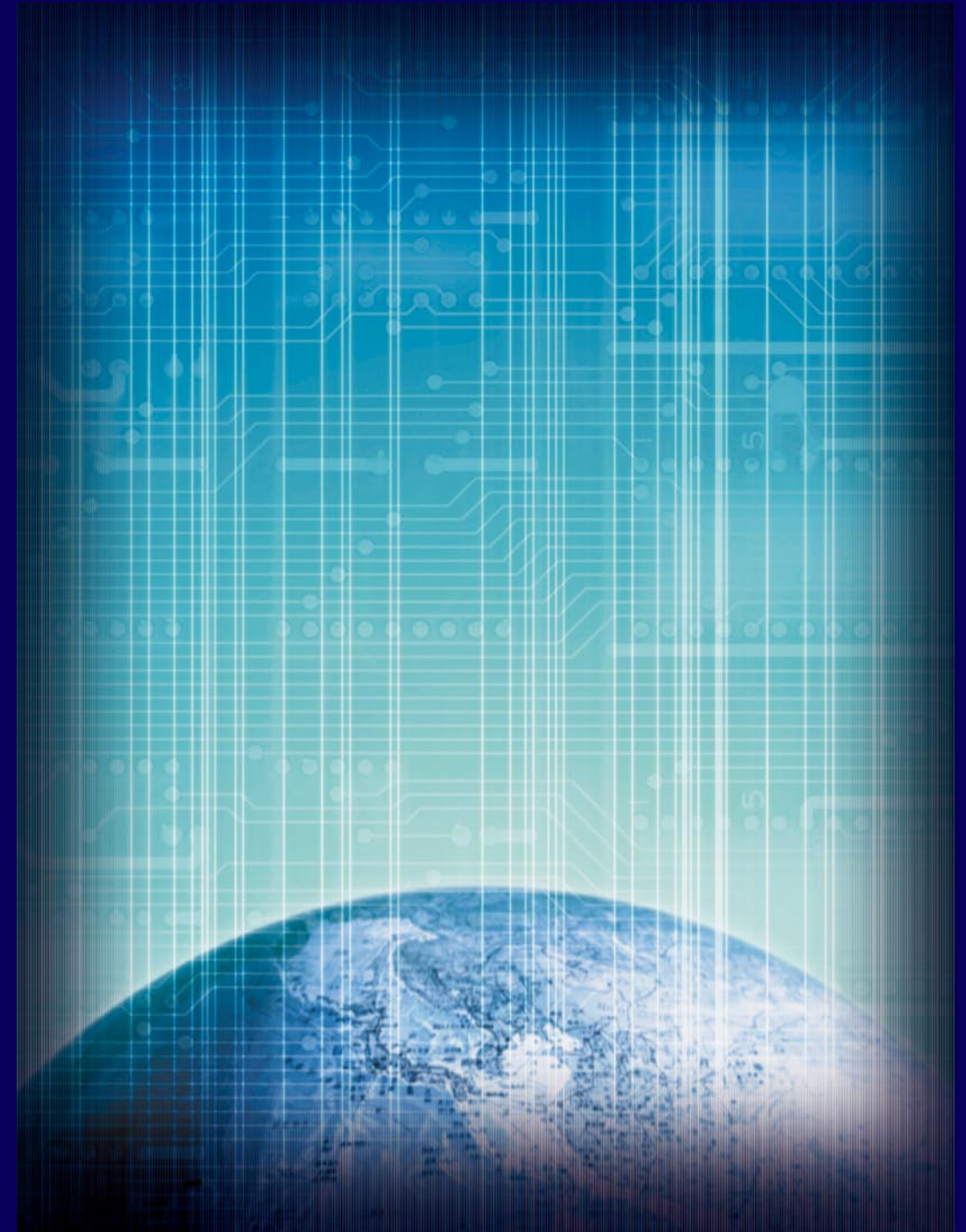


Institute for Cosmic Ray Research  
The University of Tokyo

東京大学 宇宙線研究所



■柏キャンパス

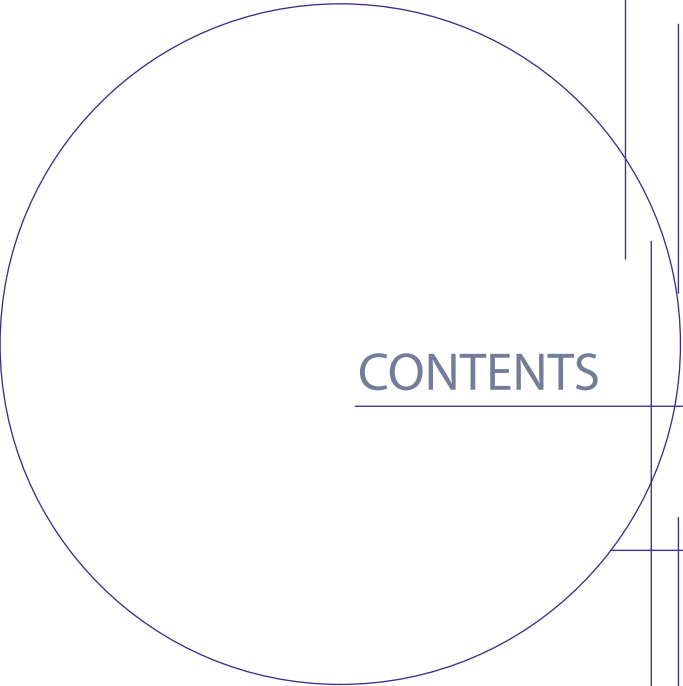
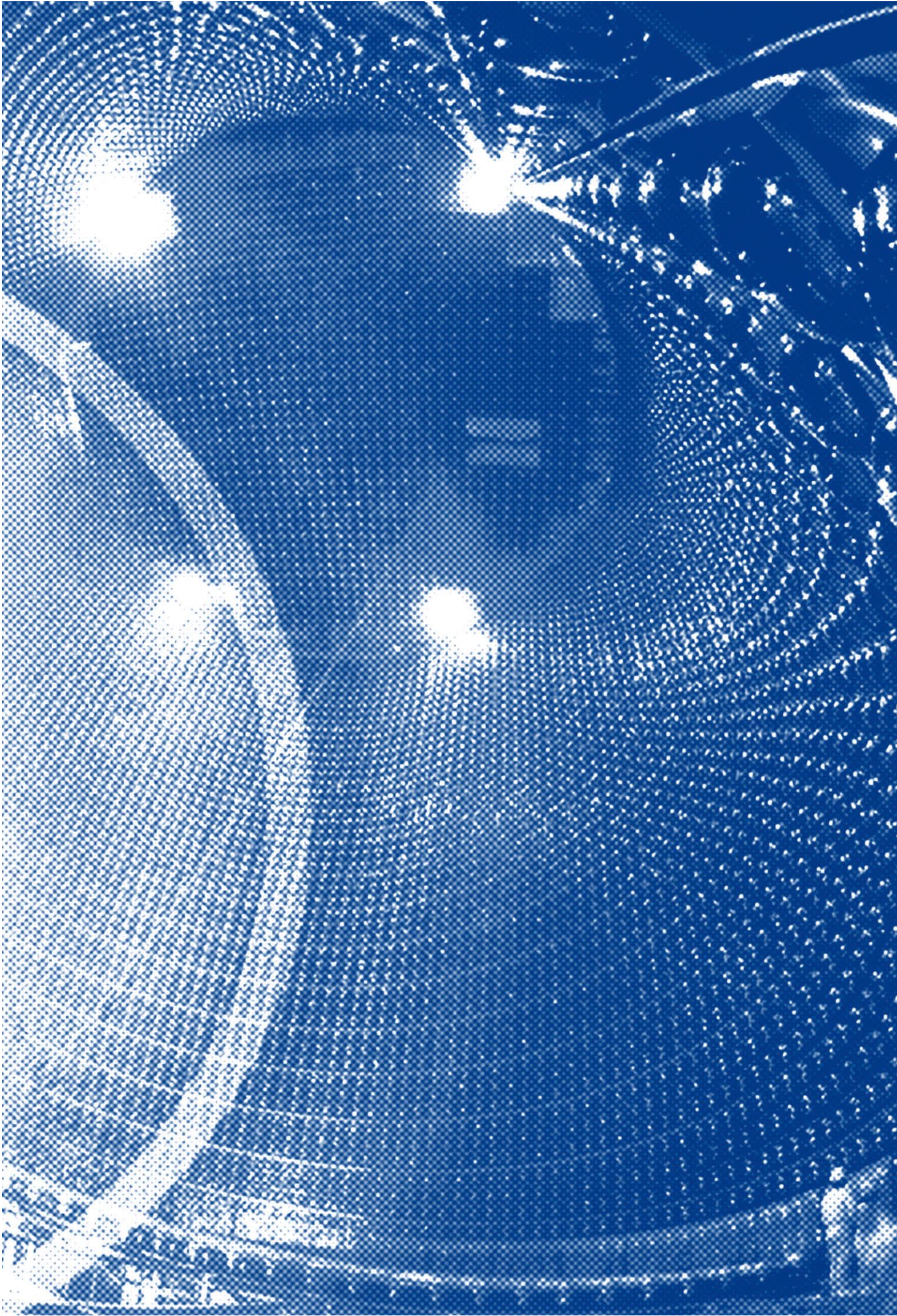
〒277-8582 千葉県柏市柏の葉5-1-5 TEL: 04-7136-XXXX(ダイヤルイン)

■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18年度(2006)

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





# CONTENTS

# 目 次

## ◆研究内容について

ご挨拶	2
Preface	
研究概要	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)	6
Cosmic Neutrino Research Division (Super-Kamiokande Group)	
高エネルギー宇宙線研究部門(カンガルーグループ)	8
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)	10
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)	12
High Energy Cosmic Ray Division (Tibet Group)	
宇宙基礎物理研究部門(重力波グループ)	14
Fundamental Astrophysics Research Division (Gravitational Wave Group)	
宇宙基礎物理研究部門(SDSSグループ)	16
Fundamental Astrophysics Research Division (SDSS Group)	
宇宙基礎物理研究部門(理論グループ)	18
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)	20
Research Center for Cosmic Neutrinos	
Ashra	21
All-sky Survey High Resolution Air-shower detector	
神岡宇宙素粒子研究施設	22
Kamioka Observatory	
乗鞍観測所	23
Norikura Observatory	
明野観測所	24
Akeno Observatory	
チャカルタヤ宇宙物理観測所	25
Chacaltaya Observatory of Cosmic Physics	

## ◆研究所について

沿革	26
History	
年表	28
Timeline	
組織・運営	30
Organization and Administration	
教職員数・歴代表者	31
Number of Staffs and Directors So Far	
経費・施設	32
Research Budget・Facilities	
共同利用研究・教育／国際交流	33
Joint-Use Research, Education/International Exchange	
成果発表と受賞歴	34
Announcement of Achievements and Award History	
柏キャンパス	37
Kashiwa Campus	





