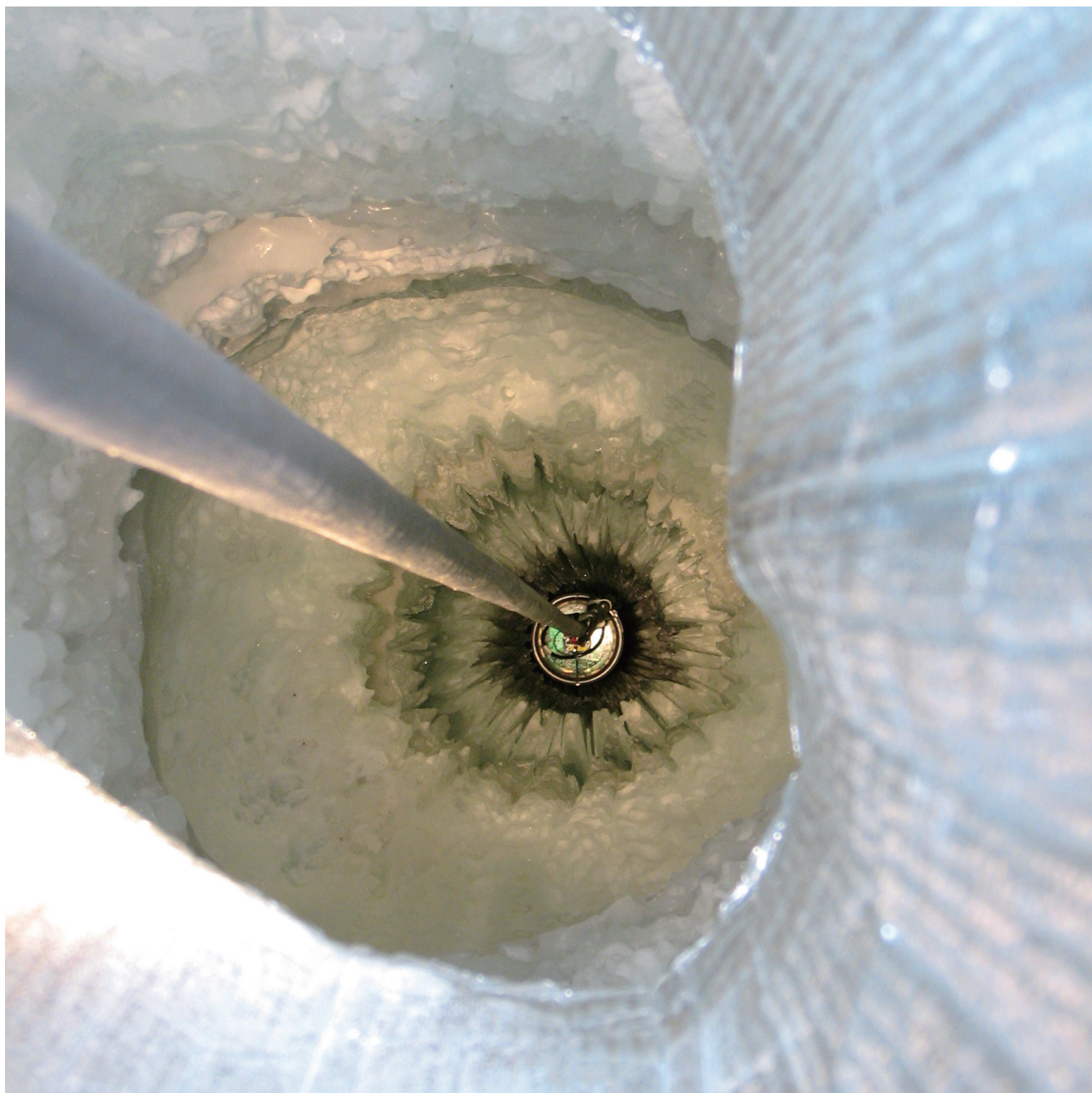


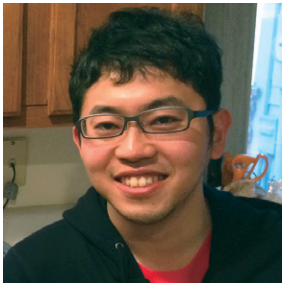
ICEHAP

NEWS International Center for Hadron Astrophysics Aug. 2016 no. 4

南極の氷河に沈むアイスクューブ検出器

南極の氷河の表面に、85°Cの温水を噴出しながら回るドリルで開けた穴に、60個の検出器がつるされたケーブルを1本ずつ降ろしていきます。2.5kmもの深さがある穴は、約8～12時間かけて開けられ、再び凍るまで数か月かかります。





プラズマ宇宙研究部門

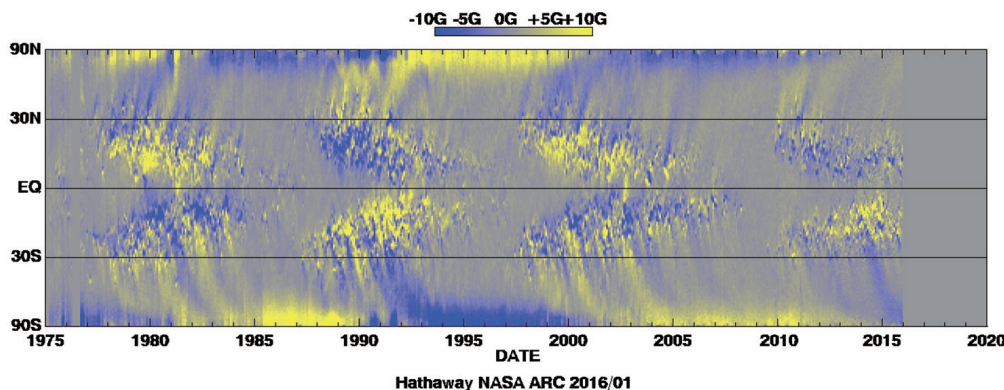
太陽の周期活動を作るような大規模磁場生成機構の発見

理学研究科・特任助教
堀田英之

太陽黒点の不思議なルール

太陽表面には、しばしば黒点^{*1}という低温で強磁場の領域が見られます。この黒点に関しては400年以上にわたる継続した記録があり、その記録から黒点の数には11年の周期があることがわかっています。黒点は強磁場であるので、黒点数の変動は、太陽の磁場の変動ともいえます。また、黒点の強磁場は太陽フレアやコロナ質量放出といった爆発現象を発生させ、地球環境にも影響を与えます。太陽の磁場はただ単に黒点数が変動するだけでなく、さまざまな秩序だったルールを持っていることが知られています。例えば、下図に示したように横軸に年、縦軸に緯度をとって磁場強度を示すと、黒点が出現している緯度が、11年周期の間で赤道に移動していることがわかります。

