネルギーの正体が何であるかという問題には非常に興味深く、これらの研究も活発に進められています。それとともに、広い意味の宇宙線を用いて素粒子の世界を探る研究でも近年再び大きな成果が得られています。ニュートリノ振動すなわちニュートリノの質量が宇宙線によって生成されたニュートリノの観測で発見されたこと、また、太陽ニュートリノの研究でも別な種類のニュートリノ間のニュートリノ振動が確認されたことなどが、近年の成果のハイライトと言えます。

宇宙線研究所の使命はこれらの宇宙線研究で世界をリードしていくことです。世界最大のニュートリノ測定器スーパーカミオカンデはニュートリノ振動の発見で大きな成果を上げたことは誰も認めることと思います。スーパーカミオカンデは今後も重要な研究成果をあげて行くものと期待しています。一方で世界の研究は急速に進歩しており、宇宙線研究所でも新たな魅力ある研究を進める不断の努力が必要です。例えば、宇宙線研究所では最高エネルギー宇宙線観測装置(TA)が2008年に完成し、現在この装置を用いた研究が精力的に進められています。神岡の地下でダークマターの正体を探る実験(XMASS)でも2010年に観測が始まりました。また2度に渡る宇宙線研究所の将来計画検討委員会でその重要性が指摘された重力波望遠鏡(KAGRA)も2010年に装置建設が開始されました。この装置を一刻も早く完成させて、重力波の世界初検出を期待したいと思います。

宇宙線研究所にとって重要な科学的研究成果を出すことが一番大切であることは誰もが認めることと思います。しかし、それと共に我々の研究成果をより広い研究者コミュニティや一般社会の方々に知ってもらうことも非常に重要と思われます。本冊子では宇宙線研究所の現在の活動をまとめ、皆様に研究所の研究活動を理解していただくことを主な目的として作成したものです。

Institute for Cosmic Ray Research and researches in cosmic rays

The cosmic ray was discovered around 1912. Therefore, 2012 is the 100th anniversary of the cosmic ray discovery. It was known that there is a radiation at the surface. In order to study if the radiation might be coming from the ground, Victor F. Hess rode on a balloon and investigated the change of the intensity of the radiation with the altitude. Surprisingly, the result showed that radiation intensity went up with the increasing altitude. This observation was the discovery of "cosmic ray" radiation. It was the moment of the discovery that the universe is "shining" by high energy particles in addition to the visible light.

Various researches continued in order to understand the nature of cosmic rays. Muons, π and K mesons were discovered through these researches by the middle of the 20th century. These researches contributed to the development of the elementary particle physics. Then, due to the progress in the accelerator technology, main research activities in the elementary particle physics shifted from the studies of cosmic rays to experiments with accelerators. On the other hand, it remained an important question at where the cosmic rays are generated and how they reach to the earth. Since the cosmic ray particles have electric charges, the directional information of a cosmic ray at the origin is completely lost as it arrives to the earth. Hence, there has been little progress in the understanding of the astronomical problems of the cosmic rays such as the acceleration mechanism of cosmic rays.

However, because of the rapid advance in the experimental technologies in recent years, researches of cosmic rays have also been progressed rapidly. It could be said that it is the golden age for cosmic ray researches. Observation of high energy gamma rays and cosmic neutrinos, which have no electric charge, must be very important as a means to explore the origin of cosmic rays. Progress of gamma ray observation in recent years is truly astonishing. The high energy cosmic neutrinos may be detected soon. For super-high energy cosmic rays of 10^{20} eV, the bending angle is less than a few degrees when a cosmic ray propagates in the Galaxy. This suggests that the "astrophysical accelerator" which is generating the highest energy cosmic rays could be identified by observing the arrival direction of these particles. A new research field which could be called as the highest energy cosmic ray

astronomy might be created. Furthermore, there has been a significant improvement in the sensitivity in the gravitational wave detection, suggesting that the gravitational wave signal could be observed in a decade. The dark matter and the dark energy occupy 96% of the total energy of the Universe. However, the nature of them is unknown. Therefore the dark matter and dark energy are studied actively by various means. Finally, studies of cosmic rays have been contributing to the elementary particle physics again in recent years. The studies of neutrinos produced by cosmic ray interactions in the atmosphere have led to the discovery of neutrino oscillations between muon-neutrinos and tau-neutrinos, namely the discovery of neutrino mass. The long-standing solar neutrino problem has been solved as due to neutrino oscillations between electron-neutrino and other neutrino flavors by recent solar neutrino experiments.

The mission of Institute for Cosmic Ray Research (ICRR) is to lead the cosmic ray researches in the world. The world's largest neutrino detector Super-Kamiokande has discovered neutrino oscillations. It is expected that Super-Kamiokande will continue to get important scientific results. On the other hand, the researches in the world have rapid progresses. Therefore, continuing efforts to advance new attractive researches are required in ICRR. For example, the construction of an experiment on the highest energy cosmic rays, called Telescope Array, is completed in 2008. Various studies on the highest energy cosmic rays have been started. An experiment, called XMASS, has started experiment at Kamioka in 2010, whose objective is to directly discover the dark matters. Moreover, the construction of the gravitational wave telescope (KAGRA), whose importance was pointed out twice by the Committee on the Planning of Future Projects in ICRR, have been started in 2010. We are looking forward to detecting the gravitational wave signal as soon as possible.

I believe that everyone admits that it is most important for ICRR to achieve important scientific results. However, it is also very important to let the scientific community and the general public know our scientific achievements. This booklet summarizes the present activities in ICRR. We hope that this booklet is useful for your understanding of the research activities in ICRR.

宇宙線とは？ What's Cosmic Ray?

宇宙線とは何か

●宇宙空間はよく真空であると言われていますが、実際には極めて多くのミクロな粒子が放射線として飛びかっています。これらは総称して宇宙線と呼ばれており、具体的には原子核や素粒子の仲間です。原子核とは、原子から電子を剥ぎ取った時に中心に残る塊のことであり、それらは中性子と陽子が結合して出来ています。素粒子とは、現在それ以上砕くことが出来ないと考えられている粒子のことで、中性子や陽子も素粒子から形作られています。そういう意味では電子やニュートリノも素粒子の仲間です。これらが宇宙を飛びまわっているわけです。

●宇宙線は日常的に地球降り注いでいます。しかし、地球の大気へと突入した宇宙線は、大気を構成する酸素や窒素などの原子核と核反応を起こし、膨大な数のより軽い粒子をシャワー状に生成します。これを二次宇宙線と呼び（空気シャワーとも呼びます）、大気へと突入してきた宇宙線を一次宇宙線と呼びます。

●一次宇宙線の実に約90%の成分は陽子で占められています。残りの約9%程度がヘリウムの原子核であり、最後の1%程度が電子や鉄などの重い原子核であることが分かっています。また、二次宇宙線はミュオンやニュートリノ、電子、ガンマ線、中性子などが主要な成分となっています。しかし、電子やガンマ線などは大気に吸収される割合が高いため、地表まで降り注いでくるのはほとんどがミュオンやニュートリノとなっています。なお、図示されているように、ミュオンも素粒子の仲間、電子を重くしたような粒子です。

●ミュオンもニュートリノも日常的に我々の身体を突き抜けているのです

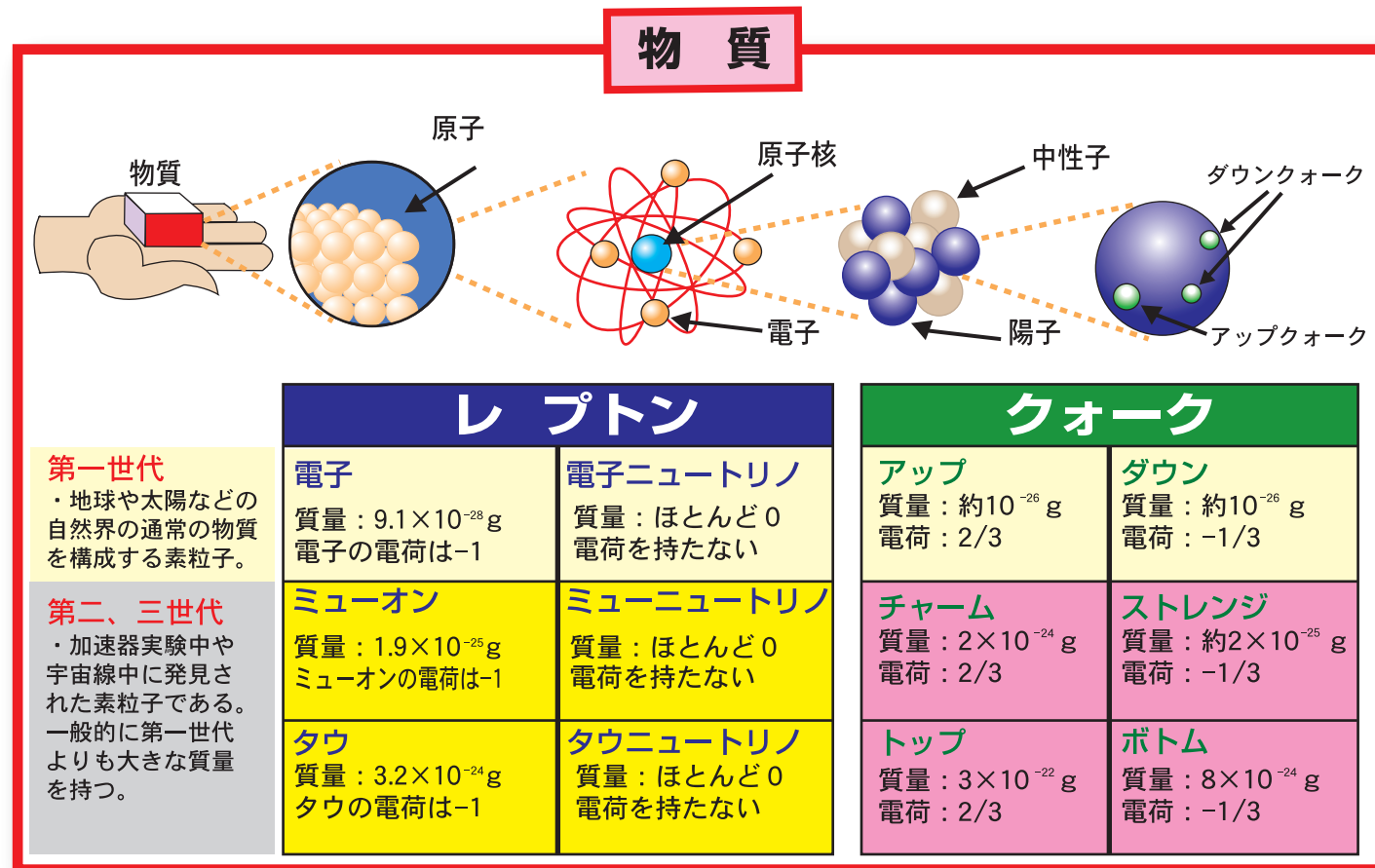
が、我々が普段の生活でそれを認識することは出来ません。それほど貫通力が高いと思って頂ければ分かり易いかと思います。また、放射線として飛び込んでくるのであれば、被爆するのではないかと考える方も多いのですが、実際に宇宙線から受ける被爆量というのは極めて小さいものであり、日常生活に影響が出るような被爆量には到底及びません。しかし、上空へ行けば、吸収される前の宇宙線から影響を受けるため、飛行機のパイロットなどは一ヶ月間のフライト可能時間が法律によって決められていたりもします。もちろん、我々が旅行や仕事で海外に行くために乗る程度の回数では、全く影響が出ないのでご安心ください。

宇宙線を調べると何が分かるのか

●もし空から何かが降ってきているということに貴方が気付いてしまった場合、貴方はまずどんなことを考えるのでしょうか？すぐに思い浮かぶのが、一体どこから飛んできているんだろう？と考えるのではないのでしょうか？これが宇宙線を調べる最も大きな動機の一つと言えるでしょう。宇宙線は宇宙空間を飛びかっていますが、突然何も無いところから生まれてきたわけではありません。宇宙のどこかに必ず宇宙線を生成している天体現象が存在しているはずなのです。

●そして宇宙線は様々なエネルギーを持って飛来してきているのですが、非常に高いエネルギーのものも観測されています。そのようなエネルギーを何故持つことが出来たのか？それだけのエネルギーを与えられるほどの激しい天体現象が宇宙のどこかで起きているのか？興味は尽きることがありません。

■物質を構成する素粒子達



●宇宙線を調べることは、それらの疑問に答えることに繋がるわけですが、これは宇宙線を生成している天体現象の詳細を調べることに繋がります。宇宙には非常に様々な天体現象が存在していますが、激しい爆発などを起こしている最も近い天体である太陽にすら、現在の我々の科学力では現場に行って詳細な情報を得てくることは出来ません。そんな、あまりにも遠すぎて手の届かないような場所で起きている現象を、地球に居ながらにして手に取るように調べることが出来るとしたら…貴方ならどうしますか？調べてみたいと思いませんか？それこそが宇宙線物理学なのです。もちろん、まだまだ宇宙線物理学は発展途中的なため、本当に手に取るように現場の状況を宇宙線

から引き出すということは出来てはいません。

●しかし、これまでの数多くの宇宙線物理学者達の研究によって、少しずつ様々なことが解明されてきています。例えばその一つが、超新星爆発が宇宙線の起源なのではないかという仮説への解答です。全てでは無いにしろ、宇宙線の一部は超新星爆発によって作られたということを示唆する観測結果が出てきています（超新星爆発とは、非常に重い星が、その寿命を終える際に起こす大爆発のことを言います）。そして、究極的にはそのような極めて激しい天体現象の詳細を、遠い宇宙の彼方ではどのようなことが起きているのかを、我々はそれを知りたいと考えています。それは宇宙をより

深く理解するために非常に重要なことだからです。宇宙線はそれらに答えてくれる可能性を秘めた、宇宙から我々人類に向けて放たれたメッセンジャーなのです。

また、宇宙線というのはその研究を通して、様々な学問分野を開拓してきたという歴史があります。例えば素粒子物理学も宇宙線研究から生まれた学問の一つです。これからもこの流れは続いていくものと期待されていますし、その期待に応えるべく我々は研究を続けています。

宇宙線の調べ方

●宇宙線は、どの程度のエネルギーを持っているのか、どの種類の粒子なのか、などによって調べ方が異なりま

す。例えば一次宇宙線を調べる場合は、大気と反応を起こす前に捕まえなければならぬため、非常に高度が高い場所で観測しなければなりません。それこそ高山に行ったり、気球を打ち上げたりして調べます。

●それに対して二次宇宙線は地表で宇宙線を観測します。観測手法の一例として、二次宇宙線は広範囲にシャワー状に降り注ぐので、非常に広い領域にたくさんの検出器を配置し、それを用いてシャワー状の宇宙線を拾い集めるような感じで二次宇宙線を捕まえるという方法があります。そして拾い集めた二次宇宙線が持つ情報をパズルのように組み合わせ、その二次宇宙線を作り出した一次宇宙線がどの種類の粒子だったのか、どの程度のエネルギーを持っていたのかを調べるのです。他にも、二次宇宙線がシャワー状になって降り注ぐ際に、周りの大気をほんやりと光らせる大気蛍光という現象が知られており、それを観測することで、宇宙線の情報を調べるという手法などもあります。

●これらの他にも様々な手法が存在し、その手法によって様々な実験グループが形成されているのです。当研究所は、そのように多岐に渡る宇宙線研究を一括して行っている世界で唯一の研究機関です。観測対象も従来の宇宙線だけではなく、アインシュタインの一般相対性理論が予言する重力波にまで及んでいます。重力波観測は世界中で行われていますが、未だに検出されていない、極めて検出が困難な実験です。もし検出出来たとなれば、ノーベル賞は間違い無いでしょう。また、素粒子物理学の中でも研究が遅れている重力に関わる物理にとっては、極めて大きなブレークスルーとなるのは間違いありません。

What's a Cosmic Ray?

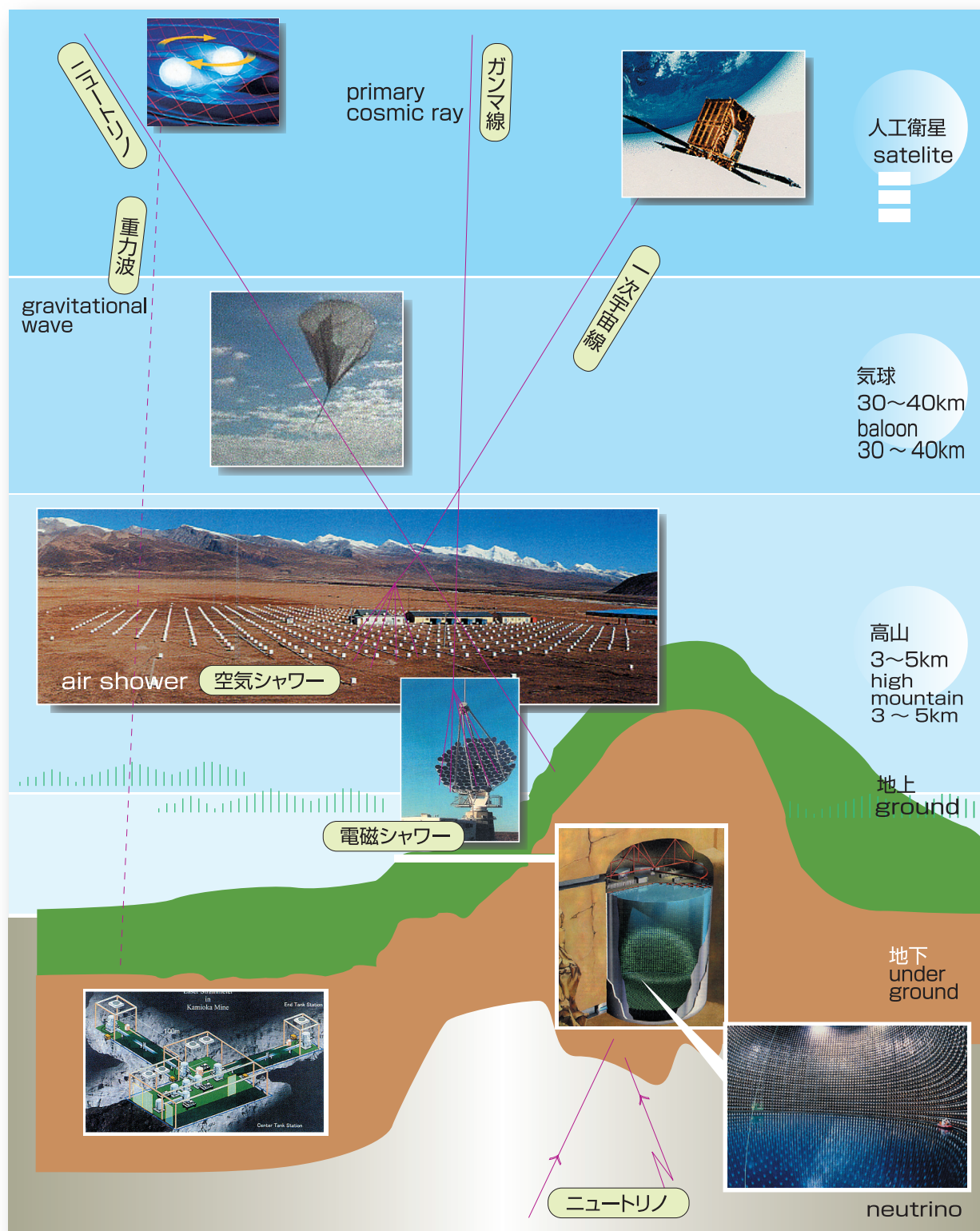
Cosmic rays are nuclei and elementary particles that are always falling very fast on Earth from the universe. Enormous numbers of cosmic rays are always passing through our bodies. Cosmic rays were discovered by Victor Hess, an Austrian physicist, in 1912. He went up to a high-altitude of 4000 m by a balloon, and found that the ionization rate of the atmosphere increases at the higher altitudes due to cosmic rays. After that, cosmic rays have been extensively and progressively studied, and mysteries in the Universe and the Nature are being revealed.

Cosmic rays come from the neighborhood of Earth and also from far galaxies. Galactic and extra-galactic cosmic-rays are considered to be accelerated at dynamical astronomical objects, such as supernova remnants, neutron stars, and active galactic nuclei. After far-reaching long traveling, they plunge into the atmosphere and cause nuclear interactions with nuclei of oxygen and nitrogen in the air. The extraterrestrial cosmic rays that come from outside Earth are conventionally called primary cosmic rays, and newly produced particles via the nuclear interactions are called secondary cosmic rays. The main components of secondary cosmic-rays are muons, neutrinos, electrons, gamma-rays and neutrons. While electrons and gamma rays are absorbed into the air, muons and neutrinos can be observed even under the ground.

Why we study cosmic rays is that a lot of information, for instance on the origin of the forces working between substances and on the structure of universe, is hidden there. The former Minister of Education, Akito Arima, gave the following words to the Kamioka group of this institute: "The cosmic-ray is a heavenly revelation". There words show the essence of cosmic-rays. Cosmic-rays are exactly signs sent from the heaven, in which information on a wide range of problems from the micro-world connected with the root of substance to the macro-world of the universe are packed.

In the histories of elementary particle physics and astrophysics, studies of cosmic-rays have had significant impact. Elementary particle physics, itself, was born from observations of cosmic-rays. Positrons, which are the antiparticles of the electron, the muon and the pion were discovered in cosmic-ray observations from the 1930's to the 1940's. Cosmic-rays provide natural experimental facilities

■宇宙線観測のさまざまな手段



beyond the human-made ones, thanks to the flux and/or high-energy in the past, and it is correct even at present in some cases. The discovery of neutrino-oscillation, which is beyond the standard model in particle physics, is fresh in our memory. Also, recent gamma-ray observations are revealing dynamical aspects of astrophysical objects, such as supernova remnants and active galactic nuclei. Furthermore, the origin of cosmic-rays and the highest energy of cosmic rays are big mysteries in physics.

There are various ways to study cosmic-rays, depending on the object to be investigated, just as we will go to high mountains or caves or even into the sea to hear the voice of the heavens. To investigate the primary cosmic rays directly, we have to go to as high an altitude as possible, by climbing high mountains, launching balloons, etc. When an ultra-high-energy primary cosmic-ray enters the atmosphere, electrons, gamma-rays and muons in the secondary particles fall on a wide area of the surface like a shower. We call such a phenomenon an air shower. To investigate air-showers in a specified way, we sometimes go to a wide basin with clean air. As it is difficult to select neutrinos and high-energy muons in the other background cosmic rays, we go underground, where the background can not reach.

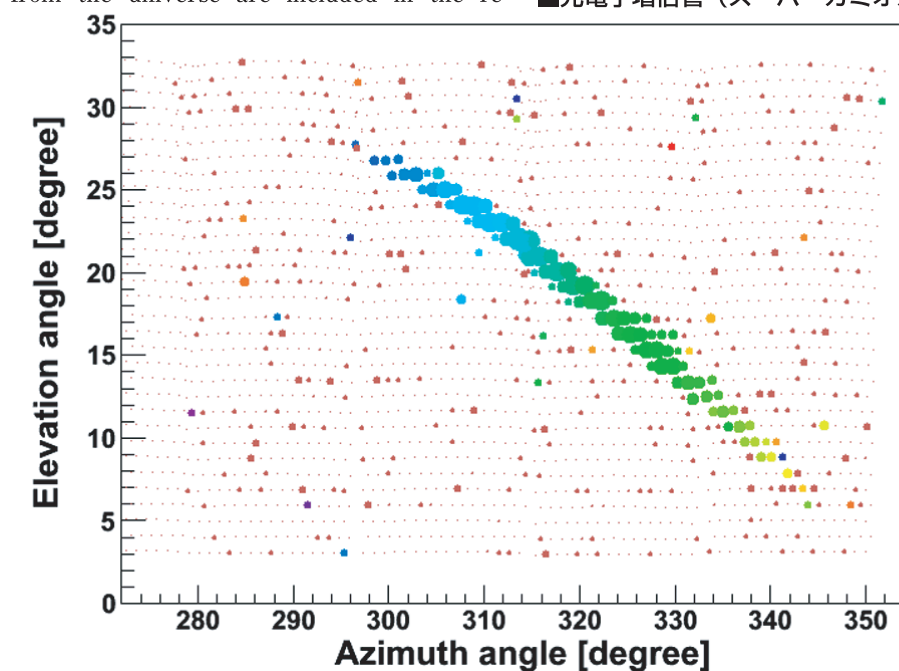
The gravitational waves possibly coming from the universe are included in the re-

search projects. A gravitational wave is a distortion of space, propagating in the universe with the velocity of light, which is caused when a massive object is put into motion. This is one of the problems not verified yet among Einstein's predictions. To find very small distortions of space, we must maximize the detector sensitivity. Therefore, an experiment must be conducted at a very calm place without trembles or vibrations. By adding the study of gravitational waves, the most uninvestigated elementary particle, the graviton, will be illustrated, and a clarification of the mysteries of substance and universe will be greatly progressed.

The research activities at the Institute for the Cosmic Ray Research cover all of those species of cosmic-rays mentioned so far. This institute, as a unique institute in the world is devoted only to cosmic-rays, allows research to respond to such hope.



