



# 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

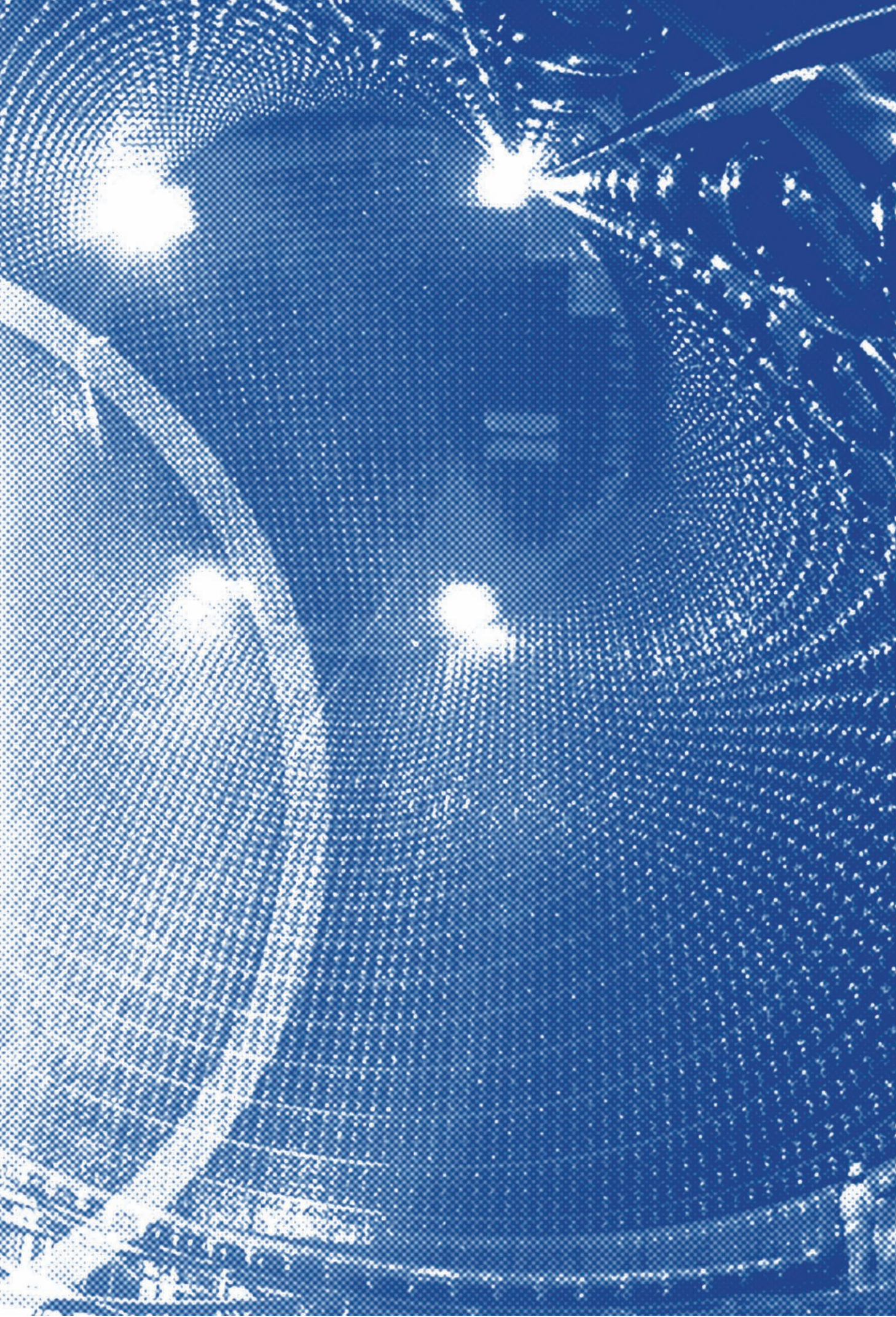
〒277-8582 千葉県柏市柏の葉5-1-5 TEL: 04-7136-XXXX(ダイヤルイン)

■ Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo,  
5-1-5 Kashiwa-no-Ha, Kashiwa City, Chiba 277-8582, Japan  
Phone: 81-471-36-3102 (Speak Japanese)

平成20年度(2008)

<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's Cosmic Ray?	
宇宙ニュートリノ研究部門(スーパーカミオカンデグループ)	8
Cosmic Neutrino Research Division (Super-Kamiokande Group)	
宇宙ニュートリノ研究部門(XMASSグループ)	10
Cosmic Neutrino Research Division (XMASS Group)	
高エネルギー宇宙線研究部門(カンガルーグループ)	12
High Energy Cosmic Ray Division (Cangaroo Group)	
高エネルギー宇宙線研究部門(AGASA/TAグループ)	14
High Energy Cosmic Ray Division (AGASA/TA Group)	
高エネルギー宇宙線研究部門(チベットグループ)	16
High Energy Cosmic Ray Division (Tibet Group)	
宇宙基礎物理研究部門(重力波グループ)	18
Fundamental Astrophysics Research Division (Gravitational Wave Group)	
宇宙基礎物理研究部門(SDSSグループ)	20
Fundamental Astrophysics Research Division (SDSS Group)	
宇宙基礎物理研究部門(理論グループ)	22
Fundamental Astrophysics Research Division (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)	24
Research Center for Cosmic Neutrinos	
Ashra	25
All-sky Survey High Resolution Air-shower detector	
神岡宇宙素粒子研究施設	26
Kamioka Observatory	
乗鞍観測所	27
Norikura Observatory	
明野観測所	28
Akeno Observatory	
チャカルタヤ宇宙物理観測所	29
Chacaltaya Observatory of Cosmic Physics	

## ◆研究所について

沿革	30
History	
年表	32
Timeline	
組織・運営	34
Organization and Administration	
教職員数・歴代表者	35
Number of Staffs and Directors So Far	
経費・施設	36
Research Budget・Facilities	
共同利用研究・教育／国際交流	37
Joint-Use Research, Education/International Exchange	
成果発表と受賞歴	38
Announcement of Achievements and Award History	
柏キャンパス	41
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。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、宇宙には我々が目に見える光以外に、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かも大き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います。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の観測もいよいよ発見が可能な規模の実験になってきました。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は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しょう。

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ゆくことです。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。しかし、いつまでもスーパーカミオカンデの成果ばかりに頼っているわけには行きません。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)が完成し、データを取り始めたところです。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も実現に向けての基礎研究が完了し、本格的な装置建設の予算獲得に努めています。

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ー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製作したものです。

## Institute for Cosmic Ray Research and researches in cosmic rays

About a century ago, around 1912, the cosmic ray was discovered. 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, p 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 of 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. Detectors for the high energy cosmic neutrinos are reaching to the scale of the real discovery. 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. Large international researches started, suggesting that the "astrophysical accelerator" which is generating the highest energy cosmic rays

could be identified. This suggests that a new research field which could be called as the highest energy cosmic ray astronomy is being 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 world community of cosmic ray researches. 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. However, ICRR cannot rely only on the results of Super-Kamiokande forever. Continuing efforts to advance new attractive researches are required. For example, in ICRR, the construction of an experiment on the highest energy cosmic rays, called TA, is completed. It has just started to take data. Moreover, the R&Ds for the gravitational wave telescope, whose importance was pointed out twice by the Committee on the Planning of Future Projects in ICRR, have been completed and ICRR is striving for budget acquisition for the full-scale telescope construction.

I think 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.

## 宇宙線研究所の目的

宇宙線研究所は、全国共同利用研究所として、非加速器素粒子物理学・素粒子天体物理学を含む広い意味の宇宙線物理学及び関連する研究を行う。宇宙粒子線を研究手段として動的な宇宙を解明するとともに、加速器物理の伝統的手段とは異なる方法で素粒子物理のフロンティアを開拓する研究を行う。



# 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で、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

**物質**

レプトン		クォーク	
<b>第一世代</b> ・地球や太陽などの自然界の通常物質を構成する素粒子。	<b>電子</b> 質量： $9.1 \times 10^{-28}$ g 電子の電荷は-1	<b>電子ニュートリノ</b> 質量：ほとんど0 電荷を持たない	<b>アップ</b> 質量：約 $10^{-26}$ g 電荷：2/3
<b>第二、三世代</b> ・加速器実験中や宇宙線中に発見された素粒子である。一般的に第一世代よりも大きな質量を持つ。	<b>ミュオン</b> 質量： $1.9 \times 10^{-25}$ g ミュオンの電荷は-1	<b>ミュニュートリノ</b> 質量：ほとんど0 電荷を持たない	<b>チャーム</b> 質量： $2 \times 10^{-24}$ g 電荷：2/3
	<b>タウ</b> 質量： $3.2 \times 10^{-24}$ g タウの電荷は-1	<b>タウニュートリノ</b> 質量：ほとんど0 電荷を持たない	<b>ストレンジ</b> 質量：約 $2 \times 10^{-25}$ g 電荷：-1/3
			<b>ボトム</b> 質量： $8 \times 10^{-24}$ g 電荷：-1/3

●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き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のため、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ものか、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いければならないため、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、周りの大気をぼ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、その手法によって色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。もし検出出来たとすれば、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、極めて大きなブレイクスルーとなるのは間違いありません。



## What's a Cosmic Ray?

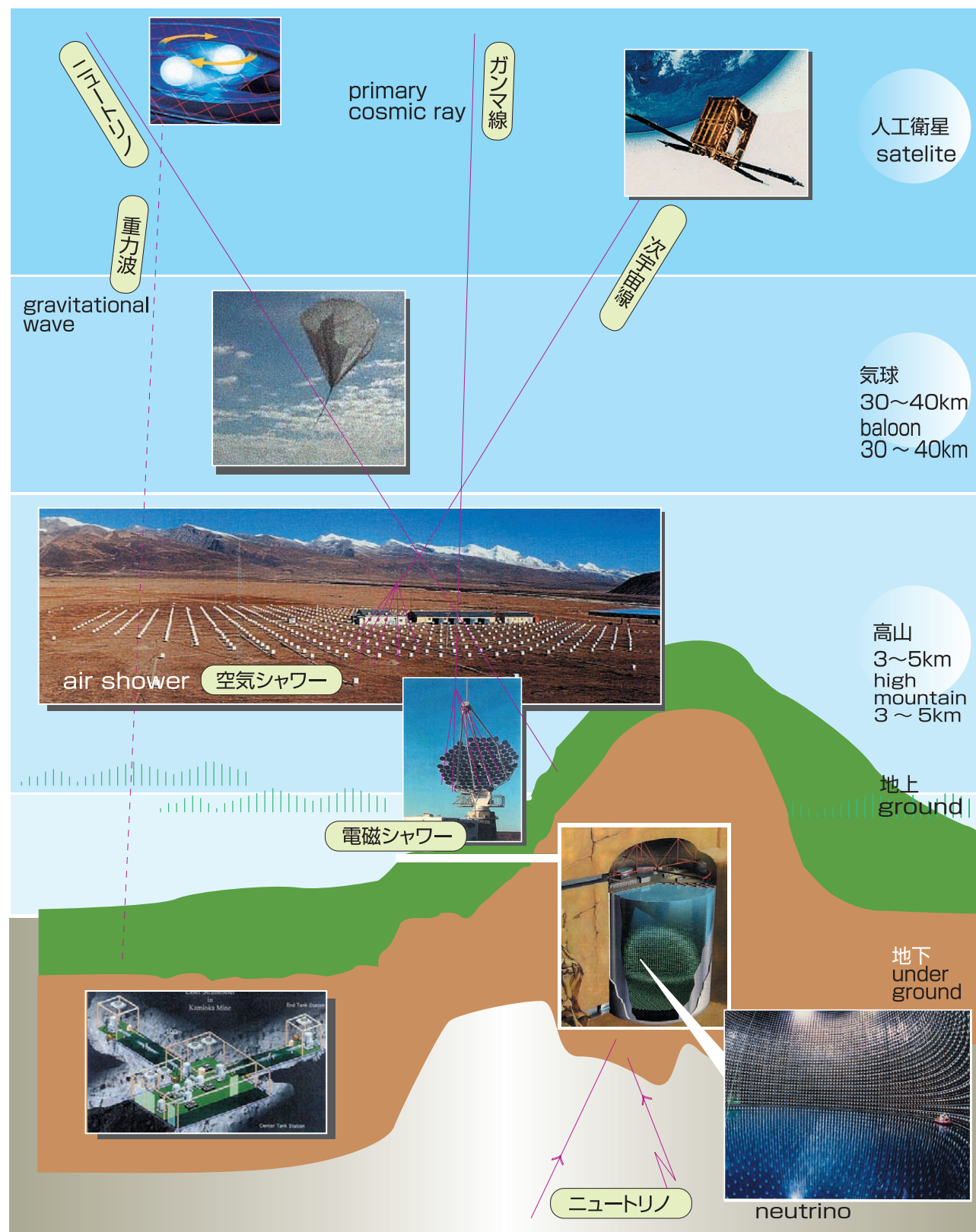
Cosmic rays are nuclei and elementary particles that are always falling very fast on Earth from the universe. Enormous numbers of cosmic rays are always passing through our bodies. Cosmic rays were discovered by Victor Hess, an Austrian physicist, in 1912. He went up to a high-altitude of 4000 m by a 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1,000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、これら3つを研究することです。