東京大学宇宙線研究所長  
鈴木 洋一郎

## これからの宇宙線研究を考える上での2つの大きな柱

宇宙線の研究は時代とともに大きく変化してきた。素粒子物理学の革命期とも言える時代に宇宙線研究は大きな役割を担っている。パイ中間子、ミューオンが発見されたのも宇宙線研究からである。これらの発見が60年代の陽子加速器による素粒子研究発展のきっかけとなっている。宇宙線の研究によるチャーム粒子の観測も新しい時代を予感させるものであった。スーパーカミオカンデによるニュートリノ質量の発見は、再び、宇宙線が新しい地平を切り開き、加速器によるニュートリノの詳細研究へと現在発展している。宇宙線の研究は新しい発見をもたらし、そこから加速器等を使った新しい分野が開けてきたのだ。

一昨年、念願であった宇宙線望遠鏡（T A）が予算措置され装置の建設が始まった。A G A S Aにより示唆されたZ G Kカットオフを超える最高エネルギー宇宙線の存在は宇宙線の大きな謎のひとつである。新しい粒子の存在などがこの説明に関わってくる。T Aにより確認されることになれば、まったく新しい物理が始まる可能性がある。チベットのヤンパーチンに展開されている空気シャワーアレイや、オーストラリアのウーメラの砂漠に設置されている高エネルギー宇宙ガンマー線観測装置（カンガルー）などの海外観測拠点からも着実なデータが蓄積されている。

宇宙線研究所の次期プロジェクトのひとつは、重力波望遠鏡である。重力

波の直接観測から一般相対性理論の適否などが明らかになるであろう。世界各所に建設される重力波望遠鏡を使えば、同時観測により精度のよい重力波放出が観測できる。たとえば、ブラックホールの形成過程が時間を追って捕らえることができる可能性がある。ニュートリノの観測と同時にできれば、光では見ることができない宇宙のダイナミクスが、目で見えるように明らかにされるであろう。

神岡の地下では、この重力波望遠鏡のプロトタイプ建設が進められているが、その他にも、地下の特徴を生かした共同利用研究が精力的に展開し始めている。低放射線バックグラウンドの特徴を生かした暗黒物質探索実験、低振動の特徴を生かした地球物理観測、これらの研究からも将来、新たな発見が期待される。

地上観測に優れた特徴を持つ海外の観測拠点とこの地下環境を利用した実験は、宇宙線研究所の研究を考える上での2つの大きな柱である。

国立大学が法人化され一年余りになる。この法人化により附置研と大学との繋がりがより強いものになった。悪くすると研究所としての独立性、特徴が失われてゆく可能性もある。また、大型基礎研究に対する予算措置の仕組みなどもまだ完全には見えないところがある。しかし、この法人化の機会を、前向きに積極的に捕らえ、附置研究所、全国共同利用研究所の特徴を大きくアピールしてゆく必要がある。

## Welcome to the Institute for Cosmic Ray Research

The institute for Cosmic Ray Research has originated from a small hut for cosmic ray observation built on top of Mt. Norikura in 1950 with the aid of the Asahi research fund. In 1953, it became an Observatory attached to the University of Tokyo. The Observatory was the first inter-university organization in Japan. In 1976, the Observatory and the Cosmic Ray Research division of the Institute for Nuclear Research has merged and become the Institute for Cosmic Ray Research, the University of Tokyo.

The Institute now consists of 3 research divisions and 4 observatories and the total number of scientific staff is 35, the size of which is small among other institutions of the University of Tokyo. However, the Institute is very unique among them.

The main campus is located in Kashiwa-city near Tokyo although the institute has 3 observatories abroad (Yangbajing in China (4300m above sea level), Woomera in Australia, Utah in USA) in addition to the three observatories in Japan-- Kamioka, Norikura(2770m) and Akeno.

Kamioka has become very famous because of neutrinos, but we have many activities other than Kamioka. In order to study astroparticles, researchers first look for a suitable place to study their subjects. Underground laboratories are best to study neutrinos and other particles which interact with matter rarely. Most of the observatories abroad are placed on the mountains with high altitude or in deserts, the best to observe the light produced in the interaction of particles at the upper part of the earth's atmosphere, which can not be available in Japan. The researchers explore a variety of places for the observations and build and maintain detectors in somewhat severe conditions.

The scientific researches conducted at the institute are mostly international. For example, the number of collaborators involved in the Super-K is about 130 and about half comes from abroad, mostly from USA. The small village with 250 inhabitants, where our office building located looks like an international village. The official language of their meeting is in English. Even 1st year graduate students become a good English speaker after one year of their experiences.

It is important to cooperate with the local people in order to operate properly the observatory abroad, and therefore the

scientists must also be good diplomats.

The institute is an inter-university institution and about 350 researchers from the Japanese universities are cooperated the experiments and the research activities being conducted at the institutes. Therefore the scientific results have not only come from the institutions, but also from the researchers belong to other organizations. Starting from April 1st of 2004, the Japanese Universities are incorporated, and the research-institutions belong to the universities are emphasized on the aspects as the university institutions. We need to characterize both the aspects as institutions in the universities and the aspects as inter-university institutions.

The purpose of the institution is to explore the frontier of the particle physics and to study the dynamic nature of the universe by means of observation of the astro-particles. The key words of the institution are 'underground' and 'abroad'.

The Super-Kamiokande experiment conducted at the 1000m underground studies the elementary particles and the universe, especially on neutrinos. The discovery of the neutrino oscillation is one of the big events for the past decades and this discovery has demanded that the current theory of the elementary particles must be re-written. In the Kamioka underground laboratory, other activities like a search for Dark Matter and research and development works for the future gravitational wave detectors and so on are also conducted.

The Cherenkov telescope situated in Australia has discovered several extraterrestrial sources which emit high energy  $\gamma$ -rays. Those are supernova remnants or active galactic nuclei. The Telescope Array (TA) being constructed in the desert of Utah will be looking for the highest energy cosmic rays beyond the theoretical limits. It is a challenge of the mystery and may bring a new discovery.

In order to perform those elementary sciences, we need a large research fund on the contrary to the size of the institution. Unfortunately it is difficult for us to obtain the research money from industries. Therefore we need strong supports from the University and the government.

Director Yoichiro Suzuki



# 研究概要

## What's Cosmic Ray?

### 宇宙線とは何か

宇宙線というのは、宇宙から地球に絶えず降り注いでいる原子核や素粒子です。私たちの体をいつも膨大な数の宇宙線が突き抜けています。

遠い銀河からもまた近傍からも、たくさんの宇宙線がやってきます。宇宙線は地球に到達して大気中に飛び込み、酸素や窒素の原子核と核反応を起こします。地球大気に飛び込む前の宇宙線を「一次宇宙線」と呼び、大気に飛び込んで変化し新たに生まれた宇宙線を「二次宇宙線」と呼びます。

二次宇宙線は、ミューオン、ニュートリノ、電子、ガンマ線、中性子が主要な成分です。このうち電子やガンマ線は大気中で吸収されて減り、地中まで来るのはミューオンとニュートリノがほとんどです。

### 宇宙線を調べると何が分かるのか

宇宙線を調べるのは、そこに物質に働く力の根源や宇宙の成り立ちについての情報がたくさん隠されているからです。元文部大臣の有馬朗人先生は、当研究所の神岡グループに次の言葉を贈ってくださいました。「宇宙線は天啓である」この言葉が宇宙線の本質を示しています。宇宙線とはまさに天からの啓示であり、そこには物質の根源のミクロの問題から宇宙のマクロの問題までの情報が詰まっているのです。

歴史的に見ても、そもそも素粒子物理学そのものが宇宙線の観測から生まれました。素粒子の研究はその後しばらくの間、加速器実験が中心となりまし

たが、今また、ハイテクを駆使した大型の観測装置による宇宙線の新たな観測に大きな期待が集まってきています。当研究所は世界で唯一の宇宙線専門の研究所として、これらの期待に応えるべく研究を続けています。

### 宇宙線の調べ方

宇宙線の調べ方は、調べる対象によって様々です。一次宇宙線を調べるにはなるべく高いところまで行かなければなりません。高山に登ったり気球を打ち上げたりして調べます。二次宇宙線の電子やガンマ線やミューオンは、地表の広い範囲にシャワー状に降り注ぎ、これを空気シャワーと呼びます。空気シャワーを調べるには空気のきれいな広い盆地が適しています。ミューオンやニュートリノは、他の粒子に紛れ込んでしまっかなか調べられないため、それらの粒子が飛んでこない地下にもぐって調べます。

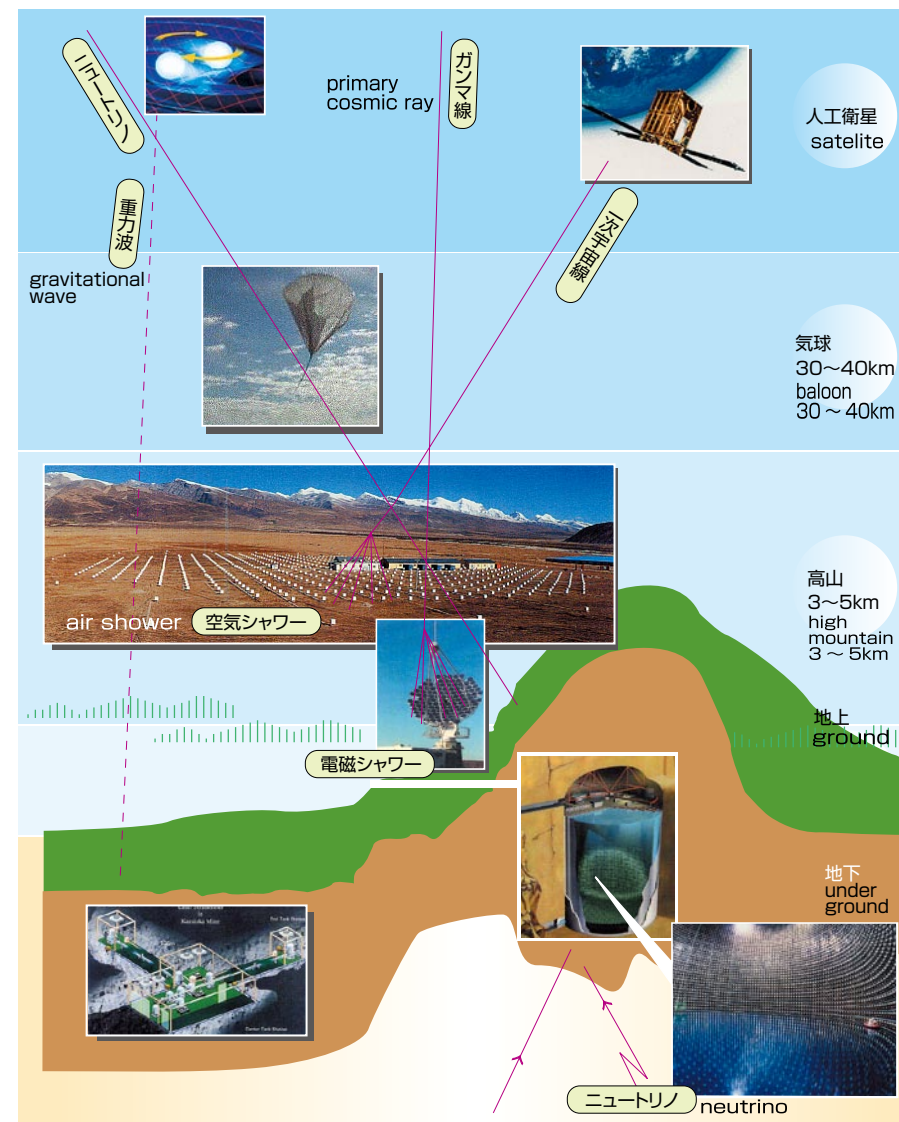
当研究所の研究は、これらすべてにわたっています。

当研究所では宇宙からやってくる重力波も研究対象に入れています。重力波は、大質量を持った物体が運動するときに起こる時空の歪みが光速の波となって宇宙を伝わっていくもので、アインシュタインの予言の中で実証されていないものの一つです。非常に小さな歪みを見つけるため、感度を極限まで上げて重力波を測定します。従って、ゆれのない静かなところで実験します。重力の研究が加わることで、素粒子の研究の中で一番遅れていた重力子にも光が当

