



Cloud  
Chamber

放射線を  
見よう！

### 千葉大学 × 千葉市未来の科学者育成プログラム

この冊子は、2021年度放射線基礎実験II②霧箱実験資料「霧箱による放射線の観察」をもとに作成しました。  
資料提供・監修：有賀昭貴（素粒子実験研究室）清水信宏（ニュートリノ天文学研究部門）林恵美子（物理実験室・イラスト製作含）  
編集・デザイン：高橋 恵（ICEHAP）  
©ICEHAP・Chiba University All Rights Reserved. 本掲載の写真・図番・記事等の無断複写・転載を禁じます。





はじめに  
introduction

## 見えない放射線が見えるようになる 不思議な『霧箱』

私たちの周りには、目に見えず手で触れられないけれど、たくさんの素粒子や放射線が飛び交っています。それらを目で見るためには「粒子検出器」が必要です。数ある検出器の中でも霧箱は電離放射線を肉眼で観察できるようにし、粒子の存在を目の当たりにすることができます。見えないものを、目で見えるようにすることを可視化といいます。霧箱は、放射線や素粒子を「可視化」するためのとても良いツールです。

## 100年前に発明された霧箱

霧箱は1896年にイギリスのチャールズ・ウィルソンという物理学者によって霧の生成の研究のために発明されました。放射線に関する研究が始まった当初、様々な実験に使われ、物理学の進歩に役立ちました。ウィルソン博士は、その後も霧箱の改良を重ね、荷電粒子\*を可視化することに成功しました。その功績により、1927年にノーベル物理学賞を受賞しています。



ウィルソン博士 (C.T.R. Wilson)

\*荷電粒子(かでんりゅうし)とは、電気の性質をもった粒子のこと。

## 改良され続けた霧箱 拡散型霧箱の発明

ウィルソン博士が開発した霧箱は、断熱膨張型とよばれるもので、一度動かすとしばらく使うことができずでしたが、後に連続的に観測を可能とする「拡散型霧箱」がA.ラングスドルフ博士によって1939年ごろ発明されました。その後、家庭でも作れるようなドライアイスとエタノールを用いた霧箱が、1951年にC.E.ニールセン博士によって開発されました。

※「放射線を見てみよう！」実験で使う霧箱は、2000年代に愛知県の高校教員 林熙崇先生と有賀昭貴先生(現千葉大学准教授)がより簡単にかつ厚い感度で観測できるよう改良し、そして千葉大学物理実験室の林恵美子先生が本実験のために最適化したものです。



2021年2月に大学の授業で行われた霧箱実験の時の様子。白い飛跡が見える。



霧箱で  
なにが見える？

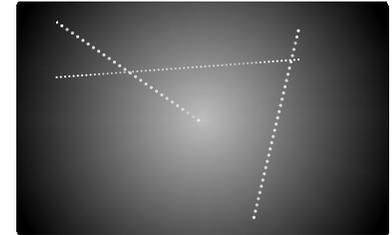
## 霧箱の中に、 どんな放射線が見えるかな？

下記の4種類は、その飛跡\*が比較的観測しやすい放射線です。

\*飛跡(ひせき)とは、霧箱の中で放射線などの粒子が通った跡のこと。

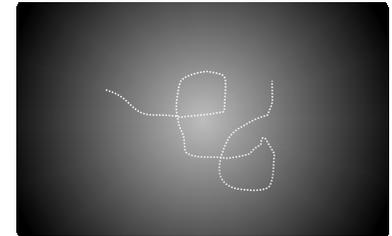
### 宇宙線ミュオン ( $\mu$ 粒子)

宇宙線には、宇宙から降り注ぐ原子核や素粒子で、太陽・太陽系外・遠い銀河等の宇宙から飛んできた粒子である一次宇宙線と、その宇宙線の陽子が地球大気圏に突入し、大気中の原子核とぶつかって生成された二次宇宙線があります。地上で観測できるのは、ほとんどがこの二次宇宙線で、そのうち霧箱ではミュオンの飛跡を見ることができます。ミュオンは電子のおよそ200倍の質量を持ち、とても重たいので、まっすぐな飛跡を残し空気中に打ち込まれます。



