

No. 95

2015.12.31

東京大学宇宙線研究所

# ICRR NEWS

## CONTENTS

P.1.  
2015年ノーベル物理学賞  
・・・中畑 雅行

P.10.  
大型低温重力波望遠鏡  
KAGRA  
第一期実験施設完成記念  
見学会・式典・祝賀会  
・・・三代木伸二

P.16.  
CTA 大口径望遠鏡  
着工記念式典  
・・・手嶋 政廣

P.18.  
イベント報告

P.21.  
人事異動

P.21.  
ICRR Seminar

MASAYUKI NAKAHATA, ICRR - Super-Kamiokande Group

研究紹介



東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設長  
中畑 雅行

## 2015年ノーベル物理学賞



Copyright © Nobel Media AB 2015 Photo: Pi Frisk



2015年ノーベル物理学賞が東京大学宇宙線研究所 梶田隆章教授とクイーンズ大学のアーサー・マクドナルド教授に授与されました。受賞理由は「ニュートリノ振動、それによるニュートリノ質量の発見」です。どのようにしてニュートリノ振動が発見されたのか、ニュートリノが質量を持つことの意義、今後のニュートリノ研究について、歴史をたどりながら解説します。

## 1 カミオカンデ実験と大気ニュートリノ

梶田先生は1981年4月に東京大学理学系研究科物理学専門課程の修士課程に入学され、小柴昌俊先生のもとで研究を始められました。同年、私は学部4年生で小柴研究室に配属になったため、梶田先生とはその日以来34年間研究を共にさせていた

だいています。

カミオカンデの当初の目的は陽子の崩壊を発見することでした。グラシオー、ワインバーグ、サラムによって弱い相互作用と電磁相互作用を統一する理論が構築され、それに強い相互作用を加えた「大統一理論」がジョージ、グラシオーらによって提唱されていました。陽子はその仲間の中で最も軽い粒子であるため大統一理論提唱前は崩壊できないと考えられていましたが、大統

一理論ではクォークと電子が仲間であると考えられるため、陽子が電子（具体的には陽電子）などの軽い粒子に崩壊できる可能性が出てきたのです。実際、当時の大統一理論では3,000トンのカミオカンデ実験装置（図1）を作れば年間数十事象の陽子崩壊事象が見つかる予想され、梶田先生も私もその魅力に取りつかれて小柴研究室に飛び込んだのです。

カミオカンデには大きな競争相手がいま

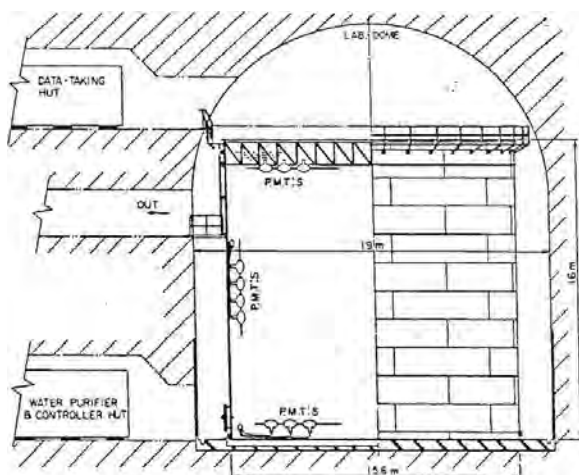


図1：カミオカンデ実験装置の概念図（左）と内部の写真（右）



Copyright © Nobel Media AB 2015 Photo: Pi Frisk

## 「「ミューらしい」か、 「電子らしい」かを見分ける 粒子識別プログラム を作りました。」

した。1956年にニュートリノを発見したライネスらはアメリカでIMB (Irvine-Michigan-Brookhaven) 実験を準備していました。カミオカンデと同じ「水チェレンコフタイプ」の実験装置（水を貯めたタンクの内面に光検出器を並べて荷電粒子が発するチェレンコフ光をとらえるタイプの実験装置）でしたが、有効体積（実際にデータ解析に使える体積）が3,400トンあり、カミオカンデの有効体積880トンと比べて何倍も違いがありました。また、IMBは建設が早く進んでいて、実際カミオカンデよりも1年早く1982年にはスタートしていました。そのまま勝負したら負けしてしまうことを小柴先生は認識されており、「第1発見はIMBに取られてしまうかもしれないがその先の研究をしよう」と考えられまし

た。具体的には、陽子がどのような崩壊様式にどのぐらいの分岐比で崩壊するかを測定し、大統一理論のモデルを選別するためのデータを取ろうと考えられました。そのためにはチェレンコフ光をたくさんとらえて粒子の識別をおこなう必要があり、20インチサイズの光電子増倍管(PMT)を新たに作ることを提案されたわけです。電子とミュー粒子がどのように見えるかを当時シミュレーションした結果を図2に示します。この粒子識別能力が後のニュートリノ振動のヒントを掴むカギとなるのです。ちなみにIMBが使用したPMTは5インチ（後のIMB-3のフェーズでは8インチになったが）であり、受けるチェレンコフ光の量ではカミオカンデの16分の1しかありませんでした。梶田先生が修士課程に

入った頃は20インチPMT開発の佳境に入っており、日夜小柴研究室で出来たばかりのPMTの試験をしていたことを覚えています。PMTはそれにかかる高電圧を調整して同じ光量に対して同じ出力になるように調整する必要があります（いわゆるキャリブレーション）、梶田先生はチェレンコフ光に近い新たな光源の製作を行い、それをテーマとして修士論文を執筆されました。

1982年-1983年頃はカミオカンデ建設のため、スタッフも学生も神岡へ頻繁に行くようになりました。1,000本のPMTのキャリブレーション、防水処理、そして1983年4月から7月はタンクへの取り付けのため、神岡に長期滞在しました。建設は十数名程度で行われましたが、本当に手

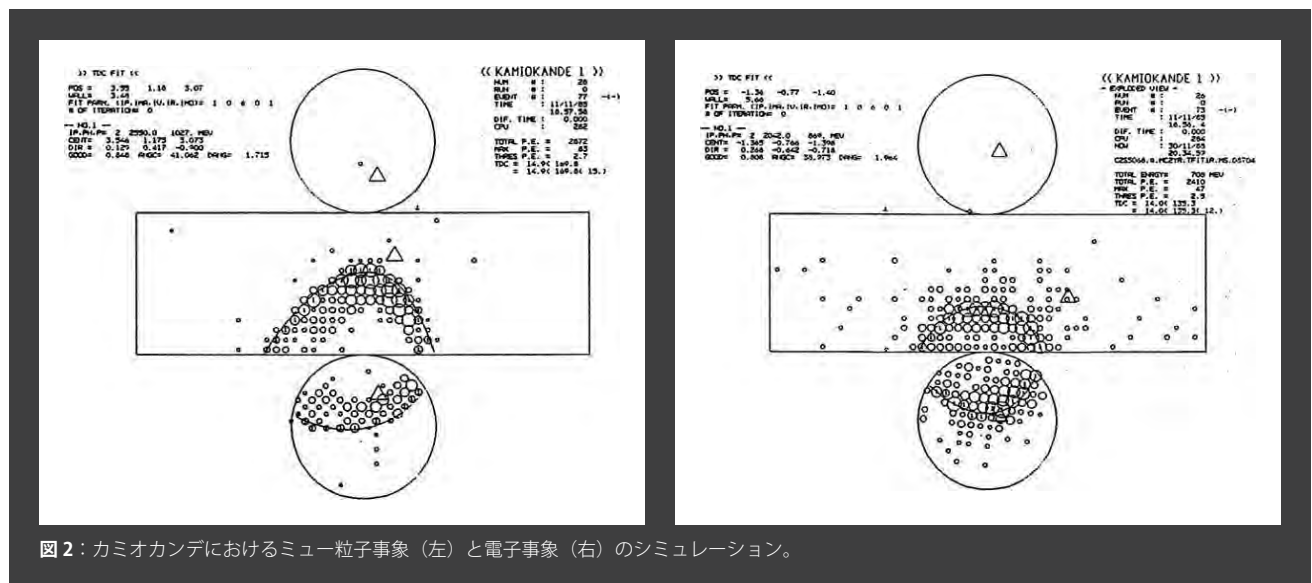


図2：カミオカンデにおけるミュー粒子事象（左）と電子事象（右）のシミュレーション。

## “SKが始まってから2年目という 非常に時間的に厳しいタイミング”

作り感のある実験装置でした。

1983年7月にカミオカンデがスタートしました。当時は人数が少なかったこともありますが、スタッフ、学生が一丸となって陽子崩壊探索の解析をしました。当初は計算機のパワーもありませんでしたので、ある程度の選択条件でイベントを選び、残ったイベントをイベントディスプレイでスキャンするという解析を行いました。しかし、半年近くデータを解析しても待望の陽子崩壊事象はみつきませんでした。そして、1984年から太陽ニュートリノ観測に向けた改良がおこなわれ、1987年には大マゼラン星雲での超新星爆発ニュートリノの観測、1989年には太陽ニュートリノの観測成功へとカミオカンデは進んでいきました。

陽子崩壊は938MeVの質量を持つ陽子が崩壊する現象ですが、そのエネルギー領域でおこるニュートリノ事象には「大気ニュートリノ」があります。陽子崩壊のバックグラウンドを見積もるためには大気ニュートリノをよく理解しておく必要がありました。宇宙線（高エネルギーの陽子やヘリウム原子核など）が地球の大気と反応し、荷電パイ中間子（ $\pi^\pm$ ）を生み、その崩壊  $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm \nu_\mu$ 、そして  $\mu^\pm \rightarrow e^\pm \nu_\mu \nu_e$  からミューニュートリノ（ $\nu_\mu$ ）と電子ニュートリノ（ $\nu_e$ ）とが生まれます。ここで注意しておいていただきたいのは、 $\nu_\mu$ と $\nu_e$ とが2:1の比で生まれることです。正確には、 $\pi^\pm$ の崩壊で生まれる $\mu^\pm$ が地表に届く前に崩壊する場合に2:1になりますが、大気ニュートリノが上空数十kmで生まれることを考えると1GeV程度以下ではその比が予想されます。