一つひとつの11年周期が蝶々のような形をしていることから、このような図は蝶形図(図1)と呼ばれています。また、極地方を見ると全球規模の磁場が11年で反転していることがわかります。さらに注意深く黒点の出現している低緯度の磁場を見ると11年ごとに極性ルールがあることもわかります。例えば、一番左端の蝶を見ると、北半球では、低緯度に黄色の磁極が、高緯度には青色の磁極が集中していることがわかり、南半球ではそのルールが反転しています。そして、11年ごとに全体の極性ルールが反転していることがわかります。太陽内部は非常に乱流的な熱対流で埋め尽くされており、そこで、磁場は生成されていると考えられていますが、そ



のほとんど無秩序な乱流からこのような大規模で秩序だった構造が生成・維持されることが非常に興味深い謎でした。

スーパーコンピュータを用いた太陽内部計算

この大規模で秩序だった磁場を再現しようと、これまでに多くの取り組みがスーパーコンピュータを用いておこなわれてきました。そのような計算においては、高粘性・高磁気拡散のときは、ある程度秩序だった磁場構造が形成されていました。しかし、太陽に近づけようと低粘性・低磁気拡散を達成すると小スケールの磁場が支配的になってしまい、太陽のような大規模磁場が生成されなくなってしまいました。太陽のように極端に低粘性・低磁気拡散の状況下でどのように秩序ある大規模磁場が実現しているかは謎でした。