たることになり、物質や宇宙のなぞの解明が大きく進むことになります。



### 宇宙線観測のさまざまな手段



### What's Cosmic Ray?

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

Cosmic rays come from the neighborhood of the Earth and also 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 bring about nuclear interactions with nuclei of oxygen and nitrogen in the air. The extraterrestrial cosmic rays which come from outside the earth are conventionally called primary cosmic rays, and newly produced particles via the nuclear interactions are called secondary cosmic rays. The main components of the secondary cosmic rays are muon, neutrino, electron, gamma ray and neutron. 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 force working between substances and on the structure of universe, are hidden there. The former Minister of Education, Akito Arima, gave the following word to the Kamioka group of this institute: "The cosmic ray is a heavenly revelation." This word shows the essence of the cosmic ray. The cosmic ray is exactly a sign 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 is packed.

In the histories of the elementary particle physics and astrophysics, studies of cosmic rays have given significant impacts on them. The elementary particle physics itself was born from the observation of cosmic rays. Positron, which is antiparticle of electron, muon and pion were discovered in the cosmic ray observation from 1930's to 1940's.

s. Cosmic rays provide natural experimental facilities beyond the human-made ones thanks to the huge flux and/or the high energy in the past, and it is correct even at present in some cases. Discovery of neutrino oscillation, which is beyond the standard model in the particle physics, is fresh in our memory. Also, the recent gamma ray observations are revealing dynamical aspects of the astrophysical objects, such as supernova remnants and active galactic nuclei. Furthermore, the origin of cosmic ray 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 heaven. To investigate the primary cosmic rays directly, we have to go to as high altitude as possible by climbing high mountains, launching balloons, etc. When an ultra-high energy primary cosmic ray enter 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 the air shower 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 to the underground where the background can not reach.

The gravitational wave possibly coming from the universe is included in the research projects. The gravitational wave is the 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 the Einstein's predictions. To find very small distortions of space, we maximize the detector sensitivity. Therefore the experiment is done at a very calm place without trembles and vibrations. By adding the study of the gravitational wave, the most uninvestigated elementary particle, graviton, will be lighted up, and the clarification of the mysteries of substance and universe will be much progressed.

The researches in the Institute for the Cosmic Ray Research cover all those species of cosmic rays mentioned so far. This institute, as the unique institute in the world devoted only to the cosmic ray, keeps researches to respond to such hope.



# 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1,000mにあり、平成8年4月1日に実験を開始しました。研究の目的は、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です。

●実験装置は純水50,000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高速で走るとき、チェレンコフ光という青白いかすかな光を発する現象を利用し、タンク内面にとりつけた直径50cmの光電子増倍管約11,000本を用いてこの光をとらえます。平成13年11月に約半数の光電子増倍管が壊れてしまうとい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。こうした復旧に際しては、事故の再発を防ぐため、光電子増倍管一本づつに衝撃波防止ケースをとりつけました。そして、平成18年7月からは元通りの性能となった検出器を用いて更に精度を高めた実験を開始します。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、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倍のニュートリノを生成することが可能となります。

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、ニュートリノを作ります。この大気ニュートリノにはミューニュートリノ成分と電子ニュートリノ成分がありますが、ミューニュートリノ成分は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20~30km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km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からです。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はニュートリノが重さを持つことを示しました(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。その反応の際に大量の電子ニュートリノが生まれ、地球に降り注ぐ太陽のニュートリ

ノの数は1秒間に1cm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できます。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、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で作られたニュートリノを250km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。予測された現象の数が158に対し観測された数は112しかなく、ニュートリノ振動が確認されました(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開発研究も行われています。

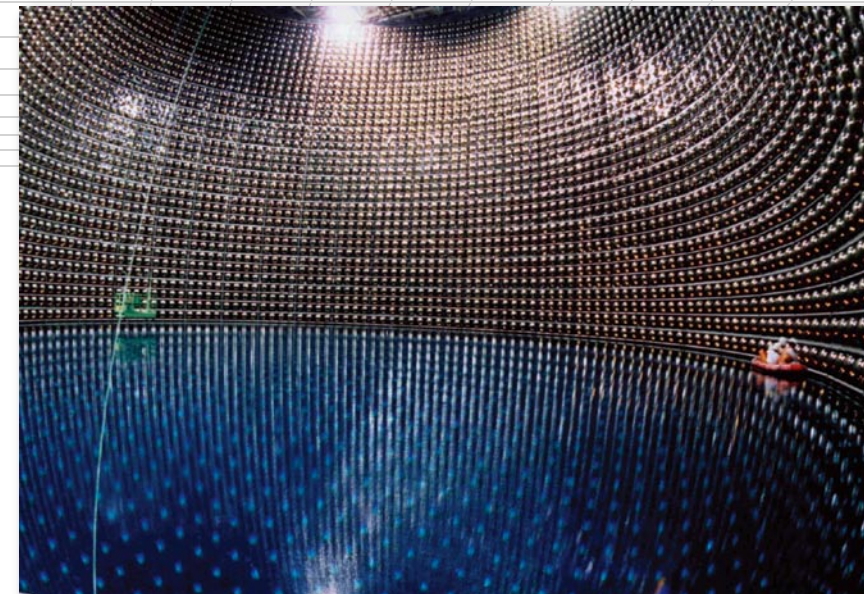


図1 スーパーカミオカンデの内部  
Fig.1 Inside of the Super-KamioKande detector

## 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 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 which is 30 times larger than Kamiokande. The dimensions of the detector are 40m in height and 40m in diameter. This detector is equipped with over 11,000 20-inch photo multiplier tubes (PMTs) to detect various 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 has observed a clear anisotropy in the zenith angle distribution and established the existence of neutrino masses and mixing

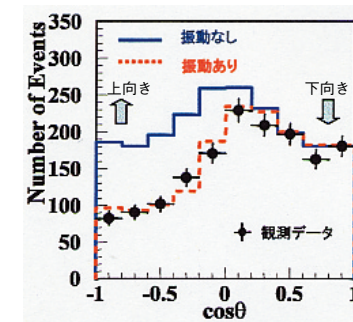


図2 大気ニュートリノの天頂角分布。  
上向きニュートリノの振動の証拠

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

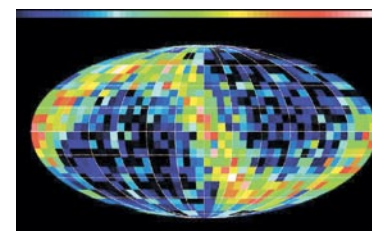


図3 ニュートリノで見た太陽の軌跡  
Fig.3.Track of the Sun seen by neutrinos.

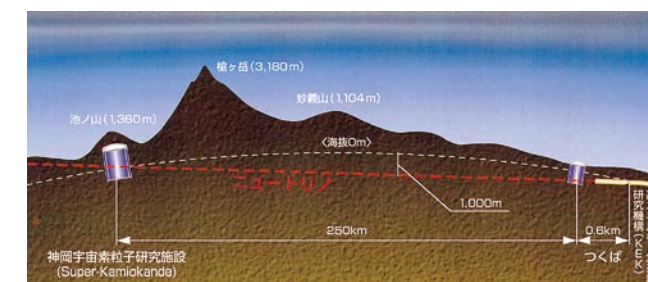


図4 つくば-神岡間長基線ニュートリノ振動実験 (K2K 実験)  
Fig.4.Tsukuba-Kamioka long baseline neutrino oscillation experiment (K2K)

through neutrino oscillation in 1998. Furthermore, the accurate measurement of the solar neutrino flux by 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 250km 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.

On November 2001, SK lost half of its PMTs by 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 resumes (resumed?) its operation in July 2006.

With the fully-reconstructed detector, the sensitivity of low energy neutrinos, such as solar and supernova neutrinos, is recovered and the physics potential is enhanced.

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.



# 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（ $200\text{GeV}=2\times 10^{11}\text{eV}$ ）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こ

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3.8m口径望遠鏡に引き続き、平成11年にはその隣で口径7m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10m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らえ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10m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行っています。望遠鏡は約100m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10m望遠鏡の観測から、西暦393年に爆発したRXJ1713.7-3946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。さらに別の超新星残骸RXJ0852.0-4622や、我々の銀河中心からのガンマ線の信号の発見なども報告しています。

●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RXJ0852.0-4622（図4）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、パルサー星雲などの銀河系内の高エネルギー天体や、活動銀河核と呼ばれる銀河系外天体などの観測を行っています。



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 The CANGAROO-III array of four 10m 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。

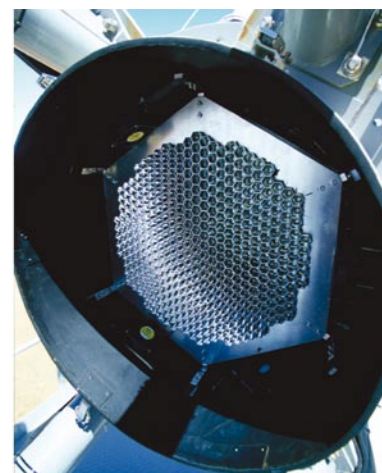


図2 チェレンコフ光のイメージを捉える光電子増倍管カメラ。

Fig.2 The imaging Cherenkov camera consisting of 427 photomultiplier tube subtends a field of view of about 4 degrees.

## CANGAROO

Very high energy gamma-rays at TeV energies are searched for in the southern sky by the CANGAROO(Collaboration between Australia and Nippon (Japan) for a GAMMA Ray Observatory in the Outback) Collaboration as an international collaboration consisting of Japanese and Australian institutions. Gamma-rays, which are photons with the shortest wavelengths, should be produced in 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 site without deviation by magnetic fields in space, and thus point back to celestial objects which are the origins of cosmic rays, one of the long-standing problems in high-energy astrophysics.