カミオカンデの大気ニュートリノデータを解析していくうちに、観測されるニュートリノ事象の中で $\mu \rightarrow e$ 崩壊を伴う事象の割合が予想と比べて少ないという問題が見つかってきました。 $\nu_\mu$ が荷電カレント反応によって $\mu$ が生まれるとタンク内を走って止まり、最後は $\mu \rightarrow e$ 崩壊することが予想されるのですが、その割合が大気

ニュートリノのシミュレーションと比べて少なかったのです。それがシミュレーションの問題なのか、 $\mu \rightarrow e$ 崩壊の検出効率など観測上の問題なのかいろいろとチェックを行いました。解決できませんでした。実はそれがニュートリノ振動の発見へとつながる最初の兆候でした。

1986年の秋頃、梶田先生がチェレンコフリングのパターンから「ミュー( $\mu$ )らしい」か、「電子( $e$ )らしい」かを見分ける粒子識別プログラムを作りました。梶田先生は陽子崩壊をテーマとして博士論文を書かれましたが、博士号をとったその年のことです。そのプログラムをすでに取得されていたデータにかけてみると、本来2:1の比であるべき $\mu:e$ の比が約1.2:1になりました。また、 $\mu$ タイプと言っているイベントの中で $\mu \rightarrow e$ 崩壊を伴っているイベントの割合は、 $\mu^-$ の酸素原子核による捕獲、 $\mu \rightarrow e$ 崩壊の検出効率を考慮して求めた割合と良く一致することになりました。つまり、当初の $\mu \rightarrow e$ 崩壊を伴う事象の割合が合わないという問題は、 $\mu:e$ の比が予想と合わないためであると解釈されました。この結果は本当ならば大変なことなので入念なチェックが行われました。粒子識別プログラムに問題がないかを実際にタンクで取得されている宇宙線ミュー粒子やミュー崩壊からの電子を使って調べたり、データ選別の過程でミュータイプの事象を落とすという可能性がないかを調べたりするなど、梶田先生が瀧田先生（当時博士課程学生）とともに詳細な確認をおこないました。それには1年以上の時間を要し、 $\mu:e$ 比が合わないという論文<sup>[1]</sup>が出されたのは1988年になりました。この論文の最後に

は、 $\mu:e$ 比が合わないことを説明するひとつの可能性としてニュートリノ振動に言及しています。

その後、1992年にはニュートリノ振動が原因であるとした場合の解釈の論文<sup>[2]</sup>、1994年には数GeV事象でもニュートリノ振動の兆候が見えているという解析結果の論文<sup>[3]</sup>を梶田先生が中心となって書かれましたが、万人が認める結果を出すには大きな装置（スーパーカミオカンデ）が必要でした。

## 2 スーパーカミオカンデ実験の建設

カミオカンデでは陽子崩壊がなかなか見つからないと分かった1984年頃、スーパーカミオカンデ（SK）の必要性を小柴先生が叫ばれ始めましたが、予算化はなかなか進みませんでした。予算要求が本格化するのには、1987年5月に荒船次郎先生が宇宙線研究所の所長に着任され、1988年4月に戸塚洋二先生、中村健蔵先生が宇宙線研究所教授に着任（同時に梶田先生、中畑は助手に着任）、そして1989年3月に鈴木洋一郎先生が助教授に着任された頃からです。当時の詳細は荒船先生の回顧録<sup>[4]</sup>を読んでいただければと思います。

1991年にSKの予算が認められ建設が始まりました。SKは約120名の研究者が参加する共同実験ですが、国内では東京大学、高エネルギー加速器研究機構、東北大学、新潟大学、大阪大学、東京工業大学、東海大学、神戸大学、京都大学が参加しました。各大学・研究機関は光電子増倍管の製造管理、高電圧発生装置、透過率測定器等々、装置の主要部分を担当し建設が進められました。アメリカからは、かつての競争相手であるIMB実験に参加していたメンバーを中心として、カリフォルニア大学アーバイン校、ボストン大学、ストニーブ

“横向きあるいは上向きの事象では  
タウニュートリノに振動して  
事象が減っていました。”

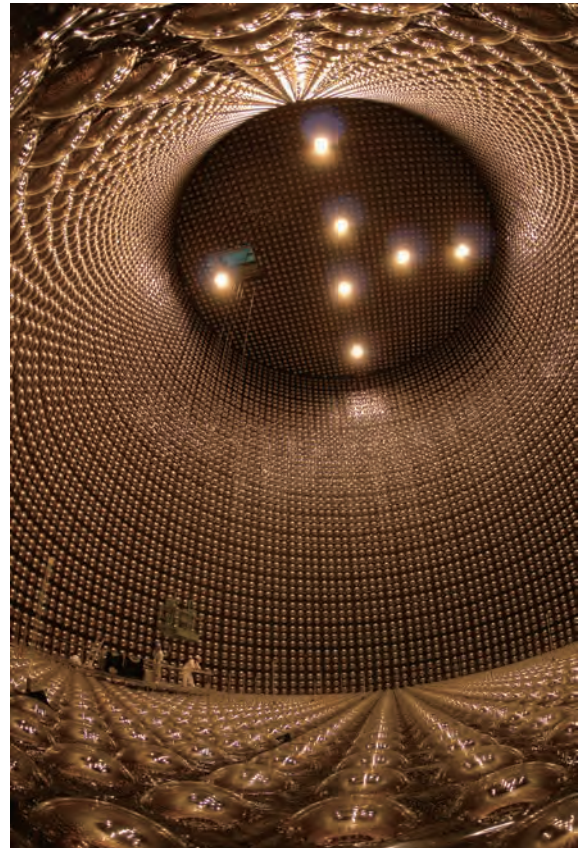
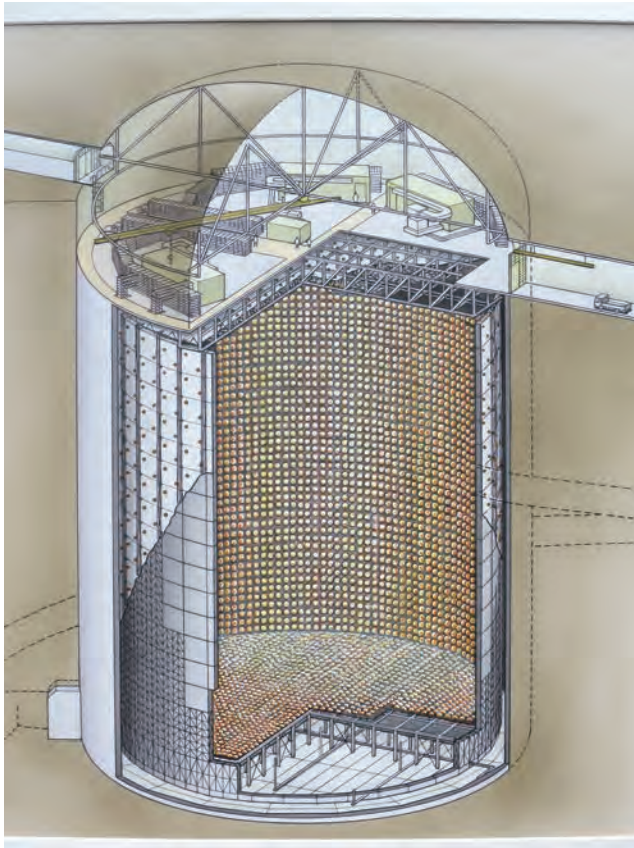


図3：スーパーカミオカンデ実験装置の概念図（左）と内部の写真（右）



図4：光電子増倍管の取り付けがほぼ完了した頃の梶田先生。

ルック大学、ハワイ大学、ルイジアナ州立大学、メリーランド大学、等から50名以上の研究者が参加しました。SKの50,000トンの水タンクは、内水槽とよばれる32,000トンの内側部分とタンク外壁から2m分の外水槽部分とに分かれています。

（図3参照）内水槽には11,146本の20インチPMTが取り付けられ、外水槽には1,885本の8インチPMTが取り付けられています。アメリカグループは外水槽を担当し、外水槽用のPMTや遮光用シートなどの製作、取り付けを担当しました。

### 3 大気ニュートリノ振動の発見

1996年4月にSKのデータ取得が始まりました。SKの有効体積は22,500トンあり、カミオカンデの880トンと比べると25倍もありました。カミオカンデでは大気ニュートリノ事象が数日に1事象でしたが、SKでは一日に約10事象の大気ニュートリノ事象が観測できました。その

梶田先生はSKの建設において20インチPMTの取り付けを担当されましたが、1995年に一日200本というペースでPMTが取り付けられていった時には毎日坑内に入って現場監督として目を光らせていました。図4は取り付けが終盤を迎えた頃の写真ですが、無事PMTが取り付けられたことへの安堵感が窺えます。

圧倒的に多いデータを使って詳細な解析をおこなうことができました。また、カミオカンデでは内面の20%をPMTの光電面が覆っていたことに比べて、SKではその倍の40%を光電面が覆うようにしました。主たる目的は太陽ニュートリノに対する性能向上のためですが、粒子識別もより明瞭となりました。SKで実際に取得されたミュー事象と電子事象の例を図5に示します。

ニュートリノ研究の分野では“International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics”（通称、「ニュートリノ国際会議」）という会議が2年に一度開かれて、最新のニュートリノ研究について議論されます。その会議を1998年に岐阜県高山市で開催することになりました。SKが始まってから2年目という非常に時間的に厳しいタイミングでしたが、その時までには実験装置をちゃんと較正し、解析プログラムを整備し、物理結果を出すところまでこぎつけました。大気ニュートリノについては、その解析グループを指揮していた梶田先生がグループを代表してトークをするようになりました。SKで取得された大気ニュー