■光電子増倍管（スーパーカミオカンデより）



■撮影された大気蛍光（TA実験より）

スーパーカミオカンデグループ Super-KamioKande Group

研究目的と装置

●スーパーカミオカンデは岐阜県神岡町の神岡鉱山の地下1000メートルにあり、平成8年4月1日に実験を開始しました。実験の目的は、①太陽や大気中、加速器で生成されたニュートリノを調べるニュートリノ物理学、②陽子崩壊の探索による大統一理論の検証、③超新星爆発などから飛来するニュートリノを調べるニュートリノ宇宙物理学などであり、素粒子から宇宙まで広い分野の研究ができます。

●実験装置は純水5万トンを満たした円筒形のタンクです(図1参照)。荷電粒子が水中を超光速で走るときに発せられる、チェレンコフ光という青白い微かな光を捕えるため、タンク内面には直径50センチメートルの光電子増倍管(センサーの一種)が約11,000本取り付けられています。

観測開始から約10年を経た平成20年9月には検出器の電子回路およびデータ取得システムの入れ替えがおこなわれ、現在も順調にデータ取得がおこなわれています。

また、平成21年度からは茨城県東海村にあるJ-PARC加速器からのニュートリノを観測する、T2K実験が開始されました。平成23年6月には世界ではじめてミューニュートリノが電子ニュートリノへと変化した兆候をとらえました。

さらに、スーパーカミオカンデにガドリニウムを加えることによって、ニュートリノの検出感度を上げ、宇宙初期のなごりである超新星背景ニュートリノを捕えることができると期待されています。そのために現在は約200トンの試験用水タンクを用いた実証実験が進行中です。

研究の現況

●大気ニュートリノ観測によるニュートリノ質量の発見

宇宙から飛んてくる宇宙線は大気と反応してニュートリノを作ります。この大気ニュートリノは、ミューニュートリノと電子ニュートリノで構成されています。この中のミューニュートリノが、地球サイズの距離を飛び間にタウニュートリノになってしまうことを、平成10年に発見しました。上空で生まれて下向きに飛んてくるニュートリノは20から30キロメートル飛行してスーパーカミオカンデに到達します。それに対して地球の反対側で生まれてスーパーカミオカンデに到来する上向きのニュートリノは約13,000キロメートルも飛行してきます。図2を見ると、上向きのミューニュートリノの数が減ったように見えますが、これはタウニュートリノに変わってしまったためにそのように見えているに他なりません。このようにニュートリノがその種類を変えてしまう現象を「ニュートリノ振動」と呼びます。ニュートリノ振動はニュートリノが質量を持っている場合にのみ起こる現象であり、ニュートリノ振動の発見によってニュートリノが質量を持つことが示されました(図2参照)。

●太陽ニュートリノ観測とニュートリノ振動

太陽中心部では、核融合反応によってエネルギーが発生しています。その反応によって大量の電子ニュートリノが生まれ、地球に降り注いでいます。この太陽から飛んてくるニュートリノの数は、1秒間に1平方センチメートル当り660億個もの数になります。スーパーカミオカンデは太陽ニュートリノを観測してきましたが、観測された強度は予測値の47%しかありませんでした。スーパーカミオカンデは電子ニュートリノだけでなくミューニュートリノ、タウニュートリノも測定しています。平成13年にカナダのSNO実験が、電子ニュートリノの強度を測り、

その結果とスーパーカミオカンデでの結果の比較をすることによって、電子ニュートリノがミューニュートリノおよびタウニュートリノに振動していることが分かりました(図3参照)。

●長基線ニュートリノ振動実験

平成11年から16年まで、茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構の加速器で作られたニュートリノを、250キロメートル離れたスーパーカミオカンデで捕らえるという実験が行われました(K2K実験)。加速器では主にミューニュートリノが作られます。ニュートリノ振動を仮定せずに予測された現象の数が158に対し、実際に観測された数は112しかありませんでした。しかしこれが、ニュートリノ振動を仮定した場合の予測と一致したため、加速器で生成されたニュートリノからもニュートリノ振動を確認することが出来たと考えられます(図4参照)。

平成21年度には、茨城県東海村の大強度陽子加速器(J-PARC)で生成されたニュートリノをスーパーカミオカンデで捕える、T2K実験が開始されました。T2K実験では、K2K実験より大強度かつエネルギーの揃ったニュートリノを用いることにより、ニュートリノ振動の精密研究を行います。平成23年6月には世界で初めてミューニュートリノが電子ニュートリノへと変化した兆候をとらえました。T2K実験では、たくさんのニュートリノ事象を捉えて、ニュートリノ振動の全容解明に迫ることが期待されます。

●将来計画

スーパーカミオカンデをさらに大型化し、約20倍の体積の水チェレンコフ装置によって、物質と反物質の非対称性の測定や、陽子崩壊の観測を行う研究開発を進めています。また神岡では、宇宙の暗黒物質を捕らえる実験や二重ベータ崩壊によってニュートリノの絶対質量を測定する実験の準備も行われています。

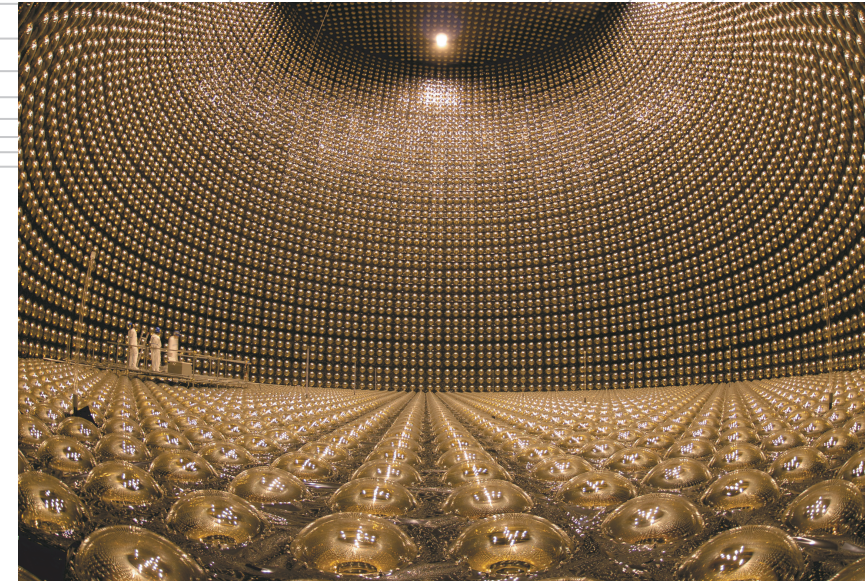


図1 スーパーカミオカンデの内部
Fig.1 Inside of the Super-Kamiokande detector

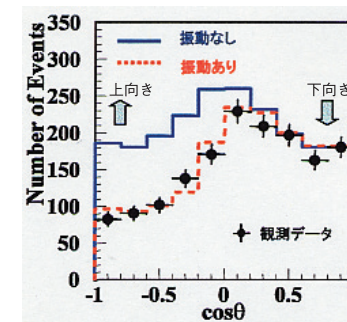


図2 大気ニュートリノの天頂角分布。
上向きニュートリノの振動の証拠
Fig.2 Zenith-angle distribution of atmospheric neutrinos, showing evidence of oscillation for upward-going neutrinos.

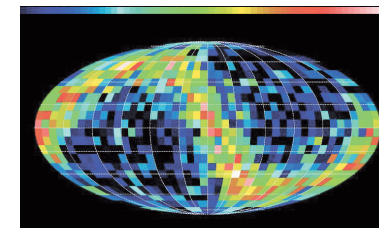


図3 ニュートリノで見た太陽の軌跡
Fig.3 Track of the Sun seen by neutrinos.



図4 東海-神岡間長基線ニュートリノ振動実験(T2K実験)
Fig.4 Tokai-Kamioka long baseline neutrino oscillation experiment (T2K)

About Super-Kamiokande

The purpose of Super-Kamiokande (SK) is to study elementary particle physics and astrophysics through neutrino detection and nucleon decay searches. Its predecessor, the Kamiokande experiment, observed neutrinos from a supernova in the Large Magellanic Cloud in 1987 and also established solar neutrino observation using the water Cherenkov technique. These observations helped to create "neutrino astronomy," for which Prof. Koshiba was awarded the Nobel Prize in Physics in 2002.

SK is a 50,000-ton water Cherenkov detector that is 30-times larger than Kamiokande. The dimensions of the detector are 40 m in height and 40 m in diameter. It is equipped with over 11,000 20-inch photomultiplier tubes (PMTs) in order to observe various elementary particle interactions in the detector. The detector started its operation in 1996. SK observes huge amounts of neutrinos produced both in the Sun (solar neutrinos) and by the interactions of cosmic rays in the atmosphere (atmospheric neutrinos).

With high statistics atmospheric neutrino data, SK observed a clear anisotropy in their zenith angle distribution, establishing the existence of neutrino masses and mixing, known as "neutrino oscillations," in 1998. Furthermore, accurate measurements of the solar neutrino flux using neutrino-electron scattering data in SK, in conjunction with results from the SNO experiment in Canada, led to the discovery of oscillations among neutrinos produced in the center of the Sun.

The first accelerator-based long-baseline neutrino-oscillation experiment was performed from 1999 to 2004. A neutrino beam produced by an accelerator located 250 km away at KEK was directed towards Super-Kamiokande during this time period. The K2K experiment was completed successfully and confirmed the neutrino oscillation phenomenon found by the measurements of atmospheric neutrinos.

A new accelerator-based long-baseline neutrino oscillation experiment, called the T2K experiment, which utilizes a new accelerator facility located in Tokai village (J-PARC), was started in 2009. This accelerator provides a neutrino beam 50-times more intense than that of the K2K experiment. New measurements of neutrinos using this beam will make it possible to reveal hidden properties of the neutrino. For instance, the T2K experiment observed the world's first indication of muon neutrino to electron neutrino oscillation in 2011.

Meanwhile, R&D to further improve the neutrino detection capabilities of Super-Kamiokande and to thereby detect supernova neutrinos left over from the formation of the early universe by adding Gd to the detector is in progress. A proof-of-principle experiment using a 200 ton tank is currently under preparation.

T2K実験

T2K Experiment

●研究目的と装置

ニュートリノ振動現象は、大気ニュートリノや太陽ニュートリノといった天然のニュートリノ観測によって発見され、振動パラメータの測定が行われてきました。一方、大気ニュートリノで示唆されたニュートリノ振動現象を、加速器による人工ニュートリノを用いて世界で初めて検証することに成功したのが、1998年から日本で行われたK2K実験です。また本実験によって、加速器を用いた長基線ニュートリノ振動実験の手法が確立されました。

これまで行われた実験から、ニュートリノ振動を特徴づけるいくつかのパラメータのうち、二つのニュートリノ質量差と三つのニュートリノ混合角について有限値が得られています。特に最後の未知混合角であった θ_{13} の値は、2012年に複数の原子炉ニュートリノ実験による測定が成功しました。T2K実験では、ミューオンニュートリノビームからの電子ニュートリノの出現現象を発見し、それにより θ_{13} の値を測定することを目的としています。また、ニュートリノとニュートリノの反粒子との性質の違い(CP対称性の破れ)を測定することを視野に入れた、振動確率の精密測定を目指しています。

T2K実験においても一つの重要な研究課題は、混合角 θ_{23} 及び質量差 Δm^2_{32} の精密測定です。T2K実験においては大強度のビームを用いることでスーパーカミオカンデにおいて大量のニュートリノ事象を観測でき、これら二つのパラメータの測定精度をこれまでより一桁近く改善することが可能となります。とくに θ_{23} については、 $\sin^2 2\theta_{23}$ が1に近いことが、大気ニュートリノ観測や他の加速器を用いた長基線ニュートリノ実験からわかっていますが、もしこの値が正確に1であるならば、これまで知られていない対称性が背後に潜んでいる可能性もあり、大変興味深いといえます。

T2K実験では東海村のJ-PARCに設置されている強力な陽子加速器を用いて高強度のニュートリノビームを生成、実験に用いています。振動後のニュートリノを観測するために、ニュートリノ源から295km離れた岐阜県飛騨市にあるスーパーカミオカンデを用



J-PARC原子核素粒子実験施設
写真提供：独立行政法人 日本原子力研究開発機構

J-PARC nuclear and particle physics facility
Provided by Japan Atomic Energy Agency

いています。T2K実験用ニュートリノビームラインのデザインには、オフアクシス(非軸)ビームというアイデア (Long Baseline Neutrino Oscillation Experiment, BNL E889 proposal, (1995)) が取り入れられました。陽子ビームの方向をわざとずらすことにより、エネルギーの広がりの小さいニュートリノビームを効率的に生成することが可能となります。T2K実験開始時はスーパーカミオカンデにおいてニュートリノ振動の効果が最大となるよう、ビームの方向がスーパーカミオカンデから2.5度ずれた方向となるよう機器が設置されました。このとき、スーパーカミオカンデにおけるニュートリノエネルギーの中心値はおおよそ650MeVとなります。生成するニュートリノはほぼミューオンニュートリノであり、電子ニュートリノの混入はエネルギーピーク近傍で0.4%程度しかないと見積もられています。このT2Kニュートリノビームラインが生成するビームは、K2K実験と比較して2桁近い大強度を達成することを予定しています。スーパーカミオカンデにおいては、2008年にデータ収集電子回路装置を更新し、安定した高精度観測ができるように準備を行いました。また加速器ニュートリノビームの時間情報をリアルタイムに転送し、スーパーカミオカンデのT2Kニュートリノ事象選択を行うシステムを作りました。

●研究の現況

J-PARCの陽子加速器システムとT2K実験のニュートリノビームラインの建設は2009年春に完了し、2010年1月より本格運用が開始されました。2010年2月24日には加速器(J-PARC)からのニュートリノ反応事象を初めて観測しました。さらに東日本大震災で2011年3月11日に加速器が停止する直前までに取得したデータを解析して、ミューニュートリノが電子ニュートリノに変化した兆候である電子ニュートリノ事象6個(図1)を世界で初めてとらえたことを発表しました。

東日本大震災からの加速器施設の復旧を終え、T2Kは2012年に実験を再開しました。観測ニュートリノ数を増やし、今回兆候をとらえた電子ニュートリノ出現の現象をより確実なものとし、また反ニュートリノを使った測定も実施してニュートリノ振動現象の全容解明を世界に先駆けて行ってゆくことを検討しています。

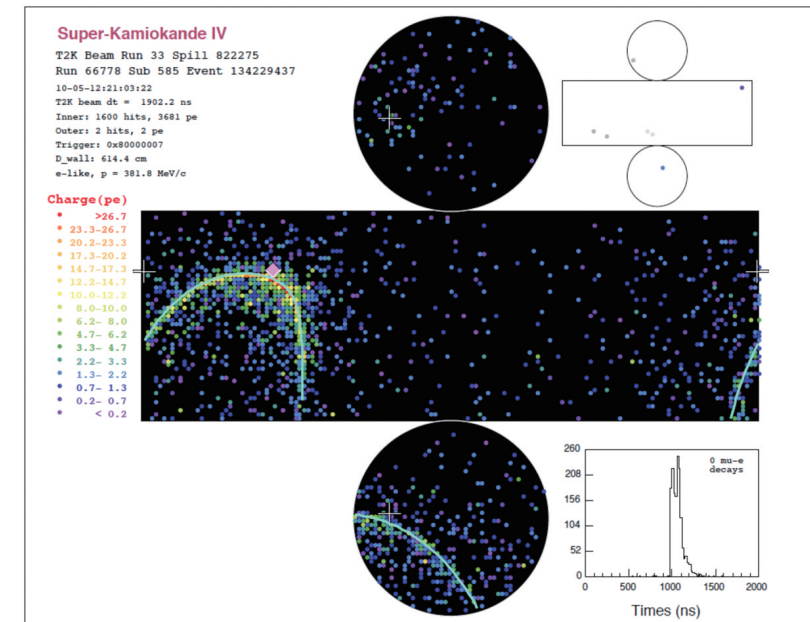


図1 スーパーカミオカンデで観測された、電子ニュートリノ反応候補事象の一つ。円筒形をしたスーパーカミオカンデの展開図で、内壁に配置された光電子増倍管の内、光を捉えたものにとらえた光の強度に応じて色をつけて表示している。水と電子型ニュートリノ反応によって発生した電子が引き起こす電子・陽電子シャワーが発したチェレンコフ光がリング状に捉えられている。

Fig.1 An electron neutrino event candidate observed at Super-Kamiokande. A diffusing ring produced by electron-positron shower is observed.

T2K Experiment

The K2K experiment established the method of the accelerator-based long baseline neutrino oscillation experiment and successfully confirmed the neutrino oscillation phenomena discovered by natural cosmic neutrinos from earth's atmosphere and the sun. Until now, several experiments have measured all 3 neutrino mixing angles and 2 mass differences using accelerator, atmospheric, solar and reactor neutrinos. The measurement of θ_{13} - last unknown angle - by reactor neutrino experiments in 2012 clearly demonstrated that the value is unexpectedly large. The one of main goals of the T2K is to establish electron neutrino appearance phenomena in muon neutrino beam. If θ_{13} is found to be nonzero and the technique of an electron neutrino appearance experiment is established, CP violation measurement in the lepton sector becomes possible by further upgraded experimental setup.

Another important purpose of this experiment is precise measurement of θ_{23} and Δm^2_{32} parameters. By high statistical neutrino observation, the precisions of these parameters are expected to be almost one order of magnitude better than before. So far, $\sin^2 2\theta_{23}$ is consistent with maximum (=1) from the SK, K2K and the MINOS experiments. If $\sin^2 2\theta_{23}$ is exactly unity, it may suggest an underlying new symmetry.

The intense neutrino beam is produced by using a new high intensity proton synchrotron accelerator complex (J-PARC) constructed at JAERI site in Tokai village. As a far detector to study neutrino oscillation phenomena, the T2K experiment utilizes the Super-Kamiokande (SK) detector, which is located at 295 km away from the beam production target.

In designing the neutrino beam line for T2K, the idea of off-axis beam (Long Baseline Neutrino Oscillation Experiment BNL E889 proposal, (1995)) is conducted. With this method, we can produce sub-GeV energy neutrino beam with narrow energy spread efficiently from a 30 GeV proton beam. In the T2K experiment, the initial peak position of the neutrino beam energy is adjusted to ~ 650 MeV by setting the off-axis angle to 2.5° to maximize the neutrino oscillation effects at the SK detector. The generated neutrino beam is primarily muon neutrino with a small contamination of electron neutrino, which is estimated to be 0.4% at the flux peak. The T2K neutrino beam is expected to become almost two orders of magnitude more intense compared to the K2K neutrino beam. In Super-Kamiokande, the front-end electronics were replaced in 2008 and we have achieved very stable data taking. The beam timing transfer system and Super-Kamiokande event selection by using the beam timing have been established.

The construction of the J-PARC accelerator complex for the T2K experiment was completed and physics run were started in January 2010. On February 24th 2010, we succeeded in observing the first J-PARC neutrino interaction event at Super-Kamiokande. Of the 88 neutrino events accumulated until just before the big earthquake on March 11th 2011, 6 electron neutrino candidates has been found (Figure 1). The indication of this electron neutrino appearance were published in June 2011.

We resumed neutrino beam data taking in January 2012. By accumulating more data, we will establish electron appearance phenomena and its experimental method. As a world leading experiment, we are also discussing about possibility to use an anti-neutrino beam to find out all unknown quantities of the neutrino world.

XMASSグループ

XMASS Group

研究目的と装置

●XMASS(エクスマス)グループは、低エネルギー太陽ニュートリノの研究、ダークマター(暗黒物質)探索、また、2重ベータ崩壊探索を目的とする実験グループです。XMASS名称の由来は、

- Xenon detector for Weakly Interacting MASSive Particles (ダークマター探索)
- Xenon MASSive detector for solar neutrino(pp/⁷Beからの太陽ニュートリノ)
- Xenon neutrino MASS detector (2重ベータ崩壊)

であり、希ガス液体シンチレータである液体キセノンを神岡鉱山の地下1000メートルに設置して観測する多目的実験です。

●暗黒物質とは？

近年における宇宙背景放射の観測実験は目覚ましい成果を上げており、その中に我々が知っている、陽子や中性子など「目に見える(観測されている)」物質は全体の約4パーセントしか占めないことが明らかになるとともに、その5～6倍(全体の23%)は未知の物質(ダークマター)が占めていると考えられています。残りの73%はダークエネルギーと呼ばれている正体不明のものです。さらに、現在の宇宙は、銀河、銀河団、何もない空洞などが複雑に連なった大規模構造を形作っていることがわかってきました。これは、初期の宇宙のわずかなゆらぎからダークマターの密度に差が生じ、密度の濃いところは重力によってさらにダークマターを引き寄せていき、しだいに目に見える物質であるチリやガスも引き寄せ、やがて星や銀河が形成されていったと考えられています。このように暗黒物質は宇宙の成り立ちに非常に密接に関わっているのです。暗黒物質の正体は分かっていませんが、観測事実からいくつかのその性質が推測されます。(1)電荷を持たず、(2)宇宙をゆっくり動き回り、(3)安定であることで、これらの特徴を持つことから、英語ではWeakly Interacting Massive Particle(WIMP)と呼ばれています。このような物質は、現在われわれが知っている素粒子では説明ができません。

●大型極低バックグラウンド検出器

液体キセノン検出器には、次のような特徴があります。(1)発光量が多く、(2)1トンクラスの大型化が容易、(3)液体、気体、固体の各相が利用できるため内部のバックグラウンドのもとであるウランやトリウムなどを極端に少なく出来る。特に、有機シンチレータに含まれる炭素14を含まないため、低エネルギーのpp-ニュートリノが検出できるものと期待されています。10トンの液体キセノンを用いるとpp-ニュートリノが1日10事象、⁷Beニュートリノ(pp-ニュートリノとは別の生成過程のもの)が5事象観測できます。低エネルギー

太陽ニュートリノを用いてニュートリノ振動を高統計で観測でき、特に太陽ニュートリノ振動の混合角の精度の良い決定が可能となります。また、液体キセノンは、非常に優れた暗黒物質直接探索の検出器としても利用できます。1トンの検出器を用いれば、これまでの実験に比べ数十倍良い感度を持ち、超対称理論で予想されるパラメータ領域に大きく踏み込むことができます。さらには、¹³⁶Xeはニュートリノを伴わない2重ベータ崩壊を起こす候補の核種でもあり、10トン測定器を用いると、ニュートリノの質量0.02 - 0.05eV程度まで探索が可能です。このように、XMASS液体キセノン検出器は多目的の宇宙素粒子検出装置になると期待されています。

研究の現況

●現在では、第1期の目標である、液体キセノン約1トンの暗黒物質探索装置が完成し、試運転が開始されました。図1はそのイメージ図で800kgの液体キセノンが約642本の光電子増倍管で球状に囲まれています。暗黒物質からの信号は非常に稀で、なおかつ、エネルギーが非常に小さいため、検出に邪魔な放射線バックグラウンドを如何に落すかが何より重要な課題です。

●XMASSグループでは、この実験に特化した「極低放射能」光電子増倍管を浜松ホトニクスと共同で開発しました(図2)。この光電子増倍管は、効率良く液体キセノンからのシンチレーション光を検出するだけでなく、光電子増倍管自身に含まれるウランやトリウムが従来のものよりも一桁以上下げました。また、キセノンは原子番号が54と大きいので、外部からの放射線を内部に通しにくいという「遮蔽」効果があり、検出器外部からのガンマ線バックグラウンドを大幅に減らすことが可能です。

2007年には、神岡鉱山内に新しい実験室の掘削作業が終了し、2009年に初めに、外部からの放射線侵入をさらに減少させるための水シールド用タンクの建設が終了しました。昨年度は検出器の「目」となる光電子増倍管据付作業、また検出器容器の建設が行われました。(図2、右)2010年12月から試運転を開始しデータ取得し始め、観測に向けて調整を行って来ました。データ解析を進めていくと検出器表面に放射性バックグラウンドが多く存在することが分かってきており、現在検出器表面のノイズ事象を判別するソフトウェア開発及び検出器の改良が進んでいます。バックグラウンドの除去が順調に進んで、所定のバックグラウンドレベルに達すれば、1年分のデータにより予想される暗黒物質に対する感度は世界最高になると考えられます(図4)。

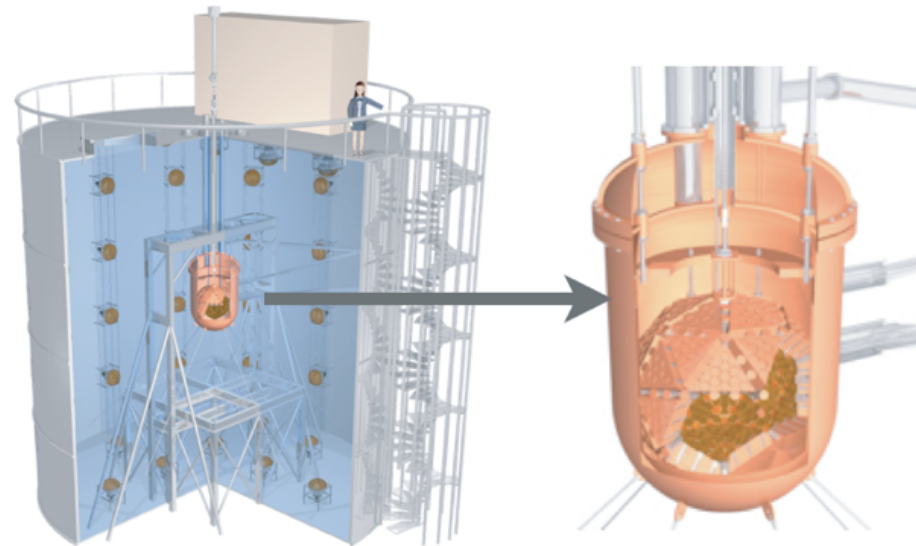


図1 800kg 検出器とその水放射線シールドの概観図。直径 10m・高さ 10mの水タンク側面に 20 インチ PMT を配置し、更に中央に液体キセノン検出器を据付します。

Fig.1 The schematic view of the detector and the water tank. The size of the water tank is $\phi 10\text{m} \times 10\text{m}$. The 800 kg LXe detector is immersed in this water tank.

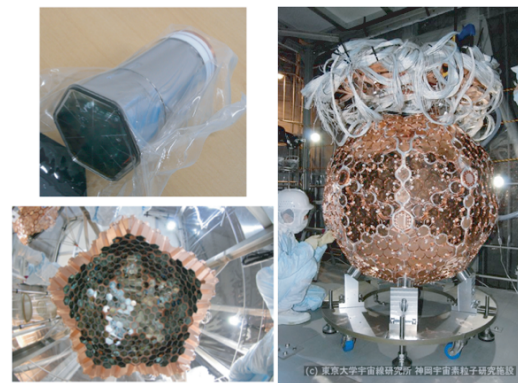


図2 XMASS実験用「極低放射能」光電子増倍管(Hamamatsu R8778-MOD)の据付作業の様子。642本の光電子増倍管の取り付け作業が完了。(右写真)

Fig2. The "ultra low radioactivity" PMT (Hamamatsu R8778-Mod) was shown here (Up-left). Assembly of 642 PMTs was completed in 2010. (Right)

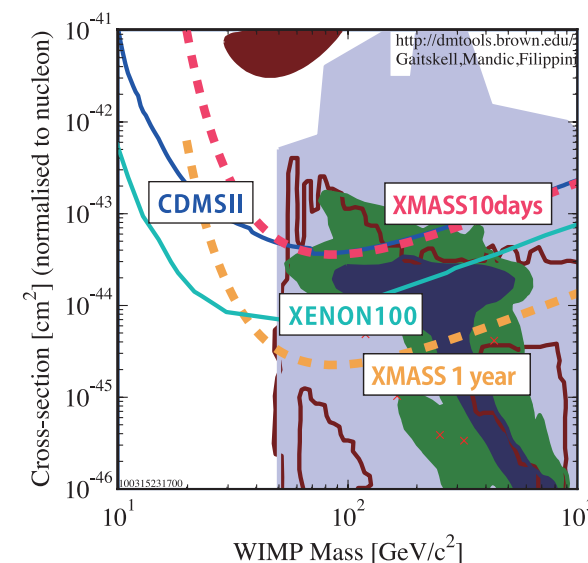


図3 WIMPと核子の散乱断面積の上限値曲線。XMASS 800kg実験では 10^{-45}cm^2 の感度が期待される。

Fig.3 WIMP-nucleon elastic scattering cross section is shown. XMASS 800kg will have sensitivity down to 10^{-45}cm^2 .

XMASS Experiment

The goals for XMASS project are to detect low energy solar neutrino, dark matter particle and neutrino less double beta decay. XMASS derives from

- Xenon detector for Weakly Interacting MASSive Particles (direct dark matter search)
- Xenon MASSive detector for solar neutrino (pp/⁷Be solar neutrino)
- Xenon neutrino MASS detector (neutrinoless double beta decay)

This project aims to achieve multi purposes of physics experi-

ment by using the liquid xenon (LXe) detector in the deep underground laboratory at Kamioka mine.

Current evidence indicates that 23 % of the mass energy density of the Universe is composed of cold, non-baryonic dark matter, which has thus made up 4-5 times more than baryonic matter. Its precise nature is undetermined, but weakly interacting massive particles (WIMPs) are an attractive candidate, and may be detectable via rare elastic scattering interactions that deposit a few tens of keV in target nuclei.

The advantages to use LXe detector are followings, 1) high light yield, 2) scalability of the size up to tons of mass and 3) easy purification of the radioactivity to reduce the internal background by using several methods in the different phases of xenon. Especially, there is no problem of background due to ¹⁴C like in the organic scintillator. Those advantages lead to capability of the detection of low energy solar neutrino from pp/⁷Be chains. The 10ton LXe detector can have 10 events/day from pp-chain and 5 events/day from ⁷Be. This high statistic of solar neutrino events enables us to do an accurate measurement of the mixing angle. And the LXe detector can be used for the direct dark matter search; for example, 1ton LXe will achieve a few tens of better sensitivity than the current experiments and can explore deep inside of the SUSY parameter region. In addition to those interests, the fact is that since ¹³⁶Xe is a candidate of neutrino less double beta decay, 10ton LXe detector can have neutrino mass sensitivity to 0.02-0.05 eV.