Very-high-energy gamma-rays bombard the earth atmosphere developing 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-1, in a desert area near Woomera, South Australia. Then we 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. Now we have an array of four 10-m Cherenkov telescopes, called CANGAROO-III, which was completed in March 2004 (Fig.1), and it has been in operation on moonless, clear nights. At 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 map on the celestial sphere is shown in color scales. X-ray emission data by the Japanese ASCA satellite is also overplotted by contours. The most significant detection points almost coincide the X-ray maximum positions. These observations tell us hints on the origin of high-energy particles accelerated in supernova remnants.

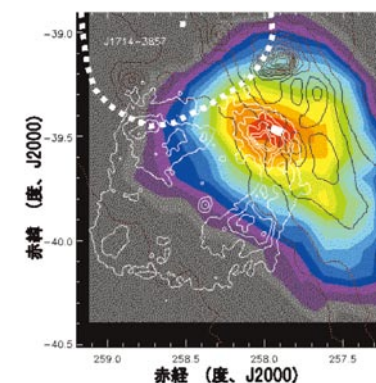


図3 超新星残骸RXJ1713.7-3946からのガンマ線信号の有意度マップ。

Fig.3 Significance map of TeV gamma-ray signal from the supernova remnant RXJ1713.7-3946 obtained from observations with the first 10m telescope.

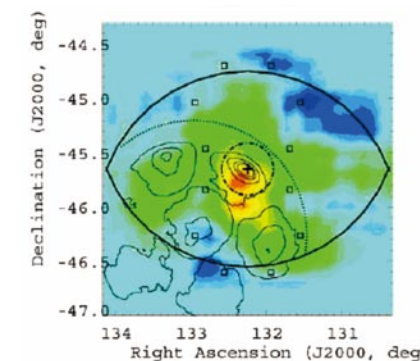


図4 超新星残骸RXJ0852.0-4622からのガンマ線信号の空間分布。

Fig.4 Signal map of TeV gamma-ray emission from the supernova remnant RXJ0852.0-4622 obtained from observations with the CANGAROO-III stereoscopic system.



# 高エネルギー宇宙線研究部門 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2次粒子を生み、それがさらに衝突をくり返して、最後には1000億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を用いた検出器(シンチレータ)111台を、地表一面に1km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140km)でつないでデータを取得します。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100km<sup>2</sup>です。

●AGASAが発見したのは、10<sup>20</sup>電子ボルトを超える極高エネルギーの宇宙線の存在です。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<sup>20</sup>電子ボルト以上の宇宙線は観測できないと考えられてきましたが、AGASAは13年間にわたる観測で、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に強力な天体は見つかりません。しかも最近の観測で、飛来方向に点状に集中した所があるのが分かってきました(図2)。これらの観測結果が正しいとすると、宇宙の何処かに我々の想像を超えた極高エネルギーの天体現象があるのか、あるいは今までの理論では説明のつかない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できれば、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

●この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) の建設が始まりました。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200km、標高1,300m)に日米共同で建設します(図3)。

●地表粒子検出器としては約600台のシンチレータを網目状に並べます。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か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蛍光を撮影します(図5)。地表での粒子数の測定に、望遠鏡による大気中で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18年から一部の装置で観測を始め、極高エネルギー宇宙線の起源に迫ります。



図4 TAの地表粒子検出器。約600台を1.2km間隔の碁盤目状に並べ、700平方kmの地表をカバーする。

Fig. 4 One of TA ground array detectors deployed in the field.

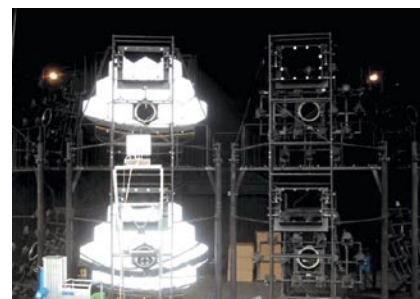


図5 TAの大気蛍光観測用望遠鏡(口径3.3m、視野角18度)。光電子増倍管によるカメラを持ち、空気シャワーからの紫外発光を高速・高感度で撮影する。

Fig. 5 TA air fluorescence telescopes.

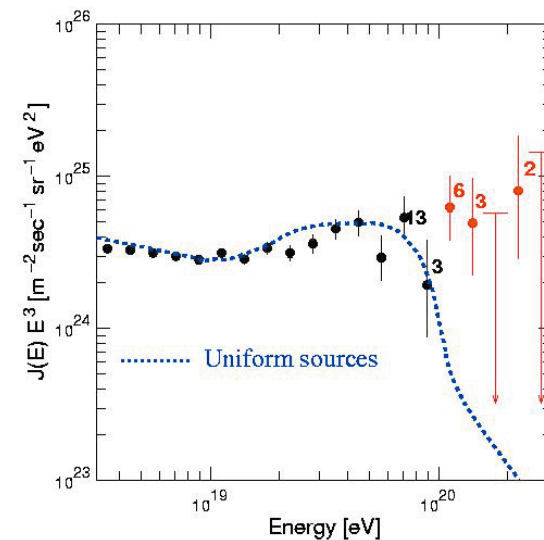


図1 AGASAで測定された宇宙線のエネルギー分布。青い破線が理論の予測を表わす。

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

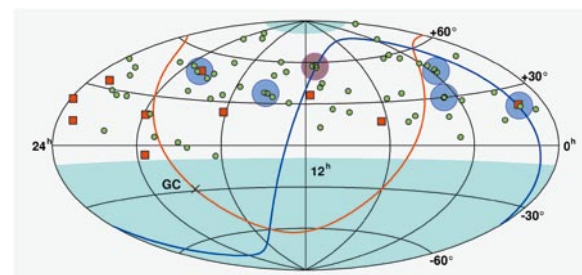


図2 4 x 10<sup>19</sup>電子ボルトを超える宇宙線の飛来方向分布。水色の円は2個、紫の円は3個集中しているところ。AGASAによる測定。

Fig.2 Arrival directions of cosmic rays with energies above 4 x 10<sup>19</sup> eV. Red squares represent cosmic rays with energy of > 10<sup>20</sup> eV. Light blue and purple circles indicate 2 and 3 events clustering within 2.5°.

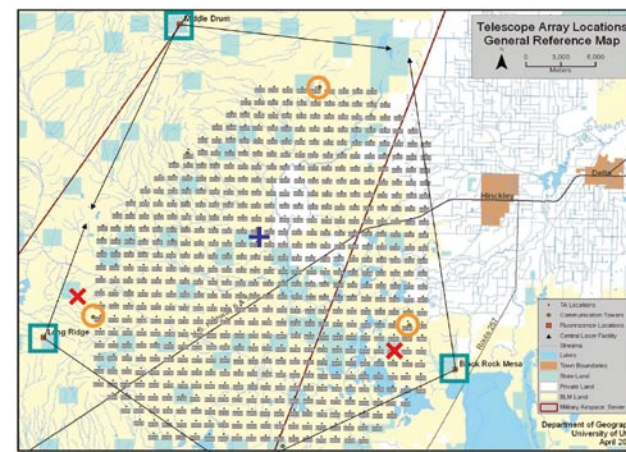


図3 TAの全体配置図。小さい数字は地表検出器の位置を、青い四角は大気蛍光望遠鏡のステーションを示す。カバーする全体地表面積は760km<sup>2</sup>で、琵琶湖の面積を超える。

Fig. 3 Detector arrangement of TA. The locations of 576 counters are indicated by small numbers. The location of 3 telescope stations are marked 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 consists of 111 plastic scintillation counters distributed over the area of 100 km<sup>2</sup> with an average spacing of 1km. All the counters are interconnected by a network of optical fibers for a precise timing and a fast data collection to the distant observatory. The AGASA detected 11 cosmic ray events with energies exceeding 1020eV in its 13 years of operation.

The propagation of ultra-high energy cosmic rays is limited in the space as they are expected to react with the cosmic micro-wave background and lose their energy. Arrival directions of some AGASA events are clustered in space and they seem pointing back to a narrow region of the sky. We searched for large and powerful astronomical objects, such as a radio-emitting galaxy and colliding galaxies, in the arrival direction of these cosmic rays but none were identified in the vicinity of our galaxy. 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 576 scintillation counters and 3 stations of air fluorescence telescopes overlooking the array from the periphery. An accuracy of the energy measurement by the ground array will be much improved by the observation of the same event by the telescope at the same time. Adding the array and the telescope data together, the sensitivity of TA will be more than 10 times larger than that of AGASA. Simultaneous observations by the array and the telescope improve the resolving power of the arrival direction and the association of these cosmic rays with the potential astronomical sources can be made with more confidence.

The construction of TA is proceeding in Utah, USA by the collaboration of Japanese and American physicists. The observation is expected to begin in April, 2007. We look forward to confirming the AGASA discoveries and identifying an enigmatic origin of ultra-high energy cosmic rays in near future.



## 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4,300m)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太陽フレア中性子の観測、等です。

●主装置として、面積0.5m<sup>2</sup>のプラスチックシンチレータを7.5m間隔でほぼ碁盤目状に並べた 37,000m<sup>2</sup>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 3TeV の空気シャワー現象も検出できますが、このように低いエネルギーの空気シャワーを検出できるのは、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 80m<sup>2</sup>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 領域」と呼ばれる $10^{15}\sim 10^{16}$ eVの領域の一次宇宙線の陽子成分が観測できます。

●この他に、面積 9m<sup>2</sup>、厚さ40cm のプラスチックシンチレータと比例計数管でできた太陽フレア中性子観測装置があります。平成12年頃を中心に太陽活動が最大になりましたが、この時発生する太陽フレアに伴う高エネルギー中性子を観測し、フレアでのイオン加速について研究します。宇宙線加速の謎を解く貴重

なヒントが得られるはず(図 2)。

## 研究の現況

## ●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、カニ星雲からのTeV領域のガンマ線を検出しました(図 3)。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系核 Markarian501、及び平成12~13年に活発なフレアを起こした Markarian421 から TeV 以上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大きな視野で天空を常時監視できるため、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 $\sim 2\times 10^{16}$ 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 4)。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だしの問題を解く重要な鍵を握っている領域です。今までのデータと比べると、 $2\times 10^{15}$  eV近辺からスペクトルの傾斜が緩やかになっているのが分かります。一方空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、宇宙線組成に関するデータが得られていますが、このデータにスペクトルのデータを加えると、Knee 領域の宇宙線の加速や起源につ

いてもっと解明できるようになります。

## ●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できます。図 5はこの装置で観測された「太陽の影」の年変化です。平成 3~4 年は太陽の活動期で、静穏期(平成8~9年)と比べるとその影が太陽方向から大きくずれているのが分かります。現在このような観測ができるのは、世界で本装置のみです。この実験により、今まで観測方法がな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。

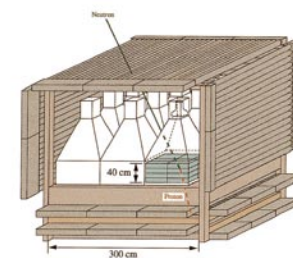


図2 太陽フレア中性子観測装置  
Fig.2 Solar neutron telescope.