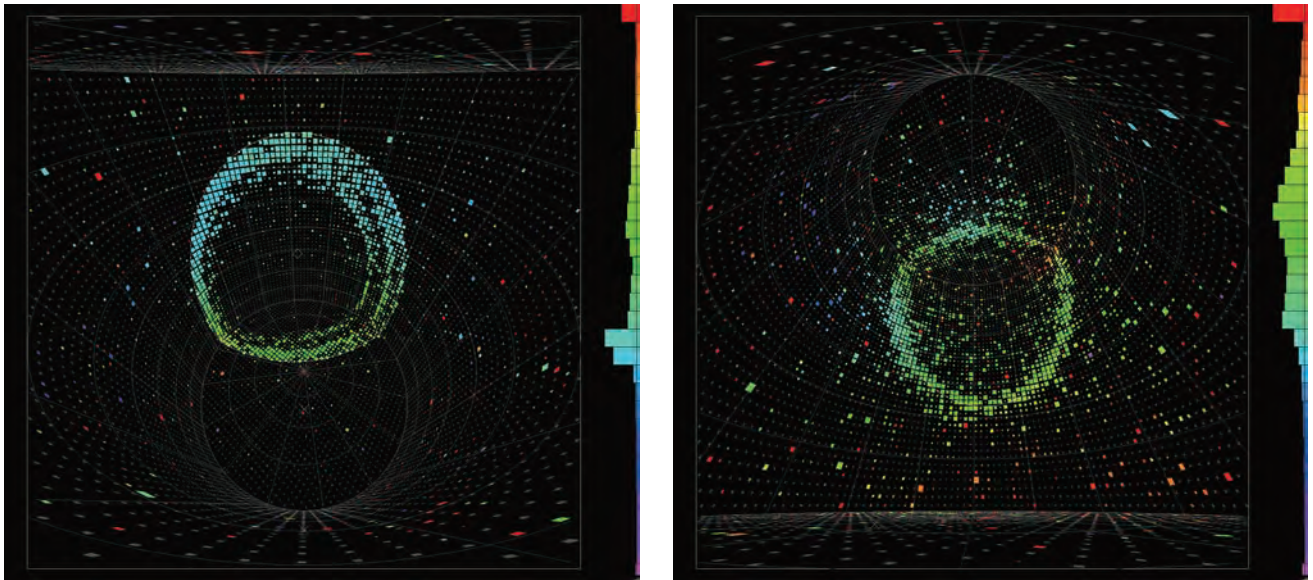


図5：典型的なミュー粒子事象（左）と電子事象（右）。（スーパーカミオカンデで取得された事象のイベントディスプレイ）

トリノデータは、エネルギーごと、方向ごとに分割してそれらの相対的な強度を比べました。特に Multi-GeV とよばれる数 GeV のエネルギー帯のミューニュートリノ事象においては、実験装置の上空で生まれて数十 km 程度飛んでくる間には振動しないが、数千 km 以上飛んでくるような横向きあるいは上向き的事象ではタウニュートリノに振動して事象が減っていました。（図6参照）一方、電子ニュートリノ事象の方には振動の兆候はみられず上下対称な分布をしていました。また、エネルギーが 1.33 GeV 以下の sub-GeV とよばれるサンプル、エネルギーが高くタンク下の岩盤で反応して上向きに飛んでくるミュー粒子などのサンプルにおいてもミューニュートリノ振動による影響がみえていました。これらのデータをニュートリノ振動として解釈し、ニュートリノ振動パラメータ（質量差と混合角）を求めてみるとすべてのサンプルからの結果が良く一致していました。梶田先生の発表は堂々としたものであり、発表の後にはなかなか鳴りやまない拍手が続き、参加者がニュートリノ振動の発見を確信したことを物語るものでした。ニュートリノ国際会議の直後に「大気ニュートリノ振動の証拠」と題する論文<sup>[5]</sup>が発表されましたが、その論文の引用数は現在 4619 にのぼります。（2015年11月22日現在）

1998年のスーパーカミオカンデの結果はミューニュートリノがタウニュートリノに「振動」していると解釈されましたが、

それが本当に「振動」なのか、ミューニュートリノが「崩壊」して消えてしまうといったようなエキゾチックな現象なのかを確認する論文を2004年に発表しました。エネルギー（E）を距離（L）で割った値（E/L）の関数としてミューニュートリノの存在確立をプロットして、波打つ様子を観測し、「振動」であることを確認しました（論文<sup>[6]</sup>）。タウニュートリノは反応断面積が小さいため捉えることが容易ではありませんでしたが、イベントパターンの特徴を使って統計的に抽出する方法を使って選びだすことに成功し、2012年に論文<sup>[7]</sup>を発表しました。

## 4 太陽ニュートリノ振動の発見

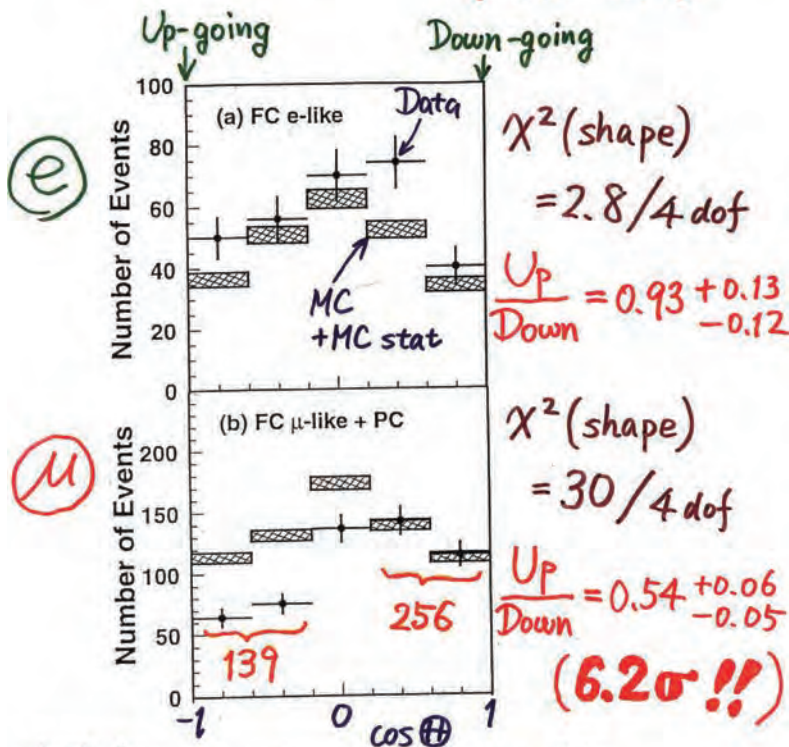
そもそもニュートリノ振動の可能性が最初に議論され始めたのは、デービス（2002年ノーベル物理学賞受賞）らが1960年代から始めた太陽ニュートリノ実験の結果によってでした。太陽のエネルギー源は中心核でおきている核融合反応ですが、核融合の際に電子ニュートリノ（ $\nu_e$ ）が生まれます。デービスらは塩素がニュートリノと反応して発生するアルゴンの数をカウントしましたが、標準太陽モデルが予想する値に比べて1/3程度しかなく（「太陽ニュートリノ問題」とよばれていた）、その可能性としてニュートリノ振動が考えられていました。カミオカンデは1989年に太陽

ニュートリノの観測に成功し（文献<sup>[8]</sup>）、やはり観測されたニュートリノの数が標準太陽モデルからの予想に比べて少ないことを確認し、太陽ニュートリノ問題を確認しました。これが標準太陽モデルに原因があるのではなく、ニュートリノ振動が原因であることを示すためにはモデルによらない観測事実が必要でした。

カナダのSNO実験は1,000トンの重水（ $D_2O$ ）を用いた実験であり、電子ニュートリノが重陽子と反応して電子を生む反応（ $\nu_e + D \rightarrow e^- + p + p$ ; CC反応とよばれる）、ニュートリノが重水を分解する反応（ $\nu + D \rightarrow \nu + n + p$ ; NC反応とよばれる）の両方を捉えました。また、電子が散乱する反応（ $\nu + e^- \rightarrow \nu + e^-$ ; ES反応）も捉えられますが、次に述べますようにこの反応についてはSKが高い感度を持ちます。CC反応は $\nu_e$ のみを捉えるのに対して、NC反応は全種類のニュートリノ、ES反応では $\nu_e$ と $\nu_\mu + \nu_\tau$ の1/(6~7)が寄与する、といった特徴があります。

SKは1996年から観測を開始し、2001年までには非常に精度の良いES反応の頻度を測定していました（文献<sup>[9]</sup>）。SNOは1999年に観測を開始し、2001年にはまずCC反応の結果を発表しました（文献<sup>[10]</sup>）。この時点でSKの結果とSNOの結果に有意な違いがあり、それはニュートリノ振動が太陽ニュートリノ問題の答えであることを示す最初の発見となりました。（図7（左）参照） $\nu_\mu + \nu_\tau$ の強度がゼロから大きく離

## Zenith angle dependence (Multi-GeV)



\* Up/Down syst. error for  $\mu$ -like

**Prediction** (flux calculation .....  $\lesssim 1\%$   
 1km rock above SK .... 1.5%) **1.8%**

**Data** (Energy calib. for  $\uparrow\downarrow$  .... 0.7%  
 Non  $\nu$  Background ..... < 2%) **2.1%**

図6：1998年高山で開催されたニュートリノ国際会議の際に梶田先生が示したスライド。SKにおけるMulti-GeV事象の天頂角度分布を示す。

れていることがニュートリノ振動の証拠です。その後、2002年にSNO実験はNC反応の結果を発表し(文献<sup>[11]</sup>)、独自にCC反応とNC反応の頻度を比較し、太陽ニュートリノ振動をより確実なものとししました。(図7(右)参照) また、こうしたニュートリノ振動の効果を補正して求めた太陽ニュートリノの強度は太陽モデルが予

想する値と良く一致し、これによって太陽ニュートリノ問題は解決しました。太陽ニュートリノ振動に関するパラメータの決定においては、太陽ニュートリノの全実験を統合した解析によって「大角度解」が98.9%信頼度で好まれることが2002年5月にわかり(文献<sup>[12]</sup>)、同年12月にはKamLAND実験による原子炉ニュートリノ

の観測によって大角度解が確実なものとなりました。(文献<sup>[13]</sup>)

## 5 その後の研究の進展

大気ニュートリノ、太陽ニュートリノとも自然界に存在するニュートリノですが、人工的に作ったニュートリノを使った実験が世界に先駆けて1999年に日本ではじまりました。つくばの高エネルギー加速器研究機構で作った $\nu_\mu$ を250km離れたスーパーカミオカンデでとらえるという実験(K2K実験)でした。K2K実験は2004年には $\nu_\mu$ が減っていることを示し、大気ニュートリノ振動を確認しました(文献<sup>[14]</sup>)。

