

# 相原・横山研究室

相原 博昭 教授 横山 将志 准教授 小貫 良行 助教

当研究室の専門は、素粒子物理学を実験的に研究する高エネルギー物理学である。高エネルギー加速器研究機構 (KEK) のスーパー B ファクトリーを使った実験、および、大強度陽子加速器 (J-PARC) とスーパーカミオカンデを使ったニュートリノ振動実験を推進している。さらに、すばる望遠鏡を使ったダークエネルギーの研究や、次世代の大型水チェレンコフ検出器であるハイパーカミオカンデ計画を推進している。これら世界最先端の実験設備を使って、自分たちの手で素粒子や宇宙の謎を実験的に解き明かすことを目指している。

## 1 スーパー B ファクトリーでの物理

素粒子物理学は、物質の究極の構成要素である素粒子の探究とその反応メカニズムの解明を目指している。当研究室は、素粒子反応が持つ対称性に着目して、究極の物理法則の姿を明らかにしようとしている。すべての粒子には、電荷が逆の反粒子が存在する。たとえば、電子には陽電子、陽子には反陽子が存在する。これら粒子と反粒子は、電荷が逆であること以外、量子力学的に全く同じ性質を持っている。これを CP 対称性と呼ぶが、素粒子に働く「弱い力」と呼ばれる力では、その対称性がわずかに破れていることが知られている。

当研究室は、CP 対称性の破れの起源を説明する理論として提唱された小林益川理論を、最先端加速器 B ファクトリーを使って検証した。小林益川理論は 2008 年ノーベル物理学賞に輝いたが、当研究室では、さらにその先を見据え、次世代加速器スーパー B ファクトリーを使って、超対称性理論など現在の素粒子理論の先にある、より根源的な素粒子物理の解明を目指した実験を遂行しようとしている。Belle II (ベルツー) と呼ばれるこの実

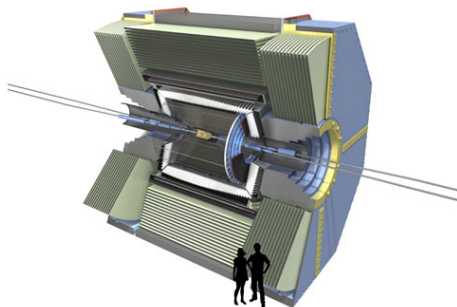


図 1. Belle II (ベルツー) 測定装置の完成予想図。

験に向けて、現在加速器と測定装置の大幅な改良作業を行っている (図 1, 2)。

また、B ファクトリーは  $\tau$  レプトンを大量に生産する  $\tau$  ファクトリーでもある。荷電レプトンの稀崩壊は、新物理を探索するための有力な手段の一つであると考えられている。当研究室では、 $\tau$  レプトンの研究によっても新物理を探求している。

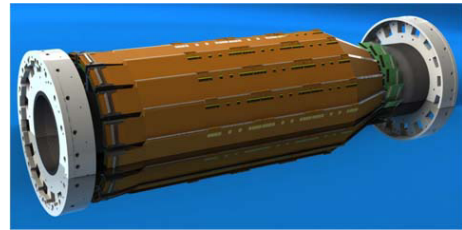


図 2. 当研究室で製作する、Belle II 測定装置心臓部の半導体粒子検出器の完成予想図。

## 2 ニュートリノビームを使った物理

J-PARC 加速器では、電荷を持たない、クォークとは別種の素粒子である「ニュートリノ」の実験を行っている。ニュートリノは、既知の素粒子のうちでその性質が最も調べられていないものの一つであり、現在の素粒子理論を越えた物理の手がかりを秘めていると考えられている。J-PARC で作ったニュートリノのビームを、約 300km 離れた岐阜県の神岡にあるニュートリノ検出器 (スーパーカミオカンデ) に打ち込み、ニュートリノが飛んで行く間に別の種類のニュートリノに変わる様子 (ニュートリノ振動) を観測する。T2K 実験と呼ばれるこの実験で、我々はこれまで確認されていなかった種類のニュートリノ振動を発見した (図 3)。

また、クォークと同じようにニュートリノでも CP 対称性が破れていることが予想されている。もしこの予想が正しければ、ニュートリノは、ビッグバンから始まった宇宙における物質創成の歴史、すなわち、宇宙の進化において重要な役割を果たした可能性がある。ニュートリノ振動実験は、ニュートリノと宇宙進化の関わりを解明するための実験でもある。今後、T2K 実験では反ニュートリノビームでの測定を行うことで、ニュートリノの CP 対称性の破れを探索する。しかし、CP 対称性の破れを確実に測定するためには、さらに高統計・高精