我々のグループでは新しく開発した手法で極端に解像度を上げることで、ある程度以上の高解像度では乱流による磁場生成が非常に効率的になり、逆に小スケールの乱流が磁場により抑制されて大規模磁場が生成されることを発見(図2)しました。

この成果は、Science, 2016, vol.351, p.1427²で発表されました。

図2: スーパーコンピュータ「京」で実現した世界最高解像度の太陽内部数値計算の結果

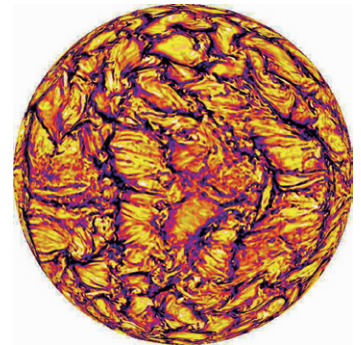


図1: 4つの蝶状の形がうかがえる「蝶形図」。横軸を年、縦軸を緯度にして動径方向磁場を表した。NASA ウェブサイトより引用 <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/magbfly.jpg>

*1 黒点=太陽黒点。黒く見えるのは磁場の発生によって、黒点の温度(4000℃)が通常の太陽表面の温度(6000℃)に比べ低くなるためである。

*2 スーパーコンピュータ「京」の世界最高解像度計算により太陽の磁場生成メカニズムを世界で初めて解明し、その論文がScience誌(2016年3月25日出版Vol.351)に掲載された。



ニュートリノ天文学部門

高エネルギー宇宙ニュートリノ天体を捕獲する

特任研究員

Matthew Relich 訳: 吉田 滋 (ICEHAP センター長)

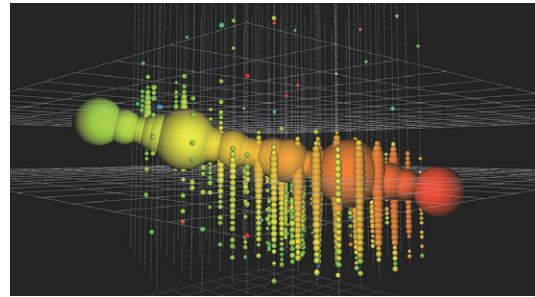
IceCube 実験における即時解析

アイスキューブ (IceCube) は南極点に 5000 個以上のセンサーを埋め込んだ検出器で、エネルギー、到来方向、フレーバー等、宇宙ニュートリノの特徴を捉えます。この実験において、千葉大グループは最高エネルギー領域にフォーカスしています。その主な探求対象はコスモジェニック ("cosmogenic") ニュートリノと呼ばれる、極めて高いエネルギーの宇宙線が遠方宇宙を伝搬中に放射するニュートリノです。このプロジェクトを出発点にして、私の「リアルタイム (即時)」解析が始まりました。

即時解析の第一の目的は、宇宙ニュートリノを放射する天体の発見です。現在、IceCube 実験による点源探索解析では、特定の方角からニュートリノが飛来している兆候はなく、放射天体候補は見つかっていません。このため、我々が探し求めるニュートリノ源は、普段は活発ではなく、短時間で散発的に宇宙線やニュートリノを放射する時間変動の大きい天体の可能性があります^{*1}。このような放射源を、観測データを長時間蓄積して既知の天体との方向の相関を探る現在の点源探索のフレームワークでは見つけ出すことは困難です。

この問題を乗り越えるには、ニュートリノのほか、さまざまなチャンネルの観測データを組み合わせ、時刻と方角の相関を探し、一つのニュートリノ事象検出の統計的感度を上げることです。この手法はマルチメッセンジャーと呼ばれています。この枠組みで、IceCube の即