3種類ニュートリノがある関係で振動のパターンも3種類存在します。大気、太陽ニュートリノ振動に加えてもうひとつ振動モードがあるはずでした。それが2009年からスタートしたT2K実験(東海村J-PARC加速器施設からスーパーカミオカンデへ295km飛ばす実験)によって2011年にみつかりました。具体的には $\nu_\mu$ ビームを飛ばして $\nu_e$ に変ることを調べたのですが、2011年までにその証拠となる事象を6個みつけたのです(文献<sup>[15]</sup>)。また、中国<sup>[16]</sup>、韓国<sup>[17]</sup>、フランス<sup>[18]</sup>で行われた原子炉ニュートリノを用いた実験でも2012年にこの第3の振動モードが発見されました。

## 6 ニュートリノ質量の意義と今後の研究

ニュートリノ振動の発見によってニュートリノは質量をもつことが分かりました。一方、素粒子の標準理論ではニュートリノの質量がゼロとして扱われています。その理由は弱い相互作用が左巻きのニュートリ

“ニュートリノ振動の効果を補正して求めた  
 太陽ニュートリノの強度は太陽モデルが  
 予想する値と良く一致”

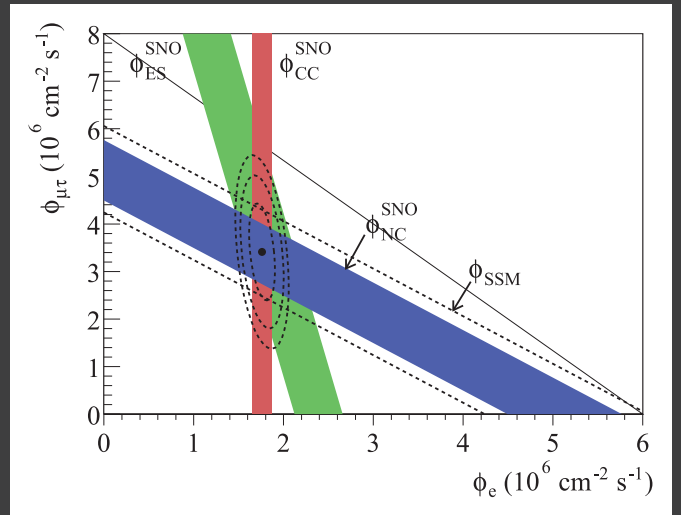
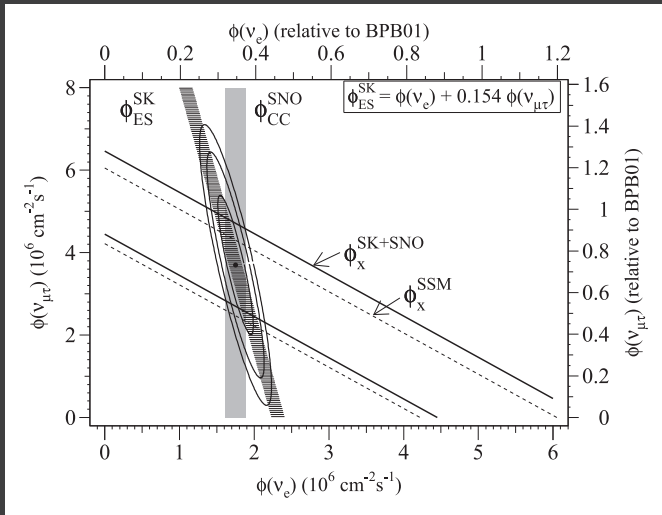


図7：(左)SKとSNOが測定した太陽ニュートリノ強度を横軸が $\nu_e$ 、縦軸が $\nu_\mu + \nu_\tau$ の強度にまとめた図（文献[10]より）。Copyright (2001) by The American Physical Society  
(右)SNOがCC, NC, ES反応によって同様にまとめた図（文献[11]より）。Copyright (2002) by The American Physical Society

## “「レプトジェネシス」が正しければ 「ニュートリノ振動」と「反ニュートリノ振動」 とに違いが現れるはず”

ノにしか作用しないため、右巻きニュートリノがあると標準理論の中で不自然だからです。したがって、ニュートリノ質量の発見は標準理論が完璧ではないことを示す実験的な証拠となりました。また、ニュートリノの質量は電子の質量と比べて100万分の1以下です。（ニュートリノの質量の絶対値はまだ測定されていませんが、トリチウムのベータ崩壊実験によって上限値が与えられています。）同じ素粒子の仲間なのになぜこれほどまで質量が違うのでしょうか？そこにはきっと何か深い理由があるに違いありません。その答えのひとつとして近年注目を浴びているのが、柳田氏が提唱している「シーソー機構」です。シーソー機構には非常に重い右巻きニュートリノが存在し、それとのバランス関係で通常観測されている左巻きのニュートリノは非常に軽くなってしまふという解釈です。シーソー機構が正しければニュートリノの質量はマヨラナタイプとなり二重ベータ崩壊実験においてニュートリノが放出されない二重ベータ崩壊が見つかるはずで

さらに、重い右巻きニュートリノは宇宙

の成り立ちにも関係するかもしれないと言われています。宇宙の物質優勢を説明する理論として柳田・福来らは「レプトジェネシス」を提唱していますが、重い右巻きニュートリノが宇宙の初めに崩壊する際にレプトン数を生み出し、それがバリオン数に転換されるという理論ですが、それが正しければ「ニュートリノ振動」と「反ニュートリノ振動」とに違いが現れるはずで

J-PARCからのニュートリノビーム/反ニュートリノビームを使って違いをみることにになりますが、そのためにはSKよりも一桁大きい実験装置が必要であり、「ハイパーカミオカンデ」が計画されています。また、同様の目的のためにアメリカでは液体アルゴンを使った大規模実験（DUNE計画）も準備されています。

陽子崩壊をさぐるうえでノイズであった大気ニュートリノから始まったニュートリノ研究ですが、この30年間に大躍進を遂げてきました。これからも素粒子物理学、宇宙物理学の重要な実験・観測手段として進展が期待できます。

今後ともご支援の程、よろしくお願

い致します。

## 参考文献

- [1] “Experimental Study of the Atmospheric Neutrino Flux”, Kamio-kande-II Collaboration (K. S. Hirata et al.), Phys.Lett. B205 (1988) 416.
- [2] “Observation of a small atmospheric muon-neutrino / electron-neutrino ratio in Kamiokande”, Phys.Lett. B280 (1992) 146-152.
- [3] “Atmospheric muon-neutrino / electron-neutrino ratio in the multiGeV energy range”, Kamiokande Collaboration (Y. Fukuda et al.), Phys.Lett. B335 (1994) 237-245.
- [4] 「宇宙線研究所と Kamiokande 計画」荒船次郎著（「回顧 我が国戦後の素粒子・宇宙線研究」福来正孝編纂）、<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/com-memorative/nobel/memoir.html>
- [5] “Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos”, Super-Kamiokande Col-



laboration (Y. Fukuda et al.), Phys.Rev.Lett. 81 (1998) 1562-1567.

- [6] "Evidence for an oscillatory signature in atmospheric neutrino oscillation", Super-Kamiokande Collaboration (Y. Ashie et al.), Phys.Rev.Lett. 93 (2004) 101801.
- [7] "Evidence for the Appearance of Atmospheric Tau Neutrinos in Super-Kamiokande", Super-Kamiokande Collaboration (K. Abe et al.), Phys.Rev.Lett. 110 (2013) 18, 181802.
- [8] "Observation of B- 8 Solar Neutrinos in the Kamiokande-II Detector", Kamiokande-II Collaboration (K.S. Hirata et al.), Phys.Rev.Lett. 63 (1989) 16.
- [9] "Solar B- 8 and hep neutrino measurements from 1258 days of Super-Kamiokande data", Super-Kamiokande Collaboration (S. Fukuda et al.), Phys.Rev.Lett. 86 (2001) 5651-5655.
- [10] "Measurement of the rate of  $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$  interactions produced by 8B solar neutrinos at the Sudbury Neutrino Observatory", SNO Collaboration (Q.R. Ahmad et al.), Phys.Rev.Lett. 87 (2001) 071301.
- [11] "Direct evidence for neutrino flavor transformation from neutral current interactions in the Sudbury Neutrino Observatory", SNO Collaboration (Q.R. Ahmad et al.), Phys.Rev.Lett. 89 (2002) 011301.
- [12] "Determination of solar neutrino oscillation parameters using 1496 days of Super-Kamiokande I data", Super-Kamiokande Collaboration (S. Fukuda et al.), Phys. Lett. B539 (2002) 179-187.
- [13] "First results from KamLAND: Evidence for reactor anti-neutrino disappearance", KamLAND Collaboration (K. Eguchi et al.), Phys.Rev.Lett. 90 (2003) 021802.
- [14] "Evidence for muon neutrino oscillation in an accelerator-based experiment", K 2 K Collaboration (E. Aliu et al.), Phys.Rev.Lett. 94 (2005) 081802.
- [15] "Indication of Electron Neutrino Appearance from an Accelerator-produced Off-axis Muon Neutrino Beam", T 2 K Collaboration (K. Abe et al.), Phys.Rev.Lett. 107 (2011) 041801.
- [16] "Observation of electron-antineutrino disappearance at Daya Bay", Daya Bay Collaboration (F.P. An et al.), Phys.Rev.Lett. 108 (2012) 171803.
- [17] "Observation of Reactor Electron Antineutrino Disappearance in the RENO Experiment", RENO Collaboration (J.K. Ahn et al.), Phys.Rev.Lett. 108 (2012) 191802.
- [18] "Indication for the disappearance of reactor electron antineutrinos in the Double Chooz experiment", Double Chooz Collaboration (Y. Abe et al.), Phys.Rev.Lett. 108 (2012) 131801



Copyright © Nobel Media AB 2015 Photo: Pi Frisk



Copyright © Nobel Media AB 2015 Photo: Alexander Mahmoud



ノーベルメダルとノーベルディプロマ

# 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA

## 第一期実験施設完成記念見学会・式典・祝賀会

2015年11月、常温の鏡を用いた重力波望遠鏡の運転に必要な構成要素からなる第一期実験施設がほぼ完成に至った。11月6日に、東大総長はじめ様々にご支援をいただいている関係者の皆様や重力波関連研究者の方々、報道機関を通して国民の皆様を紹介し、また第一期実験施設完成に多大なご貢献を頂いた関連企業様に感謝の意を表するため、KAGRA 第一期実験施設見学会、記者会見、および完成記念式典をとり行った。