In 2007, the first phase of this program started to build 1ton of LXe detector for the direct dark matter search. Figure 1 shows the schematic view of the detector and the water tank for the radiation shield. The 1ton of LXe is surrounded by about 642 "ultra-low-radioactivity" PMTs which are developed for this experiment with Hamamatsu (Fig. 2). Those PMTs are used to detect the vacuum ultra violet light from the LXe scintillation. To explore dark matter particles, the experiment require sensitivity to low energies (<10 keV) and very low event rates (<0.1event/kg/day). This requires innovations in the detector design, and considerable attention to their radioactive backgrounds. In addition to that, LXe detector can perform a "self-shielding" from the external gamma ray backgrounds to reduce its flux down to several orders of magnitude due to the high atomic number of Xe (A=54).

The experimental hall was excavated in Kamioka mine in 2007 and the water shield tank was constructed in March 2009. The construction of the 800kg detector was completed with the assembly of 642 PMTs in the water tank in Dec 2010. We have been in the stage of the commissioning run. By analysis of those data, it was found that the radioactive background contributes much more than we expected. We are developing the analysis tool to identify/remove those events and in near future, we will also modify the detector to reduce those backgrounds. Once we achieve the expected background level by establishing the purification and stable condition, XMASS will reach the current best limit in only 10 days of exposure and after a few years of running, the sensitivity of WIMP-nucleon elastic scattering cross section will reach 10^{-45}cm^2 . (Fig. 3)

チェレンコフ宇宙ガンマ線グループ Cherenkov Cosmic Gamma Ray Group

超高エネルギー宇宙ガンマ線による宇宙の研究は、近年大きく進展し宇宙物理学のあらたな重要分野を形成している。この研究をさらに飛躍的に発展すべく、日米欧の国際共同により、従来の装置の10倍の感度と広い光子エネルギー領域を観測できる究極の超高エネルギーガンマ線観測施設チェレンコフ望遠鏡アレイ(CTA)の建設への準備をすすめている。最高エネルギー光子といえるTeV領域宇宙ガンマ線を観測し、極限的宇宙の姿を明らかにする。超新星残骸、超巨大ブラックホール周辺、ガンマ線バーストでの高エネルギー粒子の加速／生成機構、宇宙における星・銀河の形成史の研究し、さらには宇宙を満たす暗黒物質の探索、究極の物理理論である量子重力理論の検証を行う。

現在、100 GeV から 10TeV にわたる超高エネルギーガンマ線による天体観測は、解像型空気チェレンコフ望遠鏡(IACT)によって行われる。その歴史は1989年のWhipple 望遠鏡によるカニ星雲からのガンマ線検出に始まるが、その後の技術的発展にとともに、現在では、新しい世代の地上ガンマ線望遠鏡H.E.S.S.、MAGIC、VERITAS、CANGAROOにより銀河系内、銀河系外に、多種多様な100を超える超高エネルギーガンマ線源が発見されている。

これまでに確立された技術と経験をもとに、CTAは極めて高い感度と性能をもつようにデザインされている。現在、日米欧の国際協力で、大規模チェレンコフ望遠鏡アレイCerenkov Telescope Array (CTA)計画の準備研究を進めている。CTAは、大中小数十のチェレンコフ望遠鏡群の設置により、感度を一桁向上 ($1\text{mCrab} \sim 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ を達成) するとともに、観測可能なエネルギー領域を20GeV-100TeVと拡大し、高エネルギーガンマ線天文学を飛躍的に発展させるものである。この計画が実現すれば、1000以上の超高エネルギーガンマ線天体の発見が期待される。

CTAにより多くの重要な物理研究を行うことができる。100年来の問題である宇宙線の起源は、超新星残骸、他の銀河内ガンマ

線源、銀河内の拡散ガンマ線の詳細な観測により最終的に解決されるであろう。パルサーやパルサー星雲を観測し、中性子星近傍、また極限的な磁場中での物理が明らかになる。活動銀河核の観測により、超大質量ブラックホール、またその周囲の降着円盤、超相対論的なジェットの物理、さらには活動銀河の宇宙論的スケールでの進化が研究される。また、宇宙最大のエネルギー放出現象であるガンマ線バーストのその本質に迫ることができる。さらには、活動銀河核、ガンマ線バーストの詳細な研究により 10^{20}eV まで延びる最高エネルギー宇宙線の起源に迫る。また、これらの宇宙論的な距離から伝播するガンマ線を使い、宇宙の歴史における星形成史や宇宙初期に最初にできた星について探り、さらには量子重力理論の検証を行う。宇宙を満たす素粒子と考えられる暗黒物質の対消滅からのガンマ線を今までに無い精度で探査する。以上のように、CTAは高いサイエンスポテンシャルを持っており、かつ豊富な経験、実績に裏打ちされた技術により、その実現へ向けて高いFeasibilityをもちあわせる。

日本グループは、アレイの中心に配置される大口径チェレンコフ望遠鏡への貢献を目指して準備研究をすすめている。大口径望遠鏡は 20GeVから1000GeVの低エネルギー領域をカバーする。鏡の総面積は、十分なチェレンコフ光量を得るために、 400m^2 以上が必要である。また、それぞれの光学エレメントに、高反射率、高集光効率、高量子効率が要求される。日本グループは、この大口径望遠鏡に搭載する光センサー(光電子増倍管)、超高速読み出し回路、分割鏡の開発・試作を進めている。

大口径望遠鏡では、ガンマ線バースト等の種々のトランジェントな現象を捉えるために、高速回転により瞬時に源を視野内に捕らえることが要求される。現在、ベースラインデザインとして、マックスプランク物理学研究所(ミュンヘン)のグループが、MAGIC望遠鏡の経験をもとに23m口径の大口径望遠鏡を提案しており、その詳細デザインが進められている。構造はカーボンファイバーtubeによるスペースフレーム構造であり、軽量でか

つ剛性を高めるデザインとなっている。ガンマ線バーストの フォローアップ観測を可能にするため総重量をおよそ50トンと軽量化し、20秒で180 度回転が可能である。

チェレンコフ宇宙ガンマ線グループは、現在二つのチェレンコフ観測所を使い研究を進めている。一つはカナリー諸島ラパルにあるMAGIC望遠鏡(北半球)、もう一つはオーストラリア・ウーメラにある CANGAROO望遠鏡(南半球)である。これら二つの望遠鏡は科学的な観測だけでなく、次世代のCTAへ向けての技術的な開発のための施設として使われている。



図1 現在稼働中のMAGIC, VERITAS, H.E.S.S. CANGAROO 超高エネルギーガンマ線望遠鏡。チェレンコフ宇宙ガンマ線グループは、カナリー諸島ラパルにあるMAGICとオーストラリア・ウーメラにあるCANGAROO望遠鏡により研究をおこなっている。

Fig.1 The current generation VHE gamma ray observatories, the MAGIC, VERITAS, H.E.S.S. and CANGAROO telescopes. The Cherenkov Cosmic Gamma Ray group operates MAGIC on La Palma, Canary Islands, and CANGAROO at Woomera in Australia.

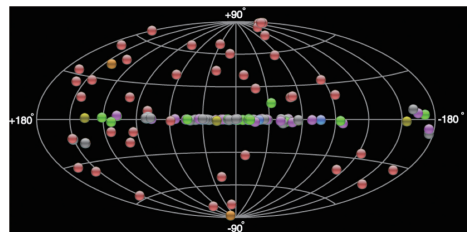


図2 超高エネルギーガンマ線源(>100GeV)を銀河座標系にします。100を超える銀河内、銀河系外のガンマ線源がH.E.S.S., MAGIC, VERITAS, CANGAROOにより発見された。

Fig.2 Very High Energy Gamma Ray Sky (>100GeV). More than 100 Galactic and extragalactic sources have been discovered by H.E.S.S., MAGIC, VERITAS and CANGAROO.

Cherenkov Cosmic Gamma Ray Group

During the past few years, Very High Energy (VHE) gamma ray astronomy has made spectacular progress and has established itself as a vital branch of astrophysics. To advance this field even further, we propose the Cherenkov Telescope Array (CTA), the next generation VHE gamma ray observatory, in the framework of a worldwide, international collaboration. CTA is the ultimate VHE gamma ray observatory, whose sensitivity and broad energy coverage will attain an order of magnitude improvement above those of current Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes (IACTs). By observing the highest energy photons known, CTA will clarify many aspects of the extreme Universe, including the origin of the highest energy cosmic rays in our Galaxy and beyond, the physics of energetic particle generation in neutron stars and black holes, as well as the star formation history of the Universe. CTA will also address critical issues in fundamental physics, such as the identity of dark matter particles and the nature of quantum gravity.

VHE gamma rays from 100GeV to 10TeV can be observed with ground-based IACTs. The history of VHE gamma ray astronomy began with the discovery of VHE gamma rays from the Crab Nebula by the Whipple Observatory in 1989. The current generation IACTs featuring new technologies, such as H.E.S.S., MAGIC, VERITAS, and CANGAROO, have discovered more than 100 Galactic and extragalactic sources of various types to date.

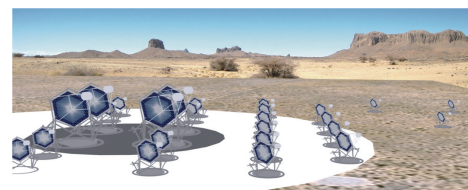


図3 CTA 超高エネルギーガンマ線天文台の想像図。CTAは、大口径(23m)、中口径(12m)、小口径(6m)の三種の望遠鏡から構成され、20GeV から100TeVにわたる広いエネルギー領域で超高エネルギーガンマ線を観測する。

Fig.3 Artist view of the CTA observatory. CTA consists of three types of telescopes, Large Size Telescopes (23m diameter), Mid Size Telescopes (12m) and Small Size Telescopes (6m), and covers the broad energy band from 20GeV to 100TeV.

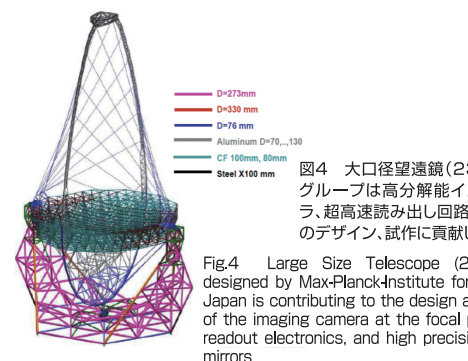


図4 大口径望遠鏡(23m口径)。日本グループは高分解能イメージングカメラ、超高速読み出し回路、高精度分割鏡のデザイン、試作に貢献している。

Fig.4 Large Size Telescope (23m diameter) designed by Max-Planck-Institute for Physics. CTA Japan is contributing to the design and prototyping of the imaging camera at the focal plane, ultrafast readout electronics, and high precision segmented mirrors.

CTA is designed to achieve superior sensitivity and performance, utilizing established technologies and experience gained from the current IACTs. The project is presently in its preparatory phase, with international efforts from Japan, the US and EU. It will consist of several 10s of IACTs of three different sizes (Large Size Telescopes, Mid Size Telescopes, and Small Size Telescopes). With a factor of 10 increase in sensitivity ($1\text{mCrab} \sim 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$), together with a much broader energy coverage from 20GeV up to 100TeV, CTA will bring forth further dramatic advances for VHE gamma ray astronomy. The discovery of more than 1000 Galactic and extragalactic sources is anticipated with CTA.

CTA will allow us to explore numerous and diverse topics in physics and astrophysics. The century-old question of the origin of cosmic rays is expected to be finally settled through detailed observations of supernova remnants and other Galactic objects along with the diffuse Galactic gamma ray emission, which will also shed light on the physics of the interstellar medium. Observing pulsars and associated pulsar wind nebulae will clarify physical processes in the vicinity of neutron stars and extreme magnetic fields. The physics of accretion onto supermassive black holes, the long-standing puzzle of the origin of ultrarelativistic jets emanating from them, as well as their cosmological evolution will be addressed by extensive studies of active galactic nuclei (AGN). Through dedicated

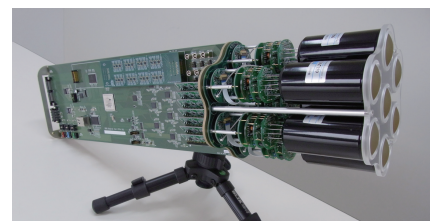


図5 日本グループにより設計、製作された大口径望遠鏡用クラスターモジュール。7本の高量子効率光電子増倍管、高圧回路、プリアンプ、スロー制御回路、超高速DRS4 波形読み出し回路、トリガーからなる。およそ400のクラスターモジュールにより大口径望遠鏡のカメラが構成される。

Fig. 5 Camera cluster for the Large Size Telescope (LST) developed by CTA-Japan. This cluster consists of seven high quantum efficiency photomultipliers (R1192Q-100), CW High Voltages, pre-amplifier, Slow Control Board, DRS4 Ultra fast waveform recording system and Trigger. The LST camera can be assembled with 400 of these clusters, cooling plates and camera housing.



図6 日本グループ、三光精衡所により試作された大口径望遠鏡用の高精度分割鏡。ミラーは60mm 厚のアルミハニカムを3mm のガラスではさんだサンドイッチ構造である。鏡表面はSiO₂、HfO₂ の多層保護膜により長寿命、高反射率を実現する。

Fig.6 Prototype of the high precision segmented mirror for the Large Size Telescope (LST) developed by CTA-Japan in cooperation with Sanko Co.LTD. The mirror is made of a 60mm thick aluminum honeycomb sandwiched by 3mm thin glass on both sides. A surface protection coat consisting of the materials SiO₂ and HfO₂ will be applied to enhance the reflectivity and to elongate the lifetime.

TA グループ Telescope Array

研究目的と装置

●宇宙線は、宇宙から地球に降り注ぐ高エネルギーの放射線で、主に陽子や原子核などの電荷を持った粒子です。宇宙線は宇宙のあらゆる方向から等しく地球に降り注いでいます。また、宇宙線はエネルギーが10倍になると、それ以上のエネルギーを持つ宇宙線の到来数が100分の1になるという割合で急速に減少し、特に興味深い最高エネルギー領域(10^{20} 電子ボルト、1垓電子ボルト、10000京電子ボルト)では、100平方キロメートルの地表に1年に1例程度しか観測されない極めて稀な現象になります。

●宇宙から地球に到来した極高エネルギーの宇宙線は、大気中の原子核と衝突して多数の二次粒子を生み、それがさらに衝突を繰り返して、最後には1,000億個もの低エネルギー粒子となって地上に降り注ぎます(これを空気シャワーと呼びます)。Telescope Array (TA) 実験では、このような空気シャワーを捕らえて、エネルギーと到来方向を測定し、元の宇宙線が宇宙の何処でどのように発生し、宇宙空間をどのように伝搬して地球に至ったのかを探っています。

●TAが観測対象としている宇宙線のエネルギーは、地球上の人工粒子加速器が生み出す最大エネルギーの1千万倍に相当します。最高エネルギーの宇宙線は、銀河系外の遠い宇宙で発生したガンマ線バーストなどの天体爆発、あるいは回転する巨大なブラックホールを持つ活動銀河核(AGN)から吹き出すジェット等から生じると考えられていますが、発生場所は未だに特定されていません。

●極高エネルギー宇宙線が伝搬してくる宇宙空間には、ビッグバンの名残である宇宙背景放射が満ちており、陽子宇宙線のエネルギーが1垓電子ボルト程度になると、宇宙背景放射との衝突が急激に増え、衝突で発生するパイ中間子に20%近いエネルギーを持ち去られます。この為に、宇宙線の到来数は1垓電子ボルトを超えると急速に減少することが、理論的に予想されています。これを3人の提唱者の頭文字を取ってGZK効果と呼びます。このGZK効果を観測して、特殊相対性理論を極高エネルギーで確かめることもTAの重要な研究課題の1つです。

●最高エネルギー宇宙線は、銀河系の持つ磁場でぐくわずに、数度のレベルで曲げられることが予想されています。極高エネルギー宇宙線の発生源天体が同定されれば、あるいは到来方向の非等方向性が確認されれば、偏向の大きさを測定することによって、伝搬の過程で宇宙線が受けた磁場の強さを確認することができます。銀河系内外の広大な宇宙空間の磁場の分布等については未だ良く分かっていないため、貴重な情報が得られることになります。

研究の現況

●平成20年春、TA装置による観測が始まりました。TAは約700平方キロメートルの地表をカバーする地表粒子検出器アレイと3カ所の大気蛍光望遠鏡ステーションからなり(図1)、米国ユタ州の砂漠地帯(北緯39度、西経113度、標高は約1400メートル)で、日米韓露とベルギーの5カ国の研究者140人が共同で観測を行っています。

●地表検出器アレイとしては507台のシンチレーター(宇宙線が通過すると発光する物質を用いて作られた検出器)を、間隔1.2キロメートルで格子状に並べました。観測データは無線LANネットワークを使って取得しています。シャワー粒子の正確な到来時刻は、全地球測位システム(GPS)で測定し、装置の運転に必要な電力は太陽電池で供給しています。大規模な観測装置ですが、自然環境に負荷を掛けない自立型検出器となっています(図2左)。

●地表アレイの外縁には、大口徑の広視野望遠鏡を3ヶ所に設置し、空気シャワー中の粒子が引き起こすわずかなシンチレーション光を撮像しています(図2右)。地表での粒子の測定に、望遠鏡による大気中での空気シャワーの発達の観測が加わるので、測定の精度や信頼度が格段に高まります。さらに、シャワーを発生した元の宇宙線の粒子種(陽子や原子核、ガンマ線やニュートリノなど)の区別も可能となります。

●エネルギースペクトルについて：平成23年4月までに、地表アレイでは856例の 10^{19} eV(1000京電子ボルト)以上の宇宙

線を観測しました。これは、山梨県明野村で運用されたAGASA検出器の13年間の1.6倍の観測を、約3年間で達成したことになります。この地表検出器のデータでエネルギースペクトル(スペクトルという用語の解説はチベットグループのページを参照)を測定しました(図3)。これによって、過去にAGASAが観測した極高エネルギー宇宙線の超過数は再確認されませんでした。

●粒子種について：2つの望遠鏡を使ったステレオ観測で、空気シャワーの最大発達深さ X_{\max} のエネルギー依存性を測定しました(図4)。予備的な結果では $10^{18.2}$ eV(約100京電子ボルト)以上の宇宙線の粒子種は陽子と考えられます。

●異方向性について：地表検出器で観測した $10^{19.76}$ eV以上の宇宙線の到来方向と近傍のAGNの位置を銀河座標で図5に表示しました。AGNとの有意な相関は見られません。また一カ所の到来方向に集中した宇宙線のクラスターも確認されていません。さらにTAの到来方向のデータは、大規模構造モデルでも等方モデルでもどちらでも説明できます。ただし、 10^{19} eV以上といった低いエネルギーのデータを大規模構造モデルで説明するためには、強い銀河ハロー磁場が必要となります。

●将来計画について：TAをさらに大型化し、100倍程度の地表検出器による高統計で詳細な最高エネルギー宇宙線の研究を検討しています。そのためにTAサイトを利用した宇宙線の電波による観測の試験や新しい検出器のR&Dも行われています。また、 10^{18} eV以下の低エネルギーへの性能拡張を行って銀河宇宙線から銀河系外宇宙線に移り変わるエネルギーを突きとめる研究も検討しています。

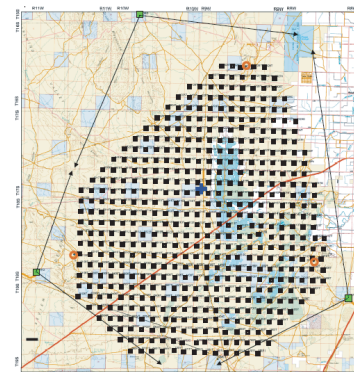


図1 TAの全体配置図。黒い四角は地表検出器の位置を、緑の四角は大気蛍光望遠鏡のステーションを示す。カバーする全地表面積は700km²である。

Fig.1 TA layout. The locations of 507 counters are indicated by black square boxes. The locations of 3 telescope stations are marked by green square boxes.



図2 (左図) 砂漠に基盤目状に設置したTAの地表検出器。後方に更に4台が見える。(右図)TA大気蛍光望遠鏡。光電子増倍管によるカメラを用いて空気シャワーからの紫外発光を高速・高感度で撮影する。

Fig.2 (left) One of the TA ground array detectors deployed in the field. Four more are seen behind. (right) TA air fluorescence telescopes.

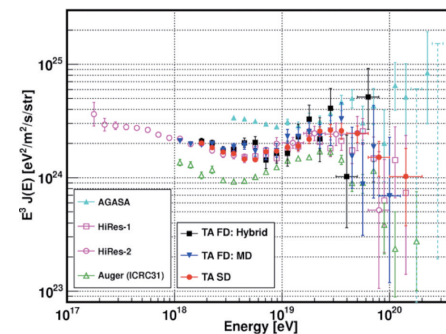


図3 TAで測定した超高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトル。TAのSD(●)、MD単眼解析(▼)、予備的なhybrid解析(■)によるスペクトル、および他の実験のスペクトルの結果。

Fig.3 The energy spectra of UHECR measured by TA: TA surface detector (●), TA monocular fluorescence detector (▼), and TA preliminary hybrid analysis (■) together with other experiments.

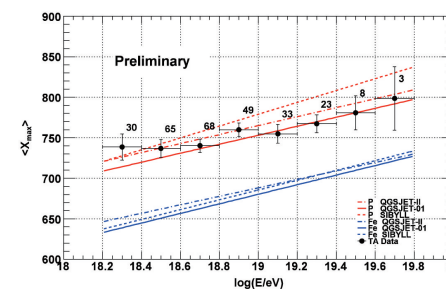


図4 TAで測定した超高エネルギー宇宙線の平均 X_{\max} とエネルギーの関係。

Fig.4 The average X_{\max} vs. energy of TA cosmic ray events.

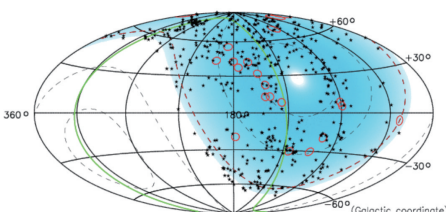


図5 TAで観測した $10^{19.76}$ eV以上の宇宙線の到来方向と近傍の活動銀河核の位置をプロットしたsky map(銀河座標表示)。TAで観測した事象を赤丸で、AGNを黒い点で示す。水色の領域はTAの観測範囲を示す。

Fig.5 Hammer projection of the TA cosmic ray events with $E > 10^{19.76}$ eV and nearby AGNs in the Galactic coordinates. The TA events are shown by red circles, and the AGNs are represented by black dots. The light blue area shows the boundary of the TA exposure.

チベットグループ The Tibet AS- γ Collaboration

研究目的と装置

●1912年にオーストリアの物理学者ヘスが、宇宙から飛来する放射線である宇宙線(原子核宇宙線)を発見して約100年が経過しました。しかし、未だに高エネルギーの宇宙線が宇宙のどの天体から飛来しているのか、そしてどのようにして人工の粒子加速器で生み出すことが出来るエネルギーを遙かに越えるエネルギーにまで加速されているのか解明されていません。宇宙から地球に飛来する宇宙線を一次宇宙線(原子核やガンマ線が主)と呼びます。それらは、大気の大気素や酸素の原子核と反応を起こし、二次宇宙線を生み出します。それを構成する粒子はねずみ算的に増大し、直径数百メートルの大きさに広がる空気シャワー(電子、陽電子、ガンマ線、ミューオン、ニュートリノ等からなる)を形成します。この空気シャワーを観測することにより、親の一次宇宙線の飛来方向やエネルギー、原子核の種類やガンマ線との弁別を行うことができます。

●我々は、中国チベット自治区の羊八井高原(ヤンパーチン高原、標高4,300メートル)に、中国と共同で空気シャワー観測装置(図1)を建設し、宇宙から飛来する高エネルギー(1TeV=10¹²電子ボルト=1兆電子ボルトから100PeV=10¹⁷電子ボルト=10京電子ボルト、太陽フレアからの宇宙線は1億電子ボルト程度のエネルギーなので比較すると非常に高いエネルギー)宇宙線(原子核とガンマ線)の観測を行っています。研究の目的は、
①高エネルギーガンマ線を放射している天体の探索および宇宙線の加速起源の同定
②超高エネルギー一次宇宙線の化学組成(どの原子核なのか)の解明
③超高エネルギー一次宇宙線のエネルギースペクトルを計測することによる宇宙線加速機構の解明
④高エネルギー宇宙線による太陽惑星間に広がる磁場構造の研究
⑤高エネルギー宇宙線の飛来方向に関する特異性(異方性)の研究
等です(注:飛来量が、どのエネルギー範囲にどのように分布しているのかを表すグラフを、エネルギースペクトルと呼ぶ)。

●主装置として、プラスチックシンチレーターと呼ばれる、荷電粒子検出器で構成される空気シャワー観測装置を使用します。具体的には、面積0.5平方メートルのプラスチックシンチレーターを、7.5メートル間隔でほぼ基盤目状に並べ、37,000平方メートルの領域に飛来する荷電粒子検出器で構成される空気シャワーを観測します。荷電粒子による発光は、光センサーである光電子増倍管で検出後に電気信号に変換され、その発光時刻と発光量(電荷)をデータとして収集します。検出出来る空気シャワーのエネルギーの下限値は約3兆電子ボルト。

●空気シャワー観測装置の中心部には、面積が80平方メートルの、鉛とプラスチックシンチレーター製バースト検出器とが設置されています。この装置を空気シャワー装置と連動させることにより、「Knee(ニー)エネルギー領域」と呼ばれる1000兆~1京電子ボルトの領域の一次宇宙線中の陽子及びヘリウム成分が観測出来ます。この領域の宇宙線には、未だ多くの謎が残っており、本装置による解明が期待されています。



図1 チベット空気シャワー観測装置(標高4,300m、羊八井宇宙線観測所、チベット、中国)
Fig.1 Tibet air shower array, located 4,300m above sea level, Yangbajing, Tibet, China.