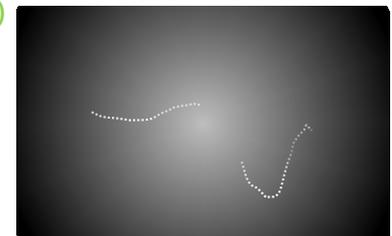
### $\beta$ (ベータ) 線

$\beta$ 線の正体は高速の電子です。建物のコンクリートや日本家屋の壁土に微量に含まれているウランやトリウムなどの放射性元素から放出されたものが霧箱に飛び込んできます。くねくね曲がりながら進む長い飛跡が特徴です。



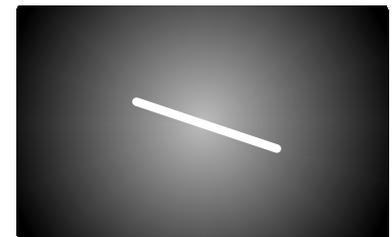
### $\gamma$ (ガンマ) 線によるコンプトン散乱(電子)

$\gamma$ 線は荷電粒子ではないので、直接は見えませんが、 $\gamma$ 線が霧箱内の気体の原子から電子をはじき出し(コンプトン散乱)、はじき出された電子の飛跡を見ることで間接的に観測することができます。はじき出された電子はエネルギーが小さいので、少し進んでエネルギーを失って止まります。短い、ヒヨロヒヨロとした飛跡が見られます。



### $\alpha$ (アルファ) 線

空気中に漂っていたラドンガスが霧箱にラップをかぶせる時に霧箱内に取り込まれて、霧箱内部で $\alpha$ 崩壊して飛跡を作ります。ラドンは自然に崩壊する放射性物質ですが、大気中にとっても低い濃度で存在し、放射性はとも低いです。ラドン原子から放出された $\alpha$ 粒子は重く低エネルギーなので、短く太い飛跡が現れます。