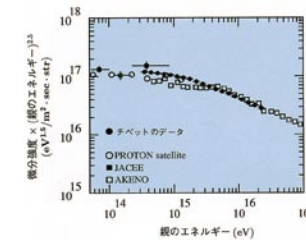


図4 Knee 領域の一次線エネルギー  
スペクトル  
Fig.4 Primary cosmicray energy  
spectrum in the "knee" region.

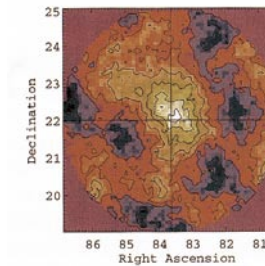


図3 カニ星雲の方向から来る  
3TeV ガンマ線の強度分布  
Fig.3 3TeV gamma-ray intensity map  
around the Crab nebula.

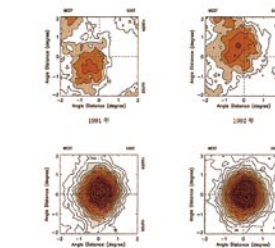


図5 太陽の影の年変化

Fig.5 Yearly variation of the Sun's  
shadows.



図1 中国チベット自治区の羊八井高原(標高 4,300 m)に設置された空気シャワー  
観測装置  
Fig.1 Tibet- III air shower array in Yangbajing (4,300m above sea level)

Tibet AS  $\gamma$ 

The Tibet air array(Tibet-III) is located at Yangbajing (4300m a.s.l.),Tibet in China.

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

Tibet-III , 36900m<sup>2</sup> in area, consists of 789 scintillation counters which are placed at a lattice with 7.5 m spacing. Each counter has a plate of plastic scintillator, 0.5m<sup>2</sup> in area 3 cm in thickness, 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.

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" ( $10^{15}\sim 10^{16}$  eV) region. The chemical composition in the "knee" region is a crucial key to clarify the mechanism how cosmic rays are generated, accelerated and propagate to the Earth.

As 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.



# 重力波グループ Gravitational Wave Group

## 研究目的と装置

●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、ニュートリノと広がってきた天体観測の手段に新たに重力波が加われば、今まで観測不能であった星や宇宙の情報が得られる可能性が出てきます。しかし、重力波は検出がきわめて難しく、間接的にしか見つかっていません。私たちの最終研究目標は、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

●私たちは国立天文台などと共同で完成した光路300m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3000時間を超えるデータを蓄積しました。

●私たちは意欲的で画期的な次期計画LCGTの試験研究も行っています。重力波は天地がひっくり返る程の天変地異が発するものでないと観測できず、遠くまで見渡せる能力が鍵となります。光路300m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3km~4kmある海外の大型干渉計は7千万光年(銀河団)まで観測できます。一方LCGTは、TAMAで獲得した世界最高の雑音除去技術を

基盤に光路も充分な3kmを計画しており、7億光年(超銀河団)まで見ることができます。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熱雑音を下げするために、極低温鏡を用いる。
- ③雑音排除のために、地下1,000mに設置する。

私たちはLCGTの予備研究として、神岡地下で20mプロトタイプの実験を行い、柏で小型低温レーザー干渉計の実験を行ってきました。さらにテストを進めるために、神岡地下に100m低温レーザー干渉計(CLIO)を設置しました。



図1 LCGTの完成予想図

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

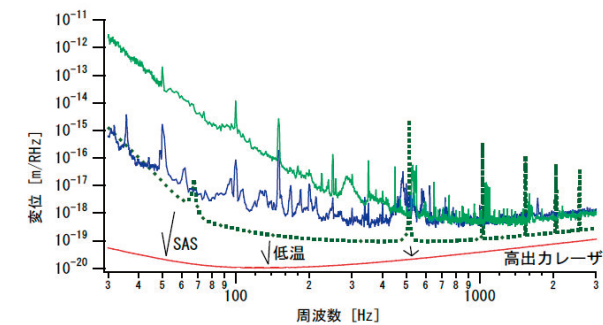


図2 LCGTの感度曲線(赤線)と、TAMA(緑線)、CLIO(青線)の実現感度。(緑の点線はTAMAの極限感度)

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 20m prototype interferometer placed underground at Kamioka. 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 建設中の100m低温レーザー干渉計(CLIO)

手前の真空タンクに光を分ける鏡が入れられ、一方に延びる真空パイプとその先の真空タンクが見える。地球物理の研究のために地殻設計が併設されている。

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 wave predicted by Einstein. No body has succeeded to detect the wave form in real time, so far. Its detection becomes one of tests to prove Einstein's theory of relativity. The gravitational wave telescope will be used in future as a tool for observing dynamic behavior of compact stars such as neutron stars, black holes and so on.

The gravitational wave causes a relative change (strain) between displaced two points in proportion to their distance. Even if we take 3km baseline length, the effect is so tiny that extensive R&D is needed to detect it. We have developed a 20m prototype Fabry-Perot interferometer, a 100m delay-line interferometer, and a 300m 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 the strain of the order of  $h \sim 10^{-22}$  in terms of the metric perturbations at the frequency around 140Hz. This would enable the detection of coalescing binary neutron stars 1.4 solar mass to 257Mpc at its optimum configuration, for which one expects 2.8 events a year on average. To satisfy the objective, LCGT consists of two set of power-recycled Fabry-Perot Michelson interferometers with resonant-sideband extraction scheme, the main mirrors of which are cooled down to cryogenic temperature, 20K for reducing thermal noise and they are located in a quiet site of underground in Kamioka mine.

We are now developing a 100m cryogenic interferometer, CLIO underground at Kamioka for practical test of the cryogenic mirror, which is one of key technologies of LCGT (in Figure 3).

For the detail, references can be found in <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2.5m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。装置すべ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、色分布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1000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9700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

て、暗黒エネルギーと「冷たい」暗黒物質の存在を確認しました。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精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)

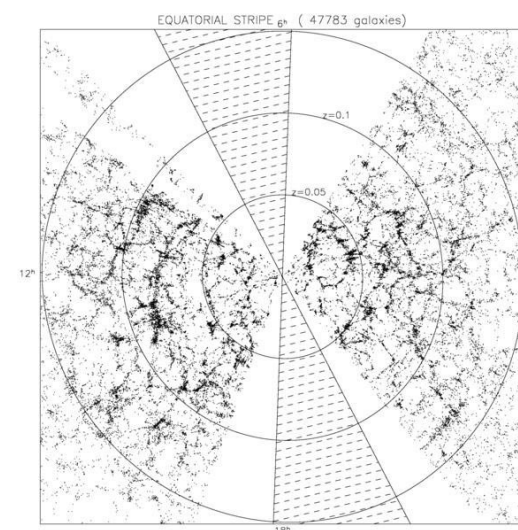


図2 SDSSが観測した $z < 0.15$ の銀河分布  
Fig.2 Galaxy distribution in the equatorial slice of sky to  $500 h^{-1} \text{Mpc}$  ("wedge diagram") in the SDSS main galaxy sample.

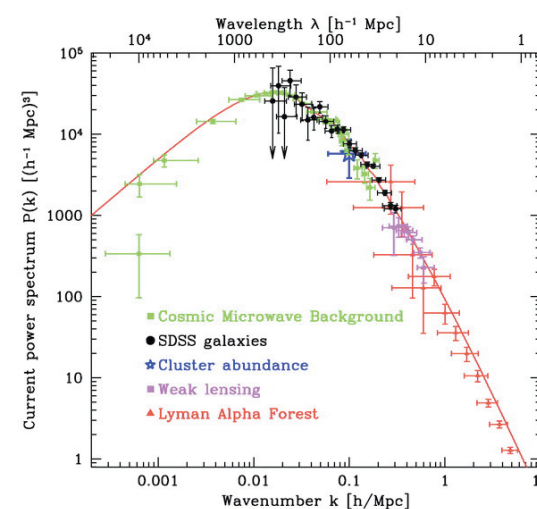


図3 SDSSを始めとする複数の観測手法による宇宙の物質のゆらぎを表すスペクトル。「冷たい」暗黒物質に基づく理論予想(赤線)との良い一致を示している。

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) is a project undertaking a photometric survey of a half of the northern sky and follow-up spectroscopic survey of about one million galaxies and hundred-thousand quasars, and producing a catalogue and detailed database of those objects. The catalogue and the database far exceed the preexisting ones in both size and accuracy, giving potential for the renovation in many aspects in astrophysical sciences.

The staff members of the ICRR/SDSS group were engaged in the construction of the observatory and the instruments for 1992-1999 together with American colleagues, and have privilege of the advanced use of the data from the 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 evolution of the Universe and galaxies; a keyword would be "quantitative cosmology".

The studies obviously 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つのあることが分かっていたのですが、このうち電磁気力と弱い力とは同じ力だと判明し統一されました。この模型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、この模型は、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。その一つニュートリノ振動を预言するニュートリノの質量であり、もう一つは強い力を含む3つの力を統一する大統一理論の预言で、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、及びその加速器、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もつ模型で、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。

●素粒子の標準理論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とうてい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、標準理論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・エネルギーの正体など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。

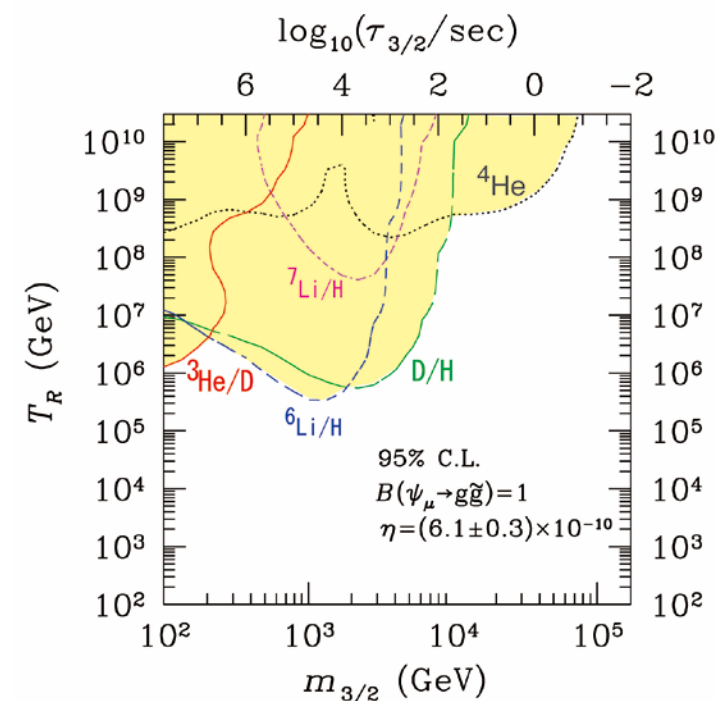


図1 長寿命グラビティーノを预言する超重力理論における、宇宙の元素合成から期待されるインフレーション後の再加熱温度の上限。横軸はグラビティーノの質量およびそこから期待される寿命を表す。

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).