研究の現状

●カニ星雲からの数兆電子ボルト(数TeV)ガンマ線の検出

本空気シャワー観測装置で、カニ星雲からTeV領域のガンマ線を検出しました(図2)。空気シャワー観測装置による高エネルギーガンマ線の検出は世界で初めてです。また、平成9年春から活発にフレアを起こした活動銀河核Markarian501、および平成12~13年に活発なフレアを起こしたMarkarian421からも1兆電子ボルト(TeV)以上のガンマ線を検出しました。空気シャワー観測装置は、天候等の気象条件に左右されずに大きな視野で天空を常時監視出来るため、高エネルギーガンマ線を放射する活動天体を観測するのに大変適しています。

●Kneeエネルギー領域(1000兆電子ボルト~1京電子ボルト)の一次宇宙線のエネルギースペクトルの観測

空気シャワー観測装置により、Kneeエネルギー領域の一次宇宙線のエネルギースペクトルを大変良い精度で観測しました(図3)。Kneeエネルギー領域は、超新星爆発の衝撃波による粒子加速の限界や、銀河からの宇宙線の漏れ出し問題を解く重要な鍵を握っている領域です。通常、宇宙線は銀河内の磁場に捕捉されており、他の銀河へは流出しません。ところが、非常に高エネルギーの宇宙線になると銀河磁場を振り切って流出してしまいます。これを銀河からの宇宙線の漏れ出しと呼びます。一方空気シャワー観測装置とその中心に置かれたバースト検出器と呼ばれる装置との連動実験からは、宇宙線を構成する原子核成分の内、陽子やヘリウムに関するエネルギースペクトルが得られています。図4からはエネルギーが高くなるに従って、宇宙線を構成する原子核成分に重原子核成分が大きく含まれるようになっていくことが見て取れます。

●太陽活動と銀河宇宙線による「太陽の影」の変動

太陽活動(黒点数)は11年周期(サイクル)で変化することが知られています。1755年から始まる活動の山を太陽サイクル1として、2008年から太陽サイクル24に入りました。チベットの空気シャワー観測装置は精巧に作られているため、銀河宇宙線による太陽と月(いずれも視直径約0.5°)の影を鮮明に捉えることが出来ます。銀河宇宙線中の太陽の影は、太陽活動によって変化する太陽惑星間の磁場の影響を受けて、その深さや位置が変化します。図5はこの装置で観測された「太陽の影」の深さの年変化です。宇宙線中の太陽の影の観測を1996年から2006年に掛けて行い、太陽サイクル23をほぼカバーしたことになります。これは、太陽活動を考慮したシミュレーションと良く

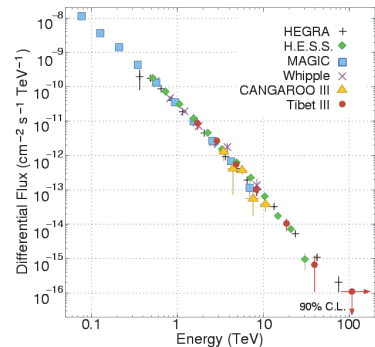


図2 カニ星雲からのTeV領域ガンマ線エネルギースペクトル

Fig.2 Energy spectrum of TeV gamma rays from the Crab Nebula.

合っていることがわかります。現在このような観測が出来るのは、世界でも唯一本装置のみです。この実験により、今まで観測方法が無かった太陽惑星間の磁場構造についても貴重なデータが得られるものと期待されています。

●銀河宇宙線の異方性

ほぼ等方的な飛来量分布に従う高エネルギー銀河宇宙線の異方性をチベット実験は世界最高の統計精度で観測できます。図6に示すように、太陽を中心とする地球の公転運動に起因する正弦波型の微小な(1万分の1程度)異方性が期待され、それが太陽時(1日を24時間とした)を基準とした宇宙線飛来量の日変化として期待通りに観測することに成功しました。さらに、数兆電子ボルト(数TeV)から数百兆電子ボルト(数百TeV)のエネルギーを持つ宇宙線の飛来量の恒星時(恒星は同じ方向に見える時刻が1日当たり約4分ずつ早くなるため1恒星日≒23時間56分を基準とした)日変化の異方性を高精度で2次元的に測定しました。(図7参照)。良く知られた0.2%程度の恒星時異方性(Tail-inやLoss Cone)の他に、シグナス領域(白鳥座方向)に新しい銀河宇宙線異方性を発見しました。また、銀河回転運動に起因する見かけの恒星時異方性(約1%)が観測されたことにより、銀河宇宙線が局所的な銀河磁場と共回転していることが示されました。さらに、シグナス領域に数個のホットスポットがあることが判明し、新しいガンマ線放射天体の可能性が示唆されます。(図8d、e)参照)。そしてそれらは米国のミラゴ実験によって確認され、我々の観測の正しさが検証されました。

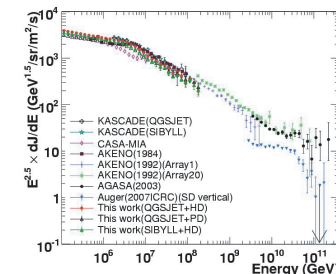


図3 Kneeエネルギー領域以上の宇宙線全粒子エネルギースペクトル

Fig.3 All-particle energy spectrum of primary cosmic rays above "Knee" energy region.

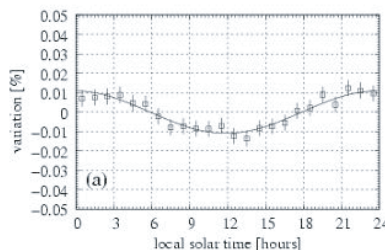


図6 太陽時宇宙線異方性(コンプトン-ゲッティング効果)の微分値(6-40 TeVの一次宇宙線データ)

Fig.6 Differential variation of primary cosmic ray anisotropy at solar time frame (Compton-Getting effect) between 6-40 TeV.

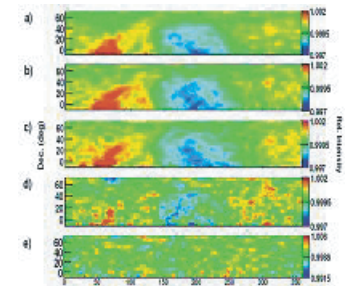


図7 恒星時宇宙線異方性
上から4, 6.2, 12, 50, 300 TeV

Fig.7 Cosmic ray anisotropy at sidereal time frame for 4, 6.2, 12, 50, 300 TeV from above.

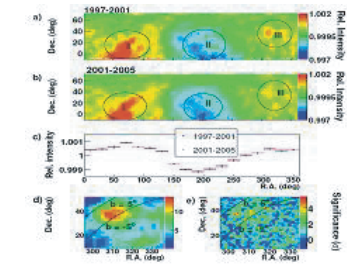


図8 シグナス領域(III)のガンマ線点源探索
e)の赤いホットスポットに注目

Fig.8 Search for gamma-ray point sources in the Cygnus region (III). Watch out the hot red spots in e), please.

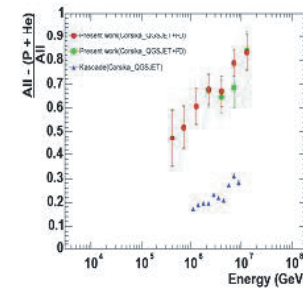


図4 Kneeエネルギー領域一次宇宙線中でヘリウムより重い原子核成分の割合のエネルギー依存性

Fig.4 Energy dependence of fraction of nuclei heavier than helium in primary cosmic rays around "Knee" energy region.

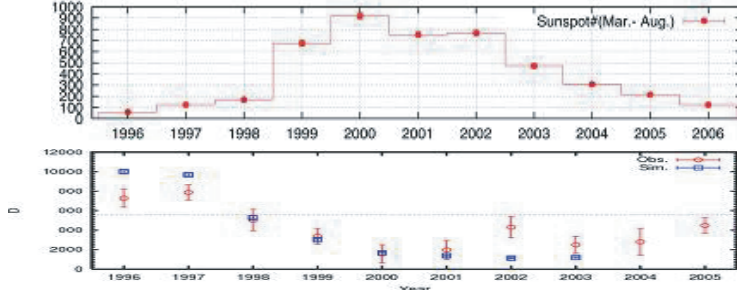


図5 上図は太陽黒点数の年変化、下図は観測された宇宙線中の太陽の影の深さに関するデータとシミュレーションの比較

Fig.5 Upper panel: yearly variation of sun spot numbers. Lower panel: Comparison of Sunspot shadow depth in cosmic rays between MC simulation and the observed data

Tibet AS γ

Tibet air array (Tibet-III) is located at Yangbajing (4,300m a.s.l), Tibet in China.

Our research subjects are: Search for high-energy gamma-ray (a few TeV) celestial point sources; The measurement of the energy spectrum and the composition of very high-energy primary cosmic rays; The study of 3-dimensional global structure in the solar and interplanetary magnetic fields by means of high-energy galactic cosmic rays; The measurement of high-energy galactic cosmic-ray anisotropies.

Tibet-III, 3,7000m in area, consists of 789 scintillation counters that are placed at a lattice with 7.5 m spacing. Each counter has a plate for a plastic scintillator, 0.5 m in area and 3 cm in thickness, and equipped with a 2-inch-in-diameter photomultiplier tube. The detection threshold energy is approximately a few TeV. The angular resolution of the air-shower array is estimated by the Moon's shadow in cosmic rays to be less than 1 degree, which is the world best performance. At the center of Tibet-III, set up are 80 m burst detectors composed of lead plates and plastic scintillation detectors. We observe the energy spectra of proton and helium components in primary cosmic rays in the "knee" (10¹⁵-10¹⁶ eV) energy region by the hybrid experiment with the burst detectors and Tibet-III.

We successfully observed TeV gamma-ray signals from the Crab Nebula for the first time in the world as an air-shower array. TeV gamma-ray signals from active galactic nuclei, Markarians 501 and 421, were also observed.

We made a precise measurement of the energy spectrum of primary cosmic rays in the "knee" (10¹⁵-10¹⁶ eV) region. The chemical composition in the "knee" region is a crucial key to clarify the mechanism of how cosmic rays are generated, accelerated and propagated to Earth. The hybrid experiment with the burst detectors and Tibet-III demonstrates that the fraction of nuclei heavier than helium increases in primary cosmic rays as energies go up and that the "knee" is composed of nuclei heavier than helium, supporting the shock-wave acceleration scenario in supernova remnants.

Because a charged particle is bent by a magnetic field, the apparent position of the Sun's shadow in the galactic cosmic rays shifts from its expected location due to the solar and interplanetary magnetic fields. It is expected that Tibet-III will exclusively provide important data to study the global structure of the solar and interplanetary magnetic fields correlated with 11-year-period solar activities. Covering mostly the solar cycle 23 (our data from 1996 to 2006), we show that yearly change in the Sun's shadow depth in cosmic rays is well explained by a simulation model taking into account the solar activities.

Tibet-III measures high-energy galactic cosmic-ray anisotropies with the highest statistics in the world. We clearly observed a tiny (on the order of 1 in 10 thousand) anisotropy apparently caused by the terrestrial orbital motion around the Sun at the solar time frame. We also made precise 2-dimensional maps of high-energy (a few TeV to a few hundred TeV) galactic cosmic-ray anisotropies at sidereal time frame. Besides the established "Tail-in" and "Loss-cone" anisotropies, we discovered a new anisotropy in the Cygnus region. The corotation of cosmic rays with our galaxy was shown as well, as we observed no big (1% level) apparent anisotropy due to galactic rotation which would have been observed otherwise. On the other hand, we found some hot spots in the Cygnus region, suggesting that they be celestial sources emitting TeV gamma rays. They were recently confirmed by the Milagro experiment in U.S.A.

「高エネルギー天体」グループ High Energy Astrophysics

研究目的と現況

●宇宙には光速に近い速さで飛び回っている粒子が存在し、そのエネルギーは100万～10億電子ボルト未満から1垓(1兆の1億倍)電子ボルト超まで、十数桁以上に渡ります。それらは宇宙線として地球に飛来し、直接観測されることもあれば、エックス線やガンマ線が放たれることで、間接的にその存在を知ることができます。こうした宇宙線粒子は、高エネルギー天体現象に伴い加速・生成されていると考えられていますが、その詳細には未知の部分が沢山残っており、我々「高エネルギー天体グループ」の研究ターゲットになっています。

●宇宙線の加速過程・放射過程の舞台となる高エネルギー天体現象として、超新星爆発・パルサー磁気圏(図1)、マグネター(超強磁場中性子星)の巨大フレア(図2)、銀河中心ブラックホールから噴き出すジェット、星形成銀河(図3)、正体不明のガンマ線バースト、銀河団などを挙げることができます。

●我々の研究手法では、純理論解析・数値シミュレーションなどの理論的手段ばかりではなく、人工衛星などの観測データ(電磁場・電波観測、プラズマ粒子・エックス線～ガンマ線観測など)の解析も活用しています。特に、人工衛星のデータをその測定原理に戻って解析し直すことにより、観測装置の設計者すら予期していなかった結果を得たことは一度や二度ではありません。図2はそのような一例で、プラズマ粒子計測器に飛び込んだ硬エックス線(エネルギーの高いエックス線)の光子数解析という手法から得られたマグネターの巨大フレアの光度曲線です。

●近年、宇宙線を構成している粒子成分のうちの電子のエネルギースペクトル(エネルギースペクトルの説明に関しては、チベットグループのページ参照)の振る舞いに異常が見つかり、その起源に注目が集まっています。我々は国際宇宙ステーションにおけ

る電子観測計画に参加してその起源の解明に寄与したいと考えています。

●遠くの日体現象に迫る手がかりを得るため、より詳細なデータが得られる太陽・地球近傍の惑星間空間で起こる爆発的エネルギー解放現象の研究も行っています。これらは、関与する粒子は100万～10億電子ボルト程度以下に限られるとはいえ、直接探査が可能であり、高エネルギー天体現象の雛形として、理論模型の検証に不可欠な実験場を提供してきました。例えば30年ほど前に提唱され、現在の宇宙線起源理論の根幹をなしている衝撃波統計粒子加速理論は、惑星間空間の衝撃波研究によりその基礎が確立したという歴史があります。

●宇宙線粒子の加速過程とは、背景の熱的プラズマ・磁場のエネルギーが、少数の高エネルギー粒子に選択的・集中的に引き渡される過程であり、その理解のためには、プラズマ物理学の基礎に基づいた詳細な考察が必要となります。反対に、粒子加速過程の研究を通じて、プラズマ物理学はその内容を豊富にしてきました。左に記した衝撃波統計粒子加速理論はその例であり、他の有名な例として、磁気エネルギーの爆発的解放過程に関わる磁力線再結合理論があります。その両方の研究の発展史において、日本の研究者群が挙げてきた世界的な成果が、「高エネルギー天体グループ」の活動の背景です。



図1 高エネルギー粒子加速源として知られるかに星雲像(国立天文台提供)。1054年の超新星爆発の後に形成された回転中性子星(かにパルサー)が星雲の中心にあり、星雲全体にエネルギーを供給していることが知られています。

Fig.1 A Subaru image of the Crab nebula, which is known as an efficient particle accelerator. A rotating neutron star, the Crab pulsar, which was created after the supernova explosion in 1054 A.D., is at the center of the nebula and known to provide energy throughout the nebula.

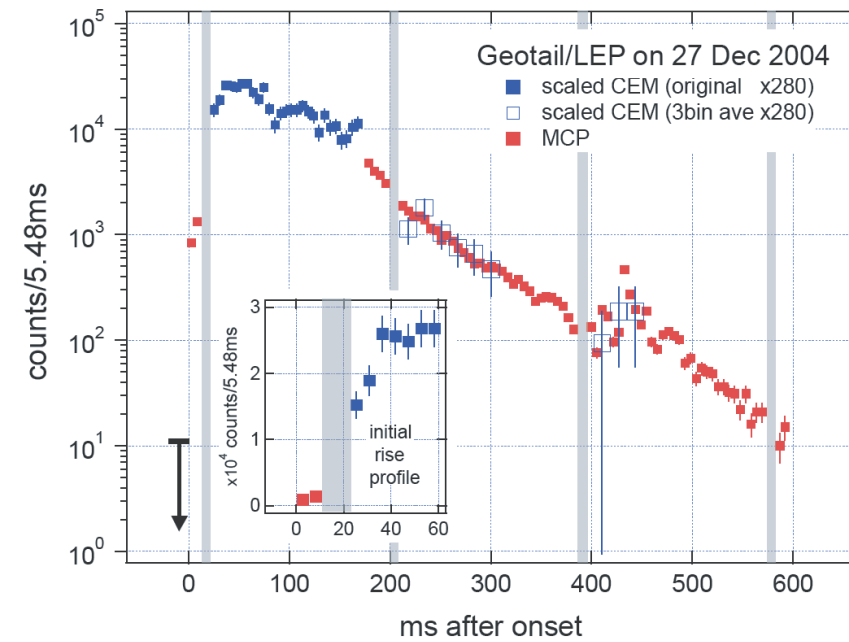


図2 Geotail衛星が観測したマグネターSGR1804-20の巨大フレアの硬X線光子数の時間変化(ピークを含む最初の600ミリ秒間)。他の殆どのX線・γ線検出装置はピーク期間には飽和してしまい、ピーク時のエネルギー流量はこの我々の観測により推定されました。

Fig.2 A hard X ray light curve during the 600msec peak interval of a giant flare of the magnetar, SGR1804-20, obtained by the Geotail spacecraft. Since almost all the other X/gamma ray detectors were saturated during the peak interval, the peak energy flux was estimated from this observation.

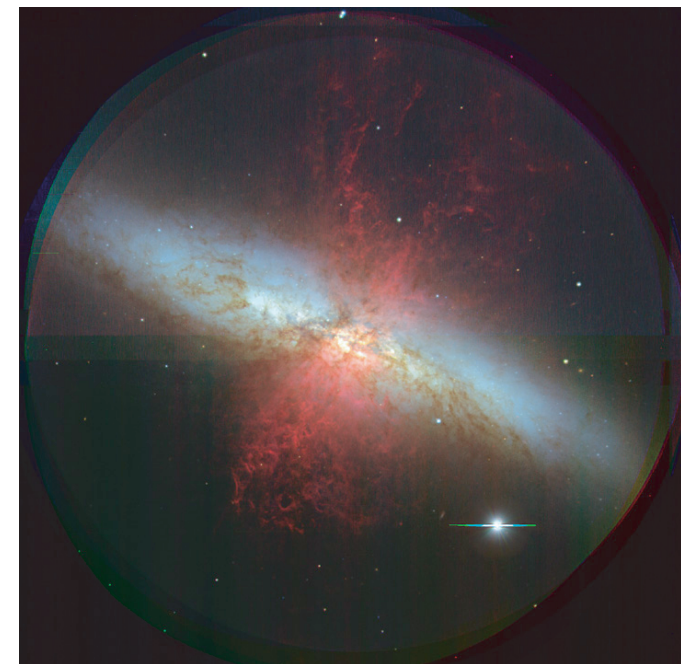


図3 宇宙線源として知られるM82星形成銀河像(国立天文台提供)。銀河内部の宇宙線粒子のエネルギー密度は天の川銀河の500倍に達すると推定されています。

Fig.3 A Subaru image of M82 starburst galaxy, which is known as a cosmic ray source. The energy density of cosmic ray particles inside this galaxy is five hundred times higher than that within our Galaxy.

The high energy astrophysics group aims at making theoretical and observational studies of violent astrophysical phenomena, in which nonthermal cosmic ray particles are being accelerated. Targets of our study include supernova explosions/pulsar magnetospheres (Fig. 1), giant flares of magnetars (Fig. 2), jets from active galactic nuclei, star-burst galaxies (Fig. 3), mysterious gamma ray bursts, and galaxy clusters. In addition to these distant high energy phenomena, we have also been studying nearby heliospheric phenomena, such as solar flares, planetary bow shocks/magnetospheres, interplanetary shocks, and the heliosheath. While the energy coverage of these heliospheric phenomena is rather limited, at most up to $10^6 \sim 10^{10}$ eV, their in situ studies have made detailed assessment of theoretical models possible. A well known example is the diffusive shock acceleration (DSA) process, which was proposed in late 60s and has become since then the modern basis for cosmic ray origin theories.

In acceleration processes of nonthermal particles, energies of background plasma/magnetic field are transported into selected particles. Understanding of such transport/selection processes requires consideration based on microscopic plasma physics. The magnetic reconnection (MRX) process is another famous example. Research tradition in Japan for studies of DSA and MRX processes provides the background for the activity of our high energy astrophysics group.

Ashra

All-sky Survey High Resolution Air-shower detector

宇宙から地球に届いたガンマ線・核子・ニュートリノなどの超高エネルギー宇宙線は、大気と反応して空気シャワー現象を起こします。Ashra(All-sky Survey High Resolution Air-shower detector)は、星から直接来る光や電磁波だけでなく、この空気シャワーからの発光を、全天で高精度に観測する実験です。Ashraは、新開発の望遠鏡を使い、今まで誰も見たことのない天体や宇宙を、光学閃光やガンマ線、そして超高エネルギーニュートリノを通して「見る」ことで、超高エネルギー素粒子天文学という新たな学問の創成を目指しています。超高エネルギーの素粒子をメッセンジャーとして用いることで、光や電磁波だけでは直接観ることのできない天体の深部や超高エネルギー粒子の生成・消滅・崩壊や加速・伝播などが重要な過程となる爆発や衝突合体などの激しい変動を示す天体現象をより詳しく観ることができるようになります。

Ashra実験では、望遠鏡の光学系の改良に成功し、直径42度という広い視野で、空気シャワーの形をより詳細に撮影出来るようにしました。この改良には、焦点面に置

かれる直径500ミリメートルの大口径イメージンテンシファイアの開発が不可欠でした。これにより、宇宙線の種類や方向が精度良く決定出来るようになりました。テスト観測で星を撮影し、Ashra光学系が広い視野全体で高精度を有することが確かめられました。また、入ってきた光が宇宙線のものかどうかを判断してから撮影する「インテリジェントトリガー」システムを開発し、空気シャワーだけを効率良く撮影出来るようにしました。このシステムのために2種類のセンサーを新たに製作しました。

Ashraの観測地は、ハワイ島のマウナロア山です。望遠鏡や格納庫を観測地に次々と輸送し、建設を完了し、観測のための設置及び運転開始に向けた準備を進めてきました。2008年6月からは一部の装置を用いて突発天体からの光学閃光と同時にタウニュートリノ放出を探索し始めています。2012年4月までで、合計約4200時間以上の観測時間を蓄積しました。実際の観測から得られた好天率は90%以上あり、そのうち検出装置の稼働率は99%に達しています。

Ashra

Very high-energy cosmic rays, such as gamma rays, nucleons, and neutrinos, traveling the universe, finally reach the Earth. They then interact with the atmosphere and leave a stamp, called an “air-shower”. Ashra (All-sky Survey High Resolution Air-shower detector) is an experiment for obtaining fine images of “air-showers” over the whole sky, as well as directly observing starlight. By examining unknown objects or phenomena through optical flash, gamma rays, and ultra high-energy neutrinos with newly developed detectors, we wish to create a new region of science, called ultra high-energy particle astronomy. We improved the optical system of the detector, and have come to obtain air-shower images more closely over an ultra-wide field of view (42 deg. in diameter). The most important study was the development of a large image intensifier, mounted on the focal surface. We can now better determine the species and direction of cosmic rays. The high performance of our optics was already confirmed by test observations. We also developed an “intelligent trigger system”, which obtains air-shower images efficiently after judging whether incident light is produced by cosmic rays. We developed two new sensors for the trigger system.

We built detectors at Mauna Loa on the Hawaii Big Island. We will start normal observations soon after assembling readout devices on the optical system mounts.

Since June 2008, we started observations searching for optical transients and simultaneously tau neutrino emissions. The accumulated observation time reached more than 4200 hours as of April 2012. The rates of good weather and operation in good weather condition are estimated to be 90% and 99% respectively from real observation. The excellent weather condition at the site and the stability of the installed detector demonstrated well.

Fig. 1 Views of the Ashra observational stations at the Mauna Loa Site of which civil engineering construction completed. There are main station which simultaneously watches 80% of the entire sky like composite eyes of insects and substation which watches regions around the zenith. As a result, 30% of the entire sky can be covered by stereoscopic observation. The inset shows a view of the Ashra light collectors for quasi-horizontal observation taken from the Mauna Kea side. The apparatuses might find out air-shower signals come out of the mountain, which are induced by high energy cosmic neutrinos.



図1 建設を終えたAshraマウナロア観測ステーションの全貌です。全天の80%の視野を昆虫の複眼のように一望する主ステーションと、同様に天頂付近を見る副ステーションがあります。これによって、全天30%は“両眼”で見られるわけです。下は、マウナケア側から見た水平方向を眺む望遠鏡群です。山から出現するニュートリノの姿が見られるかもしれません。

一次線グループ

Primary Cosmic Ray Group

●一次線グループでは、屋久杉や南極氷床などに含まれる、宇宙線によって大気中で生成される放射性核種(宇宙線生成核種)を分析することによって、過去に地球に飛来した宇宙線量の長期的な変動を復元し、その変動を支配している太陽活動の変動と物理メカニズムを調べています。

●宇宙線生成核種は、宇宙から飛来する高エネルギー宇宙線が地球大気と反応を起こすことによって生成されます。宇宙線生成核種のうち、炭素14は光合成により屋久杉などの樹木に取り込まれ、ベリリウム10などは降雪によって氷床に蓄積します。これらの宇宙線生成核種は、宇宙線量が多い年にはより多く生成され、逆に宇宙線量が少ない年にはより少なく生成されます。したがって、年輪や年層ごとに宇宙線生成核種の含まれる量を調べると、過去の宇宙線量の時間変化を知ることができます。また、宇宙線の直接観測による研究と違い、数十年から数千年におよぶ非常に長い時間スケールについての研究が可能です。現在、過去約2万4千年を対象に研究を進めています。

●太陽物理における最も重要な課題は、数百年に一度起こるとされる、長期無黒点期の発生のメカニズムを明らかにすることです。数十年にわたる黒点の消失は、太陽圏の磁場環境を大きく変えるだけでなく、地球周辺の宇宙空間や気候にも大きく影響することが示唆されています。長期無黒点期の発生メカニズムを詳細に明らかにするため、より高い精度で宇宙線生成核種の分析を行うための試みも始めています。より詳細な特性が復元できれば、長期無黒点期の発生の予測にもつなげることができると考えています。

●最近、宇宙線量の変動が地球の気候に影響を与えているとする説が提唱され、活発な議論が進められています。一次線グループでは、樹木年輪から宇宙線の変動だけでなく、気候変動も同時に復元することにより、宇宙線が地球の気候変動にどのような役割を果たしているのかについても調べています。

The variations of cosmic rays and solar activity in the past can be investigated by measuring the cosmic ray induced nuclides, such as carbon-14 in tree rings and beryllium-10 in ice cores. We are now reconstructing the variations of solar activity at multi-decadal to multi-millennial time scales and investigating their physical mechanisms. One of the most important tasks is to clarify the mechanism of the occurrence of prolonged sunspot absences that last several decades. Such prolonged weakening of solar activity is suggested to affect the earth's climate. Based on the tree ring study, we are also trying to understand how and to what extent cosmic rays affect climate change.



図1 宇宙線研究所が所有する樹齢約2000年の屋久杉

Fig.1 ~2000-year-old Yaku cedar tree at ICRR.

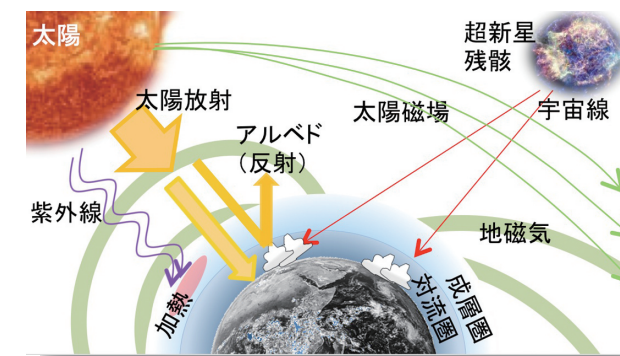


図2 過去400年間の黒点数の変動。17世紀～18世紀初頭にかけてマウンダー極小期と呼ばれる長期無黒点期が発生した

Fig.2 Sunspot numbers since the 17th century. One of the prolonged sunspot absence occurred in the 17th century.