●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。平成13年11月に、約半数の光電子増倍管が壊れてしまう事故が起きましたが、残った約5,200本の光電子増倍管を用いて平成14年に装置を復旧させました。

●その後、新たに光電子増倍管約6,000本を製作し、装置を完全に復旧する工事が平成17年10月から行われました。復旧に際しては事故の再発を防ぐため、光電子増倍管1本ごとに衝撃波防止ケースを取り付けました。そして平成18年7月から元通りの性能となった検出器を用いて、更に精度の高い実験を開始しています。この完全復旧により、太陽ニュートリノの検出感度の向上が期待されています。また、検出器の電子回路およびデータ取得システムの入替えを平成20年9月から予定しています。これによって、更なる検出器の性能向上が見込まれています。

●また、平成21年度には現在建設中のJ-PARC加速器からのニュートリノを観測する、T2K実験の開始も予定されています。T2K実験では、K2K

実験の50倍の強度のニュートリノを用いた実験が可能となります。これらの実験により、ニュートリノの性質をより詳細に探ることが可能になると期待されています。

## 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

宇宙から飛んで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ぶ間にタウニュートリノに変わってしまうことを、平成10年に発見しました。上空で生まれて下向きに飛んで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何千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

の太陽から飛んで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たり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。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）。

### ●将来計画

ニュートリノ振動の更に詳しい研究を行うために東海村に建設中の大強度陽子加速器（J-PARC）でニュートリノを作り、スーパーカミオカンデで捕らえるという実験が準備されています。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。

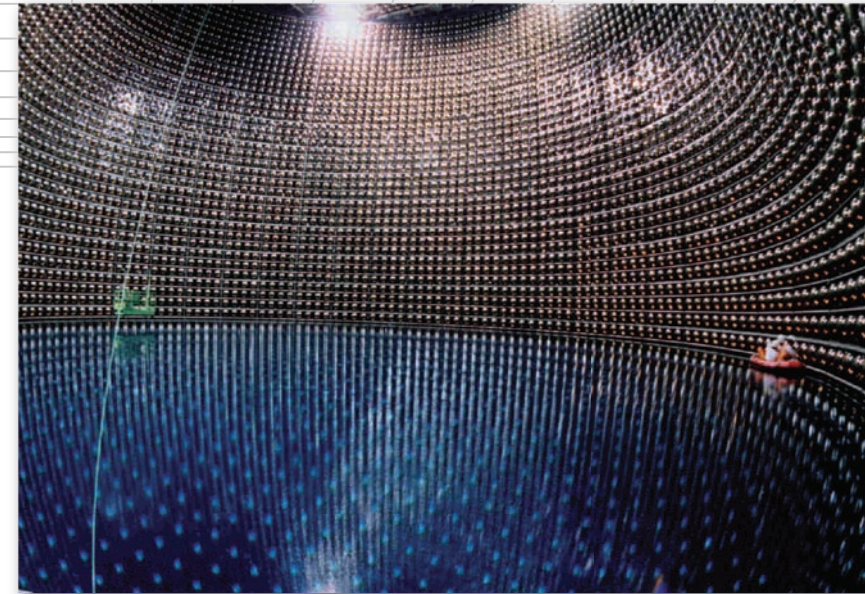


図1 スーパーカミオカンデの内部

Fig.1 Inside of the Super-Kamiokande detector

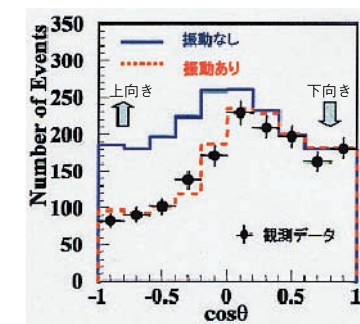


図2 大気ニュートリノの天頂角分布。上向きニュートリノの振動の証拠

Fig.2 Zenith-angle distribution of atmospheric neutrinos, showing evidence of oscillation for upward-going neutrinos.

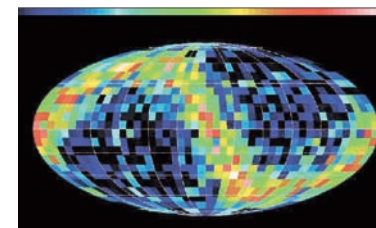


図3 ニュートリノで見た太陽の軌跡

Fig.3 Track of the Sun seen by neutrinos.

## About Super-Kamiokande

The purpose of Super-Kamiokande (SK) is to study elementary particle physics and astrophysics through neutrino detections and nucleon decay searches. The Kamiokande experiment, which is the predecessor of Super-Kamiokande, observed neutrinos from a supernova in the Large Magellanic Cloud in 1987, and also established the observation of solar neutrinos by a water Cherenkov detector. Those 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. This detector is equipped with over 11,000 20-inch photomultiplier tubes (PMTs) to observe various elementary particle interactions in the detector. The detector started its operation in 1996. SK observes huge amounts of neutrinos produced in the Sun (solar neutrinos) and by cosmic rays in the atmosphere (atmospheric neutrinos). With the large statistics of the atmospheric neutrino events, SK observed a clear anisotropy in the zenith angle distribution, and established the existence of neutrino

electron scattering in SK discovered oscillations of neutrinos produced in the center of the Sun, together with the SNO experiment in Canada.

The first accelerator-based long-baseline neutrino-oscillation experiment was performed from 1999 to 2004. A neutrino beam from an accelerator 250 km away in KEK was aimed at Super-Kamiokande after about 5 years of running; the K2K experiment successfully completed and confirmed neutrino oscillations found in the measurements of atmospheric neutrinos.

In November 2001, SK lost half of its PMTs because of a severe accident. After this accident, the detector was partially reconstructed with the surviving 5,200 PMTs and resumed its operation in December 2002.

In October 2005, a full reconstruction of the detector with 6,000 additional PMTs was started, and the experiment resumed operation in July 2006. With the fully reconstructed detector, the sensitivity of low-energy neutrinos, such as solar and supernova neutrinos, was recovered and the physics potential enhanced. In September 2008, the new electronics system of the detector, which improves the detector performance, is planned to install.

Also, a new accelerator-based long baseline neutrino oscillation experiment, called the T2K experiment, which utilize a new accelerator facility in Tokai village (J-PARC), is planned to start in 2009. This accelerator will provide a neutrino beam 50-times more intense than the previous K2K experiment. These new measurements of neutrinos will make it possible to reveal hidden neutrino properties.

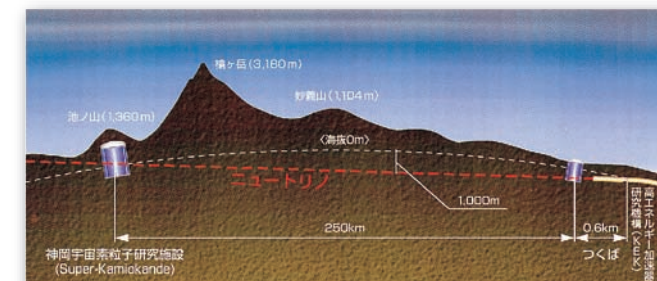


図4 つくば-神岡間長基線ニュートリノ振動実験 (K2K 実験)

Fig.4 Tsukuba-Kamioka long baseline neutrino oscillation experiment (K2K)



# XMASSグループ

## XMASS Group

### 研究目的と装置

●XMASS（エックスマス）グループは、低エネルギー太陽ニュートリノ、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の由来は、

- Xenon detector for Weakly Interacting MASSive Particles（暗黒物質探索）
- 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）

と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1,000メートルに設置して観測する多目的実験です。●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トンクラスの大規模化が容易、また、（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U/Th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1桁以上の感度を持ち、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、 $^{136}\text{Xe}$ はニュートリノを伴わない2重ベータ崩壊の候補核種でもあり、10トン測定器を用いると、ニュートリノの質量0.02-0.05 eV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1トンの暗黒物質探索装置の制作に取りかかっています。図1はそのイメージ図で1トンの液体キセノンが約650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、非常に小さいエネルギーであるため、放射線バックグラウンドを如何に落としてエネルギー閾値を下げるかにかかっています。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少ないものになっています。また、キセノンは原子番号が54と大きいので、“自己遮蔽”が有効で、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、2008年には、水シールド用タンクや検出器の建設がほぼ終わる予定です。データ取得は2009年から開始し、予想される暗黒物質に対する感度は散乱断面積にして、 $10^{-45}\text{cm}^2$ と世界最高を目指します（図3）。

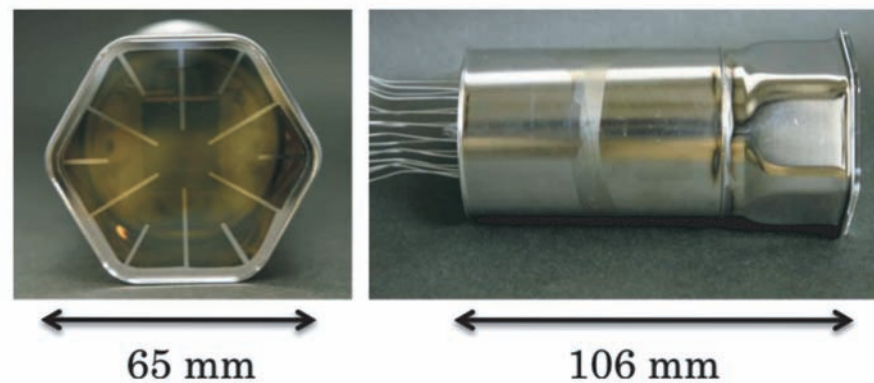


図2 XMASS実験用“極低放射能”光電子増倍管(Hamamatsu R8778-MOD)。真空紫外光である液体キセノンからのシンチレーション光を効率よく捉えることができる。

Fig.2 The "ultra low radioactivity" PMT (Hamamatsu R8778-Mod). The ultra violet light from LXe scintillation is detected effectively by this PMT.

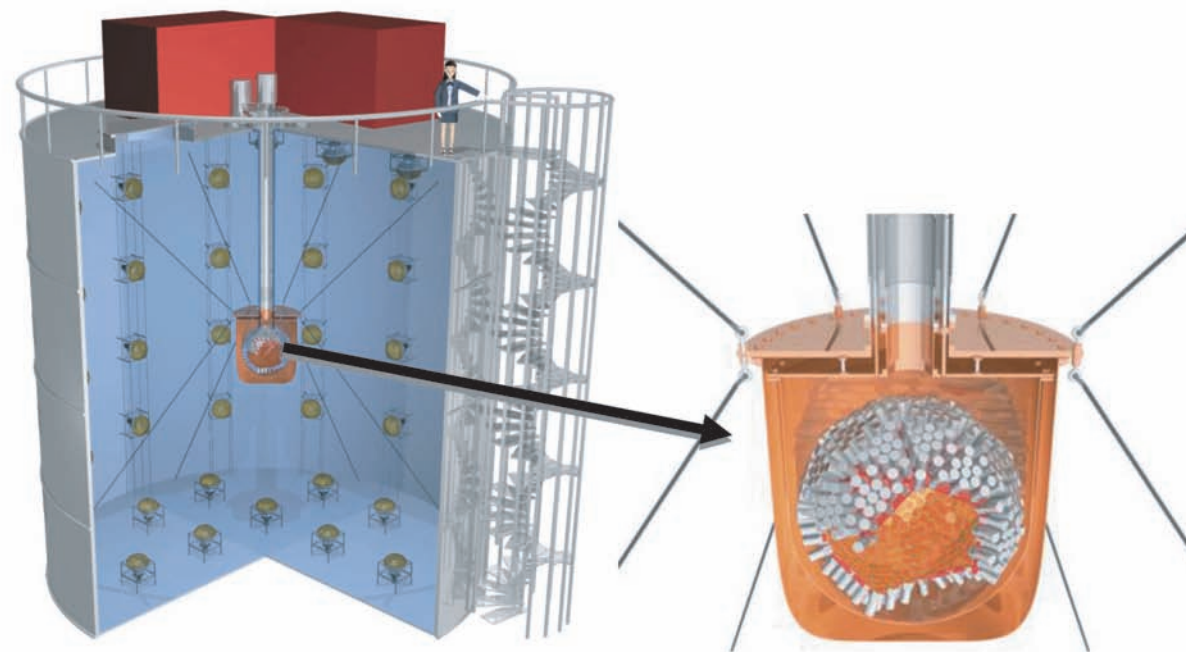


図1 1トン検出器とその放射線シールドの概観図。直径10m・高さ10mの水タンク側面に20インチPMTを配置し、更に中央に液体キセノン検出器を吊り下げます。

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 1ton LXe detector is immersed in this tank.