日本の重力波グループは、アインシュタインの一般相対性理論により存在が予測されている重力波の世界で初めての直接的検出を目指す研究を1970年代頃から行ってきた。これまでに、国立天文台に設置したTAMA300干渉計で、当時の世界最高感度を達成し、また神岡に設置されたCLIO干渉計では、長年の加速器科学の研究で培った低温技術や超電導技術を持つ高エネルギー加速器研究機構の協力を得て、世界初となる低温干渉計型重力波検出器の動作に成功するなど、本格的な大型重力波望遠鏡建設に向けた実績を積み上げてきた。それに平行して、東京大学宇宙線研究所においては、1993年の研究所の将来計画検討委員会によって、スーパーカミオカンデの次に実現すべき重要な研究課題として推薦されて以来、KAGRA(当時はLCGT)計画の実現に努力してきた。そして、2010年に文部科学省の最先端研究基盤事業によって一部が予算化され、プロジェクトが開始された。現在、KAGRA計画では、東京大学宇宙線研究所がホスト研究機関となり、高エネルギー加速器研究機構と自然科学研究機構・国立天文台を共同ホスト機関として

密接な協力体制を整え、さらに国内外から合計69機関、247人の研究協力者を得て、岐阜県飛騨市神岡町池ノ山の地下において

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の建設を進めている(図1)。計画開始後も、文部科学省の大規模学術フロンティア促進事業、



図1: KAGRA 地下空洞の全体像。その中に、長さ3 kmの2本の腕を持つL字型構造をした重力波望遠鏡 KAGRA が設置される。



宇宙基礎物理学研究部門・  
重力波推進室  
三代木伸二



©国立天文台

## “一辺3 kmのL字の トンネル構造と そのL字の3端点にある 集中的実験空間から 構成されている”

施設整備費補助金、日本学術振興会の特別推進研究などから支援をいただきながら望遠鏡の完成を加速させている。

2014年3月には、望遠鏡を格納する地下トンネルが完成された。地下が好環境である理由は、極めて微弱な重力波の信号をとらえるKAGRAにとって、信号を掻き消す雑音となりうる地面の振動が、地表に比べて100分の1程度と小さいためである。2012年5月から、KAGRAを設置するための地下空洞の掘削が鹿島建設株式会社様によって行われ、2014年3月に完成した。KAGRAの地下実験空間は、一辺3kmのL字のトンネル構造(図2)と、そのL字の3端点にある集中的実験空間から構成されているが、このKAGRA本体用トンネルのみならず、そこに到達するための誘導トンネルも掘削する必要があったため、掘削の

総延長は約7.7kmになった。

これと並行して、各協力研究機関においては、KAGRAを構成する重要な構成要素の開発が行われた。このKAGRAの構成要素の大部分を格納し、一辺3kmのL字のトンネル全面に渡って展開される巨大な真空系の製造は、高エネルギー加速器研究機構及び東京大学宇宙線研究所が中心となり、株式会社ミラプロ様の協力を得て行われた。長さ12メートル・直径80センチメートルの真空ダクトを500本超、直径1.5メートル、高さ3.4メートルから4.5メートルまでの真空槽15基などが製造された(図3)。これらの大量の真空ダクトは、トンネル完成までの間、岐阜県飛騨市様のご厚意により、今は廃線となっている旧神岡鉄道のトンネルの、東茂住駅から漆山駅の間を利用させていただき保管されてい

た。KAGRAの最大の特徴の一つでもある鏡をマイナス253度まで冷却するクライオスタットと呼ばれる装置は、高エネルギー加速器研究機構のグループが中心となり、株式会社東芝様、株式会社ジェック東理社様の協力を得て、その設計、製造、工場等での試験が行われてきた(図4)。一方、KAGRAで使用する鏡を地面振動から防振する装置の開発は、国立天文台のメンバーが中心となり、イタリアの重力波グループのメンバーの協力も得ながら、設計、製造、性能試験が行われてきた(図5)。その他にも、レーザー光学系の設計と開発(図6)、KAGRAを望遠鏡として機能させるための制御系の開発(図7)、データを取得・蓄積・転送・そして解析するシステムの構築も、東京大学宇宙線研究所、東京工業大学、富山大学、大阪市立大学、新潟大学、大阪大



図2：KAGRAで新たに掘削され、コンクリート吹き付け塗装、および、床コンクリート舗装がなされた、長さ約3kmのトンネル。写真はYアーム(東茂住側に伸びるトンネル)。



図3：3kmの腕トンネルに設置された真空ダクト。長さ12m、直径80cmのダクトを約250本程度締結し、約3kmの高真空空間を構築。写真はXアーム(佐古西側に伸びるトンネル)。

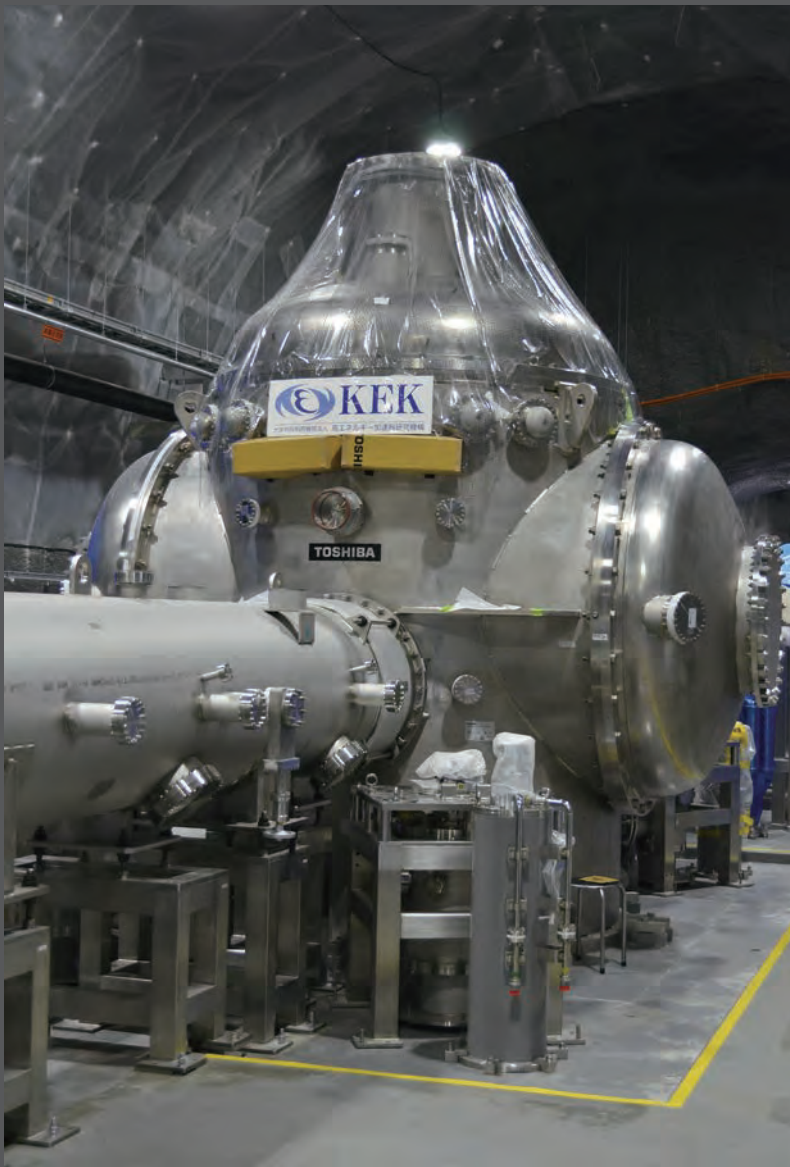


図4：サファイア鏡を-253度程度に冷却するためのクライオスタット装置。計4基が製造され、すべてKAGRA施設内に設置された。冷却装置としては、第二期完成時に稼働予定。



図5上：KAGRAを構築する鏡の一つを地面振動から防振する装置。この写真では、最終端には、本物の鏡を模したアルミの円筒が装着されている。国立天文台内での作業風景。(提供:国立天文台)

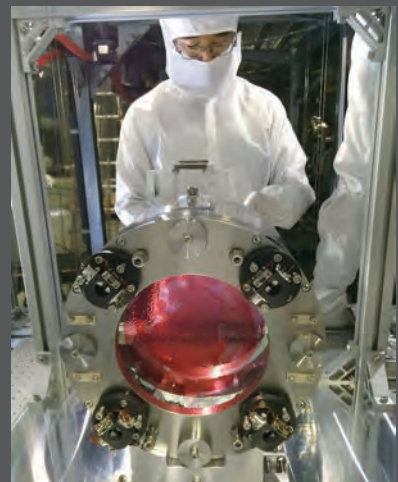


図5下：実際に格納される鏡とその周辺部品取り付け作業風景。(提供:国立天文台)

学等を中心に現在も進行中である。

その後の2014年4月から2015年9月までの間は、KAGRAに必要な基盤的な実験環境の整備とクリーンブースの建築を、東京大学宇宙線研究所が中心となり、鹿島建設株式会社様、三井金属エンジニアリング株式会社様、株式会社SPエンジニアリング様、株式会社興研様等のご協力を得ながら行ってきた。それと並行して、真空系を構築するための真空ダクト・真空タンク・クライオスタットの搬入と設置、構築、および締結作業を、主に三井金属エンジニアリング社様とミラプロ社様の協力を得てほぼ完成させた。さらに、KAGRAのサイトに最も近い国立大学である富山大学との間で協定を締結し、富山大学におけるレーザー光源部の性能改善開発がさらに加速さ

れた。2015年初頭から現在に至っては、レーザー光学系の組み込みが開始されると同時に、KAGRAで必要とされる様々な鏡を地面振動から防振するための防振装置と鏡の真空タンク内への組み込み作業などが進行中であるが、2015年11月、常温の鏡を用いた重力波望遠鏡の運転に必要な構成要素からなる第一期実験施設がほぼ完成に至った。このようなKAGRAの様子を、様々にご支援をいただいている東京大学総

長、主要三機関長とその各機関内関係者、文部科学省、ご来賓、飛騨市様、協力企業様そして重力波関連研究者に紹介し、かつ、報道関係者への公開を通じ、国民の皆様への説明を行い、さらに第一期実験施設完成に多大な貢献を頂いた関連企業様に感謝の意を表すため、KAGRA第一期実験施設見学会、記者会見、完成記念式典を11月6日にとり行った。