重力波推進室

Gravitational Wave Project Office (GWPO)

研究目的

●アインシュタインの一般相対性理論によれば、質量の存在により物体の周囲の空間が歪んでおり、その空間の歪みこそが重力であると表現します。物体が運動すると、周囲の空間を歪めながら移動するので、その歪みが振動となって遠方まで伝わります。伝わる速さは光の速さと同じ速さと考えられています。これが重力波です。超新星爆発やブラックホールの形成など、強い重力場での一般相対性理論の検証は、唯一重力波によってのみ可能です。また、可視光、電磁波、ニュートリノと拡がってきた天体観測の手段に新たに重力波が加われば、今まで観測不能であった星や宇宙の情報が得られる可能性が出てきます。従って、重力波を検出することには非常に重要な意味があります。しかし、重力波の直接検出は極めて難しく、その存在は間接的にしか確認されていません。私達の研究の目標は、その重力波を最先端の技術を結集した大型低温重力波望遠鏡により直接検出し、重力波を用いた天文学を開始することです。

●重力波が到達すると、二つの物体間の距離が変化することが分かっています。そこで、重力波によって変化する物体間の距離の変動を超高精度に測定することで、重力波を検出します。その距離の変化は、地球と太陽の間の距離が水素原子一個分変わるくらい小さなものでることからも、それが如何に難しいことかが伺い知れることと思います。測定には、極めて精度の高いレーザー光を“物差し”として利用する、マイケルソン干渉計を用います。元々1本の光を直交する2本の光に分け、それを鏡で折り返してまた1本に重ねるということをする装置です。光路長に応じて、重なり方が変化し、それが光の干渉縞となって観測されます。もし光路長が重力波によって変化したとすると、その干渉縞が明滅し始めます。このわずかな明滅を利用して、重力波の存在を検出するのです。望遠鏡の感度を高めるには、干渉計の光路を長くすると、様々な振動雑音を極限まで取り除くことが必要です。特に振動は、重力波以外の光路長を変えてしまう

原因となるので、極限までの振動抑制が必要となります。そのために、日本の大型低温重力波望遠鏡計画では、この望遠鏡を地面振動の少ない神岡鉱山地下200メートルの、L字型に直交する長さ3kmのトンネル二本の中に設置します。さらに、装置の一部を低温化することで、装置の熱振動による揺らぎすら低減させる技術を投入します。この今までの光学望遠鏡とは全く異なる新しい望遠鏡に、より親しみやすさを感じて頂けることを願い、全国からその愛称を公募し、数多くのご応募の中から、「KAGRA」と命名させて頂きました。

研究の現況

●2010年6月にKAGRA計画は、その技術立証機であるTAMA300およびCLIOの成果に基づき、文部科学省の最先端研究基盤事業の一つに採択されて計画が開始されました。2011年度には、KAGRAの建設に向け、重要構成部門別に分かれた各

チームによる詳細な設計が行われ、特に工期初期に必要なとされる地下トンネルの着工準備が整いました。それに加えて、日本で最大容積規模となる真空系の製作も順調に進行中です。また、本計画の先進的な挑戦と特徴、つまり、地下環境の利用と装置の低温化に関し、同様のテーマを共有するヨーロッパの次世代重力波望遠鏡計画母体(EGO)との共同研究が開始されました。さらに、KAGRA計画における各重要構成部門の推進を加速させるために、韓国の重力波研究グループとの共同研究が開始されました。

●KAGRA計画では、世界に先駆けて、地球から約7億光年の範囲内で発生する重力波の世界初の直接検出を目指し、同様に重力波の初検出を目指すアメリカやヨーロッパの重力波望遠鏡計画(LIGO計画、VIRGO計画、GEO計画)と競う一方で、重力波の検出という人類共通の目標の達成のために、各計画と技術的・観測的協力をより密に行うための覚書を締結しています。

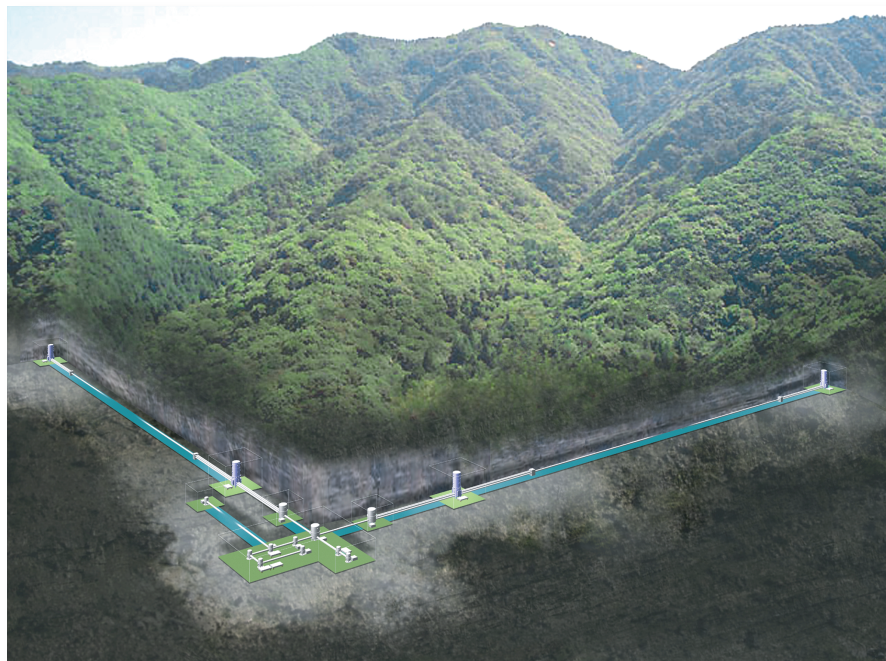


図1 KAGRAの完成予想図

Fig.1 Schematic view of KAGRA planned underground at Kamioka.

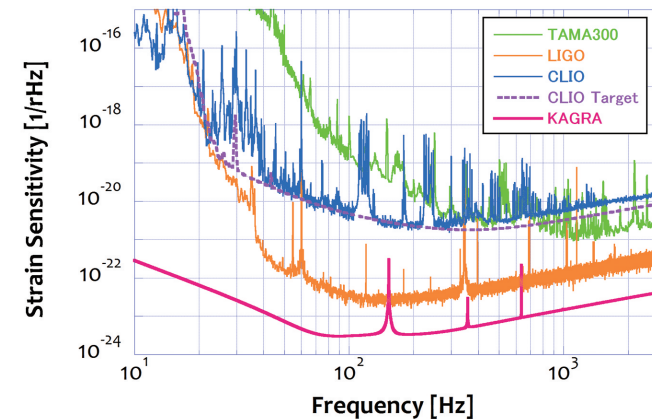


図2 KAGRAの感度曲線(赤線)とTAMA(緑線)、100メートルプロトタイプ低温干渉計CLIO(青線)の低温感度。紫の破線で示す室温究極感度100Hz付近でわずかに上回っているのは低温鏡による低減効果を現わしている。なお、橙線で示したプロットは、現在最も感度が良いとされる米国の計画LIGO(基線長4 km)で達成されている感度。

Fig.2 The achieved sensitivities by existing interferometers compared with the design sensitivity of KAGRA (red curve). The vertical axis represents square root of strain noise power density. The green curve is the sensitivity of TAMA (in 2008). The blue one shows that of CLIO (taken in March, 2010). The dotted violet one represents room temperature limit of CLIO. The orange one is that of LIGO at the time of 5th science run. The target sensitivity of KAGRA will be achieved by a seismic attenuation system (SAS) that was developed by TAMA interferometer, the cryogenic mirror system that was tested by CLIO, and a high power laser system, the power of which has been attained at a laboratory level.

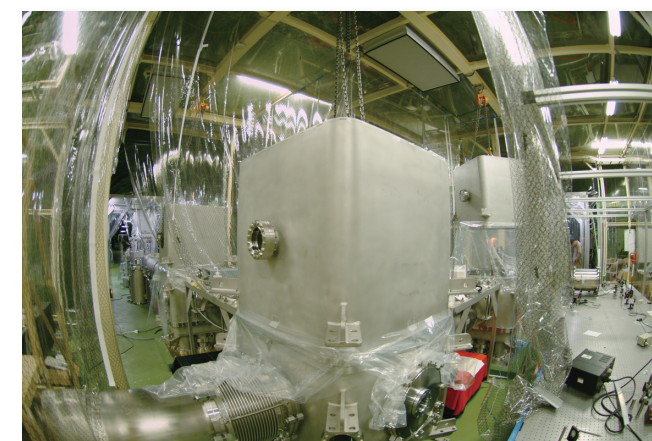


図3 設置された100メートル低温レーザー干渉計(CLIO)。手前の真空タンクに光を分ける鏡が入れられ、一方に延びる真空パイプとその先の真空タンクが見える。併設される基線長補償のための変位計は地球物理の研究のためにも応用される。

Fig.3 A 100m cryogenic interferometer prototype, CLIO, is built underground at Kamioka. Beam splitter is installed in the nearer vacuum chamber and the beam tube extends to one direction, where another vacuum chamber is in the view. A strain meter for compensating the stretch and shrinkage of the beam tube is utilized for geophysical research, too.

Gravitational Wave Project Office (GWPO)

The gravitational wave group conducts R&D experiments of the Large-scale Cryogenic Gravitational wave Telescope (nicknamed “KAGRA”) project for the detection of gravitational waves predicted by Einstein. Nobody has succeeded to detect a wave form in real time, so far. This type of detection has become one of the possible tests to prove Einstein’s theory of relativity. The gravitational wave telescope will be used in the future as a tool for observing the dynamic behavior of compact stars, such as neutron stars and black holes.

A gravitational wave should cause a relative change (strain) between two displaced points in proportion to their distance. Even if we take a 3 km baseline length, the effect is so tiny that extensive R&D is needed to detect it. Based on technical achievements of a 300m TAMA interferometer and a 100m interferometer CLIO (Cryogenic Laser Interferometer Observatory), the KAGRA project started as one of Strategic Fund for Strengthening Leading-edge Research and Development of Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-Japan in 2010.

In the fiscal year of 2011, detail designs for the each important subsection of KAGRA have been determined. Among of them, the tunnel design and its construction contract have been done, and the manufacturing of five hundreds 12-meter vacuum tube unit is in progress. The collaboration research between the European Gravitational Observatory (EGO) and KAGRA has started to explore the further technical enhancement about a cryogenic interferometer and to share the profound knowledge about the underground environment. In addition to this, the collaboration with Korean gravitational research group has also started to accelerate the KAGRA subsection’s progress.

Figure 2 shows the achieved sensitivities compared with the target one of KAGRA. KAGRA is designed to detect a strain on the order of $h \sim 10^{-22}$ in terms of the metric perturbations at a frequency of around 140 Hz. This would enable to detect coalescing binary neutron stars of 1.4 solar mass to 250 Mpc at its optimum configuration, for which one expects a few events per year, on average. To satisfy this objective, KAGRA adopts a power-recycled Fabry-Perot Michelson interferometer with resonant-sideband extraction scheme, the main mirrors of which are cooled down to cryogenic temperature, 20 K, for reducing the thermal noise; they are located in a quiet underground site in Kamioka mine.

KAGRA project is competing and collaborating with foreign GW detection projects, such as LIGO (USA), VIRGO (Italy-France), GEO (UK-Germany), for the first direct detection of GWs in human history.

For detailed, references, please see <http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/>

観測的宇宙論グループ Observational Cosmology Group

研究目的

●可視光や赤外線などの観測で初期の宇宙史を明らかにすることを目指しています。

●ビッグバンから始まった137億年の宇宙史において、最初の約10億年(宇宙背景放射の時代である赤方偏移1100から6までの間。赤方偏移は、その数字が大きくなればなるほど過去の宇宙を示す値)はほとんど観測できておらず、宇宙史における失われた欠片となっています。この時代は宇宙の黎明期に当たり、原始ガスから星や銀河が初めて誕生するといった、その機構が未解明である現象が数多く存在しています。それに加えてこの時期には、宇宙再電離という宇宙史最後の大イベントが起こったと考えられます。電離とは、原子を構成している原子核と電子が分離することをいいます。宇宙では膨張する過程で、水素の原子核と電子が結びついて水素原子が作られ、それがガスとして充満していました。ところが、その後の時代に一度作られた水素原子が再び水素原子核と電子に分離されたようなのです。これは宇宙再電離と呼ばれ、何が原因で起こりどのような過程を経て終わったのかまだ分かっていません。これらの問題は、ビッグバン後約10億年の宇宙を観測しない限り分かりません。しかし、この時代の天体は非常に遠いため、見かけ上とても暗く、簡単に観ることができないため、様々な工夫が必要となります。

●私たちは、すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡、ケック望遠鏡さらにはALMA(アルマ)といった世界最高感度を誇る大型望遠鏡を駆使して、未だ人類が目にしたことのない宇宙の観測に挑戦しています。まず、すばる望遠鏡の主焦点カメラ(Suprime-Cam)に取り付けた狭帯域フィルターを用いることで、宇宙史初期に多数存在する原始銀河、その中でも特に検出しやすいLy α (ライマン・アルファ)輝線を出す銀河(LAE)を探索することが可能となります。これによって見つけられた銀河を、ハッブル宇宙望遠鏡やケック望遠鏡などで詳しく調べることで星や銀河の誕生の謎に迫ることが出来ます。さらに、LAEのLy α 輝線が宇宙の中性水素から受ける吸収の強度によって宇宙再電離の歴史を調べることが可能です。私たちのグループは、このような手法によって初期の宇宙史を研究しています。

研究の現況

●すばる望遠鏡の主焦点カメラSuprime-Camおよびケック望遠鏡DEIMOS分光器を用いて、赤方偏移7におけるLAEの大規模観測を行いました。この結果は2010年および2012年に天体物理学の専門誌Astrophysical Journalの論文として発表、さらには多くの国際研究会で発表することで、世界的に高い評価をうけました。

●この観測研究から、赤方偏移7において宇宙再電離の痕跡を見つけることが出来ましたが、大半の水素ガスは既に電離されているという事が明らかになりました。この結果は新たな疑問を投げかけることになりました。宇宙を再電離する原因として、原始銀河が放つ遠紫外線が考えられていますが、赤方偏移7では原始銀河が発する遠紫外線は、宇宙を電離するのに必要だと考えられる量の1/3かそれ以下しかありませんでした。このように赤方偏移7では遠紫外線の放出量が非常に少ないにも拘わらず、何故宇宙を満たす水素の大半が電離されているのかという疑問が出てきました。いくつかの可能性として、従来の研究の測定精度が低い、宇宙初期の銀河の性質を正しく理解していない、観測できていない宇宙初期の銀河が多数あるためにこのような問題が現れた、と考えることも出来ますが、現状ではどれも憶測の域を出ません。もしかしたら、私たちの想像を超えた現象が宇宙史初期で起きていた可能性もあります。実際、過去に私たちは赤方偏移7に直径5万光年にもなる予想以上に大きな天体を発見しましたが、このような天体の再電離への寄与は分かっていません。

図1 ハワイ島マウナケア山頂に設置された国立天文台の口径8.2mすばる望遠鏡(下)とトップリング上に装着されたSuprime-Cam(上)。

Fig1 Subaru telescope, NAOJ, with an 8.2m primary mirror at the summit of Mauna-Kea, Hawaii Island (bottom) and Suprime-Cam installed on the top ring.

●そこで、Suprime-Camと比べて1桁程度探索能力が高いすばる望遠鏡の次世代超広視野カメラHyper Suprime-Cam(HSC)を用いて研究を進展させる計画を進めています。HSCは現在、東京大学、国立天文台、プリンストン大学や台湾の研究機関が協力して製作中であり、2012年度に初期運用、2013年に本格運用が始まる予定です。これまでの10倍の規模でLAEを含む原始銀河の探索を行う予定です。私たちは、日本学術振興会の科学研究費助成金の交付を受け、HSC用の大型狭帯域フィルターの作成を開始しています。このフィルターを用いたHSC探索は2013年以降に開始する予定です。

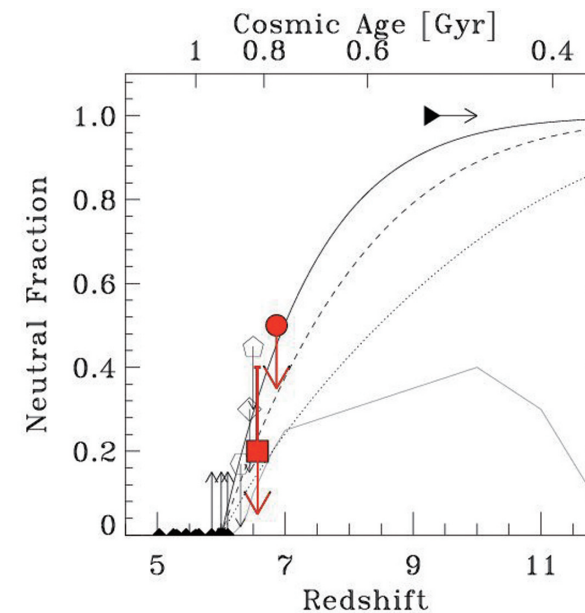
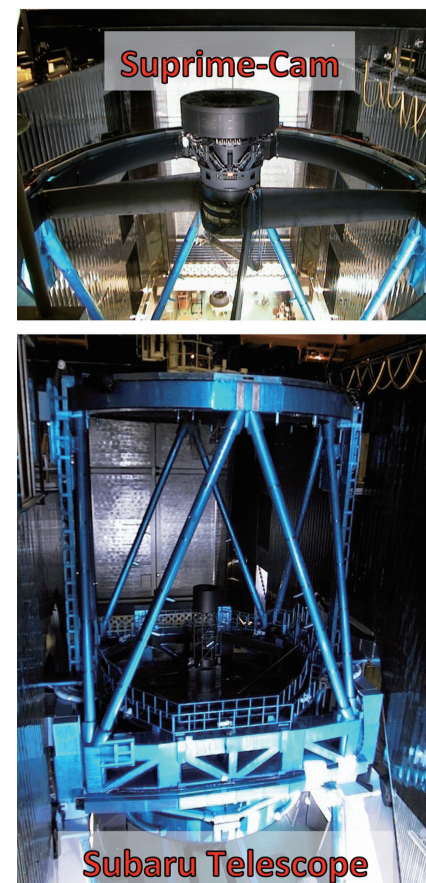


図2 これまでの研究で明らかにされた宇宙再電離の歴史。赤方偏移(横軸)に対する中性水素比(縦軸)の進化。赤印がSuprime-Camの探索から付けられた制限。4つの曲線は異なる理論モデル。いつ、どのように宇宙再電離が進んできたかはまだほとんど分かっていません。

Fig2 History of cosmic reionization, so far, understood. Red symbols denote constraints from our Suprime-Cam survey. Four lines represent different theoretical predictions. The epoch and process of cosmic reionization are unknown.



図3 開発中のすばるHSC用狭帯域フィルター(Materion[旧 Barr Associates社]と協力)。

Fig3: Subaru/HSC narrow band filter under development (collaboration with Barr Associates Inc.)

Observational Cosmology

We study the early universe by deep multi-wavelength observations. Armed with the state-of-the-art telescopes such as Subaru, Hubble, Keck, and ALMA, we aim to push the today's observational frontier towards the very high redshift universe that no one has ever seen by observations. Our goal is understanding physical processes of galaxy formation at the early stage and the relevant event of cosmic reionization.

We have recently completed our large survey for Ly α emitting galaxies (LAEs) at $z \sim 7$ with Subaru Prime Focus Camera (Suprime-Cam) and Keck DEIMOS spectrograph, and reported the results of the survey widely in the world. Our results indicate that there are clear signatures of increasing neutral hydrogen towards $z \sim 7$, but that the universe is still highly ionized at $z \sim 7$. These results cast a riddle for the physics of cosmic reionization. It is known that ionizing photons produced by stars and galaxies are less than 1/3 of the amount of ionizing photons necessary for ionized universe at $z \sim 7$. The question is why the universe is ionized with the little ionizing photons. It would be possible that the accuracy of our neutral fraction measurement is not high enough, or that the previous studies miss a large population of galaxies in the Suprime-Cam observations. In fact, we have discovered a giant bright Ly α emitter, and the total ionizing photons produced by this kind of object is unknown.

We plan to address these issues with the next generation Subaru wide-field camera, Hyper Suprime-Cam (HSC), that has the survey speed about an order of magnitude faster than Suprime-Cam. HSC is being developed by the University of Tokyo, National Astronomical Observatory of Japan, Princeton University, and Taiwanese institutes. The first light of HSC will be in the fiscal year 2012, and the survey observations are planned to start in 2013. We will conduct an order of magnitude larger survey for galaxies at $z \sim 7$ with HSC than our previous surveys with Suprime-Cam. Since 2011, we have started designing narrow-band filters for HSC that are necessary for identifying LAEs, and developing a large filter with the Grant-in-Aid for Scientific Research (A) awarded by Japan Society for the Promotion of Science. With these filters, we aim to start our HSC survey in 2013.

理論グループ Theory Group

研究の現況

●理論グループでは、様々な角度から素粒子と宇宙に関する理論的研究を行っています。

●素粒子物理学の一つの目的は、我々の周りで起こっている現象を統一的に説明することにあります。現在、我々の周りで起こっている現象は全て電磁気力、弱い力、強い力、そして重力という四つの基本的な相互作用の組み合わせに帰着できることが分かっています。素粒子の標準模型は、さらにそれらのうち電磁気力と弱い力を元々は一つの同じ力であったとして統一的に表現することに成功し、実験的にも非常に高い精度でその正しさが確かめられています。このような力の統一という観点から、素粒子物理学の次の大きなステップとして電磁気力、弱い力と強い力が元々一つの同じ力として統一される大統一理論の存在が期待されています。実際、それぞれの力の強さを表す結合定数の精密測定の結果から、そのような大統一理論がいままでに実験的に到達したことの無いような高いエネルギー領域において存在する可能性が強く示唆されています。現在の段階では大統一理論は単なる仮説に過ぎませんが、様々な興味深い観測可能な現象や粒子の性質、例えば陽子の崩壊やクォークとレプトンの質量の関係、ニュートリノの質量構造を予言しており、それらの実験による検証が待たれています。理論グループでは、大統一理論に関連した様々な模型の理論的性質に関して、加速器実験や宇宙観測等を包括的に組み合わせることで研究を進めています。

●素粒子の世界を司る法則は、いくつかの対称性と呼ばれる概念が自然界に存在することと強く結びついていることが分かっています。そのことから、現在素粒子論が抱えるいくつかの問題についても何らかの未知の対称性が解決の鍵となっているのではないかと期待されています。特に超対称性と呼ばれる新たな対称性が自然界に存在していた場合、素粒子の標準模型の大きな問題の一つと考えられているいわゆる階層性問題が解決されます。さらに、超対称性を仮定すると、大統一

理論に不可欠な結合定数の統一がより精度良く実現することが分かっています。このようなことから超対称性は現在の素粒子模型の背後にある新しい対称性の有力な候補と考えられており、超対称性を持つ素粒子模型・宇宙模型の研究は理論グループの重要な研究テーマとなっています。

●素粒子の標準模型は、これまで私達人類が検証してきた素粒子の世界を非常に精密に記述していますが、一方で大統一理論や超対象標準模型といった標準模型の背後にある新しい物理法則の存在も強く期待されています。それらの標準模型を越える物理法則を研究する上で、今日宇宙初期と天体研究は欠かせないものとなっています。我々の宇宙は今から約140億年前にビッグバンの大爆発で誕生したと考えられています。その誕生直後の宇宙は地球上では到底再現されないよう

な高温高密度状態にあり、様々な素粒子が光速で飛び回っており、標準模型を超えた世界が実現されていました。理論グループでは、大統一理論や超対称性理論を宇宙論に応用することによって、誕生間もない宇宙で起きる様々な素粒子現象を研究し、宇宙論の新たなパラダイムであるインフレーション宇宙をはじめ、宇宙における物質の起源や暗黒物質・暗黒エネルギーの正体に関する研究を行い、誕生から現在に至る宇宙の進化を素粒子物理の観点から統一的に理解することを目指しています。

●宇宙には我々の知っている物質では説明できない未知の暗黒エネルギーや暗黒物質の存在が宇宙観測によって明らかになって来ています。理論グループでは暗黒物質等の正体を理論的側面、現象論的側面、宇宙論からの視点をとおして研究しています。

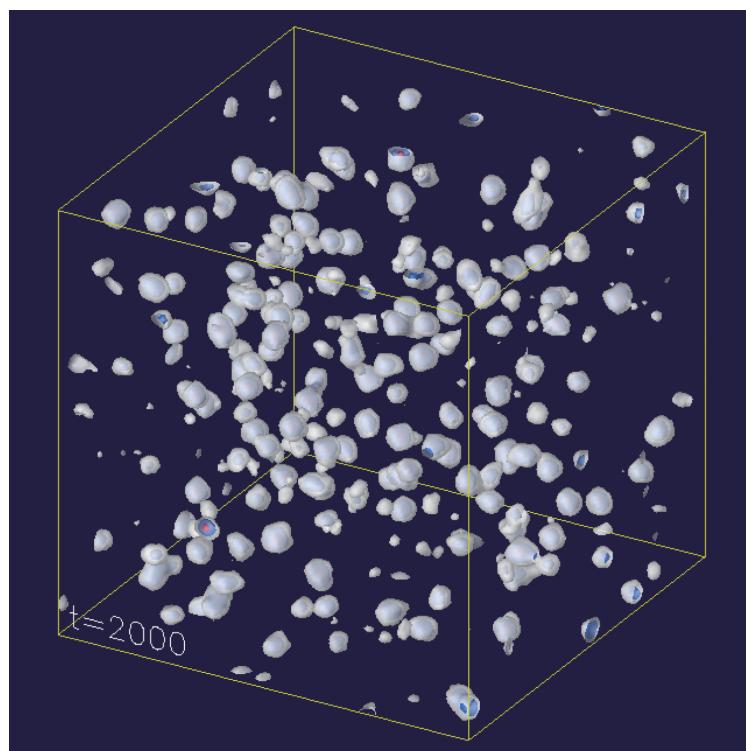


図1 超対称性標準理論で予言されるノントポロジカル・ソリトンであるQボールの3次元シミュレーション。

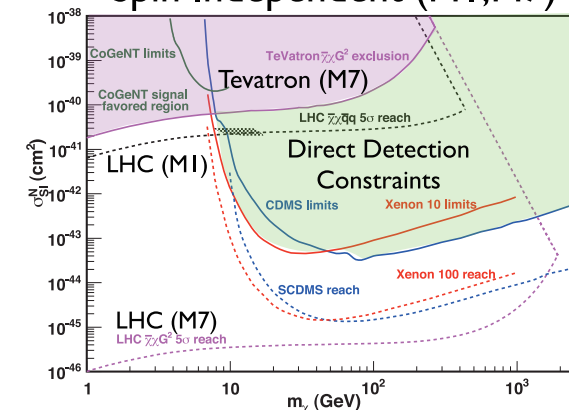
Fig.1 3D simulation of Q-balls which are non-topological solitons predicted in the minimal supersymmetric standard model.

Theory

The theory group is studying various theoretical aspects in elementary particle physics and cosmology.

The aim of particle physics is to give a unified view on the various interactions around us. To date, all the known interactions around us are successfully reduced into only four fundamental interactions; the electromagnetic interaction, the weak interaction, the strong interaction, and the gravitational interaction. The Standard Model of particle physics further unifies the electromagnetic and the weak interactions and has passed stringent experimental tests for more than two decades since the discovery of the W and Z bosons.

Spin Independent (M1,M7)



Spin dependent (M6)

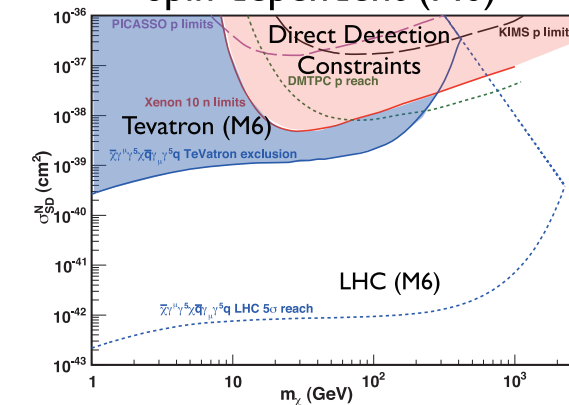


図2 暗黒物質のスピン依存及び非依存な相互作用を通じた直接観測の際に必要な相互作用断面積への上限。横軸は暗黒物質の質量を表す。図は加速器実験からの制限が直接観測の制限と相補的な制限を与えることを示している。また相互作用の種類によっては直接観測よりも厳しい制限を与え得ることが分かる。

Fig.2 Exclusion upper limits on the dark matter-nucleon interaction cross sections relevant for the direct detection experiments of dark matter via the spin-independent and spin-dependent interactions. The figure shows that the constraints from the collider experiments give complementary constraints and sometime outperform depending on the types of the interactions.