Cloud Chamber

---

霧箱の組み立て

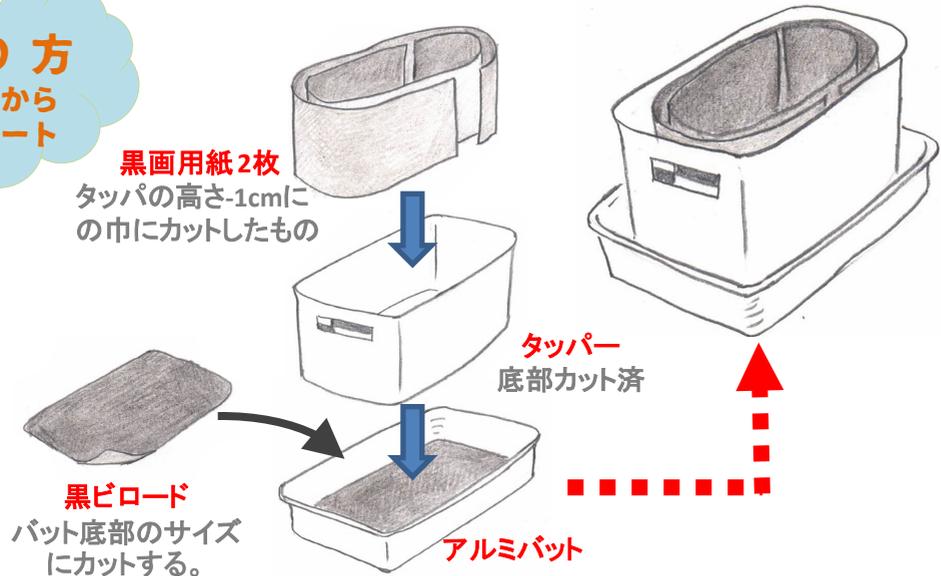
---

イラスト・林恵美子先生（物理実験室）

材料はこちら

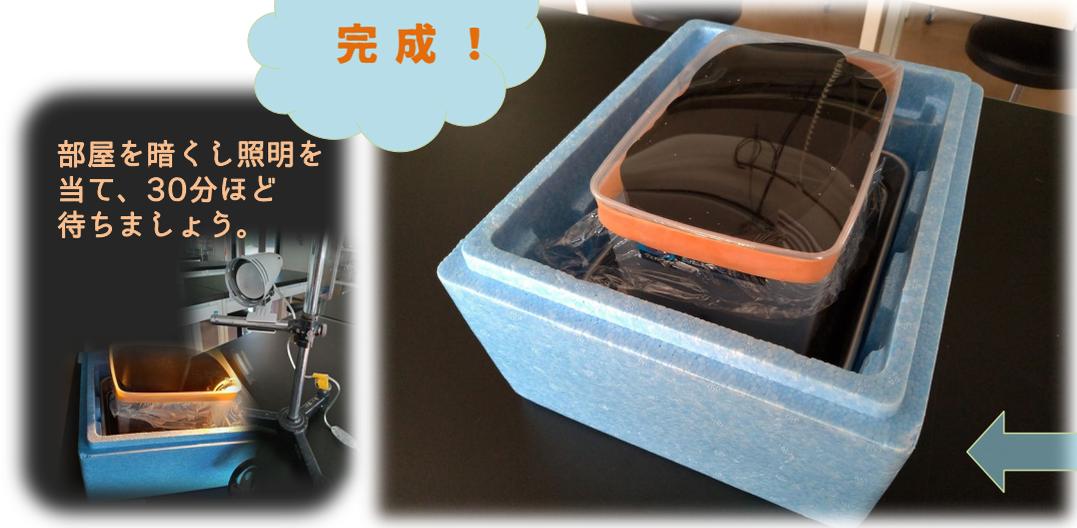
- プラスチック製の容器（タッパーなど）
- ゴムバンド（タッパーの周りに留めれるサイズ）
- 黒い画用紙
- アルミバット
- 黒のピロード紙
- サランラップ
- エタノール
- ドライアイス

作り方  
ここから  
スタート

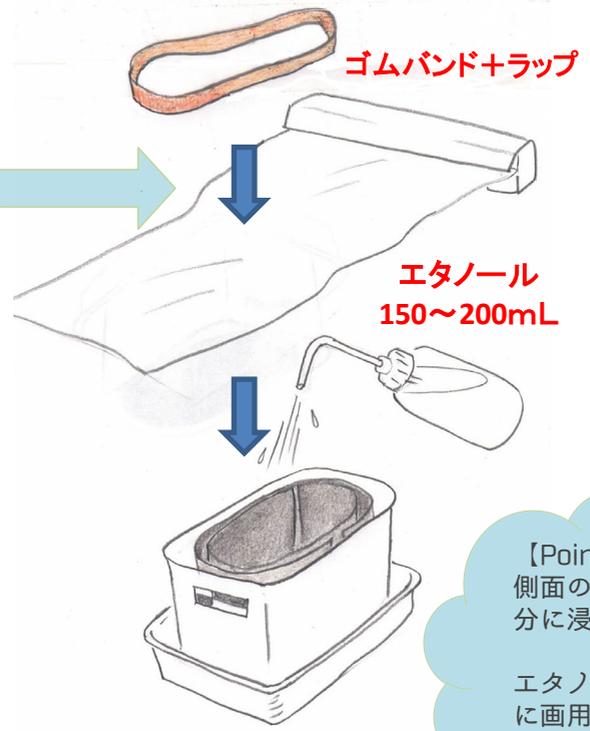


完成！

部屋を暗くし照明を  
当て、30分ほど  
待ちましょう。



※イベントで使われる材料や仕様は、変更になる場合があります。



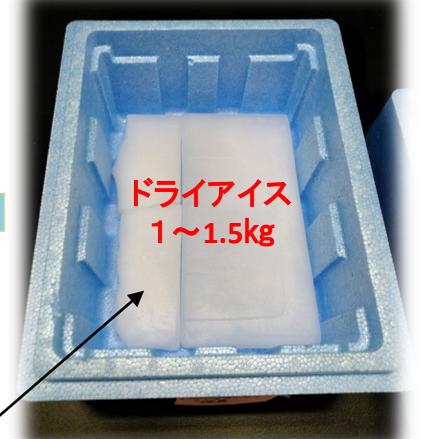
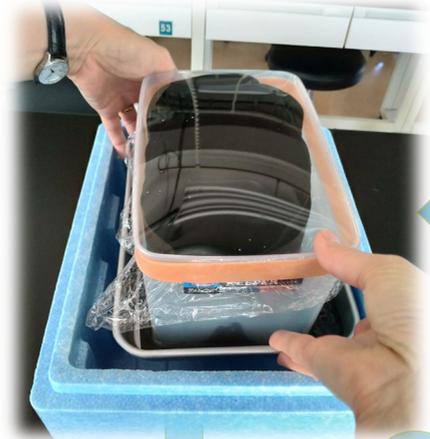
・上からラップ+ゴムで固定