11月6日は好天に恵まれた快晴の中、

“知のプロフェッショナルを育成する  
国際的かつ世界最高水準の教育が行  
われる場となる”

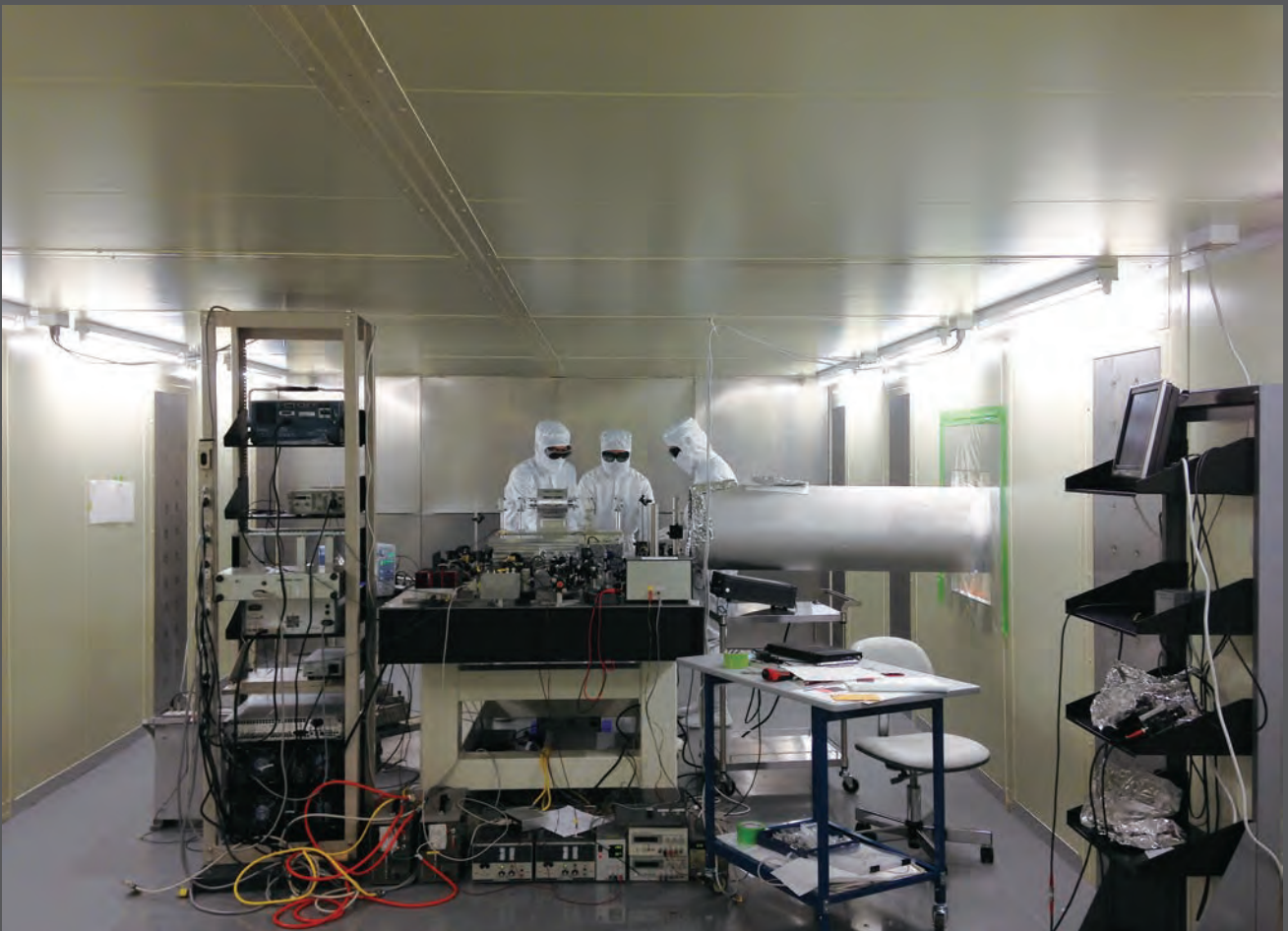


図6：KAGRA で利用されるレーザー装置の調整風景。ISO Class 1 のクリーンブースの中にレーザー光学系が設置されており、中央右の真空ダクトから、レーザー干渉計へとレーザー光線が導入される。

まずは午前より報道関係者のためのKAGRA中央実験室見学会が二回に分けて行われた。参加された報道機関者数は、テレビ局、新聞社、科学系雑誌社を含め、76人に及んだ。富山市細入南部地区センターに集合した参加者は、各回、東大宇宙線研の三代木、岡田高エネルギー加速器研究機構広報室長、平松国立天文台広報室長、岩城同室員引率のもと、マイクロバス二台でKAGRA坑口まで移動の後、徒歩により約500メートルの長さの誘導坑道を通過し中央実験室まで移動した。まずは、実験室入り口において三代木が重力波と重力波望遠鏡に関する概説を行ったあと、パワーサイクリングエリアクリーンブースにおいて、国立天文台の正田研究員が、国立天文台が主に担当機関となって開発を行っている入射光学系の鏡の防振装置について、実装中の装置を前にしながら説明を行った。次に、Xアームフロントクライオスタット設置場所に移動し、その担当機関である高エネルギー加速器研究機構の木村准教授がクライオスタットに関する説明を行った。その後、見学者は中央実験室からXアーム腕トンネル約100メートル地点に移動し、3kmの長さになたって一直線に締結された真空ダクト列を覗き見学を終えた。見学の最中、報道関係者からの質問は途絶えることなく続き、関心の高さが伺えた。

報道機関の施設見学終了後、入れ替わる形で、梶田東京大学宇宙線研究所長が、五神東京大学総長、佐藤自然科学研究

“重力波の起源である重力  
そのものに多くの未解明  
な部分がある”



図7：KAGRAを坑外からリモートで監視・制御する制御室。岐阜県飛騨市神岡町東茂住にある東京大学宇宙線研究所重力波推進室のデータ収集解析棟内に構築。

機構長を KAGRA 中央実験室にお招きし、山内高エネルギー加速器研究機構長、林国立天文台長、横山東京大学大学院理学系研究科准教授とともに実験室内を見学された。その後も、飛騨市市議会議員様をはじめとする飛騨市関係者様、国土交通省中部・北陸地方関係者様、古在ぐんま天文台長、二階堂富山大学理事・副学長をはじめとする富山大学関係者様、施設建設にあたり特にご尽力いただいた関連企業様、重力波関連および関連の深い研究をされている研究者、そして主要三機関関係者をお招きし、実験室内を見学していただいた。

その後、場所を富山大学黒田講堂に移し、大型低温重力波望遠鏡 KAGRA 第一期実験施設完成記者会見を行った。定員 60 余人の会場は、TV 関係者、新聞及び雑誌記者、カメラマンであふれ、ここでも関心の高さが伺えた。記者会見では、KAGRA の PI である梶田東京大学宇宙線研究所長、五神東京大学総長、山内高エネルギー加速器研究機構長、林国立天文台長、大橋重力波推進室長が最前列に並び、横山東京大学大学院理学系研究科准教授（同広報室副室長）の司会のもと、まずは、五神総長より挨拶が行われた。挨拶の中では、KAGRA 計画が人類の知の地平線を拡大する研究であり、日米欧の重力波観測ネットワークのアジアにおける重要な研究拠点として貢献し、知のプロフェッショナルを育成する国際的かつ世界最高水準の教育が行われる場となることへの期待が述べられた。そして、この日本において、カミオカンデ、スーパーカミオカンデ、そして KAGRA のような大型の実験施設で実験を行うことが可能であること背景として、これまでの日本の着実

## “光では観測できない天体現象、特にブラックホールが誕生する瞬間の観測が可能となる”

な経済成長とそれによってもたらされた豊かさ、そして平和の維持に言及され、その歴史を築いてきた当時の国民、そして、その延長線上にいるすべての現代の国民の皆様に対する感謝が述べられた。引き続き、山内機構長が挨拶に立ち、KAGRA 計画において担当となっている真空装置およびクライオスタットの構築にあたっては、高エネルギー加速器研究機構が長年加速器建設で培ってきた、大規模超高真空技術、極低温技術が生かされていることを述べられた。また、重力波の起源である重力そのものに多くの未解明な部分があることを説明され、本 KAGRA 計画による重力波観測がその解明の端緒になることへの期待が示された。引き続き林台長が挨拶に立ち、KAGRA 計画に先立つ TAMA300 プロトタイプ重力波望遠鏡において多くの研究者が育成され、現在の KAGRA 計画の人的貢献につながっており、現在進行中の KAGRA 計画においては、国立天文台が、鏡の高性能防振装置、補

助光学系、鏡の性能評価、干渉計制御を担当していることを説明された。さらに、将来的には、国立天文台が有するアルマやすばる、あるいは TMT のような望遠鏡群による多チャンネル観測により重力波発生天体の解明への意欲が示された。最後に、KAGRA 計画の PI である梶田宇宙線研究所長から、今回の大型低温重力波望遠鏡 KAGRA 第一期実験施設完成についての報告がなされた。報告は、本記事冒頭の内容について要点をしぼったものであったが、さらに将来の展望として、2015 年度中に第一期実験施設の試験運転を行い、第二期



図 8：KAGRA 中央実験室施設見学会にて、前列左より林国立天文台長、山内高エネルギー加速器研究機構長、梶田東京大学宇宙線研究所長、五神東京大学総長、佐藤自然科学研究機構長、横山東京大学大学院理学系研究科准教授



図 9：KAGRA アーム部を見学



図 10：富山大学黒田講堂での大型低温重力波望遠鏡 KAGRA 第一期実験施設完成記者会見の様子

## 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA 実験施設 第一期完成記念式典



図 11：大型低温重力波望遠鏡 KAGRA 第一期実験施設完成記念式典にて挨拶する五神東京大学総長

実験施設が完成する 2017 年度中には重力波の観測に向けた本格運転を開始し、世界初の重力波直接観測、重力波天文学の創成を目指すことが述べられた。また、挨拶の最後には、五神東大総長と同様に、国民の皆様からのご支援に対し、深い感謝の意を表した。記者会見の最後に報道陣からいくつかの質問を受け付け、その答えとして、KAGRA の建設現場に一番近い国立大学である富山大学の最前線基地としてのご協力に対する感謝や、KAGRA では光では観測できない天体現象、特にブラックホールが誕生する瞬間の観測が可能となるという説明、そして、重力波を直接観測するためには第二期の完成こそが正念場であり、そのために全力を尽くす意欲が示された。