With the success of the Standard Model as a unified theory, the next big leap in particle physics will be the theory which unifies the electroweak and the strong interactions, i.e. the grand unified theory. In fact, the precise measurements of the strengths of the interactions strongly suggest the grand unification at the very high energy scale which we have not reached experimentally yet. At present, the grand unification theories are mere theoretical hypotheses, but the grand unified theories predict a lot of interesting physics, such as the decay of protons, the mass relations between quarks and leptons and the structure of the neutrino masses. Theory group is studying theoretical aspects of those phenomena related to the grand unified theory by combining the results of the observations at collider experiments and cosmological observations in a comprehensive manner.

It is conceivable the Nature has higher symmetries at high energy scale, and existence and interaction of elementary particles may be subject to these symmetries. Supersymmetry is one of the most promising symmetries in this respect. Supersymmetric models are one of the most important subjects for Theory group.

The universe was created by a Big Bang fourteen billion years ago. Immediately after its creation, the universe is considered to be extremely hot and dense, and various elementary particles, even those difficult to produce by present-day accelerators, have been present at this early epoch. The four forces were almost indiscernible and higher symmetries should have emerged at that time. Theory group is attempting to check the elementary particle physics and/or cosmology by studying effects from interactions of the elementary particles that have taken place at the early universe.

The dark side of the universe is also an important subject of particle physics and cosmology. Recently, the existence of the dark side of the universe, i.e. dark energy and dark matter, has been revealed by cosmological observations. Theory group is studying what are the candidates for those dark unknown material from theoretical, phenomenological and cosmological point of view.

宇宙ニュートリノ観測情報融合センター Research Center for Cosmic Neutrinos

●宇宙ニュートリノ観測情報融合センターは、大きな成果をあげているニュートリノとそれに関連する研究を進めることを目的として、平成11年に設立され今日に至っています。本センターのメンバーは全員スーパーカミオカンデ実験に参加してニュートリノ研究を進めるとともに、スーパーカミオカンデのニュートリノデータからニュートリノに関する知見を最大限にあげられるように、より一層理論と実験の交流をはかるなどして、ニュートリノ研究の新たな道を探っています。また、スーパーカミオカンデのニュートリノデータを最大限に生かすため、大気ニュートリノのフラックスの研究や、ニュートリノ相互作用の研究なども行っています。2011年度には1GeV以下の大気ニュートリノのフラックス計算を新しくしました。更に、長基線ニュートリノ振動実験T2Kに参加し、新たなニュートリノ研究を推進しています。

●平成23年度は、国内の関係の研究者の情報交換などをはかることを目的にニュートリノの第3の混合角(13角)をテーマに「宇宙ニュートリノ研究会」を2012年3月29日に開催しました。参加者は34名で、T2K実験や原子炉実験からの有限の θ_{13} 角の観測、あるいは原子炉実験の現状が紹介され、また

関連したトピックスや今後の展望に関して議論が行われました。また、平成21年以来宇宙線研究所と数物連携宇宙研究機構(IPMU)で年に春と秋の2回一般講演会を開催していますが、春については本センターが宇宙線研究所広報室と共同で企画・実施をしています。平成23年度については企画は進めたものの地震の影響で予定していた会場が使用不可となり中止となりました。

●本センターは、平成16年度より、柏地下で行われている一次線共同利用研究の受け入れ窓口をつとめ、また計算機利用のみの共同利用研究や将来計画等に関連した研究会の受け入れ窓口となっています。平成23年度はこれらについて合計9件の共同利用を受け入れました。

●宇宙ニュートリノセンターでは、本研究所計算委員会と共に、宇宙線研究所の共同利用計算機の運用をしています。平成23年度においては東日本大震災の影響による電力不足に対応するため、秋口まで計算機システムのCPUの多くを落として運用が行われました。また緊急停電に備えて計算機システム一部についてのバックアップ発電機を整備しました。

RCCN

The Research Center for Cosmic Neutrinos (RCCN) was established in April, 1999. The main objective of this center is to study neutrinos based on data from various observations and experiments. In order to promote studies of neutrino physics, it is important to provide the occasion to discuss theoretical ideas and experimental results on neutrino physics. Therefore, one of the most important practical jobs of this center is the organization of neutrino-related meetings. On March 29, 2012, we hosted one domestic neutrino workshop on " θ_{13} ". 34 physicists participated in this meeting.

Members of this center have been involved in the Super-Kamiokande and T2K experiments, carrying out researches in neutrino physics. (Please see the Super-Kamiokande and T2K pages for the scientific results.) Atmospheric neutrino data from Super-Kamiokande give one of the most precise pieces of information on neutrino oscillations. With increased data, it is more important to have better predictions of the neutrino flux. Therefore, in addition to data analysis of the above experiments, we work on predicting the atmospheric neutrino flux. In 2011, we updated the calculated flux for the neutrinos with the energies below 1 GeV.

It is important that the general public knows about the achievements of the present science. For this reason, we hold public lectures every year. From FY2009, two public lectures per year are co-sponsored by this Institute and the Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (IPMU). The spring lecture is co-organized by RCCN and the Public Relation Office of ICRR. The public lecture in FY2011, although prepared, was canceled due to the unavailability of the lecture hall due to the Tohoku Earthquake.

Since 2004, RCCN has been acting as a body to accept inter-university programs related to activities in the low-background underground facility and the computer facility in Kashiwa. We accepted 9 programs related to these facilities. In addition, this center, together with the computer committee of ICRR, is in charge of operating the central computer system in ICRR. In FY2011, until the early fall, the computer system had to be operated with the reduced number of CPU's due to the shortage of the electricity in the Tokyo area, which was caused by the Tohoku Earthquake. In addition, backup power generator was installed to the computer system as a measure against an unexpected power shutdown.



図1 平成22年4月に行われた一般講演会の写真(参考)。平成23年度は地震の影響で中止となった。
Fig.1 Public Lecture at Kashiwa in April, 2010. The 2011 public lecture was canceled due to the Tohoku Earthquake.

神岡宇宙素粒子研究施設 Kamioka Observatory

研究内容

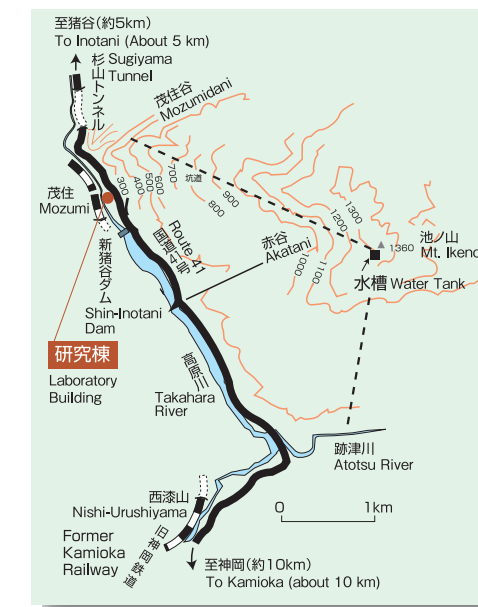
神岡鉱山内に設置された世界最大の水チェレンコフ検出器スーパーカミオカンデを用いて、ニュートリノや陽子崩壊に関する研究を行っています。平成10年には大気ニュートリノ振動を発見してニュートリノ質量の存在を明らかにしました。平成13年にはカナダSNO実験と共に太陽ニュートリノ振動を発見、平成14年には茨城県つくば市にある高エネルギー加速器研究機構から打ち込まれた人工ニュートリノを用いてニュートリノ振動を確認しました。また、平成21年には、茨城県東海村にある大強度陽子加速器(J-PARC)で生成された人工ニュートリノをスーパーカミオカンデに打ち込み、さらに精密にニュートリノ研究を行うT2K実験が開始され、平成23年にミューニュートリノが電子ニュートリノへ変化した兆候を世界に先駆けてとらえました。神岡施設では、SKと相補的な研究も開始されています。それは低バックグラウンド検出器によるダークマター探索実験、XMASS実験です。同じ坑内では100メートルレーザー干渉計による重力波及び地球物理の研究も進められています。付近には専任スタッフや共同利用研究者のための研究棟、宿泊施設等があり、24時間体制で研究を行っています。

所在地

住所：〒506-1205 岐阜県飛騨市神岡町東茂住456
電話：0578-85-2116
FAX：0578-85-2121
地理的位置：北緯36度25分26秒、東経137度19分11秒
海拔：350m
研究装置：50,000トン水チェレンコフ装置「スーパーカミオカンデ」
装置設置場所：池ノ山頂上(海拔1,368m、2,700m.w.e.)直下1,000m
主要岩石：片麻岩 比重=2.69g/cm³

交通

- 富山駅→JR高山本線(50分)→猪谷駅
猪谷駅→バス(10分)→茂住バス停
茂住バス停→徒歩(1分)
- 富山駅→バス(70分)→茂住バス停
茂住バス停→徒歩(1分)
- 富山空港→バス(40分)→茂住バス停
茂住バス停→徒歩(1分)



研究棟(奥)と電子計算機棟(手前)
Back: Laboratory Building; Front: Computer Center



隣接する共同利用宿泊施設
Adjoining joint-use accommodation facilities



施設付近の高原川と池ノ山
Takahara River and Mt. Ikeno in the vicinity of facilities

Research Contents

Kamioka Observatory is located in Kamioka Mine, Gifu prefecture, Japan. The observatory was established in 1995 in order to operate Super-Kamiokande, a 50,000 ton water Cherenkov detector located 1000 m underground (2700m.w.e) in the Kamioka Mine.

Super-Kamiokande discovered evidence for neutrino oscillations using atmospheric neutrinos in 1998. Also, solar neutrino measurements established neutrino oscillations in 2001 by comparing results from the SNO experiment in Canada. In 2002, neutrino oscillations were confirmed using artificial neutrinos produced by a proton accelerator at KEK. T2K experiment, which utilize a new accelerator facility in Tokai village (J-PARC) for the precise study of neutrinos, was started in 2009 and observed world's first indication of muon neutrino oscillated into electron neutrino in 2011.

A study complementary to Super-Kamiokande, is also conducted. It is a dark-matter search experiments that uses low-background techniques and is called XMASS.

There are also 100 m long laser interferometers in Kamioka Mine that are aiming to study gravitational waves and geophysics. There are research offices, a computer facility and a dormitory for researchers located near the observatory for the easy access to the detectors in the mine.

Location

Address: 456 Higashi-Mozumi, Kamioka-cho, Hida-shi, Gifu Prefecture 506-1205 Japan
Tel: +81-578-85-2116
Fax: +81-578-85-2121
Geographic Location:

36° 25' 26" N, 137° 19' 11" E
Altitude: 350m

Equipment: 50,000-ton water Cherenkov detector "Super-Kamiokande"
Location of installed equipment: 1,000m underground from the summit of Mt.Ikeno (altitude: 1,368m; depth: 2,700m.w.e.)
Main rock: gneiss; Specific gravity: 2.69g/cm³

Access

- Toyama Airport → Bus (40min.) → Mozumui Bus Stop → Walk (1min.)
- Toyama Sta. → Bus (70min.) → Mozumui Bus Stop → Walk (1min.)

乗鞍観測所 Norikura Observatory



夏季の観測所
Norikura Observatory in summer

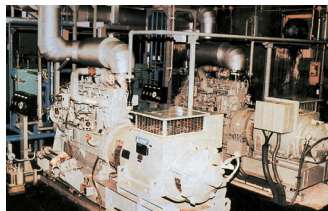
研究内容

乗鞍における宇宙線研究の始まりは昭和24年に大阪市立大学が畳平で行った実験です。翌年には大阪市立大学、名古屋大学、神戸大学、理化学研究所の4機関が朝日新聞学術奨励金を受けて岩井谷の現在の場所に通称「朝日の小屋」を建設し、宇宙線の研究にさらに弾みをつけました。昭和28年8月初めての全国の大学の共同利用のための研究機関として東京大学宇宙線観測所が正式に発足しました。昭和51年には今までの観測所は東京大学宇宙線研究所として生まれ変わり、乗鞍観測所はその附属施設となり現在に至っています。

超高エネルギー領域での素粒子・核反応に関する研究、銀河系・太陽惑星空間における宇宙線変動と磁場や太陽活動に関連した研究、太陽中性子に関連する研究、雷雲による宇宙線加速の研究等の最先端の宇宙線研究が行われてきました。また最近では、人工汚染の少ない高山でのエアロゾルを採取して、その大気圏での輸送機構や大気汚染・雲発生などの影響を調べる実験、温暖化・酸性雨などが高山の植生に及ぼす影響の調査など、地球環境に関する研究が盛んになっています。宇宙天体からの超高エネルギーガンマ線を探索する予備実験や、宇宙線観測用望遠鏡の性能試験など、高い標高や暗い夜間を利用した試験観測も行われています。近年の乗鞍観測所は、その特徴を生かして、色々な分野の研究者によって多目的に利用されています。

所在地

住 所：〒506-2100
岐阜県高山市丹生川町乗鞍岳
電 話 ・ F A X：TEL/FAX (共通)：090-7721-5674
TEL：090-7408-6224
地 理 的 位 置：北緯36度6分、東経137度33分
標 高：2,770m (平均気圧720hPa)
設 備：自家発電機 交流70kVA 3基
鈴 蘭 連 絡 所：〒390-1513 長野県松本市安曇4306-6
TEL：0263-93-2211
FAX：0263-93-2213



自家発電機
Power generator

交 通

- JR中央本線松本駅→松本電鉄(30分)→新島々駅
新島々駅→松本電鉄バス(2時間)→乗鞍岳山頂バスターミナル
乗鞍岳山頂バスターミナル→徒歩(25分) (バスの運行期間は7月～10月上旬)
- JR高山本線高山駅→濃飛バス平湯経由(2時間)→乗鞍岳山頂バスターミナル
乗鞍岳山頂バスターミナル→徒歩(25分) (バスの運行期間は7月～10月上旬)



Research Contents

Cosmic ray research in Mt.Norikura started with an experiment conducted by Osaka City University in Tatamidaira in 1949. In the next year, the four institutions, Osaka City University, Nagoya University, Kobe University, and Institute of Physical and Chemical Research, established a lodge for cosmic-ray experiments, called "Asahi Hut", in Iwaitani based on the Asahi Academic Grant. In August 1953, the Cosmic Ray Observatory of the University of Tokyo was formally established as the first Japanese joint-use research institute for universities. In 1976, the observatory was reborn as the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), and the Norikura observatory became one of facilities of ICRR. The observatory has been hosting cutting-edge cosmic ray researches, including the study of particle and nuclear interactions in ultra-high energy regions, cosmic ray modulations by magnetic fields and solar activities in the galaxy and the interplanetary space, observation of solar neutrons and study of cosmic-ray acceleration mechanism in thunderclouds. In addition, recent activities include researches related to the Earth environments. For examples, aerosols are observed in the unpolluted high mountain to study their transport mechanisms and their effect to air pollution and cloud generation, and the green-house effect and acid rain are studied by surveying alpine vegetation. Moreover, the observatory is used for prototype experiments to search for very-high-energy gamma-rays from the sky, and performance tests of cosmic-ray telescopes, utilizing its high altitude and night-sky darkness. Thus the Norikura observatory is working as a multi-purpose laboratory used by researchers in various fields with its unique features.

Location

Address: Iwaitani, Nyukawa-mura, Takayama-shi, Gifu Prefecture 506-2100 Japan
Tel/Fax: +81-90-7721-5674
Tel: +81-90-7408-6224
Geographic Location:
36° 6' N, 137° 33' E
Altitude: 2,770m (average atmospheric pressure: 720hPa)
Equipment: 3 power generators (AC 70kVA)
Suzuran Lodge: 4306-6 Azumi-mura, Minamiazumigun, Nagano Prefecture 390-1513 Japan
Tel: +81-263-93-2211
Fax: +81-263-93-2213

Access

- Matsumoto Sta. of JR Chuo Line → Matsumoto Dentetsu (30min.) → Shinshimashima Sta. → Matsumoto Dentetsu Bus (2hrs) → Bus terminal at the summit of Mt.Norikura→Walk (25min.) (Bus service: Jul. to early Oct.)
- Takayama Sta. of JR Takayama Line → Hohbi Bus via Hirayu (2hrs) → Bus terminal at the summit of Mt.Norikura → Walk (25min.) (Bus service: Jul. to early Oct.)

明野観測所 Akeno Observatory

研究内容

明野観測所では、 10^{20} 電子ボルト(10000京電子ボルト)を超える極高エネルギー空気シャワーを観測し、空気シャワーの発達や、宇宙における極高エネルギー宇宙線の発生起源を研究して来ました。主要装置のAGASAは、平成2年から平成16年まで世界最大の空気シャワー観測装置として運用を行いましたが、現在、その観測は米国ユタ州に建設した、より大規模な複合装置Telescope Array (TA) に引き継がれています。観測所の諸設備は、TAの観測支援と関連する開発研究、高エネルギー宇宙線観測のための新しい装置の試験、また重力波検出用低温装置の組立などに使われています。

所在地

住 所：〒408-0201 山梨県北杜市明野町浅尾 5259
電話・FAX：TEL：0551-25-2301 FAX：0551-25-2303
地理的位置：北緯 35 度 47 分、東経 138 度 30 分
標 高：900m (平均気圧 910hPa)

交 通

- JR中央本線韮崎駅→タクシー(25分)



Research Contents

At the Akeno Observatory, extremely high-energy cosmic rays with energies exceeding 10^{20} eV were observed by AGASA experiment. The AGASA had been in operation as the world's largest air-shower array for 13 years since 1990, but was terminated in January 2004, while handing over the observation to its larger scale hybrid successor Telescope Array (TA) in Utah, USA. The observatory now supports the operation of TA in Japan, research and development related to the observation of high energy cosmic rays, the assembly of the cryogenic components of gravitational wave detection, and the use by university collaborators in associated fields.

Location

Address: 5259 Asao, Akeno-machi, Hokuto-shi, Yamanashi Prefecture 408-0201 Japan
Tel : +81-551-25-2301
Fax : +81-551-25-2303
Geographic Location: 35° 47'N, 138° 30'E
Altitude: 900m (average atmospheric pressure: 910hPa)

Access

- Nirasaki Sta. of JR Chuo Line → Taxi (25min.)



観測所 (中央右下) と AGASA があった領域
Area of Akeno Observatory (bottom right) and AGASA

チャカルタヤ宇宙物理観測所 Chacaltaya Observatory of Cosmic Physics

Chacaltaya

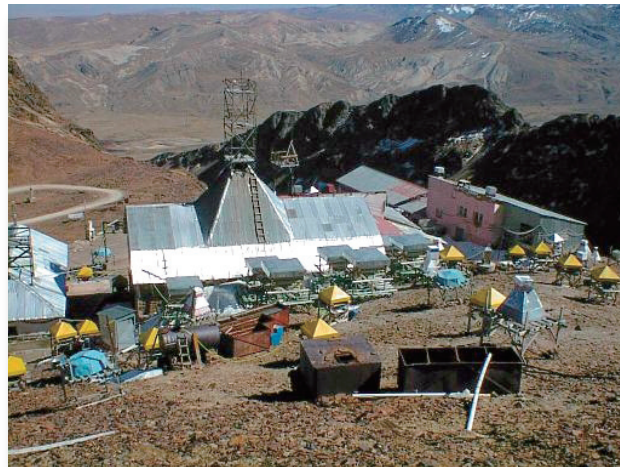
チャカルタヤ宇宙物理観測所は、南米ボリビア国立サンアンドレス大学物理学研究所の附属施設で、ラパス市郊外30kmのチャカルタ山（南緯 16° 21′、西経 68° 08′、標高 5300 m）頂上付近に位置する世界最高高度の宇宙線観測所として、昭和 37 年以来、日本・ボリビア共同空気シャワー実験と、日本・ブラジル共同エマルジョンチェンバー実験が行われてきました。前者の空気シャワー観測装置は更新されながら運転を

続け、立地を生かした高エネルギーガンマ線の探索やエネルギースペクトルの測定が行われています。後者は超高エネルギーにおける粒子の多重発生現象の研究としてスタートし、30 年間継続され、「センチウロ」と呼ばれる珍しい事例を発見しました。その後はエマルジョンチェンバーと空気シャワー装置の連動実験として発展し、空気シャワーの構造の研究や一次宇宙線の組成の研究が行われています。

Chacaltaya Observatory of Cosmic Physics has been jointly operated with Bolivia since 1962 at Mt.Chacaltaya, Bolivia, as the world-highest cosmic-ray laboratory (16° 21′ S, 68° 08′ W, 5300m a.s.l.). The air-shower experiment, BASJE (Bolivia Air Shower Joint Experiment), aims to investigate the origin of primary cosmic rays around the knee region ($\sim 10^{15}$ eV) by measuring the energy spectrum and searching for cosmic gamma-rays. The emulsion chamber experiment with Brazil has continued for 30 years while being aimed at studying particle interactions at very high energies, including a report of rare events, called “Centauro”



冬のチャカルタヤ宇宙物理観測所
Chacaltaya Observatory in winter.



チャカルタヤ宇宙物理観測所の検出器群
Detector complex of the observatory.

◆ 研究所について

- 沿革
History
- 年表
Timeline
- 組織・運営
Organization and Administration
- 教職員数・歴代表者
Number of Staffs and Directors So Far
- 経費・施設
Research Budget・Facilities
- 共同利用研究・教育／国際交流
Inter-University Research, Education/International Exchange
- 成果発表と受賞歴
Announcement of Achievements and Award History
- 柏キャンパス
Kashiwa Campus

沿革 History

東京大学宇宙線研究所は宇宙線の観測と研究とを様々な角度から行っている研究所です。前身は、昭和25年に朝日学術奨励金によって建てられた乗鞍岳の朝日小屋です。これが昭和28年に東京大学宇宙線観測所となりました。この観測所は我が国は初の全国共同利用研究機関でした。昭和32年にはIGY(国際地球観測年)の世界規模の観測に参加し、早くも国際的活動が始まりました。この年に空気シャワーの観測を始め、昭和33年にはエマルジョンチェンバーによる観測を始めました。その後しばらくの間、これらの観測装置による地道な観測が続けられました。

昭和47年になると、新たにミュートロン(電磁石スペクトロメータ)の建設が始まり、実験設備が整ってきました。昭和48年には、学術振興会の事業であった2つの国際研究が研究所の事業として吸収されました。一つはインド・カラー金鉱の深地下実験で、もう一つはボリビア・チャカルタヤ山の高山実験です。昭和50年にはミュートロンが完成し、続いて明野観測所の建設も始まりました。

昭和51年に、東京大学宇宙線観測所は東京大学宇宙線研究所となりました。ここには、昭和31年から同じような研究をしていた東京大学原子核研究所宇宙線部の3部門が吸収され、全部で6部門1施設の研究所として再出発しました。昭和52年には明野観測所が正式に第二の付属施設となり、昭和54年には明野の1平方キロメートル空気シャワー装置と富士山のエマルジョン・チェンバーが出来、昭和56年にはエマルジョン・チェンバーによる日中共同研究が始まりました。昭和58年には共同実験として神岡の陽子崩壊実験が始まり、一次宇宙線研究施設も出来ました。

昭和60年代になると大きな実験結果が

出始め、実験設備の拡充もさらに行われるようになりました。昭和62年には神岡で、世界で初めて超新星からのニュートリノを捕えました。同じ年に明野では、100平方キロメートル広域シャワー観測装置の建設が始まりました。昭和63年には神岡で太陽ニュートリノ欠損を観測し、平成元年には乗鞍で太陽フレアに伴う宇宙中性子線の大幅な増大を観測しました。平成2年に明野の広域シャワー観測装置が完成し、平成3年にスーパーカミオカンデの建設が始まりました。平成4年には南半球のオーストラリアで、世界で初めて超高エネルギーガンマ線を共同実験で観測しました。同じ年に、研究所に新たに重力波の観測グループが加わりました。平成5年には、チベットでエアシャワーガンマ線実験装置の建設が始まりました。平成6年には明野で、理論上あり得ないと思われていた最高エネルギーの大シャワーを観測し、神岡では、大気ニュートリノの異常を観測しました。平成7年には神岡が第三の附属施設として新たに出発し、神岡宇宙素粒子研究施設となりました。平成8年にはスーパーカミオカンデが完成して本格観測が始まり、平成10年には2年間の観測結果として、ニュートリノに質量があると発表しました。

平成11年度から、ニュートリノの質量をさらに詳しく調べるために、高エネルギー加速器研究機構からスーパーカミオカンデに向けて人工ニュートリノを発射して調べる実験も始まりました。宇宙ニュートリノの観測情報を融合して新たなニュートリノ研究の道を開くための、宇宙ニュートリノ観測情報融合センターも出発しました。さらに、オーストラリアの超高エネルギーガンマ線観測を大幅に充実させるための科学研究費COE拠点研究も認められました。平成15年度から、最高エネルギーの宇宙

線の起源を詳しくしらべるために、米国ユタ州でのTA実験が認められました。本格的な建設は平成17年度と平成18年度で行われ、平成19年度から観測が始まりました。

平成16年4月1日には、東京大学の法人化を機に研究部を改編し、3研究部門からなる研究体制となりました。

平成22年4月1日には、新たに共同利用・共同研究拠点とし認定され、共同利用研究を更に推進していくことになりました。

また平成22年の7月には宇宙線研究所の将来計画の柱として研究開始が待たれていた大型低温重力波望遠鏡が文部科学省の最先端研究基盤事業の1つに選定され、建設がはじまりました。これを受けて、平成23年4月には重力波推進室を設置して建設を推進することになりました。



History

The Institute for Cosmic Ray Research (ICRR) conducts observations and studies cosmic rays from various aspects. Its predecessor was a lodge for research, called Asahi Hut, built on Mt.Norikura based on an Asahi Academic Grant. In 1953, it was transformed into the Cosmic Ray Observatory of The University of Tokyo. This observatory was Japan's first research facility for nationwide joint use. In 1957, it participated in worldwide observations of the International Geophysical Year (IGY), pioneering international activities. In the same year, it embarked on the observations of air showers, and in 1958, it started using an emulsion chamber for observations. Since then, the observatory has continued steady observations with these instruments. In 1972, the construction of Mutron (electromagnetic spectrometer) was commenced, improving the facilities for experiments. In 1973, two international projects of the Japan Society for the Promotion of Science were incorporated into the research of this institute. One project was a deep underground experiment at Kolar Gold Mine in India, and the other was a high-altitude experiment on Mt.Chacaltaya in Bolivia. In 1975, the Mutron was completed, and then the construction of Akeno Observatory was started. In 1976, the Cosmic Ray Observatory was reorganized into the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR). ICRR absorbed the 3 sections of the Cosmic Ray Division of the Institute for Nuclear Study, The University of Tokyo, which had conducted similar research since 1956, and started its research projects over again as an institute composed of 6 divisions and 1 facility. In 1977, the Akeno Observatory was formally recognized as a second attached facility. In 1979, a 1 km² air-shower detector, which was installed in the Akeno Observatory, and an emulsion chamber, which was placed on Mt.Fuji, were developed. In 1981, Japan-China joint research was initiated using the emulsion chamber. In 1983, a proton decay experiment was started as a joint experiment in Kamioka, and the construction of facilities for studying primary cosmic rays was finished. From 1985, ICRR increasingly produced significant experimental results, and further improved its experimental equipment. In 1987, the Kamioka Observatory succeeded to trap neutrinos from a supernova for the first time in the world. In the same year, the construction of a 100 km² wide-area air-shower detector was commenced at Akeno Observatory. In 1988, the Kamioka Observatory observed a deficit of solar neutrinos,

and in 1989, the Norikura observatory observed a considerable increase in cosmic neutrons in the wake of a solar flare. In 1990, the construction of the wide-area air-shower detector at the Akeno Observatory was finished. In 1991, the construction of Super-Kamiokande was started. In 1992, a collaborative research team in Australia observed ultra-high-energy gamma rays for the first time in the southern hemisphere. In the same year, a new team for observing gravitational waves joined ICRR. In 1993, the construction of the air-shower gamma-ray detector was started in Tibet. In 1994, the Akeno Observatory observed a big shower, whose energy level was beyond the theoretical limit, and the Kamioka Observatory detected an anomaly in atmospheric neutrinos. In 1995, the Kamioka Observatory restarted its research as the third attached facility. In 1996, Super-Kamiokande was completed, and initiated full-scale observation. In 1998, the Super-Kamiokande team reported, as a finding of a two-year observation, that a neutrino has mass. In 1999, in order to further study the mass of neutrinos, ICRR started an experiment to detect artificial neutrinos that are emitted from the High Energy Accelerator Research Organization at Super-Kamiokande. The Research Center for Cosmic Neutrinos was also established for collecting information on the observation of cosmic neutrinos, and paving the way for new neutrino research. Moreover, ICRR was granted a Scientific Research Fund for a COE (Center of Excellence), which was used for significantly improving the ultra-high-energy gamma-ray observations in Australia. In 2003, ICRR was granted a Scientific Research Fund to investigate the origin of extremely high-energy cosmic rays for the Telescope Array (TA) experiment. After five years construction, TA observation started in 2008. On April 1, 2004, The University of Tokyo became an independent administrative entity, and ICRR's research divisions were reformed to establish a research system composed of 3 research divisions. On April 1, 2010, ICRR renewed its inter-university research activities as a new "Inter-University Research Center". In July 2010, the Large Cryogenic Gravitational wave Telescope(LCGT) project was approved by the "Leading-edge Research Infrastructure Program" of MEXT. The construction of LCGT has started in the same year. Gravitational Wave Project Office was formed in ICRR on April 1, 2011 for the construction of LCGT.