【Point】  
側面の黒画用紙にも十分  
に浸み込ませよう。  
エタノールの水たまり  
に画用紙がしっかり浸  
かるようにしよう。

・霧箱を入れる。

・保冷箱にドライアイス  
を敷く。



※なるべく  
高さをそろえ  
水平にする。

【参考】  
ドライアイスの温度-79℃

Cloud Chamber

---

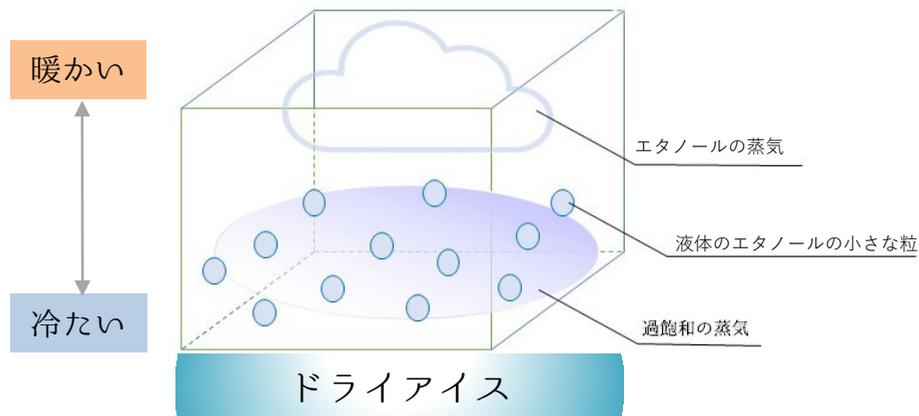
**霧箱の仕組み**

---

## 霧箱の中はこうなっている！

霧箱内の上部は常温であり、黒い画用紙からエタノールが蒸発します。その蒸気が下に拡散するにつれて冷やされ、過飽和層\*が形成されます。

\*過飽和(かほうわ)とは、本来存在できる量よりも多く分子がある状態のこと。

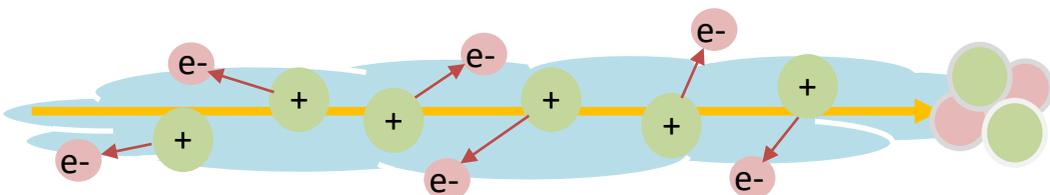


霧箱をラップで覆ってしばらくするとエタノールの霧が生成され、液面に落下し始めるのが見えるでしょう。最初のうちは、空気中のちりなどにより液滴が生成されますが、空気中のちりがすべて液面に落ち切るとだんだんと放射線による飛跡が見え始めます。早ければ15分ほど、遅くとも30分で飛跡が見えるようになるでしょう。45分~1時間経つと最も見えやすくなります。その後、毛細管現象によってエタノールが上部へ自然と供給され、ドライアイスがなくなるまで、「霧箱」として作動し続けます。

※毛細管現象(もうさいかんげんしょう)とは、ストローやタオルに水につけると水面よりも高い位置まで水が上って来る現象。

## どうして白い筋のような飛跡がみえるの？

放射線が空気中を走ると、たくさんの電子を弾き飛ばしてプラスとマイナスのイオンのペアを作ります。これを**電離作用(でんりさよう)**と呼びます。このイオンが過飽和のエタノールの蒸気の中でできるとそこを中心核にして小さな液体の粒になります。この液体の粒が放射線が通った後にたくさんできるので、白い筋として放射線の飛跡が見えるようになります。