記者会見後、富山県富岩運河環水公園を一望できる、レストラン、ラ・シャンスに場所を移し、大型低温重力波望遠鏡 KAGRA 第一期実験施設完成記念式典が執り行われた。横山准教授の司会のもと、総ガラス張りの会場から望む、夕焼けに暮れなずむ富岩運河にかかる天門橋を背景に、まずは、梶田宇宙線研所長、五神東大総長の挨拶の後、ご来賓として、最初に小松文部科学省学術振興局長よりご挨拶いただいた。その挨拶の中では、梶田宇宙線研所長

のノーベル物理学賞ご受賞のお祝いの言葉を頂くとともに、安倍内閣総理大臣への表敬訪問の際のお話を交えながら、基礎科学研究の大切さについても述べられた。引き続き、遠藤富山大学長よりも挨拶を頂き、極めて困難なテーマである重力波検出にとりくむ研究者に対して力強いエールが送られた。そして本式典のメインイベントでもある、KAGRA 第一期実験施設完成にあたって特にご尽力いただいた、株式会社東芝様、三井金属エンジニアリング株式会社様、株式会社ミラプロ様への感謝状の贈呈式が行われ、五神東大総長より、東芝社・志賀執行役員副社長、三井金属エンジニアリング社・荒木代表取締役社長、ミラプロ社・津金代表取締役社長に感謝状が直接手渡された。KAGRA 第一期実験施設完成においては、株式会社東芝様は、クライオスタット 4 基の製造において、株式会社三井金属エンジニアリング様は真空ダクト・真空タンクの搬入設置、および、電気設備工事において、そして株式会社ミラプロ様は真空ダクト・真空タンクの製造において、それぞれの持てる最大限の技術力をもって多大な貢献をして頂いた。式典の最後として、各界から頂いた祝電が読み上げられ式典は終了した。式典終了後は、隣接する祝賀会場に場

所を移し、引き続き祝賀会が執り行われた。大橋重力波推進室長による開会の挨拶の後、井上飛騨市長様から乾杯のご発声をしていただき、参加者による和やかな懇談が始まった。途中、古在ぐんま天文台長（国立天文台名誉教授）、佐藤自然科学研究機構長、そして山内高エネルギー加速器研究機構長よりご祝辞を賜り、ますます祝賀ムードが高まる中、KAGRA 建設の様子を記録したビデオ等の上映も広く関心を集め、懇談の話題が尽きない中、“Time Flies” とはよく言ったもので、瞬間に終会の時間となったため、会を惜しみつつも、重力波推進室の川村教授の閉会の挨拶により、祝賀会は盛会のうちに終了した。これをもって、一連の行事はすべて滞りなく終了した。

最後になりますが、今回の一連の行事に関しては、東京大学宇宙線研事務室員、重力波推進室事務室員及び研究員、神岡宇宙素粒子研究施設事務室員、Kavli IPMU 神岡分室事務室員、そして、富山大学事務部の方々には多大な時間を割いてのご準備と当日の運営を行っていただきましたこと、そして見学会を手伝っていただいた大学院生達と駐車場を貸与していただいた東茂住地区の住民の皆様には、この紙面をお借りし、深く感謝の意を表します。



東京大学宇宙線研究所  
手嶋 政廣

# CTA 大口径望遠鏡 着工記念式典



10月9日に、スペインカナリー諸島ラパルマ島のロケ・ムチャチョス天文台において CTA 大口径望遠鏡の着工記念式典を開催しました。

ラパルマのロケ・ムチャチョス天文台は、タブリエンテ火口外輪山の尾根から北側に広がる大地に広がった丘陵地の国立公園内に位置し、標高は2,200-2,400mである。ロケ・ムチャチョス天文台には、その大気の透明度、大気揺らぎの小ささから、多数の光学望遠鏡が配置されている。さながらハワイと同様に、大西洋の天文銀座と言って良いかもしれない。光学望遠鏡としては、口径11.3mのグラン・カナリ望遠鏡、口径4.2mのウイリアム・ハーシェル望遠鏡、3.5mのガリレオ望遠鏡など、11の望遠鏡が並んでいる。また17m口径のチェレンコフ望遠鏡2台から成るMAGICガンマ線望遠鏡も配置されている。この広大な丘陵地は、1990年代には、HEGRAのシンチレーション検出器、チェレンコフ望遠鏡が配置され、2003年より、MAGICチェレンコフ望遠鏡が設置され、超高エネルギーガンマ線天文学の研究施設としても20年以上使われてきた。夕方になり温度が下がり大気が落ち着いてくると、日中天気の良い日でも、逆転層が現れ、雲が天文台より下がり綺麗な雲海を見ることができる。

CTAは南北に二つのサイトを持ち、全天を観測する高エネルギーガンマ線天文台である。北半球には、19基のチェレンコフ望遠鏡（大口径望遠鏡4基、中口径望遠鏡15基）が、南半球には99台の望遠鏡（大口径4基、中口径25基、小口径70基）

の望遠鏡が配置され、20GeVから200TeV領域のガンマ線が従来にない高い感度で測定される。特に日本が主導的に建設を進めている大口径望遠鏡は、口径が23mでありガンマ線検出のエネルギー閾値を20GeVまで下げることができ、宇宙の観測を宇宙初期(z=4)まで広げ、より多くの高エネルギー天体、活動銀河核、ガンマ線バーストを観測することになり、宇宙の進化、超巨大ブラックホールの進化などに関して大きく研究を進めることができる。

CTA Consortiumは長年の調査の結果、2015年7月に北半球のサイトをスペイン・ラパルマ、南半球のサイトをチリ・パラナルに決定した。大気の透明度、観測可能時間、気象データ（温度変動、最大風速）、地理データ（地震活動）等の環境データ、また現地のサポート、現有のインフラ、現地へのアクセスなどの利便性、政治的安定性、危険要素（自然災害、風土病、感染症）などを調査し、最終的にラパルマとパラナルに決定した。

CTA大口径望遠鏡1号基のラパルマでの建設は、このサイト決定の最終決定を待つことができず2013年にはすでにCTA Consortiumで議論を始め、2015年3月

に、ロケ・ムチャチョス天文台を運営・管理するカナリー宇宙物理学研究所と大口径望遠鏡建設を進める東京大学宇宙線研究所との間で覚書が調印され、正式決定していた。また、同3月には、スペイン・ラパルマ、ロケ・ムチャチョス天文台を東京大学宇宙線研究所の海外観測拠点とし、CTA大口径1号基建設の準備を進めてきた。

この大口径望遠鏡1号基は、日本、ドイツ、スペイン、イタリア、フランス、スウェーデン、インド、クロアチアの国際共同研究チームにより、2016年度の完成を目指し



口径23m CTA大口径望遠鏡のイメージ図。  
(提供：CTAコンソーシアム)

“2016年度の完成を目指して、  
建設を進めている”





© Antonio González/IAC

## “北半球のサイトを スペイン・ラパルマ、 南半球のサイトを チリ・パラナルに決定”

て、建設を進めている。望遠鏡構造体は、入札は完了し、すでにドイツ・マックスプランク物理学研究所とドイツの会社 MERO-TSK が製造を開始している。コンクリート土台、レールシステムはスペイン及びドイツが担当し、現在、入札段階である。望遠鏡分割鏡、望遠鏡カメラの光センサー、エレクトロニクスは日本が担当している。望遠鏡分割鏡は、現在急ピッチで国内の三光精衡所で製造中であり、分割鏡アクチュエーターはすでに全数完成しており、較正中、制御ソフトウェアの開発中である。望遠鏡カメラは、国内での光センサー、エレクトロニクスは製造が完了し、現在モジュールをアッセンブル、較正中である。

日本 CTA グループは、その発足時から、限られたマンパワー、獲得予算で、如何に CTA の中でビジビリティーを出し、より多くのサイエンスを出していくかを検討し、戦略的に日



梶田所長の祝辞。(提供：Daniel López/IAC)



ロケ・ムチャチョス天文台での、着工式。記念プレートが除幕される瞬間。奥の青色洋服の女性がスペイン科学長官カルメン・ベラ氏、手前がカナリー諸島プレジデントであるフェルナンド・グラビホ・バトエ氏。(提供：Antonio González/IAC)

## “戦略的に日本からの貢献を大口径望遠鏡へ集約してきた”

本からの貢献を大口径望遠鏡へ集約してきた。日本の貢献は、大口径望遠鏡建設のおよそ40%程度を予定しており、その準備、建設段階においてCTA大口径望遠鏡プロジェクトを主導してきている。

着工記念式典は10月9日に、CTA大口径望遠鏡1号機が設置されるロケ・ムチャチョス天文台の建設予定地で行われた。出席者は、大口径望遠鏡プロジェクトを主導する宇宙線研究所の代表として梶田隆章宇宙線研究所長、天文台を運営するカナリー宇宙物理学研究所の代表としてラファエル・レボロ所長、スペイン科学長官カルメン・ペラ氏、カナリー諸島大統領フェルナンド・クラビホ・バトエ氏、在スペイン日本全権大使越川和彦氏らの来賓を含め、100名以上の参加者があった。梶田所長においては、ノーベル賞受賞発表（10月6日）後、二日後には飛行機に乗りLaPalmaに向かっただけ、10月9日の式典に出席いただいたのは大変ありがたいと感謝いたします。式典において梶田所長は多くの参加者に、CTA計画において日本の強い貢献を印象付けることになりました。感謝いたします。

着工記念式は、大口径望遠鏡1号機設置場所において、大口径望遠鏡プロジェクト代表の手嶋、国際共同研究チームの代表マネル・マルチネスがCTAプロジェクト、CTA大口径望遠鏡、その科学目的を説明し、その後カナリー諸島大統領、スペイン科学長官により記念プレートの除幕がされた。その後、レジデンシア（天文台宿泊施設）の横に併設された大型テントの中に移動し、カナリー宇宙物理学研究所長、宇宙線研究所長、カナリー諸島大統領、在スペイン日本大使、ラパルマ島大統領から祝辞をいただいた。スペイン政府、カナリー諸島政府から、ラパルマ島でのCTA大口径望遠鏡の建設、ひいては北CTAサイト建設に対する大いなる期待が感じられました。