年表 Timeline

昭和 25 年	1950	朝日学術奨励金によって乗鞍岳に朝日の小屋（木造 15 坪）が建つ
昭和 28 年	1953	東京大学宇宙線観測所となる（8 月 1 日）
昭和 30 年	1955	乗鞍観測所の本館および研究設備が完成する（8 月 29 日開所式）
昭和 31 年	1956	〈東京大学原子核研究所宇宙線部（空気シャワー部、エマルション部）が発足〉
昭和 32 年	1957	乗鞍観測所が IGY（国際地球観測年）の観測に参加、空気シャワーの観測を開始する
昭和 33 年	1958	乗鞍のエマルションチェンバーが観測を開始する
昭和 34 年	1959	〈東京大学原子核研究所が空気シャワー観測を開始〉
昭和 35 年	1960	〈東京大学原子核研究所エマルション部が大型気球を開発〉 〈学術振興会の海外特別事業（インド、ブラジル、ボリビアの国際協力研究）が始まる〉 〈東京大学原子核研究所エマルション部の気球事業が宇宙航空研に移管される〉
昭和 41 年	1966	〈東京大学原子核研究所エマルション部が富士山でエマルションチェンバーによる観測を開始〉
昭和 43 年	1968	専任所長が着任する、ミュートロンの建設が始まる
昭和 47 年	1972	〈東京大学原子核研究所宇宙線部に宇宙物質研究部が発足〉
昭和 48 年	1973	超高エネルギー弱相互作用部門が新設される 学術振興会の海外特別事業（インド、ブラジル、ボリビアの国際協力研究）が移管される
昭和 49 年	1974	専任事務長が着任する
昭和 50 年	1975	ミュートロンが完成する 明野観測所の建設が始まる
昭和 51 年	1976	超高エネルギー強相互作用部門が新設される 国立学校設置法改正によって東京大学宇宙線研究所となる（5 月 25 日）：超高エネルギー強相互作用部門が第一第二部門に分かれ、東京大学原子核研究所からミュー中間子測定・中間子物理学実験・宇宙線学が移管し、6 部門 1 観測所となる
昭和 52 年	1977	明野観測所が附属施設となる（4 月 18 日）
昭和 53 年	1978	明野観測所が開所式を行う（10 月 6 日）
昭和 54 年	1979	明野に 1 平方 k m の空気シャワー装置が完成する 富士山エマルションチェンバー特別設備を建設する 京都にて第 16 回宇宙線国際会議を開催する（8 月） エマルションチェンバーによる日中共同研究を開始する
昭和 56 年	1981	宇宙線計測部門（客員）が新設される
昭和 57 年	1982	神岡鉱山で共同実験の陽子崩壊実験を開始する
昭和 58 年	1983	質量分析器を中心とした一次宇宙線研究設備が設置される
昭和 61 年	1986	将来計画検討小委員会（Ⅰ）が設置される
昭和 62 年	1987	神岡地下実験が世界で初めて超新星からのニュートリノバーストを捕まえる 明野観測所で 100 平方 k m の広域シャワー観測装置 AGASA の建設が始まる 将来計画検討小委員会（Ⅰ）の答申が出る
昭和 63 年	1988	神岡地下実験が太陽からのニュートリノ欠損を観測する
平成 元 年	1989	乗鞍で太陽フレアに伴う宇宙線の大幅な増大を観測する（9 月 29 日）
平成 2 年	1990	明野に 100 平方 k m の広域シャワー観測装置 AGASA が完成する
平成 3 年	1991	スーパーカミオカンデの建設が始まる 将来計画検討小委員会（Ⅱ）が設置される
平成 4 年	1992	ニュートリノ宇宙物理学部門が新設され、宇宙線計測部門（客員）が廃止される 重力波グループが加わる（ミュー中間子測定部門所属） オーストラリアでカンガルー計画が始まる オーストラリアで PSR1706-44 からの TeV ガンマ線を観測する
平成 5 年	1993	チベットでエアシャワーガンマ線実験装置の建設が始まる
平成 6 年	1994	神岡に計算機棟が出来る（1 月）、スーパーカミオカンデのための空洞掘削が完成する（6 月） 明野で 2×10^{20} eV の大シャワーを観測する 外部評価が実施される
平成 7 年	1995	神岡で大気ニュートリノ異常の天頂角依存を観測する ニュートリノ宇宙物理学部門が廃止され、神岡宇宙素粒子研究施設が新設される（4 月 1 日） スーパーカミオカンデが完成式を行う（11 月）
平成 8 年	1996	スーパーカミオカンデの本格観測が始まる（4 月 1 日）
平成 9 年	1997	チベットのエアシャワーガンマ線実験装置が完成する
平成 10 年	1998	スーパーカミオカンデによるニュートリノ質量の発見が正式に発表される（6 月 5 日） 柏キャンパスの建設が始まる（11 月）
平成 11 年	1999	宇宙ニュートリノ観測情報融合センターが新設される（4 月 1 日） オーストラリアでカンガルー計画 2 が始まる オーストラリアでカンガルー計画 3 が準備を開始する 科研費 COE 拠点形成プログラムにより「超高エネルギーガンマ線研究拠点」が発足する
平成 12 年	2000	柏新キャンパスに全面移転する（2 月～ 3 月）
平成 13 年	2001	スーパーカミオカンデに事故が発生し、半数以上の光電子増倍管がこわれる（11 月）
平成 14 年	2002	カミオカンデの成果をもとに、宇宙ニュートリノ検出へのバイオニアの貢献により、小柴昌俊名誉教授がノーベル物理学を受賞する（12 月） スーパーカミオカンデが部分復旧して、実験再開する（12 月）
平成 15 年	2003	つくばにて第 28 回宇宙線国際会議を開催する（8 月） テレスコープアレイの建設が始まる カンガルー計画 3 の 4 台の望遠鏡が完成する
平成 16 年	2004	国立大学が法人化される（4 月 1 日） 研究所の部門が、宇宙ニュートリノ研究部門、高エネルギー宇宙線研究部門、宇宙基礎物理研究部門の 3 研究部門となる（4 月 1 日） スーパーカミオカンデが完全復旧される
平成 18 年	2006	将来計画検討委員会（Ⅲ）が設置される
平成 19 年	2007	将来計画検討委員会（Ⅲ）の答申が出る（8 月 31 日）
平成 20 年	2008	テレスコープアレイ実験で観測が開始される
平成 22 年	2010	T2K 実験の最初のニュートリノをスーパーカミオカンデで観測する 宇宙線研究所が共同利用・共同研究拠点として新たな形で共同利用の推進を開始する 大型低温重力波望遠鏡が文部科学省の最先端研究基盤事業の一つに選定され、建設がはじまる
平成 23 年	2011	重力波推進室が設置される（4 月 1 日） T2K 実験が電子ニュートリノ出現現象の兆候を捉える（6 月 15 日） 将来計画検討委員会（Ⅳ）が設置される
平成 24 年	2012	オーストラリアのカンガルー計画終了（3 月 31 日）

1950	Asahi Hut（wooden structure; about 50 sq. meters）was constructed on Mt. Norikura based on the Asahi Academic Grant.
1953	Asahi Hut was incorporated into the Cosmic Ray Observatory, The University of Tokyo（Aug. 1）.
1955	The main building and research facilities of the Norikura Observatory were constructed (the opening ceremony was held on Aug. 29).
1956	〈The Cosmic Ray Division (composed of Air Shower Section and Emulsion Section) was inaugurated at the Institute for Nuclear Study, The University of Tokyo〉
1957	The emulsion chambers at the Norikura Observatory started observation.
1958	〈Air shower observation started at the Institute for Nuclear Study, The University of Tokyo〉
1959	〈The Emulsion Section of the Institute for Nuclear Study, The University of Tokyo developed a large-size balloon.〉
1960	〈International projects of the Japan Society for the Promotion of Science started（researches with India, Brazil, and Bolivia）.〉
1966	〈The balloon project of the Emulsion Section of the Institute for Nuclear Study, The University of Tokyo was transferred to the Institute of Space and Aeronautical Science.〉
1968	〈Observation with emulsion chambers started at Mt. Fuji by the Emulsion Section of the Institute for Nuclear Study, The University of Tokyo.〉
1972	A full-time director was appointed. The construction of "Mutron" was commenced. 〈The cosmic material research section was established in the Cosmic Ray Division of the Institute for Nuclear Study.〉
1973	The ultra-high-energy weak-interaction division was newly established. The international projects of the Japan Society for the Promotion of Science（researches with India, Brazil, and Bolivia）were incorporated.
1974	A full-time chief administrator was appointed.
1975	"Mutron" was completed. The construction of the Akeno Observatory was started. The ultra-high-energy strong-interaction division was newly established.
1976	In the wake of the amendment of the National School Establishment Law, the observatory was reorganized into the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR) (May 25); the ultra-high-energy strong-interaction division was divided into the first and second divisions, and three divisions (muon measurement, meson physics, and cosmic ray science) were transferred to ICRR from the Institute for Nuclear Study, The University of Tokyo. Thus ICRR started with 6 divisions and 1 observatory.
1977	The Akeno Observatory was established as one of facilities (Apr. 18).
1978	The Akeno Observatory held the opening ceremony (Oct. 6).
1979	The 1 km ² air shower detector was completed at the Akeno Observatory. The special facility for the emulsion chamber on Mt. Fuji was constructed. The 16th International Cosmic Ray Conference was held in Kyoto (Aug.).
1981	Japan-China joint research on emulsion chamber observations started.
1982	The cosmic ray measurement division (guest researchers) was newly established.
1983	The nucleon decay experiment was started in the Kamioka Mine as a collaborative research project. The facility to study primary cosmic rays, whose main equipment is a mass spectrometer, was installed.
1986	The first committee for future projects was organized.
1987	The team of the Kamioka underground experiment observed a neutrino burst from a supernova for the first time in history. The construction of the 100 km ² wide-area air shower detector, "AGASA" , was started at the Akeno Observatory. The first committee for future projects submitted a report.
1988	The team of the Kamioka underground experiment observed the deficit of solar neutrinos.
1989	A significant increase of cosmic ray intensity coincident with a solar flare was observed at the Norikura Observatory.
1990	The 100 km ² wide-area air shower detector "AGASA" was completed at the Akeno Observatory.
1991	The construction of the Super-Kamiokande was commenced. The second committee for future projects was organized.
1992	The neutrino astrophysics division was newly established, and the cosmic ray detection division (guest researchers) was abolished. The gravitational wave team joined the muon measurement division of ICRR. The Cangaroo Project was started in Australia.
1993	The Cangaroo team observed TeV gamma rays from PSR1706-44.
1993	The construction of the air shower gamma ray detector was started in Tibet.
1994	A computer center was established at the Kamioka Observatory (Jan.). The digging of a hole for installing the Super-Kamiokande was finished (Jun.). An enormous air shower with energy of 2×10^{20} eV was observed at the Akeno Observatory. An external evaluation of ICRR was conducted.
1995	The anomalous dependence of atmospheric neutrinos against zenith angles were observed at the Kamioka Observatory. The neutrino astrophysics division was abolished, and the Kamioka Observatory for Cosmic Elementary Particle Research was newly established (Apr. 1). The ceremony for celebrating the completion of the Super-Kamiokande was held (Nov.).
1996	The Super-Kamiokande started full-scale observations (Apr. 1).
1997	The air shower gamma ray detector was completed in Tibet.
1998	The discovery of a neutrino mass was officially announced by the Super-Kamiokande collaboration (Jun. 5). The construction of the Kashiwa Campus was commenced (Nov.).
1999	The Research Center for Cosmic Neutrinos was newly established (Apr. 1). The Cangaroo-2 telescope started operation in Australia. The preparation for the Cangaroo-3 Project was started in Australia. "The research center for ultra high energy gamma rays" was set up as the center-of-excellence development program of grant-in-aid in scientific research.
2000	ICRR moved to the new Kashiwa Campus (Feb.-Mar.).
2001	An accident occurred at the Super-Kamiokande, destroying more than half of the photomultipliers (Nov.).
2002	Professor Emeritus Masatoshi Koshiba won the Nobel Prize in Physics for his pioneering contributions to the detection of cosmic neutrinos, based on outcomes of the Kamiokande experiment (Dec.). The Super-Kamiokande was partially restored, and observation resumed (Dec.).
2003	The 28th International Cosmic Ray Conference was held in Tsukuba (Aug.). The construction of the Telescope Array was commenced. Four telescopes for the Cangaroo-3 Project were completed.
2004	Japanese national universities became independent administrative agencies (Apr. 1). The research divisions of ICRR were reorganized into the three divisions: Neutrino and Astroparticle Division, High Energy Cosmic Ray Division, and Astrophysics and Gravity Division (Apr. 1).
2006	The Super-Kamiokande was completely restored.
2007	The Committee on Future Projects III has formed.
2007	The Committee on Future Projects has reported some results.
2008	The Telescope Array started observations.
2010	The Super-Kamiokande detected a first neutrino of the T2K experiment.
2010	ICRR renewed its inter-university research activities as a new "Inter-University Research Center".
2010	The Large Cryogenic Gravitational Wave Telescope (LCGT) has been approved by a government program in 2010. The construction of LCGT has started in 2010.
2011	Gravitational Wave Project Office has formed (Apr. 1).
2011	T2K experiment has catched sign of electron neutrino appearance events.
2011	The Committee on Future Projects IV has formed.
2012	CANGAROO experiment in Australia has finished.

組織・運営 Organization and Administration

Administration of ICRR

Board of Councilors:

This is a board for discussing the joint use of ICRR, and is summoned to meet upon the director's request for advice. This board is composed of the director and about 14 members. The board members are selected from the following personnel: (1) the professors and associate professors of ICRR, enumerated by the Chancellor of The University of Tokyo, (2) the Dean of Department of Science and the Director of the Executive Office, The University of Tokyo, (3) the Director of National Astronomical Observatory, the Director of the Institute of Particle and Nuclear Studies of the High Energy Accelerator Research Organization, and the director of the Yukawa institute for Theoretical Physics, Kyoto University and (4) those who have academic careers inside and outside of the university and who were enumerated and entrusted by the Chancellor of The University of Tokyo.

Faculty council:

This is a board for deliberating important items of ICRR, such as the recommendation of an incoming director to the Chancellor of The University of Tokyo and the appointment of staff members. The council is composed of the director and all full-time professors and associate professors of ICRR.

Advisory Committee:

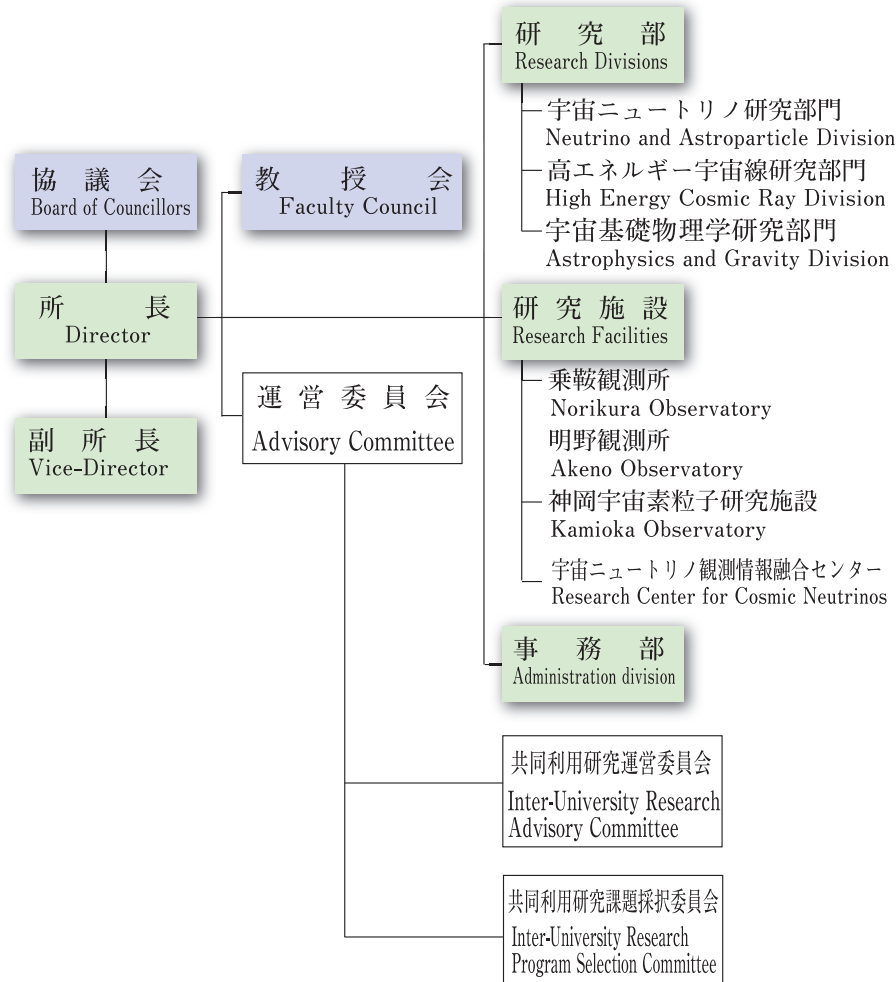
This is a committee for drawing up schemes for operating ICRR and submitting them to the Faculty council. This committee is composed of about 14 researchers from both inside and outside ICRR (more than half are from outside ICRR).

Inter-University Research Advisory Committee:

This is a committee for having discussions to facilitate Inter-University researches, and suggesting or reporting the results to the Advisory Committee. This committee is composed of members selected from inside ICRR, and outside members who have academic careers (more than half are from outside the University of Tokyo).

Inter-University Research Program Selection Committee:

This is a committee for having discussions to select Inter-University research programs from applications. This committee is composed of members selected from inside ICRR, and outside members who have academic careers (more than half are from outside the University of Tokyo).



研究所の運営

●協議会：研究所の共同利用について協議する会で、所長の諮問によって集まります。所長の他、約14名の委員で構成されます。委員は以下から選びます。

①研究所の教授・准教授の内で所長が命じた者、②東大理学系研究科長、東大理事（教育研究担当）、③国立天文台長、高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所長、京大基礎物理学研究所長、④大学内外の学識経験者の内から所長が命じ委託した者。

●教授会：総長に次期所長を推薦したり教員人事を決めたり、研究所の重要な事項について審議する会です。所長の他、研究所専任の全教授・准教授で構成されます。

●運営委員会：宇宙線研究所の運営について、計画案を作成し教授会に提出する委員会です。研究所内外の研究者約14名（所外が半数以上）で構成されます。

●共同利用研究運営委員会：共同利用研究を円滑に進めるための審議をし、運営委員会に提案や報告をする委員会です。所内で選ばれた委員と所外からの学識経験者で構成されます（東京大学外の委員が半数以上）。

●共同利用研究課題採択委員会：共同利用研究申請課題について、採択の適否を審議します。所内で選ばれた委員と所外からの学識経験者で構成されます（東京大学外の委員が半数以上）。

教職員数・歴代代表者 Number of Staffs and Directors So Far

教職員数

平成24年5月1日現在

教授 Professors	准教授 Associate Professors	助教 Assistant Professors	研究員 Research Fellows	技術職員 Technical Staff	事務職員 Clerical employee	非常勤職員 Adjuncts	総合計 Total Number of Staffs
10 (0) [3] < 0 >	14 (0) [2] < 0 >	28 (2) [0] < 0 >	15 (3) [0]	8 (2) [0]	7 (1) [0]	38 (30) [0]	120 (38) [5] < 0 >

() は女性で内数、[] は客員で外数、< > は外国人特任教員で内数
The parenthesis “()” represents the number of female staffs; the square bracket “[]” represents the number of guest staffs; and the angle bracket “< >” depicts the number of guest foreign staffs.

歴代代表者数

●東京大学宇宙線観測所

所長	平田 森三	昭和28年 8月 1日～昭和30年 8月31日
所長	菊地 正士	昭和30年 9月 1日～昭和34年 9月21日
所長事務取扱	野中 到	昭和34年 9月22日～昭和35年 7月31日
所長事務取扱	熊谷 寛夫	昭和35年 8月 1日～昭和35年11月30日
所長	野中 到	昭和35年12月 1日～昭和45年 3月31日
所長	菅 浩一	昭和45年 4月 1日～昭和47年 3月31日
所長	三宅 三郎	昭和47年 4月 1日～昭和51年 5月24日

●東京大学宇宙線研究所

所長	三宅 三郎	昭和51年 5月25日～昭和59年 3月31日
所長	鎌田 甲一	昭和59年 4月 1日～昭和61年 3月31日
所長	近藤 一郎	昭和61年 4月 1日～昭和62年 3月31日
所長事務取扱	棚橋 五郎	昭和62年 4月 1日～昭和62年 4月30日
所長	荒船 次郎	昭和62年 5月 1日～平成 9年 3月31日
所長	戸塚 洋二	平成 9年 4月 1日～平成13年 3月31日
所長	吉村 太彦	平成13年 4月 1日～平成16年 3月31日
所長	鈴木 洋一郎	平成16年 4月 1日～平成20年 3月31日
所長	梶田 隆章	平成20年 4月 1日～

●乗鞍観測所

所長事務取扱	三宅 三郎	昭和51年 5月25日～昭和52年 2月28日
所長	近藤 一郎	昭和52年 3月 1日～昭和62年 3月31日
所長	湯田 利典	昭和62年 4月 1日～平成12年 3月31日
所長	福島 正己	平成12年 4月 1日～平成15年 3月31日
所長	瀧田 正人	平成15年 4月 1日～平成24年 3月31日
所長	佐川 宏行	平成24年 4月 1日～

●明野観測所

所長	鎌田 甲一	昭和51年 4月18日～昭和59年 3月31日
所長	棚橋 五郎	昭和59年 4月 1日～昭和63年 3月31日
所長	永野 元彦	昭和63年 4月 1日～平成10年 3月31日
所長	手嶋 政廣	平成10年 4月 1日～平成14年12月31日
所長	福島 正己	平成15年 1月 1日～

●神岡宇宙素粒子研究施設

施設長	戸塚 洋二	平成 7年 4月 1日～平成14年 9月30日
施設長	鈴木洋一郎	平成14年10月 1日～

●宇宙ニュートリノ観測情報融合センター

センター長	梶田 隆章	平成11年 4月 1日～
-------	-------	--------------

Representatives So Far

●Cosmic Ray Observatory, The University of Tokyo

Director	Morizo Hirata	Aug. 1, 1953-Aug. 31, 1955
Director	Seishi Kikuchi	Sep. 1, 1955-Sep. 21, 1959
Acting Director	Itaru Nonaka	Sep. 22, 1959-Jul. 31, 1960
Acting Director	Hiroo Kumagai	Aug. 1, 1960-Nov. 30, 1960
Director	Itaru Nonaka	Dec. 1, 1960-Mar. 31, 1970
Director	Kouichi Suga	Apr. 1, 1970-Mar. 31, 1972
Director	Saburo Miyake	Apr. 1, 1972-May 24, 1976

●Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo

Director	Saburo Miyake	May. 25, 1976-Mar. 31, 1984
Director	Kouichi Kamata	Apr. 1, 1984-Mar. 31, 1986
Director	Ichiro Kondo	Apr. 1, 1986-Mar. 31, 1987
Acting Director	Goro Tanahashi	Apr. 1, 1987-Apr. 30, 1987
Director	Jiro Arafune	May. 1, 1987-Mar. 31, 1997
Director	Yoji Totsuka	Apr. 1, 1997-Mar. 31, 2001
Director	Motohiko Yoshimura	Apr. 1, 2001-Mar. 31, 2004
Director	Yoichiro Suzuki	Apr. 1, 2004-Mar. 31, 2008
Director	Takaaki Kajita	Apr. 1, 2008-

●Norikura Observatory

Acting Director	Saburo Miyake	May 25, 1976-Feb. 28, 1977
Director	Ichiro Kondo	Mar. 1, 1977-Mar. 31, 1987
Director	Toshinori Yuda	Apr. 1, 1987-Mar. 31, 2000
Director	Masaki Fukushima	Apr. 1, 2000-Mar. 31, 2003
Director	Masato Takita	Apr. 1, 2003-Mar. 31, 2012
Director	Hiroyuki Sagawa	Apr. 1, 2012-

●Akeno Observatory

Director	Kouichi Kamata	Apr. 18, 1977-Mar. 31, 1984
Director	Goro Tanahashi	Apr. 1, 1984-Mar. 31, 1988
Director	Motohiko Nagano	Apr. 1, 1988-Mar. 31, 1998
Director	Masahiro Teshima	Apr. 1, 1998-Dec. 31, 2002
Director	Masaki Fukushima	Jan. 1, 2003-

●Kamioka Observatory

Observatory Head	Yoji Totsuka	Apr. 1, 1995-Sep. 30, 2002
Observatory Head	Yoichiro Suzuki	Oct. 1, 2002-

●Research Center for Cosmic Neutrinos

Center Chief	Takaaki Kajita	Apr. 1, 1999-
--------------	----------------	---------------

経費・施設 Research Budget・Facilities

歳出決算額 Annual Expenditures

		千円 thousand yen				
区分 Category		平成 19 年度 FY 2007	平成 20 年度 FY 2008	平成 21 年度 FY 2009	平成 22 年度 FY 2010	平成 23 年度 FY 2011
人件費 Personnel Expenses		624,000	632,000	590,000	576,000	653,000
物件費 Non-personal Expenses		1,253,000	1,121,000	1,292,000	1,048,000	1,400,000
合 計 Total		1,877,000	1,753,000	1,882,000	1,624,000	2,053,000