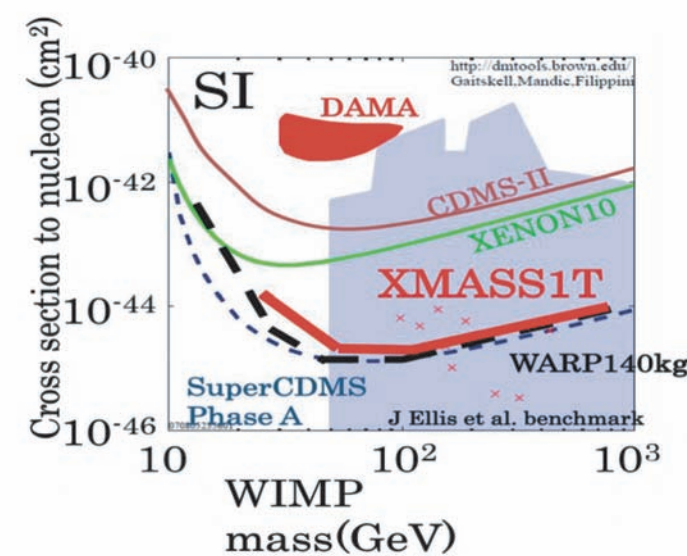


図3 WIMPと核子の散乱断面積の上限値曲線。世界中で $10^{-45}\text{cm}^2$ 以下を目指す実験が計画され準備が進められている。

Fig.3 WIMP-nucleon elastic scattering cross section. XMASS-1T will have sensitivity down to  $10^{-45}\text{cm}^2$ .

### 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 experiment by using the liquid xenon (LXe) detector in the deep underground laboratory at Kamioka mine. 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  $^{14}\text{C}$  like in the organic scintillator. Those advantages lead to capability of the detection of low energy solar neutrino from pp/ $^{7}\text{Be}$  chains. The 10ton LXe detector can have 10 events/day from pp-chain and 5 events/day from  $^{7}\text{Be}$ . 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 one order of magnitude 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  $^{136}\text{Xe}$  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 650 "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 ( $<10\text{keV}$ ) and very low event rates ( $<0.1\text{event/kg/day}$ ). 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. The 1ton LXe detector and the water shield tank will be constructed in this year. The data taking for the dark matter search will be started in 2009 and the expected sensitivity of WIMP-nucleon elastic scattering cross section is  $10^{-45}\text{cm}^2$ . (Fig. 3)



# カンガルーグループ Cangaroo Group

## 研究目的と装置

●天体から飛来する超高エネルギー（ $TeV = 10^{12} eV$ ）領域のガンマ線を観測し、宇宙線の正体を探ることが研究の目的です。ガンマ線は最も波長の短い光で、可視光と異なり熱的には放射されず、高エネルギーまで加速された電子や陽子などの粒子と、周囲の物質や光子との反応で生成されます。光は宇宙の磁場の影響を受けずに直進するため、その到来方向を観測することにより、源となる天体を特定することができます。ガンマ線の観測を通じて、高エネルギーの宇宙線はどの天体でどのように加速されているのか、ということを知りたいと考えています。

●超高エネルギーガンマ線が大気中で起こす粒子のシャワーから放射されるチェレンコフ光という青白い微かな光のフラッシュを反射鏡で集光し、望遠鏡の主焦点に設置したカメラ（光電子増倍管の配列）で捉えるのが大気チェレンコフ望遠鏡です。この光は微弱なため、人工光の影響が少なく、晴天率の高いオーストラリアの砂漠地帯ウーメラを観測地を選びました。平成4年から稼動してきた3.8メートル口径望遠鏡に引き続き、平成11年にはその隣で口径7メートルの望遠鏡で観測を開始しました。平成12年にこの望遠鏡は口径10メートルに拡張されました。さらに装置は増設され、平成16年からは4台の望遠鏡が稼動を始め、ガンマ線をより低いエネルギーまで精度よくとることが可能になりました（図1）。反射鏡には新たに開発した繊維強化プラスチック基材の小型反射鏡を用い、

望遠鏡の焦点面には427本の光電子増倍管を並べた高速カメラ（図2）が取り付けられており、高速エレクトロニクスを用いてチェレンコフ光のイメージをデジタル化して記録します。観測は、月明のない晴夜にガンマ線源候補天体を天球上の動きに合わせて追尾しながら、現地に派遣された研究者が行います。

## 研究の現況

●口径10メートルのチェレンコフ望遠鏡4台を用いて、超新星残骸、パルサーおよびパルサー星雲、活動銀河核、星生成銀河など高エネルギーガンマ線を放出していると期待される天体の観測とデータの解析を日豪共同のチームで続けています。望遠鏡は約100メートル間隔で設置され、同じシャワーからのチェレンコフ光を同時に立体的に捉える「ステレオ観測」法を用いることにより、ガンマ線を高い精度で検出することができます。

## ●超新星残骸からの超高エネルギーガンマ線の発見：

最初の10メートル望遠鏡の観測から、西暦393年に爆発したRX J 1713.7-3946と呼ばれる超新星残骸から超高エネルギーガンマ線が放出されていることが明らかにされました（図3）。超新星残骸の起こす衝撃波で粒子が高エネルギーに加速され、ガンマ線を放出していると考えられます。超新星残骸は宇宙線の起源候補として古くから注目されてきた天体ですが、ガンマ線の検出により、このような高エネルギー粒子の加速が実際に起こっていることの証

拠が見つかったことになります。

## ●ステレオ観測によるガンマ線源の空間構造の観測：

2004年3月から行われている4台の望遠鏡によるステレオ観測からは、ほ座超新星残骸や超新星残骸RX J 0852.0-4622（図4）、パルサー星雲M S H 15-52など、空間的に広がったガンマ線天体の様子がわかるようになってきました。そのほかにも、銀河系内の高エネルギー天体や、活動銀河核や銀河団など銀河系外天体の観測を行っています。

2006年には活動銀河核PK S 2155-304からのガンマ線フレアを検出しました。



図1 オーストラリア・ウーメラのカンガルー望遠鏡。4台の口径10m望遠鏡からなる。

Fig.1 CANGAROO-III array of four 10 m telescopes in Woomera, South Australia. Each telescope has a reflector consisting of 114 fiber-reinforced-plastic based mirrors on a paraboloidal frame.

※ CANGAROO（カンガルー）とは Collaboration of Australia and Nippon (Japan) for a Gamma Ray Observatory in the Outback を省略した造語で、ガンマ線天体物理学のための国際協力実験です。天体からの超高エネルギーガンマ線を、南半球オーストラリアの砂漠の町・ウーメラの近郊に設置した大気チェレンコフ望遠鏡を用いて観測し、天体における高エネルギー現象の研究を行っています。

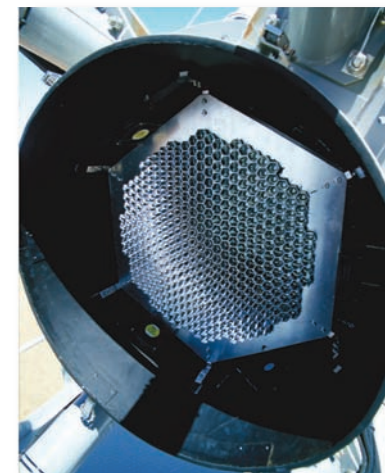


図2 チェレンコフ光のイメージを捉える光電子増倍管カメラ。  
Fig.2 Imaging Cherenkov camera consisting of 427 photomultiplier tubes subtending a field of view of about 4 degrees.

## CANGAROO

We are searching for very high-energy gamma-rays at  $TeV (=10^{12} eV)$  energies in the southern sky as the CANGAROO (Collaboration between Australia and Nippon (Japan) for a Gamma Ray Observatory in the Outback) Collaboration which is an international collaboration consisting of Japanese and Australian institutions.

Gamma-rays, which are photons with the shortest wavelengths, should be produced in the birth places of cosmic rays, where particles are accelerated to high energies, via interactions of high-energy particles with ambient matter and fields. They come straight from their production sites without any deviation caused by magnetic fields in space, and thus directly point back to celestial objects that are the origins of cosmic rays, one of the long-standing problems in high-energy astrophysics. Very-high-energy gamma-rays bombarding the earth atmosphere develop showers of particles. Charged particles in those showers emit photons, called Cherenkov light, in the forward direction. An atmospheric Cherenkov telescope catches this flash of photons by an ultra-fast camera after collecting them with a large reflector. Signals from the camera are digitized by fast electronics circuits, and gamma-ray events are extracted after sophisticated analysis.

We started observations with a 3.8m imaging Cherenkov telescope in 1992, called CANGAROO-I, in a desert area near Woomera, South Australia. We then built a new telescope, called CANGAROO-II, with a 7-m diameter reflector in 1999, which was expanded

to have a 10-m reflector, in 2000. We now have an array of four 10-m Cherenkov telescopes, called CANGAROO-III, completed in March, 2004 (Fig.1), which has been in operation on moonless, clear nights. The prime focus of each reflector is equipped with a Cherenkov imaging camera consisting of an array of 427 photomultipliers (Fig. 2) to catch images of Cherenkov light to discriminate gamma-ray showers against background showers generated by charged cosmic rays. With its stereoscopic imaging capability of Cherenkov light, we are exploring the high-energy universe via gamma-rays with excellent sensitivities and resolutions.

We have observed various active objects in the southern sky, such as supernova remnants, pulsars and their nebulae, and active galactic nuclei, and discovered several  $TeV$ -gamma-ray emitters. Examples of our results on two supernova remnants are shown in Fig. 3 and Fig. 4, where gamma-ray detection significance maps on the celestial sphere are shown in color scales. X-ray emission data by the Japanese ASCA satellite are also overplotted by contours. The most significant detection points almost coincide with the X-ray maximum positions. These observations give us hints about the origin of high-energy particles accelerated in supernova remnants. Also, we are observing other high-energy objects, such as pulsar wind nebulae in our galaxy and extragalactic objects such as active galactic nuclei and clusters of galaxies. In 2006 we detected a gamma-ray flare of an active galactic nucleus, called PKS 2155-304.

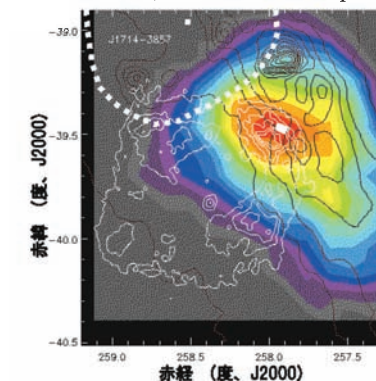


図3 超新星残骸RXJ1713.7-3946からのガンマ線信号の有意度マップ。

Fig.3 Significance map of a  $TeV$  gamma-ray signal from the supernova remnant RX J1713.7-3946 obtained from observations with the first 10 m telescope.