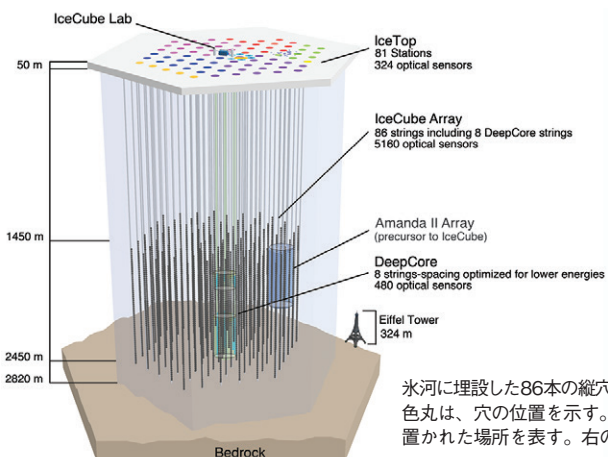
時解析プログラムは世界中の望遠鏡や天文衛星が追尾観測を行うためのトリガーの役割を果たします。



アイスキューブ実験によって捕らえられた最高エネルギーのミュオントラック事象。2.5 PeVのエネルギーを検出容積内で放出した。このような事象が超高エネルギー即時解析をオンラインで同定するターゲットである。

IceCube の即時解析プロジェクトで私は、千葉大グループが取り組む超高エネルギーコスモジェニックニュートリノ探索のアルゴリズムをもとに、超高エネルギー宇宙ニュートリノ検出を南極点にてオンラインで実行できるプログラムを開発しました。信号同定基準を最適化し直し、やや低いエネルギー (500 TeV - 10 PeV) の宇宙ニュートリノの検出感度を向上させ、また衛星回線を介したアラート送信に必要なソフトウェアの開発と実装も行いました。開発した超高エネルギーオンライン即時探索から、年間 4 事象ほどが同定され、アラートが送られます。これまでの観測データの解析とシミュレーション研究から、うち 2 事象が宇宙ニュートリノ由来であることが期待されます。これはかなり「純度」の高い宇宙ニュートリノサンプルであるといえます。角度分解能は 0.5 度以下です。アラートは NASA が運営する GCN^{*2} に送られ、また要請に応じて個々の観測施設にも送信されます。

IceCube 実験は、いまや宇宙ニュートリノが多数を占めるサブセットデータを即時につくり、検出後 3 分以内に追尾観測のための情報を届けています。宇宙ニュートリノの放射源、つまりは宇宙線のソースを発見するために、マルチメッセンジャー手法が最も近道だと私は確信しています。



氷河に埋設した 86 本の縦穴 "strings" からなる、IceCube 検出器のレイアウト。表面の色丸は、穴の位置を示す。間隔は約 120 メートル。氷河深部の濃い点々はセンサーが置かれた場所を表す。右のエッフェル塔と比べればスケールの大きさが分かる。

* 1 別の可能性は、個々の輝度は暗いが、宇宙空間に非常に多数存在するような (ありふれた) 種類の天体である場合である。しかし、宇宙線加速理論から考えるとこの可能性はやや考えにくい。

* 2 GCN = Gamma-ray Coordination Network.
<http://gcn.gsfc.nasa.gov/>

最近のアイスキューブの論文より

文・訳：高橋 恵 (ICEHAP)

これまで確認されている3種類のニュートリノ^{※1}とは、別に、4つ目の新種が実在するのではという説があります。IceCube 観測機関は、そのステライルニュートリノの調査結果をまとめた論文を発表しました。これについてIceCube のサイトで掲載された記事をご紹介します。と思います。

IceCube によるステライルニュートリノ初探査

謎を解くカギになる？

新たなニュートリノ

重力でのみ相互作用するステライルニュートリノは、ニュートリノの質量の謎や暗黒物質との重要な関連性についての答えになるかもしれません。ステライルニュートリノは、地球の通過時に大気ミュオンニュートリノが大幅に消失する効果をひきおこすと予想されています。アイスキューブ・コラボレーションは、このステライルニュートリノの研究結果を本日 Physical Review Letters 誌に投稿しました^{※2}。