Cloud Chamber

---

**観測の結果をまとめよう！**

---

## 実験ログ

霧箱で、放射線や素粒子の飛跡を見ることはできましたか？ どんな形の飛跡だったか、撮影した写真を貼ったり、スケッチをしたりして、記録を撮ろう。観測できたのは、どんな種類の放射線だったかな？

### 記録1 見つけた放射線 ( )

観測の様子(写真やスケッチ)

### 記録2 見つけた放射線 ( )

観測の様子(写真やスケッチ)

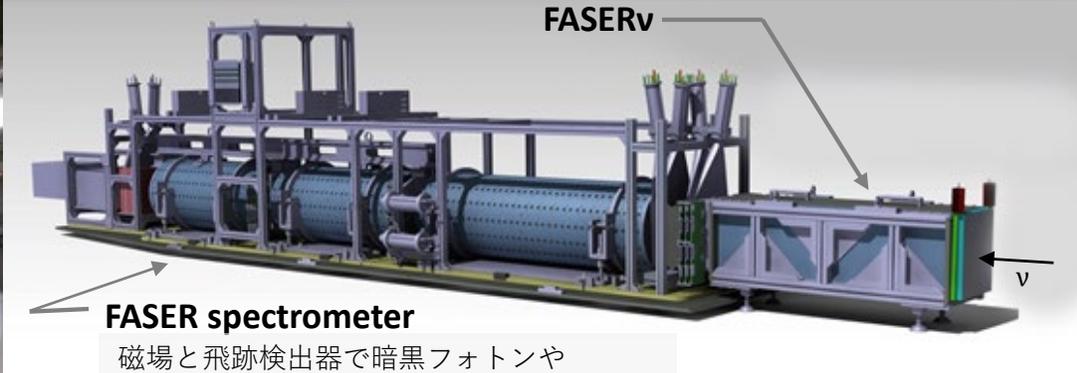
千葉大学素粒子実験研究室が参加している  
 国際的な素粒子実験 エルイフシー フェイダー  
**LHC-FASER** 実験



FASER検出器

ナノメートル精度を持つエマルジョン  
 検出器を用いてニュートリノを捕まえる。  
 千葉大学が担当。

世界最大の衝突型加速器Large Hadron Colliderを用い、  
 人類史上最高エネルギーのニュートリノの研究を通して未知の物理を探る。



磁場と飛跡検出器で暗黒フォトンや  
 アクシオンなどの未知の粒子を探索する。



(上) 2018年に発足したFASER計画はCERNによる承認を受け、2022年  
 からの実験開始へ向けて準備中。写真は検出器を設置しているところ。  
 (2021年5月)

(下) 2018年に試験的に設置した検出器にはたくさんの素粒子の飛跡が  
 記録されていた。この大量のバックグラウンドの中でもコンピュータを  
 駆使することによりニュートリノ反応候補の検出に成功した。

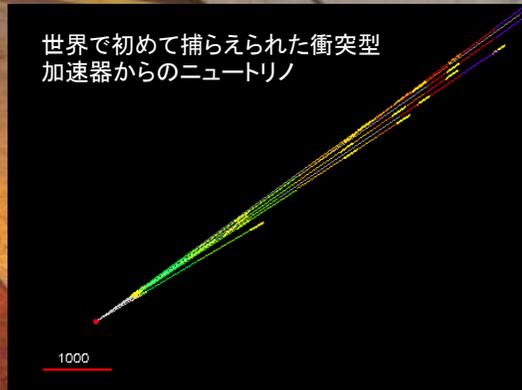
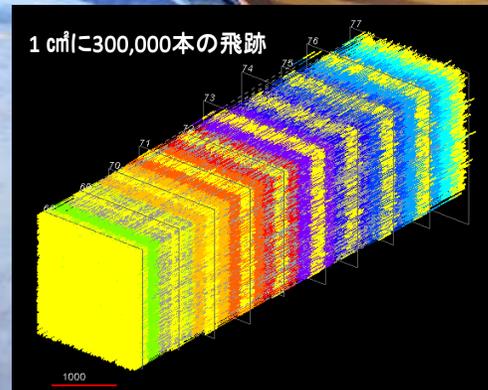