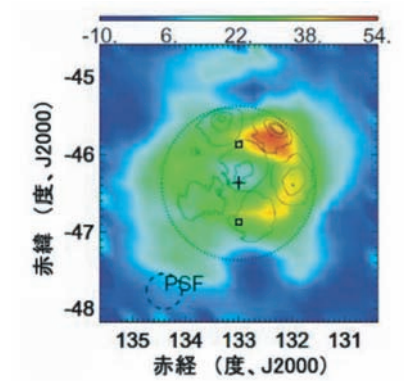


図4 超新星残骸RXJ0852.0-4622からのガンマ線信号の空間分布。

Fig.4 Signal map of  $TeV$  gamma-ray emission from the supernova remnant RX J0852.0-4622, obtained from observations with the CANGAROO-III stereoscopic system.



# AGASA/TA グループ

## Akeno Giant Air Shower Array/Telescope Array

### 研究目的と装置

●宇宙から地球に突入した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1,000億個もの粒子のシャワーになって地上に降り注ぎます。AGASAとTAの研究目的は、この空気シャワーを観測して、それを作り出した極高エネルギー宇宙線の起源を解明することにあります。

●AGASAは、荷電粒子が通過すると光を発する特殊プラスチック（シンチレーター）111台を、地表一面に1キロメートル間隔の網目状に並べたものです。全ての検出器を高速光ファイバー網（総延長140キロメートル）で繋いでデータ

を取得しました。山梨県北杜市明野町近郊の高原に設置したもので、空気シャワーの検出に有効な地表面積は100平方キロメートルです。

●AGASAが発見したのは、 $10^{20}$ 電子ボルトを超える極高エネルギーの宇宙線が存在です。これは人類が科学技術の粋を集めて建設した巨大粒子加速器が作り出すエネルギーの1億倍です。宇宙にはビッグバン名残のマイクロ波光子が満ちていますが、これほどエネルギーの高くなった宇宙線は、地球まで飛んでくる途中でこの光子と衝突してエネルギーを失ってしまいます。それで $10^{20}$ 電子ボルト以上の宇宙線は観測出来ないと考えられてきましたが、AGASAは1990年から13年にわたる観測で、そのような極高エネルギー宇宙線11例を検出しました（図1）。

●これほど高いエネルギーなら銀河系内の磁場にも曲げられずに直進するので、

発生源の天体が分かると思われました。しかし、その飛来方向には高いエネルギーの発生源になるような特別な天体が見つからないばかりでなく、点状に集中した所が見えます（図2）。これらの観測結果が正しいとすると、比較的近傍の宇宙に暗黒の極高エネルギー天体があるのか、何か未知の現象が起きているのか、そのどちらかであると思われます。これら極高エネルギー宇宙線の起源が解明出来れば、宇宙の始まりであるビッグバンや高エネルギーを発生する天体についての理解が大きく進むことは間違いありません。

### 研究の現況

●極高エネルギー宇宙線の謎を解明するために、新たな観測装置Telescope Array (TA) が建設されました。TAはAGASAの10倍規模の地表粒子検出器アレイと大気蛍光望遠鏡からなり、米国ユタ州の砂漠地帯（ソルトレーク市南方200キロメートル、標高1,300メートル）に日米韓の共同で建設しました（図3）。

●地表粒子検出器としては500台を超えるシンチレーターを網目状に並べました。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ます。大規模で強力な観測装置ですが、同時に自然環境に負荷を掛けない自立型検出器です（図4）。

●地表アレイの外縁には、大口径の広

視野望遠鏡を3ヶ所に設置し、空気シャワー中の粒子が放出する微かな光を撮影します（図5）。地表での粒子数の測定に、望遠鏡による大気中の空気シャワー発達の観測が加わるので、情報量が格段に増え、測定の精度や信頼度が高まります。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）の区別も可能になります。TAは平成20年春から全面稼働をはじめ、極高エネルギー宇宙線の起源に迫ります。



図4 砂漠に1.2km 間隔の碁盤目状に設置されたTAの地表検出器。後方に更に4台が見える。

Fig.4 One of the TA ground array detectors deployed in the field. Four more are seen behind.



図5 観測運用中のTA大気蛍光望遠鏡。光電子増倍管によるカメラを持ち、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.5 TA air fluorescence telescopes in operation.

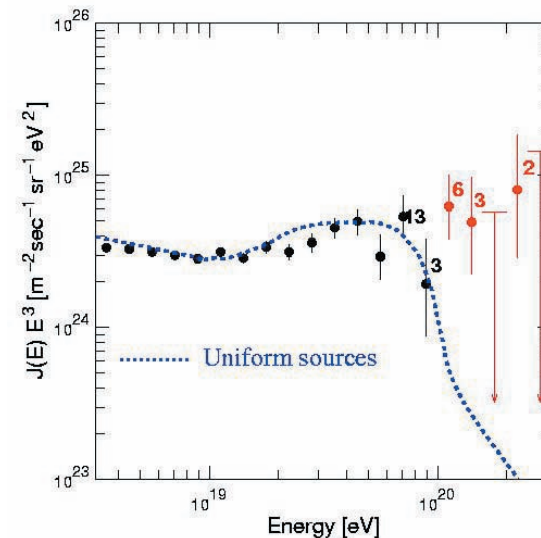


図1 AGASAで測定された宇宙線のエネルギー分布。青い破線は、銀河系外の宇宙に均等に分布する源から予測される分布を表す。

Fig.1 AGASA energy spectrum. The blue dashed curve represents the spectrum expected for extragalactic sources distributed uniformly in the Universe.

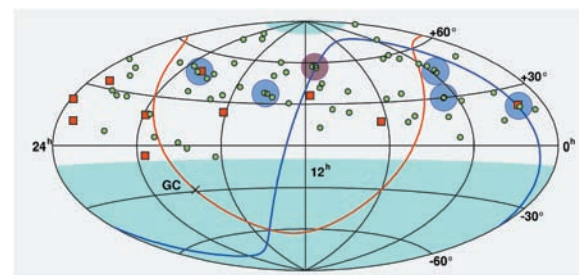


図2  $4 \times 10^{19}$ 電子ボルトを超える宇宙線の飛来方向分布。水色の円は2個、紫の円は3個集中しているところ。AGASAによる測定。

Fig.2 Arrival directions of cosmic rays with energies above  $4 \times 10^{19}$  eV. Red squares represent cosmic rays with energy of  $> 10^{20}$  eV. Light blue and purple circles indicate 2 and 3 events clustering within  $2.5^\circ$ .

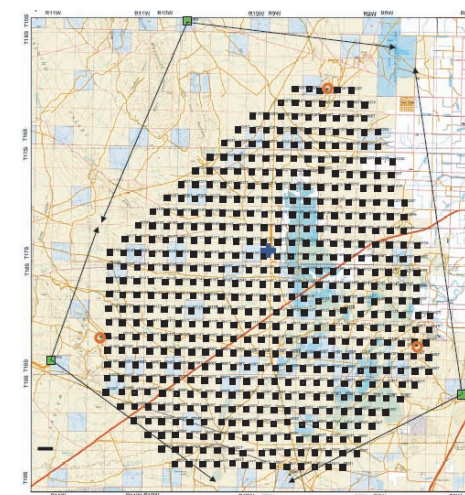


図3 TAの全体配置図。黒い四角は地表検出器の位置を、緑の四角は大気蛍光望遠鏡のステーションを示す。カバーする全地表面積は700km<sup>2</sup>で、琵琶湖の面積を超える。

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

### AGASA/TA

The AGASA is a large-scale air-shower array installed in the vicinity of Akeno Observatory, located in central Japan, 130 km west of Tokyo. It consisted of 111 plastic scintillation counters distributed over an area of 100 km<sup>2</sup> with an average spacing of 1 km. All of the counters were interconnected by a network of optical fibers for precise timing and fast data collection to the distant observatory. The AGASA detected 11 cosmic-ray events with energies exceeding  $10^{20}$  eV in its 13 years of operation starting 1990.

The propagation of ultra-high-energy cosmic rays is limited in space, since they are expected to react with the cosmic micro-wave background, and lose their energy. The arrival directions of some AGASA events are clustered in space, and seem to be pointing back to a narrow region of the sky. We searched for a large and powerful astronomical object, such as a radio-emitting galaxy and colliding galaxies, in the arrival direction of these cosmic-rays, but none were identified in the vicinity. The origin of AGASA events is difficult to pin down.

The work of AGASA is now succeeded by a new experiment Telescope Array (TA) in Utah, USA. It is composed of a ground array of 512 scintillation counters and 3 stations of air fluorescence telescopes overlooking the array from the periphery. The accuracy of the energy measurement will be greatly improved by observing the same event by the telescope and the ground array at the same time. The sensitivity of TA will be more than 10-times larger than that of AGASA by adding the array and the telescope data together. Simultaneous observations will improve the resolving power of the arrival direction, and the association of these cosmic rays with the potential astronomical sources will be better achieved. The TA was built in Utah, USA by a collaboration of Japan, USA, and Korea. Observations using the complete apparatus began in the spring of 2008 succeeding the test operation started in June, 2007. We look forward to confirming the AGASA discoveries and identifying an enigmatic origin of ultra-high energy cosmic rays in the near future.



# チベットグループ

## The Tibet AS-gamma Collaboration

### 研究目的と装置

●中国チベット自治区の羊八井高原（ヤンパーチン、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を建設し、高エネルギー宇宙線の観測を行っています。研究の目的は、①高エネルギー宇宙ガンマ線点源の探索、②超高エネルギー一次宇宙線の組成とエネルギースペクトルの計測、③高エネルギー宇宙線による太陽惑星間磁場構造の研究、④高エネルギー宇宙線の異方性の研究、等です。

●主装置として、面積0.5平方メートルのプラスチックシンチレータを7.5メートル感覚でほぼ基盤目状に並べた37,000平方メートルの空気シャワー観測装置を用いています。荷電粒子がプラスチックシンチレータを通過するときに発する光を光電子増倍管で検出し、その時間と発光量をデータとして収集します。約3 TeVの空気シャワー現象も検出出来ますが、このように低いエネルギーの空気シャワーを検出出来るのは世界で本装置だけです（図1）。

●空気シャワー装置の中心部には、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製の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）領域」と呼ばれる $10^{15} \sim 10^{16}$  eV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。

### 研究の現状

#### ●カニ星雲からの数TeVガンマ線の検出

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TeVのガンマ線を検出しました。空気シャワー装置は、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領域（ $3 \times 10^{14}$ eV～ $2 \times 10^{16}$ eV）の一次宇宙線のエネルギースペクトルの観測

空気シャワー装置により、Knee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。一方空



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.

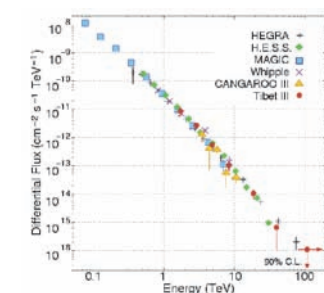


図2 カニ星雲からのTeV領域ガンマ線エネルギースペクトル  
Fig.2 Energy spectrum of TeV gamma rays from the Crab Nebula.

気シャワー装置とその中心に置かれたエマルジョンチェンバーとの連動実験からは、宇宙線組成（陽子やヘリウム成分）に関するエネルギースペクトルが得られていますが、図4から、エネルギーが高くなるに従って、重原子核成分の寄与が大きくなっていくのが分かります。

#### ●太陽活動と銀河宇宙線による「太陽の影」の変動

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の影を鮮明に捉えることが出来ます。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。太陽活動を考慮したシミュレーションと良く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活動と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

チベット実験は世界最高の統計精度で高エネルギー銀河宇宙線の異方性を観測できます。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)太陽

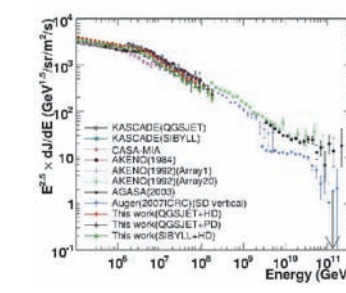


図3 Kneeエネルギー領域以上の宇宙線全粒子エネルギースペクトル  
Fig.3 All-particle energy spectrum of primary cosmic rays above "Knee" energy region.

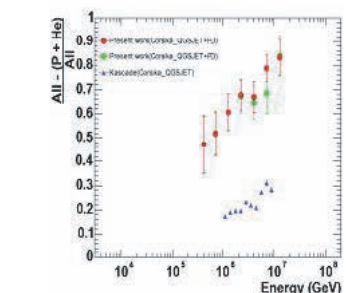


図4 Kneeエネルギー領域一次宇宙線中でヘリウムより重い原子核成分の割合のエネルギー依存性  
Fig.4 Energy dependence of fraction of nuclei heavier than helium in primary cosmic rays around "Knee" energy region.