## Theory

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

In Nature, four forces between the elementary particles exist, those are electromagnetic, weak, strong and gravitational. Nowadays the unified theory, in which the electromagnetic and weak interactions have a common origin, is confirmed with high precision by many dedicated experiments. Furthermore, the grand unified theory, which unifies the electromagnetic, weak and strong interactions, is proposed. This theory predicts proton instability, along with a finite neutrino mass in most models. Theory group is studying theoretical aspects for phenomena predicted in the grand unified theory, such as proton decay and neutrino oscillation.

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

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

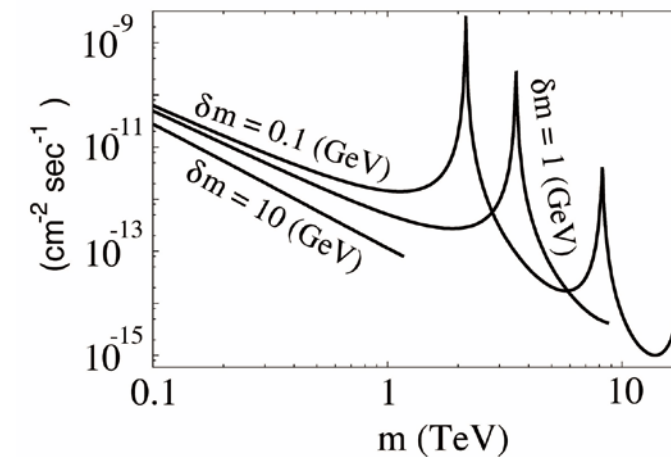


図2 暗黒物質の候補であるニュートラリーノの銀河中心での対消滅過程から生じるラインガンマ線の地球での流量。横軸はニュートラリーノの質量を表す。  
Fig.2 Line gamma-ray flux from neutralino dark matter annihilation in the Galactic center. The horizontal axis is for the neutralino mass.



# 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、本研究所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。

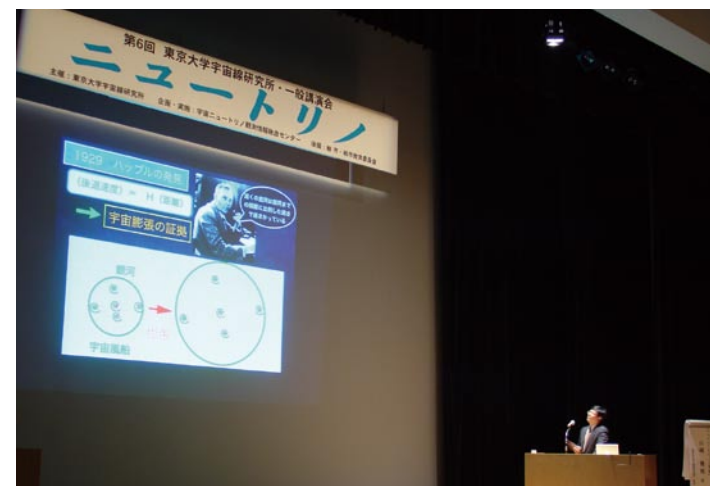
## RCCN

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 the studies of neutrino physics, it is important to provide the occasion for discussion on 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 FY2005, we had two domestic neutrino workshops. In each meeting, about 30 physicists participated.

Members of this center are involved in Super-Kamiokande, K2K and T2K experiments, carrying out researches in neutrino physics. Atmospheric neutrino data from Super-Kamiokande give one of the most precise information on neutrino oscillations. With the increased data, it is more important to have better prediction of the neutrino flux. Therefore, in addition to the data analysis of the above experiments, we work on the prediction of the atmospheric neutrino flux. In order to predict the flux accurately, it is important to know the details of the data on the measurements of primary and secondary cosmic ray fluxes. For this reason, we have a close collaboration with researchers working in the cosmic ray flux measurements.

It is important that the general public knows the achievements of the present science. Because of this reason, we have a public lecture every year. In FY2005, the public lecture was held on May 15 (Sun.) at Kashiwa. About 200 audiences heard the lectures.

Since 2004, RCCN has been acting as a body to accept the inter-university program related to activities in the low-background underground lab. in Kashiwa. We accepted 10 programs including 7 programs related to the low-background lab. In addition, this center, together with the computer committee of ICRR, is in charge of the operation of the central computer system in ICRR. The computer system was operated very successfully in FY2005.



平成17年5月15日に柏市で開催された一般講演会。  
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できるようにしました。この改良には、焦点面に置かれる直径500mm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よく決定でき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よく撮影できるようにしました。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。現在、望遠鏡や格納庫を観測地に次々と輸送し、建設・設置・運転の開始を進めているところです。平成18年度には、試験運用から本観測への移行を予定しており、観測結果が期待されます。



図1 イメージ図: Ashra 望遠鏡ステーション予想図  
Fig.1 Artist's image of the Ashra station.

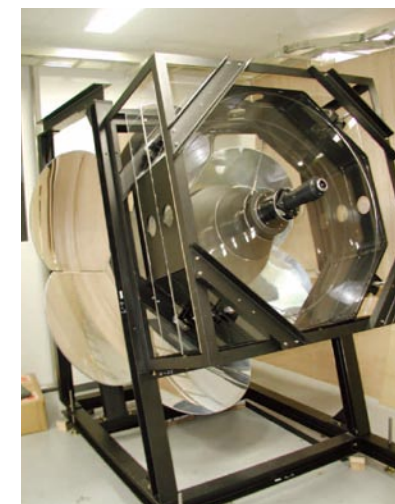


図2 Ashra 望遠鏡  
Fig.2 Ashra telescope unit.

## Ashra

Very high-energy cosmic rays, such as gamma rays, nucleon, and neutrinos, traveling the universe, finally reach the Earth. Then they interact with the atmosphere and leave a stamp called "air-shower". Ashra (All-sky Survey High Resolution Air-shower detector) is an experiment, obtaining fine images of the "air-shower" over the whole sky, as well as observing starlight directly. 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; ultra high energy particle astronomy.

We have improved optical system of detector, and come to obtain air-shower image more closely over ultra wide filed of view (42 deg. in diameter). The most important study was development of UV image intensifier, mounted on focal surface. Now we can determine well the species and direction of cosmic rays. The high performance of our optics was already confirmed by test observation. We also developed "intelligent trigger system", which gets air-shower images efficiently after judgment of whether incident light is made by cosmic rays. We have made two new sensors for the trigger system.

Now we are building detectors at Mauna Loa on the Hawaii Big Island. We will start normal observation in this year. Observation results are coming soon.

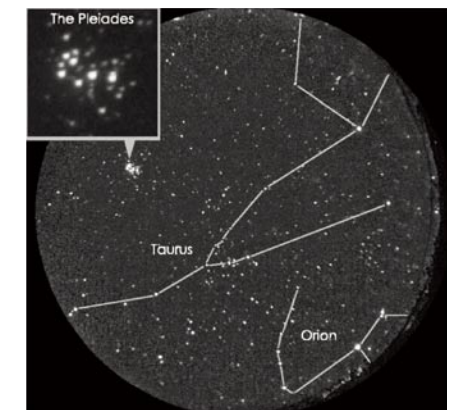


図3 星の画像: 試験観測での取得画像例。おうし座が収まる超広視野であると同時に、「すばる」に集中した星を分解できている。  
Fig.3 Image of a star field obtained by test observations.



# 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においてもニュートリノ振動を発見しました。同じ坑内には100mレーザ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・FAX：TEL：0578-5-2116 FAX：0578-5-2121  
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

- JR高山本線猪谷駅→神岡鉄道(10分)→茂住駅  
茂住駅→徒歩(5分)
- 富山空港→バス(30分)→富山駅  
富山駅→JR高山線(50分)→猪谷駅  
猪谷駅→神岡鉄道(10分)→茂住駅  
茂住駅→徒歩(5分)



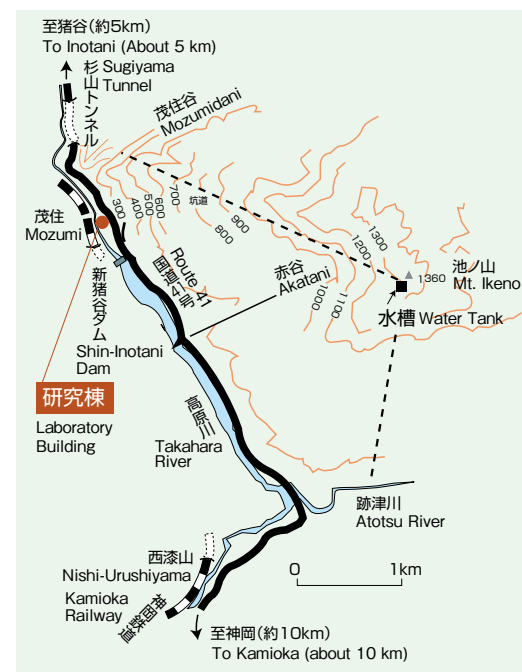
研究棟(奥)と電子計算機棟(手前)  
Back: Laboratory Building; Front: Computer Center



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 1000m underground (2700 m.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 100m long laser interferometers in Kamioka Mine which 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 of 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: +81-578-5-2116 Fax: +81-578-5-2121  
Geographic Location: 36°25' 26" N, 137°19' 11" E  
Altitude: 350 m  
Equipment: 50,000-ton water Cerenkov detector "Super Kamiokande"  
Location of installed equipment: 1,000 m underground from the summit of Mt. Ikeno (altitude: 1,368 m; depth: 2,700 m w. e.); Main rock: gneiss; Specific gravity: 2.69 g/cm<sup>3</sup>

## Access

- Inotani Sta. of JR Takayama Line → Kamioka Railway (10 min.) → Mozumi Sta. → Walk (5 min.)
- Toyama Airport → Bus (30 min.) → Toyama Sta. → JR Takayama Line (50 min.) → Inotani Sta. → Kamioka Railway (10 min.) → Mozumi Sta. → Walk (5 min.)

# 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、乗鞍観測所はその附属施設となり現在に至っています。

超高エネルギー領域での素粒子・核反応に関する研究、銀河系・太陽惑星空間における宇宙線変動と磁場や太陽活動に関連した研究、太陽中性子に関連する研究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 Tatamidaira in 1949. In the next year, the four institutions, Osaka City University, Nagoya University, Kobe University, and Institute of Physical and Chemical Research, established a lodge for cosmic-ray experiments, called "Asahi Hut," in Iwaitani based on the Asahi Academic Grant. In August 1953, the Cosmic Ray Observatory of The University of Tokyo was formally established as the first Japanese joint-use research institute for universities. In 1976, the observatory was reborn as the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), and the Norikura observatory became one of facilities of ICRR.