素粒子実験研究室  
 有賀 昭貴

宇宙は謎がいっぱい。  
 ニュートリノはそのカギを握っている！  
 今、まさに新しい実験が始まろうと  
 している！！



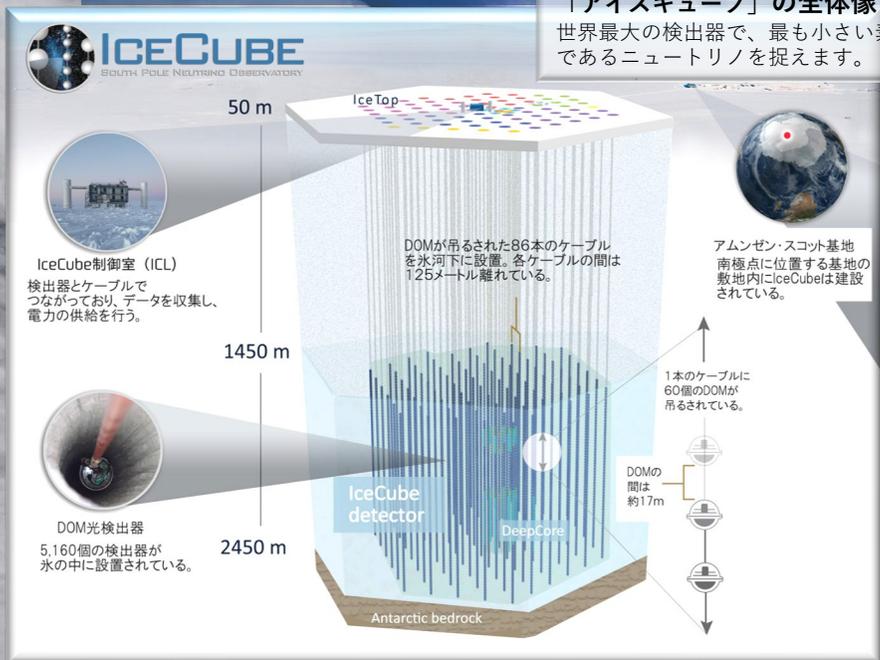
実験の詳細は、  
 ウェブサイトで。



千葉大ICEHAPニュートリノ 天文学研究部門が参加している **IceCube 実験**  
国際的な素粒子実験



南極点に建設されたニュートリノ観測施設アイスキューブは、氷河の下に光を検出する検出器を埋設し、宇宙から飛来する素粒子ニュートリノを捉えています。アイスキューブ実験には、世界14か国、56の研究機関が参加しています。千葉大ハドロン宇宙国際研究センター（ICEHAP）のニュートリノ天文学研究部門もそのうちの1つ。日本からは、唯一の参加研究機関です。



研究室では、新型の光検出器「D-Egg(ディーエッグ)」の開発を行い、およそ300個のD-Eggを製造しています。この新型検出器は、2023年に建設予定のアイスキューブアップグレード計画に採用が決定し、研究室内で検証実験が行われたのち南極点に送られ、氷河下に埋設されます。

私は小さいころから工作に明け暮れた少年でした。今でも、自分で作った検出器が、自然の不思議を明らかにしていく瞬間は何よりもうれしく、楽しいものです。



氷河の下およそ1立方kmの範囲に、球型の検出器5160個を埋設し、素粒子ニュートリノを測定しています。目に見えず、なんでも通り抜けてしまうニュートリノを直接捉えることはできないので、氷と衝突した時に生成する荷電粒子が出す微弱な光「チェレンコフ光」を検出しています。



南極点の氷河の上にそびえたつ IceCube制御室 (ICL)  
氷河下に埋設された5160個の検出器とケーブルでつながっていて、データを受信し、検出器に電力を送っています。

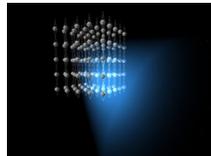
D-EggやIceCube実験の詳細は、ウェブサイトで。







① 氷の結晶じゃなくてIceCubeのDOM検出器が隠れていたね！  
IceCube実験では、5160個のDOM(ドム)光検出器を南極点の氷河下に埋設し、氷を通過したニュートリノが氷と反応して生成した荷電粒子が出す「チェレンコフ光」を検出しています。