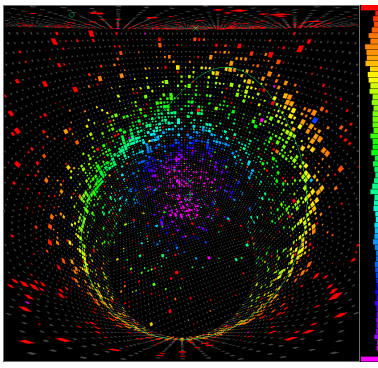


図 3. スーパーカミオカンデ検出器でとらえた、加速器ニュートリノビームによるニュートリノ反応事象。粒子が放つチェレンコフ光がリング状に見えている。

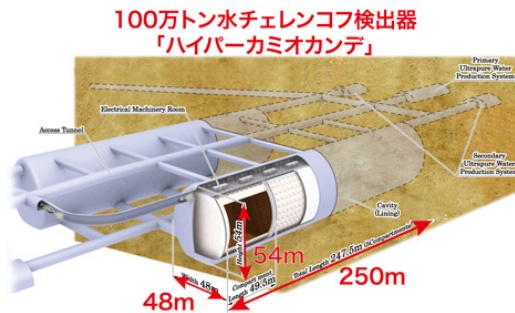


図 4. ハイパーカミオカンデ検出器の概念図。縦横約 50m，長さ約 250m のタンク 2 つに計 100 万トンの超純水を満たす。

度の実験を行う必要がある。当研究室では、次世代実験のための装置として、現行のスーパーカミオカンデの約 20 倍の大きさを持つハイパーカミオカンデ検出器（図 4）を実現させるべく研究を行っている。ハイパーカミオカンデ検出器は、素粒子の大統一理論で予言されている陽子崩壊の探索や、超新星からのニュートリノ検出なども世界最高感度で行うことのできる、宇宙と素粒子の分野にわたる幅広い研究を行うための実験装置である。

### 3 すばる望遠鏡を使ったダークエネルギーの研究

近年の宇宙論観測は、宇宙の約 23%と 73%は、それぞれダークマターとダークエネルギーによって占められていて、物質はわずか 4%を占めるのみであり、かつ、宇宙は現在、加速膨張しているという驚くべき発見をもたらした。通常の物質や輻射（光）だけが存在している宇宙では、宇宙の膨張は減速する一方である。膨張を加速させるためには、重力とは異なり、宇宙全体に対して斥力として働く存在が必要であり、これがダークエネルギーで

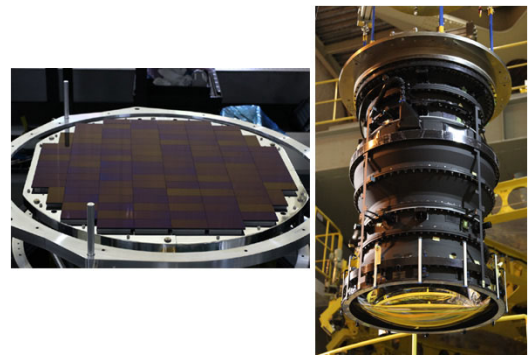


図 5. 完成した 928 メガピクセル CCD カメラ（左）。現在はすばる望遠鏡に取付けられている（右）。

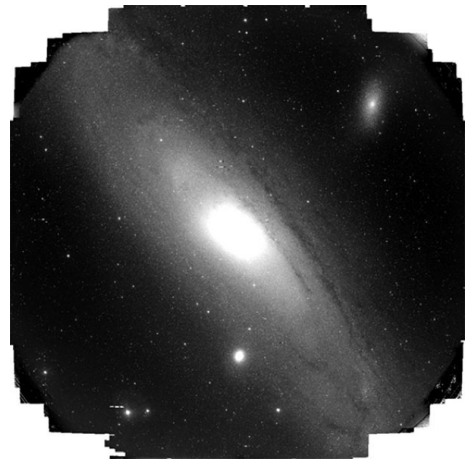


図 6. 試験観測で得られたアンドロメダ銀河 M31 の画像。拡大すると、230 万光年かなたの M31 の星々が一個々々分離して見分けられる。

ある。ダークエネルギーは、アインシュタインの一般相対論に取って代わる新たな物理法則の存在を意味しているかもしれない。ダークエネルギーの研究は、時空の構造とその究極の構成要素を探求する素粒子物理学のメインテーマとなりつつある。

この不思議なエネルギー、ダークエネルギーの研究は、現在のところ加速器実験では不可能で、天文観測によって行う必要がある。当研究室では、重力レンズと呼ばれる天体現象を、世界最大級の望遠鏡である すばる望遠鏡 を使って測定することで、ダークエネルギーの正体に迫る。すばる望遠鏡に搭載した 928 メガピクセル CCD カメラ（図 5）は、平成 24 年 8 月にファーストライトに成功した（図 6）。素粒子物理と宇宙論と呼ばれる宇宙の進化を研究する分野との関わりはますます深くなってきた。今後、この学際的分野をおおいに発展させていきたい。