The observatory has been hosting cutting-edge cosmic ray researches, including the study of particle and nuclear interactions in ultra-high energy regions, cosmic ray modulations by magnetic fields and solar activities in the galaxy and the interplanetary space, and observation of solar neutrons. In addition, recent activities include researches related to the Earth environments. For examples, aerosols are observed in the unpolluted high mountain to study their transport mechanisms and their effect to air pollution and cloud generation, and the green-house effect and acid rain are studied by surveying alpine vegetation. Moreover, the observatory is used for prototype experiments to search for very-high-energy gamma-rays from the sky, and performance tests of cosmic-ray telescopes, utilizing its high altitude and night-sky darkness. Thus the Norikura observatory is working as a multi-purpose laboratory used by researchers in various fields with its unique features.

## Location

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

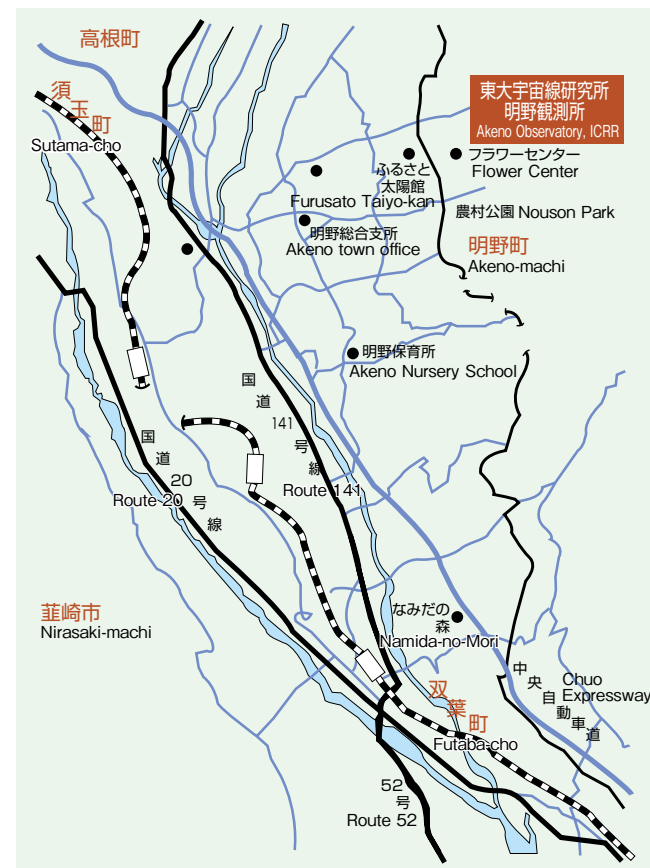
明野観測所は、 $10^{20}$  電子ボルトを超える極高エネルギー空気シャワーを観測し、空気シャワーの発達の研究や、宇宙における極高エネルギー宇宙線の発生起源の研究を行っています。また、これに関連する装置開発や試験観測の共同利用研究を支援しています。主要装置の AGASA は、平成 2 年以来 13 年間世界最大の空気シャワー観測装置として運用を行っていましたが、後継の大規模装置 Telescope Array (TA) に観測を引き継ぐべく、平成 16 年 1 月に運用を停止しました。現在、観測所の諸設備は、TA の装置建設と調整、試作検出器の開発と試験観測のために使われています。AGASA 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 whose energy levels exceed  $10^{20}$  eV are observed, and development of air showers and the origin of extremely high energy cosmic rays are studied. In addition, this observatory supports development of equipments related to these studies and test observation of inter-university joint-use researches. 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, to hand over observation to the larger scale successor, "Telescope Array (TA)." At present, the facilities at Akeno Observatory are used for construction and arrangement of TA, development of prototype detectors, and pilot observation. "AGASA" will be relocated to Utah, U.S.A., to continue its operation as a part of TA.

## Location

Address: 5259 Asao, Akeno-machi, Kitakoma-gun, 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: 910 hPa)

## 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

Chacaltaya Observatory of Cosmic Physics is 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 (Bolivian 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 been continued for 30 years and aimed at studying particle interaction at very high energies, including a report of rare events called 'Centaurus'.

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5300m)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、「セントウロ」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。



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初の全国共同利用研究機関でした。昭和32年にはIGY（国際地球観測年）の世界規模の観測に参加し、早くも国際的活動が始まりました。この年に空気シャワーの観測を始め、昭和33年にはエマルジョンチェンバーによる観測を始めました。その後しばらくの間、これらの観測装置による地道な観測が続けられました。

昭和47年になると、新たにミュートロン（電磁石スペクトロメータ）の建設が始まり、実験設備が整ってきました。昭和48年には、学術振興会の事業であった2つの国際研究が研究所の事業として吸収されました。一つはインド・コラー金鉱の深地下実験で、もう一つはボリビヤ・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1km<sup>2</sup>空気シャワー装置

と富士山のエマルジョン・チェンバーができ、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できました。

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らえました。同じ年に明野では、100km<sup>2</sup>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年には共同実験のオーストラリアで、南半球では世界で初めて超高エネルギーガンマ線を観測しました。同じ年に、研究所に新たに重力波の観測グループが加わりました。平成5年には、チベットでエアシャワーガンマ線実験装置の建設が始まりました。平成6年には明野で、理論上あり得ないと思われていた最高エネルギーの大シャワーを観測し、神岡では、大気ニュートリノの異常を観測しました。平成7年には神岡が第三の附属施設として新たに出発し、神岡宇宙素粒子研究施設となりました。平成8年にはスーパーカミオカンデが完成して本格観測が始まり、平成10年には2年間の観測結果として、ニュートリ

ノに質量があると発表しました。

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

平成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。



The Institute for Cosmic Ray Research (ICRR) is an institute conducting the observation and study of cosmic rays from various aspects. Its predecessor is a lodge for research, called Asahi Hut, built on Mt. Norikura based on the 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 observation of the International Geophysical Year (IGY), pioneering international activities. In the same year, it embarked on the observation of air showers, and in 1958, it started using the emulsion chamber for the observation. Since then, the observatory has continued steady observation with these instruments.

In 1972, the construction of Mutron (electromagnetic spectrometer) was commenced, improving the facilities for experiment. 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 the deep underground experiment at Kolar Gold Mine in India, and the other was the 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 researches since 1956, and started its researches over again as an institute composed of 6 divisions and 1 facility. In 1977, the Akeno Observatory was formally recognized as the second attached facility. In 1979, the 1km<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, the proton decay experiment was started as a joint experiment in Kamioka, and the construction of the 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 in trapping neutrinos from a supernova for the first time in the world. In the same year, the construction of the 100km<sup>2</sup> wide area air shower detector was commenced at the Akeno Observatory. In 1988, the Kamioka Observatory observed the deficit of solar neutrinos, and in 1989, the Norikura Observatory observed a considerable increase in cosmic neutrons in the wake of solar flare. In 1990, the construction of the wide area air shower detector at the Akeno Observatory was finished. In 1991, the construction of the 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 researches as the third attached facility. In 1996, the Super-Kamiokande was completed, and initiated full-scale observation. In 1998, the Super-Kamiokande team reported, as the finding of a two-year observation, that a neutrino has mass.

In 1999, in order to further study the mass of a neutrino, ICRR started the experiment of detecting artificial neutrinos that emitted from the High Energy Accelerator Research Organization at the 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 the Scientific Research Fund for COE (Center of Excellence), used for significantly improving the ultra high energy gamma ray observation in Australia.

On April 1, 2004, The University of Tokyo became an independent administrative entity, and the ICRR's research divisions were reformed to establish a research system composed of 3 research divisions.



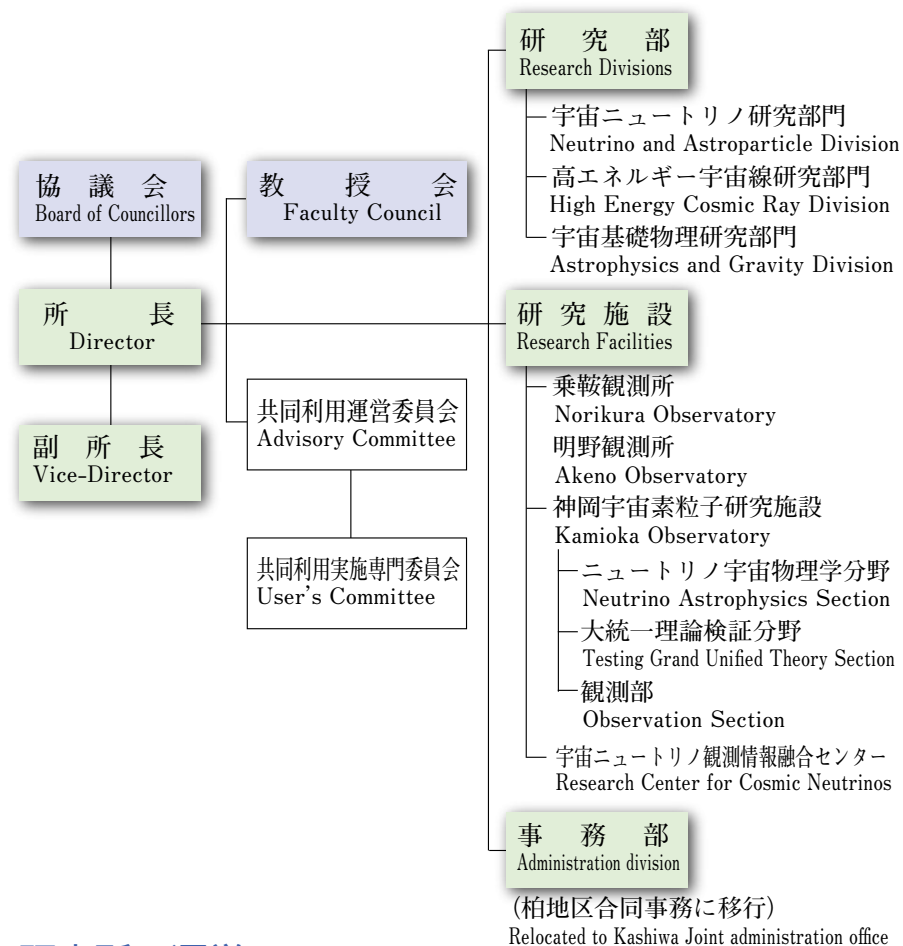
# 年表 Timeline

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、ボリビアの国際協力研究）が始まる〉 〈東京大学原子核研究所エマルション部の気球事業が宇宙航空研に移管される〉 〈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 41 年	1966	専任所長が着任する、ミュートロンの建設が始まる
昭和 43 年	1968	〈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 47 年	1972	超高エネルギー弱相互作用部門が新設される
昭和 48 年	1973	学術振興会の海外特別事業（インド、ブラジル、ボリビアの国際協力研究）が移管される
昭和 49 年	1974	専任事務長が着任する
昭和 50 年	1975	ミュートロンが完成する 明野観測所の建設が始まる 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） エマルションチェンバーによる日中共同研究を開始する
昭和 56 年	1981	宇宙線計測部門（客員）が新設される
昭和 57 年	1982	神岡鉱山で共同実験の陽子崩壊実験を開始する
昭和 58 年	1983	質量分析器を中心とした一次宇宙線研究設備が設置される
昭和 61 年	1986	将来計画検討小委員会（I）が設置される
昭和 62 年	1987	神岡地下実験が世界で初めて超新星からのニュートリノバーストを捕まえる 明野観測所で 100 平方 k m の広域シャワー観測装置 AGASA の建設が始まる 将来計画検討小委員会（I）の答申が出る
昭和 63 年	1988	神岡地下実験が太陽からのニュートリノ欠損を観測する
平成 元 年	1989	乗鞍で太陽フレアに伴う宇宙線的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パ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 km² 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 km² 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 km² 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. The anomalous dependence of atmospheric neutrinos against zenith angles were observed at the Kamioka Observatory.
1995	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・助教授の内で総長が命じた者、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総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・助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 Councillors:

This is a board for discussing the joint use of ICRR, and is summoned to meet 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 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 the operation of 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 that of outside researchers).