氷河下のDOM検出器

② IceCubeの「10」のロゴが、「8」になっちゃってる！  
「10」は、IceCube実験10周年のロゴです。IceCubeが2011年に完成し、全ての検出器で観測を始めて2021年でちょうど10年になりました。以降、世界初の高エネルギーのニュートリノの検出に成功したり(2013年発表)、いままで謎だったニュートリノの放射源天体を発見したり(2018年発表)、たくさんの成果を上げてきています。



③ 国旗の代わりに看板になってるね！  
南極点には、観光用の南極点ポールと、正確な南極点(中心)に立てる標識があります。ポールの周りには南極条約にサインした国の国旗が立っています。日本の国旗もあります。南極の氷河は動いているので、毎年南極点は測定しなおされ、標識と看板は立て直されます。標識は新しいデザインのものが毎年作られています。



南極点標識と看板

④ ペンギンがホッキョクグマになってる

シロクマは南極には生息していませんが、南極に複数の種類のペンギンがいます。正確には南極点付近ではなく、湾岸沿いに生息しています。その中の1種の「ジェンツー」ペンギンは目の周りの白い模様が特徴です。2026年に建設が計画されている次世代IceCubeの「ジェンツー」はジェネレーション2(次世代)とこのジェンツーペンギンにかけて、名づけられました。

⑤ T-シャツを着てアイスを食べてるね！

南極は11月～2月の夏の季節でもマイナス40度しかない、とても寒いところです。IceCubeで働く人はまっかな防寒服を来て屋外で作業をします。でも、たまにTシャツでピクニックをしてアイスクリームを食べちゃう人もいますよ！(ICEHAPニュースNo. 9の表紙で確認！→)

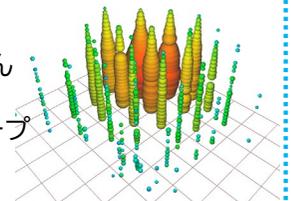


⑥ IceCube制御室の脚がない！

氷の下に埋設された5160個のDOM検出器とケーブルでつながっているIceCube制御室(ICL)は、雪に埋まらないように高床式になっています。ICLは、検出されたニュートリノのデータを受信したり、電力を供給したりします。ここで集められたデータは衛星でアメリカにあるIceCubeの本部に送られ、世界中にいるIceCubeのメンバーが使用できるように準備されます。

⑦ 南極にアジサイ？

1年中氷点下の南極にはもちろんアジサイなどの植物は生えませんが、IceCubeが検出したニュートリノ事象には、「Hydrangea(あじさい)」という名前のついたものがあります。千葉大学グループの解析の結果発見されました。この「あじさい」ニュートリノからは6PeV(ペブ)というとても高いエネルギーが確認されました。



Hydrangea

⑧ ニュートリノ...じゃなくて「ひっぐすたん」に！

IceCubeで検出されているのは、ニュートリノという素粒子です。宇宙から飛来して、南極の氷河を通過するニュートリノを捕まえています。ヒッグスは、別の種類の素粒子です。

⑨ D-EggのPMTが消えている！

千葉大学グループが開発した新型のD-Eggには、光電子増倍管(PMT)が上下に1つずつ内蔵されています。DOM検出器には下向きに1ずつ付いていますが、2つつけることにより、ニュートリノをよりキャッチしやすくなっています。光電子増倍管は、静岡の浜松ホトニクス社で作られています。

⑩ ニュートリノのそっくりさん、反ニュートリノ！

ニュートリノを含む素粒子には、重さはまったく同じなのに、物理的な性質(電気など)が正反対な「反素粒子」が存在します。ニュートリノにも「反ニュートリノ」が存在することが分かっていますが、ニュートリノは電気を持たないので、他の素粒子に比べてその違いが分かりにくく、特に宇宙から飛来したニュートリノの見分けは難しいのです。「アイスキューブまちがいさがし」では、皆さんに「ちがいを」見つけてもらえるように、特別に色を変えて分かりやすくしてあります！



電子ニュートリノ

反電子ニュートリノ