外部資金等 External Funds, etc

区 分 Category	平成 19 年度 FY 2007		平成 20 年度 FY 2008		平成 21 年度 FY 2009		平成 22 年度 FY 2010		平成 23 年度 FY 2011	
	件数 Quantity	受入金額 Amount Received	件数 Quantity	受入金額 Amount Received	件数 Quantity	受入金額 Amount Received	件数 Quantity	受入金額 Amount Received	件数 Quantity	受入金額 Amount Received
民間等との共同研究 Joint Research with the Private Sector	0	0	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	500
受託研究 Entrusted Research	5	21,730	3	77,180	2	77,408	2	38,000	1	29,239
奨学寄付金 Donation for Scholarly Development	2	10,930	1	3,000	1	12,000	3	760	0	0

科学研究費補助金 Grant-in-aid for Scientific Research

研究種目 Research classes	平成 19 年度 FY 2007		平成 20 年度 FY 2008		平成 21 年度 FY 2009		平成 22 年度 FY 2010		平成 23 年度 FY 2011	
	件数 Quantity	受入金額 Amount Received	件数 Quantity	受入金額 Amount Received	件数 Quantity	受入金額 Amount Received	件数 Quantity	受入金額 Amount Received	件数 Quantity	受入金額 Amount Received
特別推進研究 Research Category					1	93,000	1	112,000	1	103,000
学術創成研究 Creative Scientific Research	1	98,000	1	87,000	1	98,000	1	100,000	1	72,000
特定領域研究 Particular Field Research	4	68,000	4	69,500	2	4,000	1	2,000	1	2,000
基盤研究 (S) Basic Reserch	1	10,000	1	32,600	2	75,000	2	53,000	2	48,000
基盤研究 (A) Basic Research (A)	4	44,000	3	22,000	2	49,000	3	19,000	4	35,000
基盤研究 (B) Basic Research (B)	3	16,000	3	12,300	3	12,000	1	5,000	4	27,000
基盤研究 (C) Basic Research (C)	2	2,000	5	5,500	5	4,000	7	7,000	5	5,000
若手研究 (A) Young Researcher's Research (A)	1	3,000							1	3,000
若手研究 (B) Young Researcher's Research (B)	6	8,000	5	5,200	5	8,000	7	10,000	4	5,000
萌芽的研究 Exploratory Research	1	1,000								
挑戦的萌芽研究 Challenging Exploratory Research					2	5,000	2	1,000	4	6,000
若手研究(スタートアップ) Young Researoher's Research (Start-up)	2	2,000	1	1,320	1	1,000				
合 計 Total	25	252,000	23	235,420	24	349,000	25	309,000	27	306,000

所在地及び土地・建物面積 Locations and Land/Building Areas

施 設 Facilities	所在地・電話番号 Location and Telephone Number	土地 Land Area㎡	建物 Building Area㎡
柏 キャンパス Kashiwa Campus	千葉県柏市柏の葉 5-1-5 TEL:04-7136-3102(総務係) 5-1-15 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba Prefecture, JapanTEL: +81-4-7136-3102	313,391 (柏キャンパス全体)	7,185
神岡宇宙素粒子研究施設 Kamioka Observatory	岐阜県飛騨市神岡町東茂住 456TEL: 0578-85-9620 456 Higashimozumi, Kamioka-cho, Hida-shi, Gifu Prefecture, JapanTEL: +81-578-5-2116	95,523 (借入 93,118)	2,195 (借入 140)
乗 鞍 観 測 所 Norikura Observatory	岐阜県高山市丹生川町乗鞍岳 TEL: 090-7721-5674 Mt. Norikura, Nyukawa-mura, Ohno-gun, Gifu Prefecture, JapanTEL: +81-90-7721-5674	59,707 (借入)	1,655
鈴 蘭 連 絡 所 Suzuran Lodge of Norikura Observatory	長野県松本市安曇鈴蘭 4306-6 TEL: 0263-93-2211 4306-6 Azumi Suzuran, Minamiazumi-gun, Nagano Prefecture, JapanTEL: +81-263-93-2211	2,203 (借入)	182
明 野 観 測 所 Akeno Observatory	山梨県北杜市明野町浅尾 5259TEL: 0551-25-2301 5259 Asao, Akeno-machi, Kitakyoma-gun, Yamanashi Prefecture, Japan TEL: +81-551-25-2301	18,469 (借入)	2,843

所在全図 Locations of Facilities



共同利用研究・教育/国際交流 Inter-University Research, Education/International Exchange

国際協力研究プロジェクト

- 1 ボリビアのチャカルタヤ山では、エマルジョン・チェンバーを用いて宇宙線の起こす核相互作用の研究が行われています。
- 2 チベットの羊八井高原では、空気シャワー観測装置を用いて高エネルギーの宇宙線実験が行われています。
- 3 アメリカのユタでは、大気蛍光望遠鏡を用いて最高エネルギーの宇宙線を研究する計画が進行しており、試作機が動いています。
- 4 また、神岡の地下実験には、アメリカから多くの研究者が参加しています。最近国際学術交流協定を締結した大学及び学部は、表 1 のとおりです。

〔表 1〕国際学術交流協定締結機関名 Academic Exchange Agreements	
1981年	ボリビアサンアンドレス大学(ボリビア) Universidad Mayor de San Andrés(Bolivia)
1995年	中国科学院高能物理研究所(中国) Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences(China)
1995年	ユタ大学理学部(米国) College of Science,University of Utah (the United States)
1995年	カリフォルニア大学アーバイン校物理科学部(米国) School of Physical Sciences, University of California, Irvine (the United States)
1995年	ボストン大学大学院文理学研究科(米国) Graduate School of Arts and Sciences, Boston University (the United States)
2001年	ロシア科学アカデミー原子核研究所(ロシア) INR, Russian Academy of Science(Russia)
2001年	アデレード大学(オーストラリア) University of Adelaide(Australia)
2001年	西オーストラリア大学生命物理科学部(オーストラリア) Faculty of Life and Physical Sciences, The University of Western Australia(Australia)
2009年	ソウル大学校自然科学大学(韓国) College of Natural Science, Seoul National University (Korea)
2009年	カリフォルニア工科大学LIGO研究所(米国) CIT LIGO Laboratory,California Institute of Technology (the United States)
2010年	ハワイ大学ヒロ校(米国) The Department of Physics and Astronomy, The University of Hawaii at Hilo(the Nited States)
2011年	バーゴ共同研究組織(イタリア) European Gravitational Observatory./The Virgo Collaboration(Italy)
2011年	上海師範大学(中国) The Shanghai United Center for Astrophysics Shanghai Normal University(China)
2011年	グラスゴー大学重力研究所(英国) Institute for Gravitational Research, University of Glasgow(the United Kingdom)
2011年	国立清華大学理学部(中国) College of Science, National Tsing Hua University(China)
2012年	中国科学院上海セラミック研究所人工結晶研究センター(中国) The SICCAS-GCL Research & Development Center, The Shanghai Institute of ceramics, Chinese Academy of Sciences(China)
2012年	ルイジアナ州立大学理学部(米国) College of Science, Louisiana State University(the United States)
2012年	サニオ大学工学部(イタリア) Department of Engineering, The University of Sannio at Benevento(Italy)
2012年	中国科学院国家天文台(中国) National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences(China)

外国人研究者との人的交流

共同利用研究に参加している外国人研究者の数は平成23年度で延べ1,378名に上ります。最近の外国人研究者の受入数は、表2のとおりです。

〔表 2〕来日外国人 Accepted Researchers	2007	2008	2009	2010	2011
外国人研究員 (文部科学省事業分) Foreign researchers(Project of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology)	4	14	27	8	8
外国人研究者 (学振招聘分) Foreign researchers(Invited by the Japan Society for the Promotion of Science)	1	0	0	0	4

(平成23年度分 国際研究交流状況調査より)

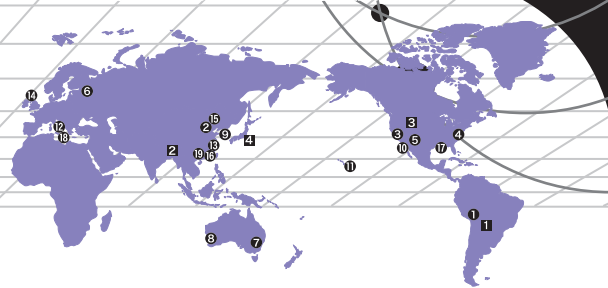
International Project

1. On Mt.Chacaltaya in Bolivia, nuclear interactions by cosmic rays is being studied using emulsion chambers.
2. On Yangbajing Plateau in Tibet, an experiment on high-energy cosmic rays is being conducted by using an air-shower detector.
3. In Utah, U.S.A., a project for studying highest energy cosmic rays is in progress.
4. In addition, many researchers from the U.S. are engaged in underground experiments at Kamioka Recent data on academic exchange agreeing Universities and faculties are given in Table 1'

International Exchange

A total of 1,378 foreign researchers are joining ICRR inter-university research projects in 2011, them. Recent data on the number of accepted foreign researchers are given in Table 2.

●は協定締結機関 ■は海外における国際協力研究プロジェクト



共同利用研究

東京大学宇宙線研究所は、共同利用・共同研究拠点として、柏キャンパス、神岡宇宙素粒子研究施設、乗鞍観測所、明野観測所の附属施設で共同利用研究を行っています。また国内のみならず、海外での国際協力研究事業も行っています。

これらの共同利用研究は毎年全国の研究者から公募し、共同利用運営委員会及び共同利用実施専門委員会で採択します。平成23年度の施設別の申請件数と採択件数は以下のとおりです。

平成 23 年度利用状況 Joint use in fiscal 2011	申請件数 Number of Applicants	採択件数 Number of Successful Applicants	延べ研究者数 Number of Total Researchers
宇宙ニュートリノ研究部門 Neutrino and Astrophysics division	33 (32)	33 (32)	805 (801)
高エネルギー宇宙線研究部門 High Energy Cosmic Ray division	46 (6)	46 (6)	937 (66)
宇宙基礎物理研究部門 Astrophysics and Gravity division	15	15	285
宇宙ニュートリノ観測情報融合センター Research Center for Cosmic Neutrinos	10	10	89

()内:神岡施設、〔〕内:乗鞍観測所

大学院教育

東京大学宇宙線研究所は、東京大学理学系研究科物理学専攻課程の一環として大学院学生を受け入れ研究指導をするとともに、大学院の講義も担当しています。教養学部学生を対象に、隔年毎に全学一般教育ゼミナールも実施しています。

また東京大学大学院の一環として、国内外の他大学の大学院生を、特別聴講生、特別研究生、外国人研究生として受け入れる道も開いています。

東京大学宇宙線研究所の大学院学生受入数は以下のとおりです。

	平成 20 年度 FY 2008	平成 21 年度 FY 2009	平成 22 年度 FY 2010	平成 23 年度 FY 2011	平成 24 年度 FY 2012
修士 Master's course	21 (2)	19 (0)	18 (0)	14 (0)	19 (0)
博士 Doctor's course	21 (1)	20 (2)	15 (2)	15 (2)	12 (2)
合 計 Total	42 (3)	39 (2)	33 (2)	29 (2)	31 (2)

()内は女性で内数

The parenthesis "() " represents the number of female students.

Inter-University Research

ICRR conducts Inter-University Researches with Kashiwa campus, Kamioka observatory, Norikura Observatory and Akeno Observatory as a "Inter-University Research Center". And joint-research operators of ICRR are not only domestic but also international. That inter-university researches are applied from many researchers, and selected by advisory committee and user's committee. In 2012, Number of applications and selections in each observatories and center represent a above upper table.

Education

ICRR accepts graduate students, and also delivers lectures for them as a part of the Graduate School of Physics, The University of Tokyo. ICRR also conducts liberal seminars for undergraduate students, every second year. ICRR also accepts graduate students from other universities inside and outside Japan as special listeners, special researchers, and foreign researchers, as the graduate school of The University of Tokyo. The number of graduate students accepted by ICRR is tabulated.

成果発表と受賞歴

Announcement of Achievements and Award History

国際会議及び国際研究集会の開催

東京大学宇宙線研究所は、国際会議や国際研究集会をそれぞれ年1回程度開催しています。内外の著名な学者や新鋭の若手研究者を招いて最新の研究について話してもらうセミナーも、月1回程度行っています。過去10年間に開催した国際会議及び国際研究集会は、以下のとおりです。

- 大気ニュートリノ流量会議 (主催)
2000年(H12) 2/8～9 KEK 田無講堂 (東京) 22名
- 宇宙線研究所国際シンポジウム
宇宙線物理学の将来 (主催)
2000年(H12)10/11～22 東大柏キャンパス (千葉) 122名
- アジアオセアニア地域における
最終的重力波検出器会議 (主催)
2000年(H12)11/13～17 東大柏キャンパス(千葉) 20名
- 低エネルギーニュートリノの検出
国際ワークショップ (主催)
2000年(H12)12/4～5 東大山上会館 (東京) 122名
- 第2回ニュートリノ振動とその起源の解明
国際ワークショップ (主催)
2000年(H12) 12/6～8 東大山上会館 (東京) 94名
- 最高エネルギー宇宙線
国際ワークショップ (主催)
2001年(H13) 3/22～23 東大柏キャンパス(千葉)120名
- 第3回ニュートリノ振動とその起源の解明
国際ワークショップ (主催)
2001年(H13) 12/3～4 東大柏キャンパス (千葉) 91名
- ガンマ線で見える宇宙
－2002年東大ワークショップ－ (主催)
2002年(H14) 9/25～28 東大柏キャンパス(千葉)112名
- 第3回TAMAシンポジウム (ホスト)
2003年(H15) 2/6～7 東大柏キャンパス (千葉) 36名
- 第4回ニュートリノ振動とその起源の解明
国際ワークショップ (主催)
2003年(H15)2/10～14 石川厚生年金会館(石川) 122名
- 第3回国際ワークショップ
高エネルギー宇宙の包括的研究 (主催)
2003年(H15) 3/20～22 東大柏キャンパス(千葉) 90名
- 第28回宇宙線国際会議 (主催)
2003年(H15) 7/31～8/7つくば国際会議場(茨城) 761名
- 第5回ニュートリノ振動とその起源の解明
国際ワークショップ (主催)
2004年(H16)2/11～15 お台場タイム21 (東京) 114名

- 大気蛍光望遠鏡のキャリブレーション
国際ワークショップ (主催)
2004年(H16)2/16 東大柏キャンパス (千葉) 53名
- 第5回国際ワークショップ
「超高エネルギー粒子天文学」 (VHEPA-5) (主催)
2005年(H17) 3/7～8 (千葉) 42名
- 第6回 Edoardo Amaldi 重力波国際会議 (共催)
2005年(H17) 6/20～24 (沖縄) 179名
- 国際ワークショップ (共催)
「高エネルギー宇宙のエネルギー収支」
2006年(H18) 2/22～24 (千葉) 126名
- 国際ワークショップ (共催)
「J-PARC ニュートリノビームに対する
韓国遠隔検出器」
2006年(H18) 7/13～14 (韓国) 61名
- 国際ワークショップ (共催)
「次世代核子崩壊とニュートリノ検出器2007」
2007年(H19) 10/2～5 (静岡) 102名
- テレスコープアレイ (T A) 完成記念講演会
および祝賀会
2008年(H20) 8/25 (千葉) 101名
- 第58回 藤原セミナー
「重力波観測のための世界規模ネットワーク」
2009年(H21) 5/26～29 (神奈川) 84名
- 重力波国際会議
「Gravitational-Wave Advanced Detector Workshop, GWADW2010」
2010年(H22) 5/16～21 (京都) 107名
- 国際シンポジウム
「最高エネルギー宇宙線観測の最近の進展」
2010年(H22)12/10～12 (名古屋) 114名

International Conferences and International Workshops

ICRR holds international conferences and an international workshop about once a year. ICRR also conducts a monthly seminar in which renowned scholars and promising young researchers are invited, and discuss cutting-edge research. The international conferences and workshops held in the past decade are as follows (last digits show the numbers of participants):

- Feb. 8-9, 2000
Conference on Atmospheric Neutrino Flux
Tanashi Auditorium of KEK (Tokyo) 22
- Oct. 11-22, 2000 ICRR International Symposium: Future of
Cosmic Ray Physics
Kashiwa Campus of The University of Tokyo (Chiba) 122
- Nov. 13-17, 2000
Last Meeting on Gravitational Wave Detector in the Asia-Oceania
Area
Kashiwa Campus of The University of Tokyo (Chiba) 20
- Dec. 4-5, 2000
International Workshop on Low Energy Neutrino Detection
Sanjo Conference Hall of The University of Tokyo (Tokyo)122
- Dec. 6-8, 2000
The 2nd International Workshop for Elucidating Neutrino
Oscillation and Its Origin Sanjo Conference Hall of The
University of Tokyo (Tokyo) 94
- Mar. 22-23, 2001
International Workshop on Highest Energy Cosmic Rays
Kashiwa Campus of The University of Tokyo (Chiba) 120
- Dec. 3-4, 2001
The 3rd International Workshop for Elucidating Neutrino
Oscillation and Its Origin
Kashiwa Campus of The University of Tokyo (Chiba) 91
- Sep. 25-28, 2002
Universe Pictured with Gamma Rays
－ Workshop of The University of Tokyo 2002 －
Kashiwa Campus of The University of Tokyo (Chiba) 112
- Feb. 6-7, 2003
The 3rd TAMA Symposium
Kashiwa Campus of The University of Tokyo (Chiba) 36
- Feb. 2003
The 4th International Workshop for Elucidating Neutrino
Oscillation and Its Origin
Ishikawa Kouseinenkin Hall (Ishikawa) 122
- Mar. 20-22, 2003
The 3rd International Workshop on the Comprehensive Study of
High Energy Universe Kashiwa Campus of The University of
Tokyo (Chiba) 90
- Jul. 31-Aug. 7, 2003
The 28th International Conference on Cosmic Rays
Tsukuba International Congress Center (Ibaraki) 761
- Feb. 11-15, 2004
The 5th International Workshop for Elucidating Neutrino
Oscillation and Its Origin Odaiba Time 21 Building(Tokyo) 114
- Feb. 16, 2004
International Workshop on Calibration of Atmospheric
Fluorescence Telescope
Kashiwa Campus of The University of Tokyo (Chiba) 53

- Mar. 7-8, 2005
Toward Very High Energy Particle Astronomy 5 (VHEPA-5)
(Chiba) 42
- Jun. 20-24, 2005
The 6th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves
(Okinawa) 179
- Feb. 22-24, 2006
International Workshop on Energy Budget in the High Energy
Universe (Chiba), 126
- Jul. 13-14, 2006
2nd International Workshop on a Far Detector in Korea for the
J-PARC Neutrino Beam (Korea), 61
- Oct. 2-5, 2007
Workshop on Next Generation Nucleon Decay and Neu-
trino Detector 2007
(Shizuoka), 102
- Aug. 25, 2008
Inauguration Ceremony and Symposium of Telescope
Array
(Chiba), 101
- May. 5, 2009
58th Fujihara seminar: World-wide Network for Grav-
itational Wave Observation
(Kanagawa), 84
- May. 16-21, 2010
Gravitational-Wave Advanced Detector Workshop,
GWADW2010
(Kyoto), 107

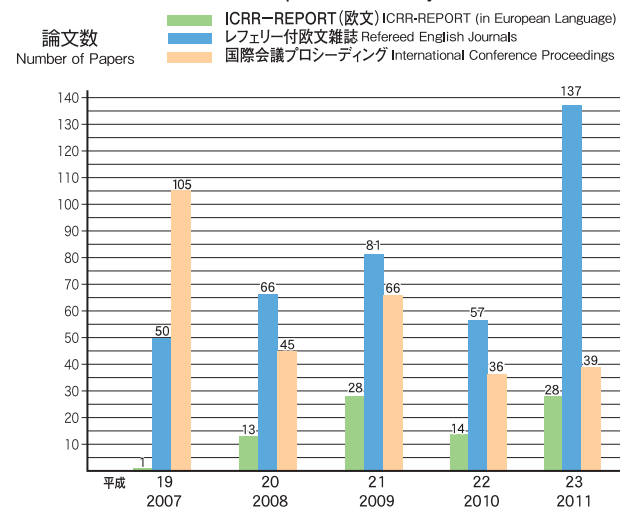
- Dec. 10-12
International Symposium on the Recent Progress of
Ultra-high Energy Cosmic
Ray Observation
(Nagoya), 114

柏キャンパス Kashiwa Campus

論文

共同利用研究の成果は、内外の学会等で発表する他、論文として内外の学術雑誌上でも発表します。研究所スタッフの論文の内、レフリー付欧文雑誌、ICRR Report（欧文）及び国際会議のProceedingsに発表されたものの数を年度別にして以下に示します。

宇宙線研究所職員の発表論文数
Number of Papers Authored by ICRR



Academic Papers

The outcomes of joint-use research are announced at academic conferences, etc., in Japan and overseas, and are also published as papers via Japanese and foreign academic journals. The plot shows the number of papers authored by ICRR members that were published in refereed journals, ICRR Reports (in English), and proceedings of international conferences.

受賞歴 (過去 10 年)

●平成 14 年(2002)	文化功労者	戸塚洋二	宇宙線天文学の発展に貢献
●平成 15 年(2003)	ブルーノ・ポンテコルボ賞	戸塚洋二	大気ニュートリノの振動を発見した業績
●平成 16 年(2004)	宇宙線物理学奨励賞	石塚正基	スーパーカミオカンデによる大気ニュートリノデータのL/E解析
●平成 16 年(2004)	文化勲章	戸塚洋二	宇宙線物理学研究功績
●平成 19 年(2007)	ベンジャミン・フランクリンメダル	戸塚洋二	ニュートリノに質量があることの発見
●平成 20 年(2008)	井上學術賞	中畑雅行	太陽ニュートリノの観測とニュートリノ振動の研究
●平成 20 年(2008)	地球化学研究協会奨励賞	宮原ひろ子	宇宙線生成核種による太陽活動史の研究
●平成 22 年(2010)	井上研究奨励賞	西野玄記	スーパーカミオカンデにおける荷電レプトンとメソンへの核子崩壊の探索
●平成 22 年(2010)	戸塚洋二賞	梶田隆章	大気ニュートリノ振動の発見
●平成 23 年(2011)	ブルーノ・ポンテコルボ賞	鈴木洋一郎	スーパーカミオカンデ実験における大気ニュートリノおよび太陽ニュートリノ振動の発見
●平成 23 年(2011)	戸塚洋二賞	中畑雅行	長年に亘る太陽ニュートリノと振動の研究
●平成 23 年(2011)	戸塚洋二賞	中畑雅行	長年に亘る太陽ニュートリノと振動の研究
●平成 24 年(2012)	戸塚洋二賞	福来正孝	レプトン起源の宇宙のバリオン数非対称機構の提唱
●平成 24 年(2012)	日本学士院賞	梶田隆章	大気ニュートリノ振動の発見
●平成 24 年(2012)	文部科学大臣表彰若手科学者賞	宮原ひろ子	太陽活動および宇宙線が気候に及ぼす影響の研究

Awards (in the past decade)

- 2002 Person of Cultural Merit/Yoji Totsuka Contribution to Progress in Cosmic Ray Astronomy
- 2003 Bruno Pontecorvo Prize/Yoji Totsuka Discovery of atmospheric neutrino oscillation
- 2004 Cosmic-ray Physics Prize for young researchers/Masaki Ishizuka L/E analysis of the atmospheric neutrino data from Super-Kamiokande
- 2004 Order of Culture/Yoji Totsuka Achievement in Research of Cosmic Ray Physics
- 2007 Benjamin Franklin Medal in Physics/Yoji Totsuka Discovery of the Neutrino mass
- 2008 Inoue Prize for Science/Masayuki Nakahata Solar neutrino detection and Research of neutrino oscillation
- 2008 Young Scientist Award of the Geochemistry Research Association/Hiroko Miyahara Study of the long-term solar variations using cosmogenic nuclide
- 2010 Inoue Research Award for Young Scientists/Haruki Nishino Search for Nucleon Decay into Charged Antilepton plus Meson in Super-Kamiokande
- 2010 Yoji Totsuka Prize/Takaaki Kajita Discovery of Atmospheric Neutrino Oscillation
- 2011 Bruno Pontecorvo Prize/Yoichiro Suzuki Discovery of atmospheric and solar neutrino oscillations in the Super-Kamiokande experiment
- 2011 Yoji Totsuka Prize/Masayuki Nakahata Study of the solar neutrino and its oscillations
- 2012 Yoji Totsuka Prize/Masataka Fukugita Pointing out a mechanism to generate cosmological baryon number violation originated by lepton
- 2012 Japan Academy Prize/Takaaki Kajita Discovery of Atmospheric Neutrino Oscillations
- 2012 Commendation for Science and Technology by the Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology/Hiroko Miyahara Study for Solar activities and its effects

論文以外の刊行物

東京大学宇宙線研究所では、研究所の内容や研究活動状況を広く紹介するために、論文以外にも、研究所要覧（本誌）、ICRR Annual Report、ICRR Report、ICRRニュースを出版しています。

	発行回数	内 容
研究所要覧	和文 年 1 回	研究所の活動の一年間のまとめ
ICRR Annual Report	英文 年 1 回	研究所の活動の一年間のまとめ
ICRR Report	英文 随時	研究部からの研究報告
ICRR ニュース	和文 年 4 回	研究所のホットなニュース

Other Publications

ICRR also publishes the Outline of ICRR (this document), ICRR Annual Report, ICRR Report, and ICRR News, as well as academic papers, in order to publicize the research activities of ICRR.

Outline of ICRR (Japanese) Once per year Summary of annual activities of ICRR
ICRR Annual Report (English) Once per year Summary of annual activities of ICRR
ICRR Report (English) When necessary Research Report from Researching Divisions
ICRR News (Japanese) 4 times per year Hot news from ICRR

所在地

- 住所：〒277 - 8582 千葉県柏市柏の葉5 -1 - 5
- 電話：0 4-7 1 3 6 - 3 1 0 2（総務係）

交 通

- 柏の葉キャンパス駅からバス利用の場合
TX 柏の葉キャンパス駅西口1番乗場から東武バス
「流山おおたかの森東口」「江戸川台駅」行きに乗り約 10 分、
「東大前」で下車
- 柏の葉キャンパス駅から徒歩の場合
柏キャンパスは約25分
- 柏駅からバス利用の場合
JR 柏駅西口2番乗場から東武バスで
※柏キャンパス
「国立がんセンター」「江戸川台駅東口」行きに乗り約25分、
「柏の葉公園」経由の場合は、「東大前」で下車
「税関研修所」経由の場合は、「国立がんセンター」で下車

Location

- Address : 5-1-5 Kashiwanoha,Kashiwa-shi,chiba
Prefecture 277-8582,Japan
- Tel : +81-4-7136-3102

Access

- Kashiwanoha Campus Sta. of Tsukuba Express Line
→Tobu bus for “West Exit of Nagareyama Otaka nomori Sta.” or “Edogawadai Sta.” (about 10min.)
- 25min.walk from Kashiwanoha Campus Sta.
- Kashiwa Sta. of JR Joban Line → Tobu Bus
for”National Cancer Center” or “West Exit of Kashiwa Sta.” (about 10 min.) (The bus service is not frequent.)
- 5min. by car from Joban Freeway “Kashiwa Exit”
- About 3 min. by car from Route 16 (Entrance of Toyofuta Industrial Park)