### User's Committee:

This is a committee for having discussions for facilitating joint-use research and suggesting and reporting to the Advisory Committee. This committee is composed of the members selected from the inside of ICRR and the 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	助教授 Associate Professors	助手 Research Fellows	教員合計 Total Number of Academic Staffs	技術職員等 Technical Staff	総合計 Total Number of Staffs
8 (0) [2] < 1 >	13 (0) [2] < 0 >	17 (1) [0] < 0 >	38 (1) [4] < 1 >	10 (1)	48 (2) [4] < 1 >

( ) 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～

### ●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52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-

### ●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 13 年度 FY 2001	平成 14 年度 FY 2002	平成 15 年度 FY 2003	平成 16 年度 FY 2004	平成 17 年度 FY 2005
人件費 Personnel Expenses		418,475	460,332	434,874	539,000	568,001
物件費 Non-personal Expenses		1,518,584	1,518,065	1,785,449	1,902,000	1,771,763
合 計 Total		1,937,059	1,978,397	2,220,323	2,441,000	2,339,764

## 外部資金等 External Funds, etc

区 分 Category	平成 13 年度 FY 2001		平成 14 年度 FY 2002		平成 15 年度 FY 2003		平成 16 年度 FY 2004		平成 17 年度 FY 2005	
	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	0	0	1	1,500	2	1,950	3	237,364	5	206,369
奨学寄付金 Donation for Scholarly Development	2	350	2	700	2	505	2	50,446	3	5,380
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 13 年度 FY 2001		平成 14 年度 FY 2002		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	
	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	330,000	1	442,000	1	208,000	特別推進研究 (COE) Research Category(COE)	0	0	0	0
特別推進研究 Special Promotion Research										5	256,000
特定領域研究 Particular Field Research							特定領域研究 (1) Particular Field Research (1)	2	21,000		
特定領域研究 (A) Particular Field Research (A)	4	155,800	3	140,400	2	180,000	特定領域研究 (2) Particular Field Research (2)	5	387,000		
特定領域研究 (B) Particular Field Research (B)	2	31,300	7	149,000	11	321,703	基盤研究 (A) (1) Basic Research (A) (1)	3	59,000	5	42,000
基盤研究 (A) Basic Research (A)	5	40,000	2	29,250	1	13,260	基盤研究 (A) (2) Basic Research (A) (2)			2	13,000
基盤研究 (B) Basic Research (B)	3	140,400	3	12,700	1	15,340	基盤研究 (B) (2) Basic Research (B) (2)	3	17,000	2	2,000
基盤研究 (C) Basic Research (C)	5	63,000	6	7,800	1	8,700	基盤研究 (C) (2) Basic Research (C) (2)	3	3,000		
奨励研究 (A) Encouraged Research (A)	2	1,200	2	2,700	2	3,300	若手研究 (A) Young Researcher's Research (A)			1	10,000
国際学術研究 (学術調査) International Academic Research(Academic Investigation)							若手研究 (B) Young Researcher's Research (B)	6	8,000	3	5,000
萌芽の研究 Exploratory Research			1	1,700	2	3,400	萌芽の研究 Exploratory Research	1	2,000	1	1,000
国際学術研究 (共同研究) International Academic Research(Collaborative Research)							特別研究員奨励費 Scholarship for Special Researchers				
特別研究員奨励費 Scholarship for Special Researchers			11	10,800	8	8,700					
合 計 Total	33	715,800	33	794,650	36	606,203		23	497,000	19	329,000

## 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 <sup>m</sup>	建物 Building Area <sup>m</sup>
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 : 0578-5-9620 456 Higashimozumi, Kamioka-cho, Hida-shi, Gifu Prefecture, Japan TEL: +81-578-5-2116	51,022 (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, Kitakoyama-gun, Yamanashi Prefecture, Japan TEL: +81-551-25-2301	56,557 (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で採択します。平成 16 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 17 年度利用状況 Joint use in fiscal 2005	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
将来計画 Future Projects	1	1	3
宇宙ニュートリノ研究部門 Neutrino and Astrophysics division	31 (22)	31 (22)	568 (498)
高エネルギー宇宙線研究部門 High Energy Cosmic Ray division	47 (7) [8]	45 (7) [8]	365 (82) [73]
宇宙基礎物理研究部門 Astrophysics and Gravity division	8	8	132
宇宙ニュートリノ観測情報融合センター Research Center for Cosmic Neutrinos	11	11	67

( ) 内:神岡施設、〈 〉内:明野観測所、[ ] 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 13 年度 FY 2001	平成 14 年度 FY 2002	平成 15 年度 FY 2003	平成 16 年度 FY 2004	平成 17 年度 FY 2005
修 士 Master's course	15 (3)	21 (3)	18 (2)	25 (3)	27 (2)
博 士 Doctor's course	11 (1)	11 (1)	13 (1)	14 (1)	16 (2)
合 計 Total	26 (4)	32 (4)	31 (3)	39 (4)	43 (4)

( ) 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. For 5 years 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 accept graduate students of 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 1 ボリビアのチャカルタヤ山では、エマルジョン・チェンバーを用いて宇宙線の起こす核相互作用の研究が行われています。

2 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 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 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 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 年中国科学院高性能物理研究所 (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 年ボストン大学院分理学研究科 (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 年ボリビアサンアンドレス大学 (ボリビア) 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

## 外国人研究者との人的交流

平成 13 年度から平成 17 年度の 5 年間に、当研究所に滞在し研究生活を共にした外国人研究者は合計 1,654 名に上ります。その一部は、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です。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	2000	2001	2002	2003	2004
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)	27	22	46	24	25
外国人研究者 (学振招聘分) Foreign researchers(Invited by the Japan Society for the Promotion of Science)	2	2	3	5	3
外国人来所者 (視察・調査・観測等) Foreign visitors(For investigation, research, and observation, etc.)	96	98	492	510	299
合 計 Total	125	122	541	539	327

## International Project

1. On Mt. Chacaltaya in Bolivia, nuclear interaction by cosmic rays is studies 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, the experiment on high energy cosmic rays is conducted by using the air show detector.
4. In Utah, U.S.A, a project for studying highest energy cosmic rays is in progress.
5. In addition, a lot of researchers from the U.S. are engaged in the underground experiment in Kamioka.

## International Exchange

A total of 1406 foreign researchers have stayed at ICRR and led an academic life together for 5 years from fiscal 2000 to fiscal 2004. Some of them were assembled 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. The recent data on the number of accepted foreign researchers is as shown 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

### International Conferences and International Workshops

ICRR holds international conferences and an international workshops about once a year. ICRR also conducts a monthly seminar in which renowned scholars and promising young researchers are invited, and discuss cutting-edge researches. The international conferences and workshops held in the past decade are as follows last digits show 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**  
sSymposium on Future Plans of ICRR: Status Quo and Outlook of Cosmic Ray Research  
Tamu Auditorium of KEK (Tokyo) 125
- Nov. 17-20, 1997**  
International Workshop regarding Gravity and Astrophysics  
Tamu 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  
Tamu 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
- 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  
Tamu 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
- 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

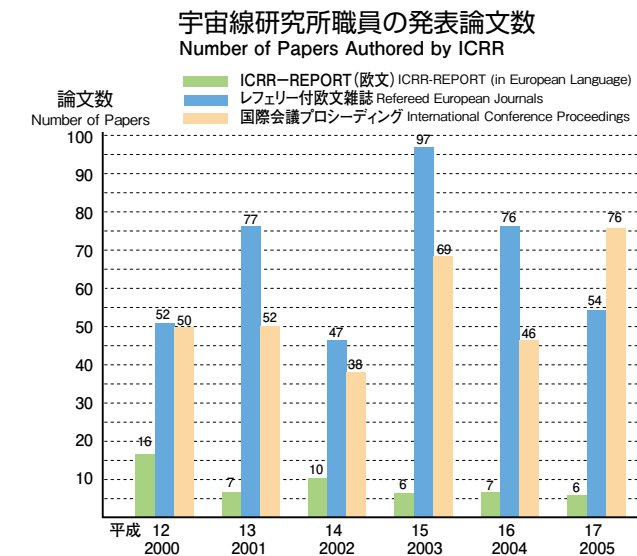
- Dec. 4-5, 2000**  
International Workshop on Low Energy Neutrino Detection  
Sanjo Conference Hall of The University of Tokyo (Tokyo) 122
- Dec. 6-8, 2000**  
The 2nd International Workshop for Elucidating Neutrino Oscillation and Its Origin Sanjo Conference Hall of The University of Tokyo (Tokyo) 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. 10-14, 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 24 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



# 柏キャンパス Kashiwa Campus

## 論文

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



## Academic Papers

The outcomes of joint-use researches are announced at academic conferences, etc., in Japan and overseas, and also published as papers via Japanese and foreign academic journals. The plot shows the number of papers authored by ICRR members that were inserted into the 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

## 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

## 論文以外の刊行物

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

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

## Other Publications

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

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

## 所在地

- 住所：〒277-8582 千葉県柏市柏の葉5-1-5
- 電話：04-7136-xxxx（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25分
- 柏駅からバス利用の場合  
JR 柏駅西口2番乗場から東武バスで  
※柏キャンパス  
「国立がんセンター」「江戸川台駅東口」行きに乗り約25分  
「柏の葉公園」経由の場合は、「東大前」で下車  
「税関研修所」経由の場合は、「国立がんセンター」で下車

## Location

- Address: 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba Prefecture 277-8582, Japan
- Tel: +81-4-7136-xxxx (dial-in)

## Access

- Kashiwanoha Campus Sta. of Tsukuba Express Line → Tobu bus for “Kashiwanoha Park Circulation” 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)