時宇宙線異方性を観測することに成功しました。さらに、数TeVから数百TeVのエネルギーを持つ宇宙線恒星時異方性を高精度で2次元的に測定しました（図7参照）。良く知られた恒星時の異方性(Tail-inやLoss Cone)の他に、シグナス領域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%）が観測されないことより、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、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ました。

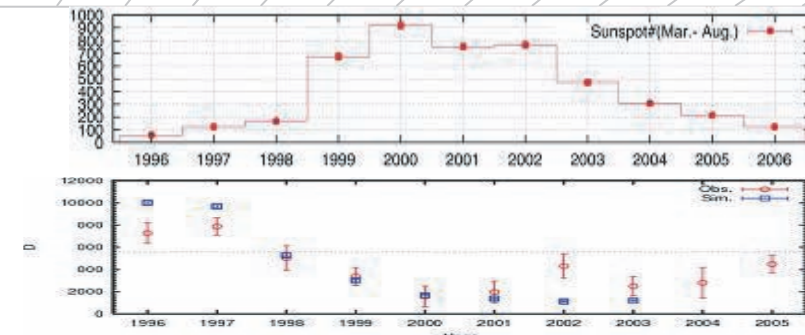


図5 上図は太陽黒点数の年変化、下図は観測された宇宙線中の太陽の影の深さに関するデータとシミュレーションの比較  
Fig.5 Upper panel: yearly variation of sun spot numbers. Lower panel: Comparison of Sun's shadow depth in cosmic rays between MC simulation and the observed data

## Tibet AS $\gamma$

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" ( $10^{15}$ - $10^{16}$  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" ( $10^{15}$ - $10^{16}$  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.

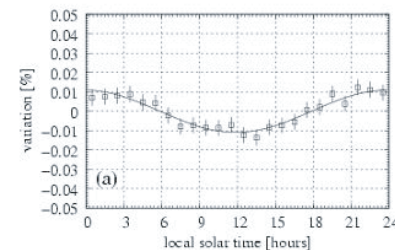


図6 太陽時宇宙線異方性（コンプトン-ゲッティング効果）の微分値（6-40 TeVの一次宇宙線データ）  
Fig.6 Differential variation of primary cosmic ray anisotropy at solar time frame (Compton-Getting effect) between 6-40 TeV.

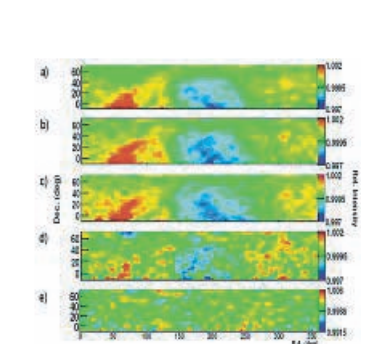


図7 恒星時宇宙線異方性 上から4, 6.2, 12, 50, 300 TeV  
Fig.7 Cosmic ray anisotropy at sidereal time frame for 4, 6.2, 12, 50, 300 TeV from above.

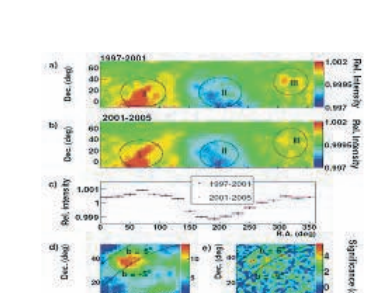


図8 シグナス領域(III)のガンマ線点源探索  
e)の赤いホットスポットに注目  
Fig.8 Search for gamma-ray point sources in the Cygnus region (III). Watch out the hot red spots in e), please.



# 重力波グループ

## Gravitational Wave Group

### 研究の目的

●アインシュタインの一般相対性理論によれば、質量を持つ物体の周囲の空間は歪んでおり、物体が運動するとその歪みが光速の波となって伝わります。これが重力波です。重力波の検出は大きな意味を持っています。例えば、超新星爆発やブラックホール形成などの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、ニュートリノと比べると、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。しかし、重力波は検出が極めて難しく、間接的にしか見つかっていません。私達の最終研究目標は、重力波を直接検出することです。

●重力波は、質量を持つ二つの物体間の距離が重力波によって変化することを利用して検出します。その変化は、地球太陽間の距離が水素原子一個分変わる位、小さいものです。測定にはレーザー光による干渉計を用います。光を直交する2本の光路に分け、鏡で折り返してまた重ねることによって、小さな変化を見つけます。感度を上げる根本条件は干渉計の光路を長くすることですが、雑音を極力取り除くことも大切です。

### 研究の現況

●私達は国立天文台などと共同で完成した光路300メートルの干渉計（TAMA）を用いた実験を行っています。これまで9回の観測を行い、通算で3,000時間を超えるデータを蓄積しました。

●私達は意欲的で画期的な次期計画LCGTの試験研究を終え建設のための概算要求を行っています。重力波は天地がひっくり返る程の天変地異が発生するものでないと観測出来ず、遠くまで見渡せる能力が鍵となります。光路300メートルのTAMAが見ているのは300万光年（我々の銀河の少し先）まで、光路が3～4キロメートルある海外の大型干渉計は7千万光年（銀河団）まで観測出来ます。一方LCGTは、TAMAで獲得した世界最高の雑音除

去技術を基礎に光路も充分な3キロメートルを計画しており、7億光年（超銀河団）まで見る事が出来ます。LCGTには3つの大きな特徴があります。

- ① 出力の極めて強いレーザー光を用いる。
- ② 熱雑音を下げのために、極低温鏡を用いる。
- ③ 雑音排除のために、岩盤の地下に設置する。

私達はLCGTの予備研究として、神岡地下に100メートル低温レーザー干渉計（CLIO）を設置し極低温鏡によるレーザー干渉計の動作に成功しました。



図1 LCGTの完成予想図

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

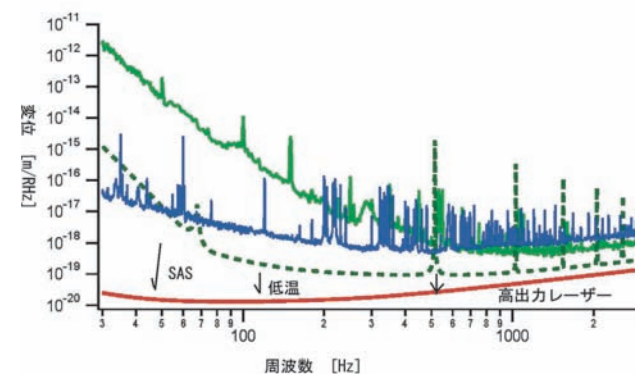


図2 LCGTの感度曲線（赤線）と、TAMA（緑線）、100メートルプロトタイプ低温干渉計（青線）の現状感度。

Fig.2 The achieved sensitivities compared with the target one of LCGT. The vertical axis represents square root of displacement noise power density (the strain is divided by its baseline length). The bright green curve is the noise spectrum of TAMA (at the time of data-taking run in 2004). The blue curve shows that of the CLIO. The dotted green curve represents TAMA design and the lowest red one is the target of LCGT. The sensitivity at low frequencies is improved by newly developed seismic attenuation system (SAS). The sensitivity at higher frequencies is attained by higher power laser. The mid-frequency region is improved by cryogenic mirror system. The sensitivity of LCGT is limited by fluctuating photon pressure noise at low frequencies and by photon shot noise at higher frequencies.



図3 設置された100m基線長の低温レーザー干渉計（CLIO）。光学系と低温部分の調整を行っている。写真は魚眼レンズで撮ったサファイア低温鏡を収めた真空クライオスタット。

Fig.3 A 100m cryogenic interferometer prototype, CLIO, is built underground at Kamioka. Adjustments of optics and cryogenics are on-going. The picture of viewing an end chamber of cryostat housing a sapphire cryogenic mirror was taken by a fish-eye lens camera.

## Gravity

The gravitational wave group conducts R&D experiments of the Large-scale Cryogenic Gravitational wave Telescope (LCGT) 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. We have developed a 20 m prototype Fabry-Perot interferometer, a 100 m delay-line interferometer, and a 300 m TAMA interferometer in collaboration with researchers of other research organizations in Japan.

Figure 2 shows the achieved sensitivities compared with the target one of LCGT. LCGT is designed to detect at the quantum limit a strain on the order of  $h_{10}^{-22}$  in terms of the metric perturbations at a frequency of around 140 Hz. This would enable the detection of coalescing binary neutron stars of 1.4 solar mass to 180Mpc at its optimum configuration, for which one expects a few events per year, on average. To satisfy this objective, LCGT adopts a power-recycled Fabry-Perot Michelson interferometers with a 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.

We have succeeded in operation of a 100 m cryogenic interferometer, CLIO, underground at Kamioka for practical tests of the cryogenic mirrors, which is one of the key technologies of LCGT (in Figure 3).

For detailed, references, please see <http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/gr/gr.html>



# SDSS グループ

## The Sloan Digital Sky Survey

### 研究目的と装置

●SDSS（スローンデジタルスカイサーベイ）グループは、米国・日本・ドイツの大学・研究所で構成する国際協力研究で、史上最大規模の宇宙地図を作ることを目指しています。装置は、米国アリゾナ州に設置した口径2.5メートルの広視野専用望遠鏡（写真左端）、同時に5色の天体画像を撮る合計1.4億画素のモザイクCCDカメラ、そして約600本の光ファイバーを用いた分光器です。装置全てが世界最高のサーベイ性能を誇ります。天体画像からは天体の位置と明るさが、多色の画像からは物理情報が、分光観測からは天体の赤方偏移（距離に相当）と詳細な物理情報が得られます。

●SDSSは100万個の銀河と10万個のクエーサー（QSO）のデータ取得を目指します。画像のみの銀河は1億個におよび、今までに人類が観測した数の1,000倍になります。データ量のみでなく精度も均一で最高のものを目指しており、これまで曖昧であった天体の明るさも物理的な側面から再定義し、小型の専用望遠鏡で常に基準星との較正を行っています。これらの緻密な作業が天文学に量と質との両面で画期的な情報革命をもたらします。

●SDSSのデータは、その膨大で均一な銀河データが宇宙の大規模構造の精密な決定を可能にし、宇宙進化の理解に画期的な進歩をもたらしました。さらに近傍銀河の詳細な分類と進化、銀河団の構造と進化などの研究に大きな前進をもたらすと期待されます。

### 研究の現況

●1998年5月のファーストライト、1999年の観測装置の調整を経て、2000年秋より本サーベイを開始した観測は2005年6月に終了しました。約9,700平方度の画像データと約114万天体の分光データが得られています。

●SDSS-IIとして3年間の追加観測が2008年7月まで行われています。SDSS-IIではこれまでの銀河のサーベイに加えて、銀河系の中の星のサーベイと超新星サーベイが行われています。

●SDSSの三次元宇宙地図は銀河の分布の精密な測定を可能にし、それによって、暗黒エネルギーと「冷たい」暗黒物質の存在を確証しました。また、赤方偏移が5を超えるQSOを多数発見し、宇宙初期のガスの電離状態がある赤方偏移で大きく変化していることを見出しました。その他、重力レンズや近傍銀河の制度の高い研究も進んでいます。



図1 アパッチポイント観測所（米国ニューメキシコ州）  
Fig.1 Apache Point observatory (NM,USA)

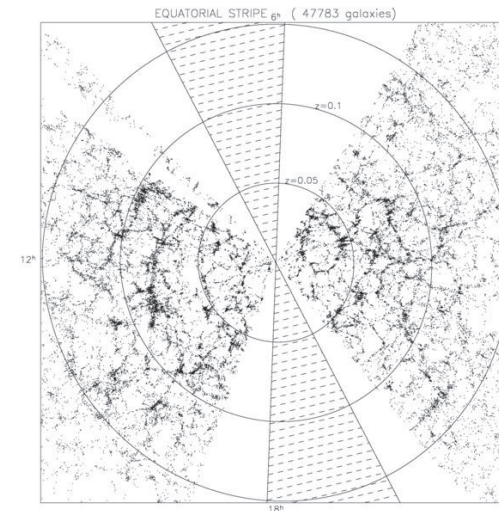


図2 SDSSが観測した $z < 0.15$ の銀河分布  
Fig.2 Galaxy distribution in the equatorial slice of sky to  $500h^{-1}\text{Mpc}$  ("wedge diagram") in the SDSS main galaxy sample.