## 柏キャンパス一般公開を開催しました

2015年10月23日（金）・24日（土）、東京大学柏キャンパスでは一般公開が開催されました。梶田隆章宇宙線研究所長のノーベル物理学賞受賞のニュースの直後の開催となり、キャンパス全体としても1万3千人を超える過去最高の来訪者数を記録し、宇宙線研究所でも両日で所内外の企画に約5,000人という昨年の4倍程度の方にお越しいただきました。両日ともに快晴にめぐまれ、受付前には常時長蛇の列が作られ、子供たちや団体、家族連れでたいへんな賑わいを見せました。

一般公開初日の冒頭には、ノーベル物理学賞受賞が決定した梶田所長と市民との交流会が開催されました。応募者から抽選で選ばれた参加者からは、研究生活や生き立ち、今後の研究などさまざまな質問があがりました。受賞発表から一般

の方と触れ合う初めての機会ともあり、メディアからも大変な関心がありました。若い人や親御さんへのメッセージなど、一つ一つ丁寧に応答する姿が印象的でした。

宇宙線研究所では、各研究グループの研究者がそれぞれのポスターの前で解説を行う6階廊下を使用した展示室が、メイン展示となります。今年は、サイエンスカフェの会場を急遽、柏図書館へ移動し、展示スペースを大セミナー室まで拡張しました。大セミナー室では、梶田先生のノーベル物理学賞受賞理由であるニュートリノなど、神岡で行われている研究内容を拡張展示し、スーパーカミオカンデ建設当時のビデオの上映や写真など、もりだくさんのコンテンツに来場者は見入っていました。展示スペースは来



梶田隆章宇宙線研究所長と市民との交流会の様子



岸本康宏准教授によるサイエンスカフェ「不思議の粒子 ニュートリノ」

訪者であふれており、来所を断念された方も多かったとのことでした。

ノーベル物理学賞受賞関連の展示として、柏図書館の2階にも特設展示スペースが設けられました。落ち着いた雰囲気の中、パネルや当時を彷彿とさせる OHP による発表スライドなど、じっくりとご覧いただいている姿が印象的でした。

展示室の他にも、クイズ大会やサイエンスカフェ、カードゲーム大会、霧箱作成ラボ、重力波干渉計実験ラボ、ペーパークラフト制作など、子供から年配の方まで幅広く楽しめるイベントが多数行われ、狭いながらも所外へ企画を展開することでより多くの方に宇宙線研究所に触れていただくことができましたように思われます。この他にも、霧箱制作や重力波干渉計組み立てを研究者と行う体験型のラボが盛況でした。

研究所前では、両日で計3回、マルバツ形式のクイズ大会が開催されました。観

測的宇宙論グループの修士2年目の藤本征史氏による名司会により、たいへんな盛り上がりを見せました。優勝者への賞品として梶田先生直筆のサイン入りマグカップが進呈されるということもあり、小学生から大人まで多くの方が各回最後まで熱心な参加がありました。

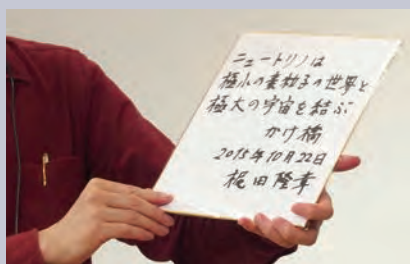
今年のサイエンスカフェは、ノーベル物理学賞受賞のニュースをうけて、関連のあるニュートリノをテーマに行われました。23日(金)は神岡グループの岸本康宏准教授による「不思議の粒子 ニュートリノ」、24日(土)は同じく神岡グループの早戸良成准教授による「スーパーカミオカンデとニュートリノ振動実験」というタイトルで、ノーベル賞受賞理由となったニュートリノ振動から今後の研究まで幅広く紹介がありました。より多くの方にご参加いただけるように、会場を柏図書館のメディアホールへ移動しましたが、定員の約140

席がほぼ満員、土曜日には立ち見も出るなど盛況でした。大会場での開催でありながらも、カフェの雰囲気になるべく失わないようにするため、ファシリテーターとして神岡報担当の武長祐美子氏をまじえたクイズ形式で進行しました。両日ともに5名程度のクイズ挑戦者を来訪者から募り、優勝者には、梶田所長からの直筆メッセージがかかれた色紙が贈られました。

容量を超える予想以上に多くの方にご来場いただきながらも、大きな問題もなく無事終了できたことは、所内の大勢の学生・研究員、教員、そして事務が一丸となって企画・実施に取り組んだ結果であるといえます。アンケートでは、「わからなかったことがわかって楽しかった」や「これからの計画が楽しみです」など、研究者への激励の言葉が多く見られ、来場者は有意義な時間を過ごすことができたようでした。



早戸良成准教授によるサイエンスカフェ「スーパーカミオカンデとニュートリノ振動実験」にてクイズに答える参加者



クイズ挑戦者から優勝者には梶田所長直筆の色紙が贈呈された



藤本征史氏によるクイズ大会



霧箱作成ワークショップ



小さなお子様にも人気のペーパークラフト作成



柏図書館でのノーベル賞受賞記念特設展示スペース



展示会場でポスター解説のようす

## 文化勲章 受章 — 梶田 隆章



東京大学宇宙線研究所長 梶田隆章教授が文化勲章受章及び文化功労者として顕彰されました。

文化勲章は、科学技術や文化の発展や向上に顕著な功績があるものに授与される日本の勲章であり、文化功労者は、文化勲章に次ぐ栄誉で、文化の向上発達に関し多大な功績をした者に贈られます。

文化勲章親授式は、11月3日に皇居において、文化功労者顕彰式は同4日にホテルオークラ東京で行われました。

2016年基礎物理学ブレークスルー賞 受賞 — 梶田 隆章・鈴木 洋一郎、  
スーパーカミオカンデ共同実験グループ

東京大学宇宙線研究所長 梶田隆章教授と、前東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設長（現東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構）鈴木洋一郎特任教授、そしてスーパーカミオカンデ共同実験グループは他の4実験とともに、2016年基礎物理学ブレークスルー賞を共同受賞しました。

ブレークスルー賞は、人類の知識に重要な貢献のあった個人を表彰するため2012年に設立され、今回はスーパーカミオカンデ、カナダのサドベリー・ニュートリノ天文台 (Sudbury Neutrino Observatory : SNO)、大亜湾 (Daya Bay) 実験、カムランド実験、及び長基線ニュートリノ振動実験 K2K・T2K 実験グループの受賞が決定したものです。梶田教授と鈴木特任教授は、スーパーカミオカンデ実験に携わり、本実験でのニュートリノ振動の発見は2015年ノーベル物理学賞の受賞理由ともなっています。

梶田教授は、地球の大気中で宇宙線によって生成される大気ニュートリノの種類が変動する現象を捉えました。その後、太陽の中で起こる核融合によって生成された太陽ニュートリノも同様に変動することがわかり、ニュートリノ振動の決定的な証拠となりました。これにより、ニュートリノに質量があることがわかり、素粒子の標準模型の修正が余儀なくされました。梶田教授は、SNO 実験のアーサー・マクドナルド教授との2015年ノーベル物理学賞共同受賞が決定しています。

鈴木特任教授は、スーパーカミオカンデ実験において、SNO 実験グループとともに太陽ニュートリノの欠損問題の解決にあたりました。太陽ニュートリノ振動の最初の兆候は、スーパーカミオカンデ実験と SNO 実験の両方で観測された太陽ニュートリノを比較することから明らかになりました。加えて、鈴木特任教授が率いたスーパーカミオカンデ実験は、茨城県東海村にある J-PARC からミュオンニュートリノを300キロメートル西方にあるスーパーカミオカンデに打ち込む長基線ニュートリノ振動実験 T2K(2009年4月開始)において、後置検出器として重要な役割を果たしています。T2K 実験は、ミュオンニュートリノから電子ニュートリノへの振動現象を捉えました。

ブレークスルー賞授賞式は、2015年11月8日に米国カリフォルニア州サン・フランシスコにて行われました。

# 人事異動

発令日	氏名	移動内容	職
H27.9.30	福島 正己	退職	教授
H27.9.30	八木 頼子	退職	予算・決算係
H27.10.1	福島 正己	受入開始	協力研究員
H27.10.1	小林 良一	採用	技能補佐員（研究支援推進員）
H27.10.15	山元 一広	退職	特任助教
H27.10.16	山元 一広	採用	助教
H27.10.16	関谷 洋之	昇任	准教授
H27.10.20	斎藤 亮	受入終了	協力研究員
H27.10.31	木戸 英治	退職	特任研究員（研究所研究員）
H27.11.1	木戸 英治	採用	特任助教
H27.11.1	原 弥生	採用	事務補佐員
H27.11.1	矢島 祐樹	転入	予算・決算係

(H27.9.2-H27.11.1)

## ICRR Seminar



2015 年度

2015.10.28

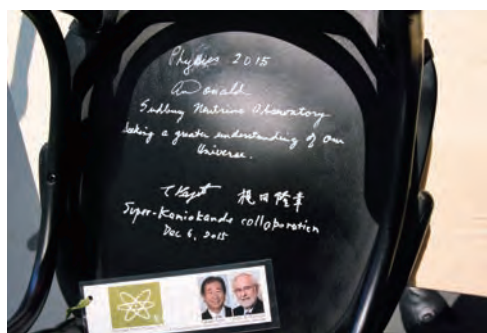
Dijana Dominis Prestež University of Rijeka  
"Gravitational lensing effect in observational astrophysics"

2015.11.25

福島正己  
"Ultra-high energy cosmic rays: status and prospects in 2015"

2015.12.2

Michal Ostrowski (Jagiellonian University)  
"Selected scientific topics studied in high, medium and low frequency electromagnetic waves"



2015年ノーベル物理学賞を受賞した梶田隆章宇宙線研究所長がノーベル博物館を訪問した際にサインした博物館カフェの椅子。梶田教授の名前の下には「Super-Kamiokande Collaboration」と書かれています。

No. 95

東京大学宇宙線研究所

2015.12.31

〒277-8582 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 TEL (04) 7136-5148

バックナンバー：<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/cat-icrr/>

編集 林田 美里