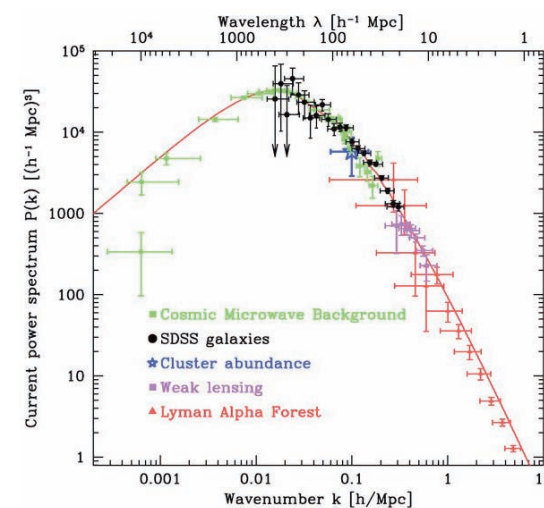


図3 SDSSを始めとする複数の観測手法による宇宙の物質のゆらぎを表わすスペクトル。「冷たい」暗黒物質に基づく理論予想（赤線）との良い一致を示している。

Fig.3 The power spectrum of galaxy clustering scaled to the present epoch (SDSS galaxies) plotted with four other independent measures. These measurements agree with the theoretical prediction (red line) based on cold dark matter.

## SDSS

The Sloan Digital Sky Survey (SDSS) project is undertaking a photometric survey of half the northern sky and a follow-up spectroscopic survey of about one million galaxies and one hundred-thousand quasars, while producing a catalogue and a detailed database of those objects. The catalogue and the database far exceed any pre-existing ones in both size and accuracy, giving the potential for renovating many aspects of astrophysical sciences.

The staff members of the ICRR/SDSS group were engaged in constructing the observatory and the instruments for 1992-1999, together with American colleagues, and have privilege of advanced use of data from SDSS observations, which are now in a routine mode. The scientific objectives of the ICRR/SDSS group are cosmology and related astrophysical phenomena, with prime emphasis on understanding the evolution of the Universe and galaxies; a key phrase would be "quantitative cosmology".

The studies obviously not only make much use of the SDSS data base (which has turned out to be inexhaustible), but also use other resources, occasionally by conducting observations at the Subaru Telescope, when needed.

A part of our work using SDSS is being carried out in collaboration with American and German SDSS team members.



## 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。

●素粒子の研究では、素粒子間に働く力が問題となります。この力には、電磁気力、弱い力、強い力、重力の4つがあることが分かっていたましたが、このうち電磁気力と弱い力とは同じ力であると判明し統一されました。このモデルは素粒子の標準模型と呼ばれ、現在まで高い精度で実験的に検証されています。その一方で、このモデルは量子論的な不安定性を持つため、何らかの変更が必要であると考えられています。また、いくつかの実験結果もこの変更の必要性を示唆しています。その一つがニュートリノ振動を予言するニュートリノの質量であり、もう一つが強い力を含む3つの力を統一する大統一理論の予言、すなわち3つの相互作用の強さが高いエネルギーで一致することです。理論グループでは、標準模型を超える理論の構築の研究、およびその加速器、非加速器両実験によるその検証をどのようにすればいいのかを研究しています。中でも、今日多くの研究者に注目されているのが超対称性と呼ばれる時空の概念を変える高い対称性を持つモデルで、この研究は理論グループの重要なテーマになっています。

●素粒子の標準模型を超える新しい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の物理的帰結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・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。

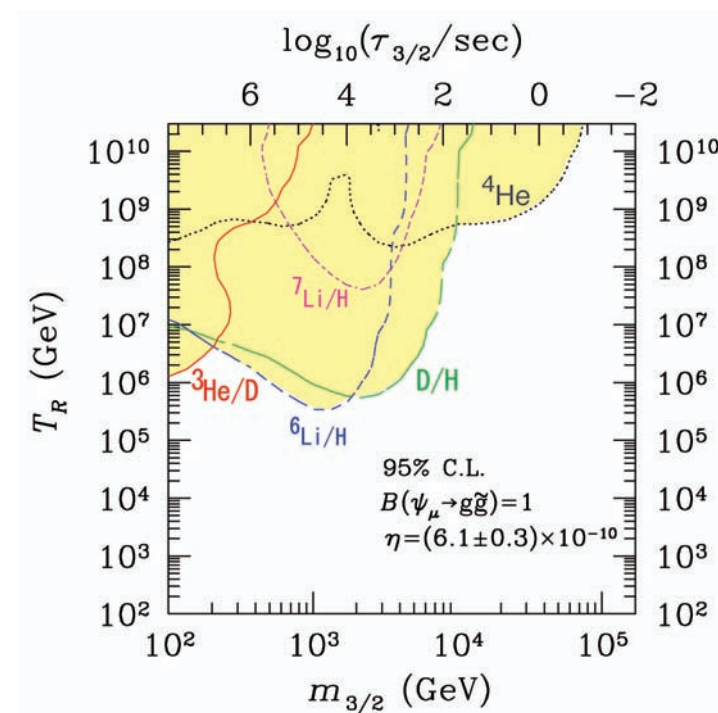


図1 長寿命グラビティーノを予言する超重力理論における、宇宙の元素合成から期待されるインフレーション後の再加熱温度の上限。横軸はグラビティーノの質量およびそこから期待される寿命を表す。

Fig.1 Upperbounds from the Big Bang Nucleosynthesis on the reheating temperature after inflation in supergravity theories, which predict long-lived gravitino. The horizontal axis is for the gravitino mass (and the lifetime).

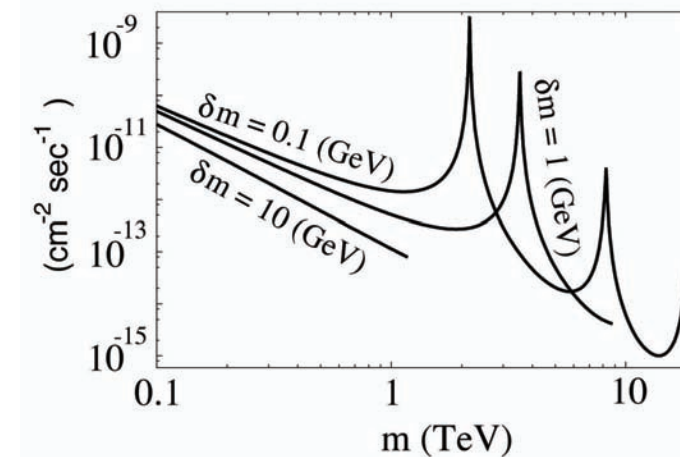


図2 暗黒物質の候補であるニュートラリーノの銀河中心での対消滅過程から生じるラインガンマ線の地球での流量。横軸はニュートラリーノの質量を表す。

Fig.2 Line gamma-ray flux from neutralino dark matter annihilation in the Galactic center. The horizontal axis is for the neutralino mass.

## Theory

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

In Nature, four forces between the elementary particles exist: electromagnetic, weak, strong and gravitational. Nowadays, the unified theory, in which the electromagnetic and weak interactions have a common origin, has been confirmed with high precision by many dedicated experiments. Furthermore, grand unified theories, which unify the electromagnetic, weak and strong interactions, have been proposed. Most models predict proton instability, along with a finite neutrino mass. The theory group is studying theoretical aspects for phenomena predicted in the grand unification theories, such as proton decay and neutrino oscillation.

It is conceivable the Nature has higher symmetries at high energy scale, and that the 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 the Theory group.

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



# RCCN 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年に設立されました。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、従来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。更に、次期長基線ニュートリノ振動実験T2Kに参加し、次世代のニュートリノ研究を推進して行きます。

●平成17年度は、国内の実験と理論の研究者の情報交換などをはかることを目的に「宇宙ニュートリノ研究会」を2回開催しました。2回とも参加者は約

30名で、活発な議論が行われました。また、ニュートリノに関する一般講演会を毎年開催していますが、平成17年度は5月15日(日)に開催され、おおよそ200人の参加者を得て好評のうちに終了しました。また、海外からの客員研究者1名を受け入れ、本センターの研究者と共にニュートリノ研究を推進しました。

●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、平成17年度は7件の共同利用を受け入れました。また、それ以外に研究会等の共同利用3件を受け入れました。

●宇宙ニュートリノセンターでは、本研究計算機委員会と共に、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17年度は、計算機は順調な運用が行われましたが、ディスク容量が不足してきたため、平成17年度末にディスクを増強しました。新たなディスクは平成18年度から本格的に共同利用研究に活用される予定です。

## RCCN

The Research Center for Cosmic Neutrinos 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. In FY2006, we hosted two domestic neutrino workshops. In each meeting, about 40 physicists participated.

Members of this center are involved in Super-Kamiokande, K2K and T2K experiments, carrying out research activities in neutrino physics. Atmospheric neutrino data from Super-Kamiokande give one of the most precise type 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 order to accurately predict this flux, it is important to know details of the data based on measurements of primary and secondary cosmic-ray fluxes. For this reason, we have a close collaboration with researchers working on cosmic-ray flux measurements.

It is important that the general public knows about the achievements of the present science. For this reason, we have a public lecture every year. In FY2006, the public lecture was held on April 22 (Sat) at Kashiwa. About 200 people heard the lectures. Since 2004, RCCN has been acting as a body to accept inter-university programs related to activities in the low-background underground lab. in Kashiwa. We accepted 7 programs related to the low-background lab. In addition, this center, together with the computer committee of ICRR, is in charge of operating the central computer system in ICRR. The computer system was operated very successfully in FY2005

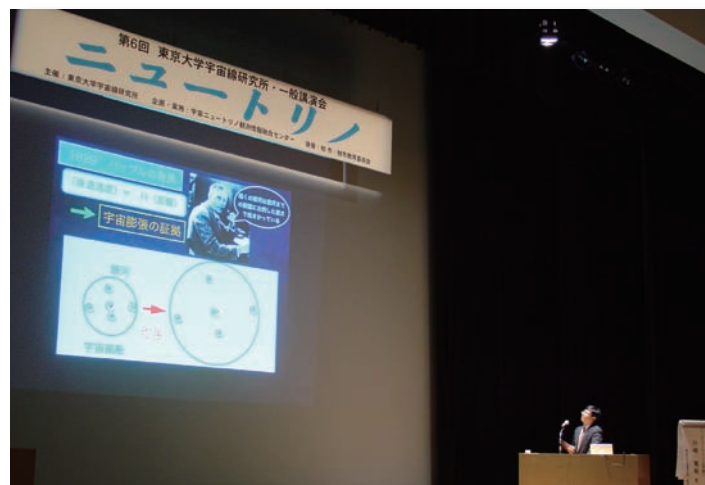


図1 平成17年5月15日に柏市で開催された一般講演会。  
Fig.1 Photo: Public lecture in Kashiwa on May 15, 2005.

# 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飛跡として残します。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紫外線、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生を目指しています。

●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UVイメージイ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いるところです。



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。

Fig.1 Views of the Ashra observational stations at the Mauna Loa Site of which civil engineering construction has been 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.

## 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 UV light, 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 UV image intensifier, mounted on the focal surface. We can now well 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 have made two new sensors for the trigger system.

We have 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.



# 神岡宇宙素粒子研究施設 Kamioka Observatory

## 研究内容

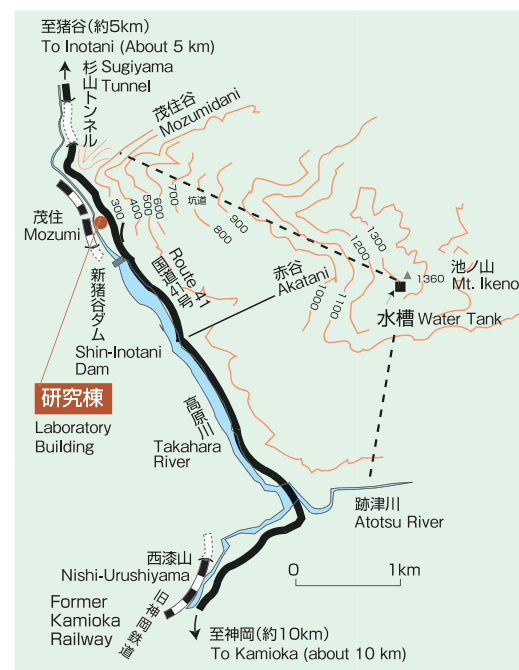
神岡鉱山内に設置された世界最大の水チェレンコフ検出器スーパーカミオカンデを用いて、ニュートリノや陽子崩壊に関する研究を行っています。平成10年には大気ニュートリノ振動を発見してニュートリノ質量の存在を明らかにしました。平成13年にはカナダSNO実験と共に太陽ニュートリノ振動を発見、平成14年にはつくばにある高エネルギー加速器研究機構から打ち込まれた人工ニュートリノを用いてニュートリノ振動を確認しました。同じ坑内では100メートルレーザー干渉計による重力波及び地球物理の研究、低バックグラウンド検出器による暗黒物質探索の研究も進められています。付近には専任スタッフや共同利用研究者のための研究棟、宿泊施設等があり、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/cm<sup>3</sup>

## 交通

- 富山空港→バス（30分）→富山駅  
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）



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 1,000 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. There are also 100 m long laser interferometers in Kamioka Mine that are aiming to study gravitational waves and geophysics. Using the low-background environment in Kamioka Mine, dark-matter search experiments are also being prepared. One of the experiments is called XMASS, which is described in the section Neutrino and Astroparticle Division. 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/cm<sup>3</sup>

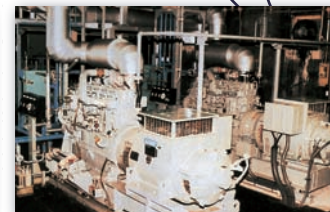
## Access

- Toyama Airport → Bus (30min.) → Toyama Sta. → JR Takayama Line (50min.) → Inotani Sta. → Bus (10min.) → Mozumi Bus Stop → Walk (1min.)
- Toyama Sta. → Bus (70min.) → Mozumi Bus Stop → Walk (1min.)

# 乗鞍観測所 Norikura Observatory



夏季の観測所  
Norikura Observatory in summer



自家発電機  
Power generator

## 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豊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、乗鞍観測所はその付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・FAX：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70KVA3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

## 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 Tatamida in 1949. In the next year, 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 an 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 the facilities of ICRR. The observatory has been hosting cutting-edge cosmic-ray research, including studies of particle and nuclear interactions in ultra-high-energy regions, cosmic-ray modulations by magnetic fields and solar activities in the galaxy and interplanetary space, and observation of solar neutrons. In addition, recent activities include research related to Earth environments. For example, aerosols are observed on an unpolluted high mountain to study their transport mechanisms and their effects on air pollution and cloud generation; also, 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 to conduct 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, Minamiazumi-gun, 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

明野観測所は、 $10^{20}$  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の研究や、宇宙における極高エネルギー宇宙線の発生源の研究を行っています。また、これに関連する装置開発や試験観測の共同利用研究を支援しています。主要装置の AGASA は、平成 2 年以来 13 年間世界最大の空気シャワー観測装置として運用を行っていましたが、後継の大規模装置 Telescope Array (TA) に観測を引き継ぐべく、平成 16 年 1 月に運用を停止しました。現在、観測所の諸設備は、TA の装置建設と調整、試作検出器の開発と試験観測のために使われています。AGASA は、TA の一部に組み込んで運用を続けるため、米国ユタ州に移設します。

## 所在地

住所：〒407-0201 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 air showers with energy levels exceeding  $10^{20}$  eV are observed. Also the development of air-showers and the origin of extremely high-energy cosmic rays are studied. In addition, this observatory supports the development of equipment related to these studies and test observations of inter-university joint-use research. Its main equipment, "AGASA", had been in operation as the world's largest air-shower detector for 13 years since 1990, but its operation was terminated in January, 2004, while handing over observations to its larger scale successor, "Telescope Array (TA)". At present, the facilities at Akeno Observatory are used for the construction and arrangement of TA, the development of prototype detectors, and pilot observations. "AGASA" will be relocated to Utah, U.S.A., to continue its operation as a part of TA.

## Location

Address: 5259 Asao, Akeno-machi, Hokuto-shi, Yamanashi Prefecture 407-0201 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 がある領域  
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、「センタウロ」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.



# 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 I G Y（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・コ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附属施設となり、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C O E 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T A 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。



## 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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> 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.



# 年表

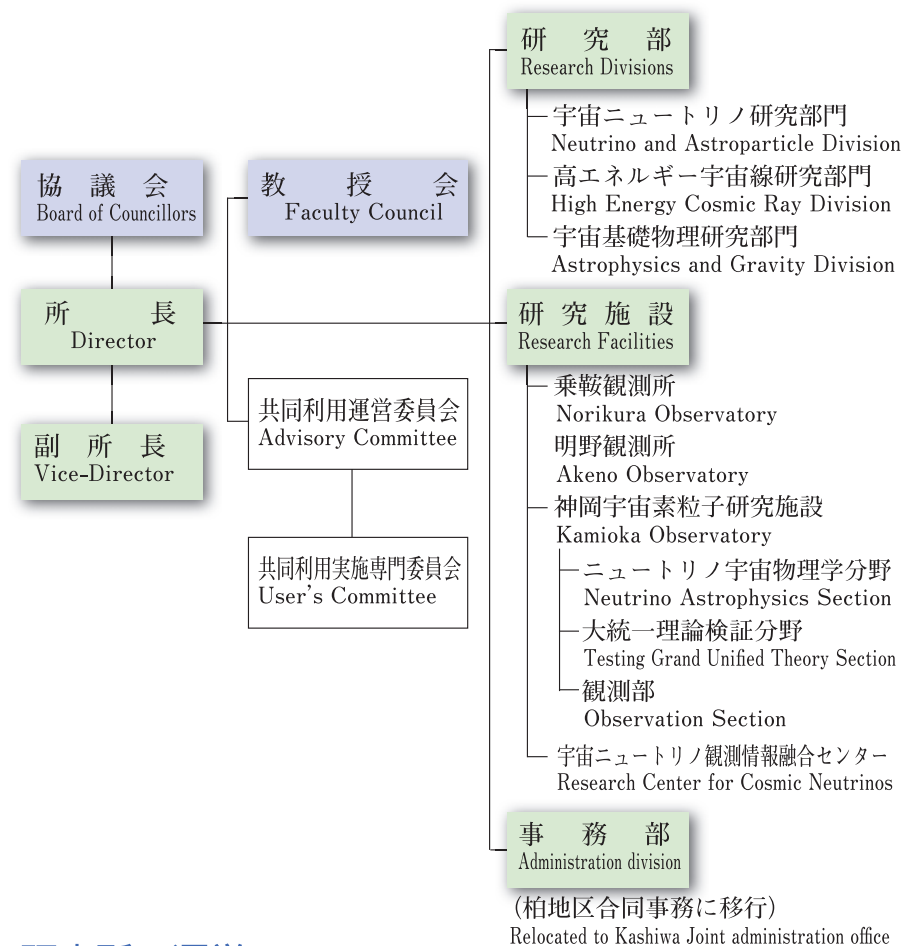
## Timeline

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、ポ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、ポ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 超高エネルギー強相互作用部門が新設される
昭和 51 年	1976	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ウ中間子測定・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）
昭和 56 年	1981	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 57 年	1982	宇宙線計測部門（客員）が新設される
昭和 58 年	1983	神岡鉱山で共同実験の陽子崩壊実験を開始する 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（ミュウ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 × 1020eV 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的貢献により、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）

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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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. 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 <sup>20</sup> 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.）. The 28th International Cosmic Ray Conference was held in Tsukuba（Aug.）.
2003	The construction of the Telescope Array was commenced. Four telescopes for the Cangaroo-3 Project were completed. Japanese national universities became independent administrative agencies（Apr. 1）.
2004	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）.



# 組織・運営 Organization and Administration



## 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・准教授の内ですら所長が命じた者、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。
- 共同利用運営委員会**：共同利用施設の運営について、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（内外ほぼ同数）で構成されます。
- 共同利用実施専門委員会**：共同利用研究を円滑に進めるための審議をし、共同利用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。

## 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 the joint-use facilities and submitting them to the Faculty council. This committee is composed of about 14 researchers from inside and outside of ICRR (the number of inside researchers is almost equal to those from outside).

### User's Committee:

This is a committee for having discussions to facilitate joint-use research and suggesting and reporting to the Advisory Committee. This committee is composed of members selected from inside of ICRR, and outside members who have academic careers.

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

## 教職員数

教授 Professors	准教授 Associate Professors	助教 Research Fellows	教員合計 Total Number of Acadmic Staffs	技術職員等 Technical Staff	総合計 Total Number of Staffs
8 (0) [1] < 0 >	14 (0) [0] < 0 >	20 (1) [0] < 0 >	42 (1) [1] < 0 >	9 (0)	51 (1) [1] < 0 >

( ) は女性で内数、[ ] は客員で外数、< > は外国人客員で外数  
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

### ●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～

### ●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-

### ●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

区分 Category		平成 15 年度 FY 2003	平成 16 年度 FY 2004	平成 17 年度 FY 2005	平成 18 年度 FY 2006	平成 19 年度 FY 2007
人件費	Personal Expenses	434,874	539,000	465,000	566,000	624,000
物件費	Non-personal Expenses	1,785,449	1,902,000	1,822,000	812,000	1,253,000
合 計	Total	2,220,323	2,441,000	2,287,000	1,378,000	1,877,000

## 外部資金等 External Funds, etc

区 分 Category	平成 15 年度 FY 2003		平成 16 年度 FY 2004		平成 17 年度 FY 2005		平成 18 年度 FY 2006		平成 19 年度 FY 2007	
	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	0	0	0	0	0	0	0	0
受託研究 Entrusted Research	2	1,950	3	237,364	5	206,369	0	0	5	21,730
奨学寄付金 Donation for Scholarly Development	2	505	2	50,446	3	5,380	3	2,000	2	10,930
科学技術振興調整費 Adjustment Costs for the Promotion of Science and Technology	1	182,975								

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

研究種目 Research classes	平成 15 年度 FY 2003		研究種目 Research classes	平成 16 年度 FY 2004		平成 17 年度 FY 2005		平成 18 年度 FY 2006		平成 19 年度 FY 2007	
	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
COE 形成基礎研究 Basic Research for the COE Development	1	208,000	特別推進研究 (COE) Research Category(COE)	0	0	0	0	0	0	0	0
特別推進研究 Special Promotion Research			学術創成研究 Creative Scientific Research							1	98,000
特定領域研究 Particular Field Research			特定領域研究 Particular Field Research			5	256,000	3	148,000	4	68,000
特定領域研究 (A) Particular Field Research (A)	2	180,000	特定領域研究 (1) Particular Field Research (1)	2	21,000						
特定領域研究 (B) Particular Field Research (B)	11	321,703	特定領域研究 (2) Particular Field Research (2)	5	387,000						
基盤研究 (A) Basic Research (A)	1	13,260	基盤研究 (S) Basic Reserch							1	10,000
基盤研究 (B) Basic Research (B)	1	15,340	基盤研究 (A) (1) Basic Research (A) (1)	3	59,000	5	42,000	6	77,000	4	44,000
基盤研究 (C) Basic Research (C)	1	8,700	基盤研究 (A) (2) Basic Research (A) (2)			2	13,000				
	6	5,800	基盤研究 (B) (2) Basic Research (B) (2)	3	17,000	2	2,000	1	2,000	3	16,000
奨励研究 (A) Encouraged Research (A)	2	3,300	基盤研究 (C) (2) Basic Research (C) (2)	3	3,000			2	2,000	2	2,000
国際学術研究 (学術調査) International Academic Research(Academic Investigation)			若手研究 (A) Young Researcher's Research (A)			1	10,000	1	4,000	1	3,000
萌芽的研究 Exploratory Research	2	3,400	若手研究 (B) Young Researcher's Research (B)	6	8,000	3	5,000	3	4,000	6	8,000
国際学術研究 (共同研究) International Academic Research(Collaborative Research)			萌芽的研究 Exploratory Research	1	2,000	1	1,000	2	4,000	1	1,000
特別研究員奨励費 Scholarship for Special Researchers	8	8,700	若手研究(スタートアップ) Special Researcher's Research					2	3,000	2	2,000
合 計 Total	36	606,203	特別研究員奨励費 Scholarship for Special Researchers	23	497,000	19	329,000	20	244,000	25	252,000

## 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-XXXX (ダイヤルイン) 5-1-15 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba Prefecture, Japan TEL: +81-4-7136-XXXX (direct dialing)	237,452 (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 456 TEL: 0578-85-9620 456 Higashimozumi, Kamioka-cho, Hida-shi, Gifu Prefecture, Japan TEL: +81-578-5-2116	68,903 (借入)	2,071 (借入 56)
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, Japan TEL: +81-90-7721-5674	59,707 (借入)	1,655
同 鈴 蘭 連 絡 所 Suzuran Lodge of Norikura Observatory	長野県松本市安曇村 4306-6 TEL: 0263-93-2211 4306-6 Azumi-mura, Minamiaizumi-gun, Nagano Prefecture, Japan TEL: +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 5259 TEL: 0551-25-2301 5259 Asao, Akeno-machi, Kitakyomge-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 Joint-Use Research, Education/International Exchange

## 共同利用研究

東京大学宇宙線研究所は、全国共同利用研究所として、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にて採択します。平成18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 19 年度利用状況 Joint use in fiscal 2007	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	35 (35)	35 (35)	502 (502)
高エネルギー宇宙線研究部門 High Energy Cosmic Ray division	45 [10]	45 [10]	516 [73]
宇宙基礎物理研究部門 Astrophysics and Gravity division	9	9	167
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	80

( ) 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 15 年度 FY 2003	平成 16 年度 FY 2004	平成 17 年度 FY 2005	平成 18 年度 FY 2006	平成 19 年度 FY 2007
修 士 Master's course	18 (2)	25 (3)	27 (2)	18 (1)	16 (2)
博 士 Doctor's course	13 (1)	14 (1)	16 (2)	21 (2)	29 (3)
合 計 Total	31 (3)	39 (4)	43 (4)	39 (3)	45 (5)

( ) 内は女性で内数  
The parenthesis "( ) " represents the number of female students.

## Joint-Use Research

A total of 1227 researchers have joined research programs at ICRR during a 5-year period from fiscal 1999 to fiscal 2003.

## 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.

## 国際協力研究プロジェクト

- 1 ポリビアのチャカルタヤ山では、エマルション・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 オーストラリアのウーメラでは、大気チェレンコフ望遠鏡を用いて超高エネルギーガンマ線源の探索が行われています。
  - 3 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。
  - 4 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。
  - 5 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	
1995 年中国科学院高能物理研究所 (中国) Institute of Physics, Chinese Academy of Science (China)	①
1995 年アデレード大学物理数学部 (オーストラリア) School of Physics and Mathematics, University of Adelaide (Australia)	②
1995 年ボストン大学大学院文理研究科 (米国) Graduate School of Arts and Sciences, Boston University (the United States)	③
1995 年ハワイ大学理学部 (米国) Department of Science, University of Hawaii (the United States)	④
1995 年ユタ大学理学部 (米国) College of Science, University of Utah (the United States)	⑤
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)	⑥
1994 年ポリビアサンアンドレス大学 (ポリビア) Universidad de San Andrés (Bolivia)	⑦
1996 年ロシア科学アカデミー原子核研究所 INR, Russian Academy of Sciences	⑧
2007 年西オーストラリア大学生命物理科学部 The Faculty of Life and Physical Sciences of The University of Western Australia	⑨

## 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19年度で743名に上ります。また、文部科学省または日本学術振興会を通じて招聘した研究者は、欧米の研究者が多く、インド、ブラジルがこれに次いでいます。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	2003	2004	2005	2006	2007
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)	46	24	25	5	4
外国人研究者 (学振招聘分) Foreign researchers(Invited by the Japan Society for the Promotion of Science)	3	5	3	2	1

## International Project

1. On Mt.Chacaltaya in Bolivia, nuclear interactions by cosmic rays is being studied using emulsion chambers.
  2. In Woomera, Australia, sources of ultra-high energy gamma rays are searched for by utilizing atmospheric Cherenkov telescopes.
  3. On Yangbajing Plateau in Tibet, an experiment on high-energy cosmic rays is being conducted by using an air-shower detector.
  4. In Utah, U.S.A., a project for studying highest energy cosmic rays is in progress.
- In addition, many researchers from the U.S. are engaged in underground experiments at Kamioka

## International Exchange

A total of 733 foreign researchers are joining ICRR Joint-Use research projects in 2007. In addition, invited researchers were assemble via the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and technology or Japan Society for the Promotion of Science. European and U.S. researchers are dominant, and Indian and Brazilian researchers follow them. Recent data on the number of accepted foreign researchers are given in Table 2.



# 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。

- 山越和雄追悼シンポジウム 宇宙塵と関連問題 (主催)  
1996年(H8)1/16 東大原子核研究所(東京) 75名
- 最高エネルギー領域宇宙線・宇宙線物理と将来計画  
ワークショップ (主催)  
1996年(H8)9/25～28 東大原子核研究所(東京) 38名
- 宇宙線研究所将来計画シンポジウム  
宇宙線研究の現状と展望 (主催)  
1997年(H9)10/8～9 KEK田無講堂(東京) 125名
- 重力と宇宙物理に関する国際ワークショップ (主催)  
1997年(H9)11/17～20 KEK田無講堂(東京) 61名
- 国際ワークショップ 中性子星とパルサー (共催)  
1997年(H9)11/17～20 立教大学(東京) 110名
- 第18回ニュートリノ物理学・宇宙物理学国際会議：  
(NEUTRINO98) (ホスト)  
1998年(H10)6/4～9 高山市民会館(岐阜) 358名
- 日本学術会議50周年記念シンポジウム  
わが国における宇宙線分野の将来計画 (主催)  
1999年(H11)3/2 日本学術会議講堂(東京) 120名
- ニュートリノ物理学の将来ワークショップ (主催)  
1999年(H11)3/3～4 KEK田無講堂(東京) 75名
- 第2回TAMA重力波検出器ワークショップ (共催)  
1999年(H11)10/19～22 80名  
代々木青少年記念オリンピックセンター(東京)
- 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  
「高エネルギー宇宙のエネルギー収支」 (共催)  
2006年(H18)2/22～24(千葉) 126名
- 国際ワークショップ  
「J-PARC ニュートリノビームに対する  
韓国遠隔検出器」 (共催)  
2006年(H18)7/13～14(韓国) 61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):

- Jan. 16, 1996**  
Symposium Commemorating Kazuo Yamakoshi: Cosmic Dust and Related Issues  
Institute for Nuclear Study (Tokyo) 75
- Sep. 25-28, 1996**  
Workshop on Highest Energy Area Cosmic Rays, Cosmic Ray Physics, and Future Plans  
Institute for Nuclear Study (Tokyo) 38
- Oct. 8-9, 1997**  
Symposium on Future Plans of ICRR: Status Quo and Outlook of Cosmic Ray Research  
Tanashi Auditorium of KEK (Tokyo) 125
- Nov. 17-20, 1997**  
International Workshop regarding Gravity and Astrophysics  
Tanashi Auditorium of KEK (Tokyo) 61
- Nov. 17-20, 1997**  
International Workshop on Neutron Stars and Pulsars (co-hosted)  
Rikkyo University (Tokyo) 110
- Jun. 4-9, 1998**  
The 18th International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (NEUTRINO 98) Takayama Public Cultural Hall (Gifu) 358
- Mar. 2, 1999**  
Symposium Celebrating the 50th Anniversary of the Science Council of Japan: Future Schemes in the Cosmic Ray Field in Japan Auditorium of the Science Council of Japan (Tokyo) 120
- Mar. 3-4, 1999**  
Workshop on the Future of Neutrino Physics  
Tanashi Auditorium of KEK (Tokyo) 75
- Oct. 19-22, 1999**  
The 2nd Workshop on TAMA Gravitational Wave Detector (co-hosted)  
National Institution for Youth Education (Tokyo) 80
- 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

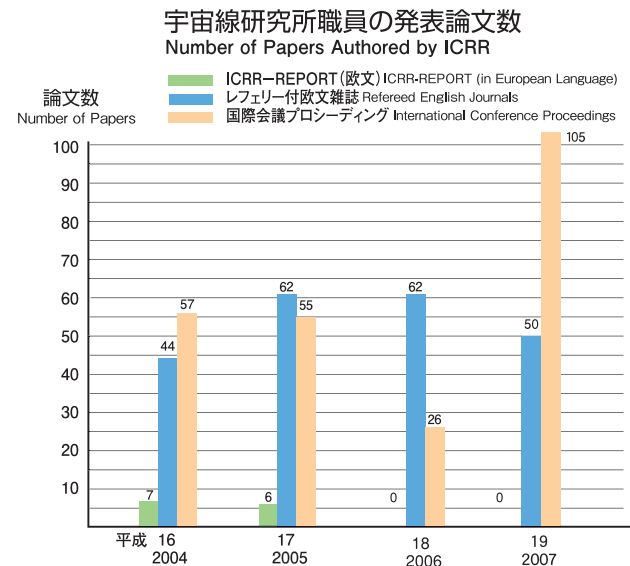
- Mar. 22-23, 2001**  
International Workshop on Highest Energy Cosmic Rays  
Kashiwa Campus of The University of Tokyo (Chiba) 120
- Dec. 3-4, 2001**  
The 3rd International Workshop for Elucidating Neutrino Oscillation and Its Origin  
Kashiwa Campus of The University of Tokyo (Chiba) 91
- Sep. 25-28, 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



# 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示します。



## 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 9 年 (1997)	仁科記念賞	木舟 正	超高エネルギーガンマ線天体の研究
	●平成 11 年 (1999)	朝日賞	スーパーカミオカンデ観測グループ	ニュートリノに質量があることの発見
	●平成 12 年 (2000)	仁科記念賞	梶田 隆章	大気ニュートリノ異常の発見
	●平成 13 年 (2001)	パノフスキー賞	戸塚洋二、梶田隆章	大気ニュートリノによるニュートリノ振動の実験的検証による確定
	●平成 13 年 (2001)	仁科記念賞	鈴木洋一郎、中畑雅行	太陽ニュートリノの精密観測によるニュートリノ振動の発見
	●平成 13 年 (2001)	紫綬褒章	戸塚 洋二	宇宙線物理・素粒子物理学研究功績
	●平成 13 年 (2001)	藤原賞	戸塚 洋二	大気及び太陽ニュートリノ観測によるニュートリノ振動の発見
	●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 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 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

## Awards (in the past decade)

- 1997 Nishina Memorial Prize/Tadashi Kifune Research of Very High Energy Gamma Ray Source
- 1999 Asahi Prize/Super-Kamiokande Group Discovery of a Neutrino Mass
- 2000 Nishina Memorial Prize/Takaaki Kajita Discovery of the Anomaly of Atmospheric Neutrinos
- 2001 Panofsky Prize/Yoji Totsuka and Takaaki Kajita Experimental Confirmation of Neutrino Oscillation by Atmospheric Neutrinos
- 2001 Nishina Memorial Prize/Yoichiro Suzuki, Masayuki Nakahata Detection of Neutrino Oscillation through precise measurement of Solar Neutrinos
- 2001 Medal with Purple Ribbon/Yoji Totsuka Achievement in Research of Cosmic Ray Physics and Particle Physics
- 2001 Fujiwara Prize/Yoji Totsuka Discovery of Neutrino Oscillation by Observation of Atmospheric and Solar Neutrinos
- 2001 Person of Cultural Merit/Yoji Totsuka Contribution to Progress in Cosmic Ray Astronomy
- 2004 Cosmic-ray Physics Prize for young researchers/Masaki Ishizuka L/E analysis of the atmospheric neutrino data from Super-Kamiokande
- 2007 Benjamin Franklin Medal in Physics/Yoji Totsuka Discovery of the Neutrino mass

## 論文以外の刊行物

東京大学宇宙線研究所では、研究所の内容及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 Summery of annual activities of ICRR
ICRR Annual Report (English) Once per year Summery 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 - x x x x（ダイヤルイン）

## 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「柏の葉公園循環」「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 2 5 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-xxxx (dial-in)

## Access

- Kashiwanoha Campus Sta. of Tsukuba Express Line → Tobu bus for "Kashiwanoha Park Circulaion" or "Edogawadai Sta." (about 10 min.)
- 25 min. 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.)
- 5 min. by car from Joban Freeway "Kashiwa Exit"
- About 3 min. by car from Route 16 (Entrance of Toyofuta Industrial Park)