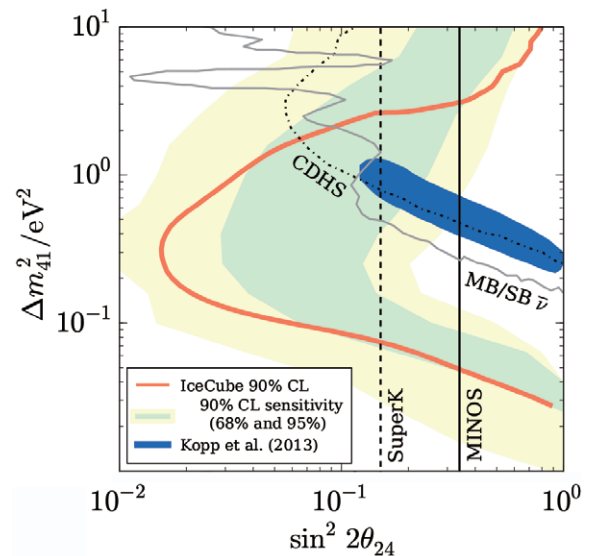
1998年のニュートリノ振動発見以降、様々な研究機関が異なるニュートリノの振動パターンを観測してきました。そして、LSNDやMiniBooNEなどの実験グループが、3種のニュートリノのモデルでは説明のつかない特異な現象を見つけ、ステライルニュートリノの存在を主張しました。その後のステライルニュートリノの検出実験は今のところ成功せず、その度にステライルニュートリノのパラメータスペース^{※3}は、狭められています。

アイスキューブによる探査では、ステライルニュートリノが振動により共鳴効果を引き起こすと予想される320 GeVから20 TeVのエネルギーの大気ニュートリノが対象となっています。ステライルニュートリノのモデルでは、数TeV辺りのエネルギーでのミュオン反ニュートリノの著しい消失が予想されます。ステライルニュートリノが本当に存在するのであれば、南極へ到着する大気ミュオンニュートリノや反ニュートリノの合計数に大幅な減少が見つかるはずですが。

疑問視されるステライルニュートリノ

「ステライルニュートリノの発見に至らず、これまでよりも更なるパラメータスペースを除外しました」と共同研究者のベン・ジョーンズは言います。

アイスキューブの実験結果は、ステライルニュートリノの存在のヒントとなった特異な振動パターンが確認された許容パラメータスペースをも99%の信頼度をもって除外しています。また、アイスキューブの研究員カルロス・アルゲレスは、「我々が、ステライルニュートリノが発見される可能性のあるパラメータスペースを縮小した結果、その存在が疑問視され、これからの探査方針にも影響するでしょう」と話しています。



©IceCube Collaboration

アイスキューブ実験の結果。90%の信頼度(CL)による輪郭線(オレンジの太線)と、疑似データによる68%(緑)と95%(黄色)の輪郭の帯がそれぞれ表示されている。その輪郭と帯は、以前の実験結果の除外箇所(90% CL)及びMiniBooNEやLSNDの容認範囲(90% CL)とほぼ重なっている。

ステライルニュートリノが実在するという可能性を完全に否定はできませんが、その存在については今まで以上に不確かになったと言えるでしょう。

A first search for sterile neutrinos in IceCube By Silvia Bravoより引用
<https://icecube.wisc.edu/news/view/416>

※1 「電子型・タウ(τ)型・ミュオン(μ)型」の3種類。

※2 「Searches for Sterile Neutrinos with the IceCube Detector」 Physical Review Letters
arxiv.org/abs/1605.01990

※3 ステライルニュートリノと他の3種の活動的ニュートリノとの相対質量と混合角

ICEHAPよりお知らせ

- ・ニュートリノ天文学部門の石原安野先生が、7月1日付けで准教授になりました。
- ・プラズマ宇宙研究部門の堀田英之先生の記事が物理学雑誌「パリティ 7月号」に掲載されました。表紙画像「太陽全球の熱対流の様子」も堀田先生からの提供です。



©MARUZEN PUBLISHING CO.,LTD2016

ICEHAPの主な論文

2015年～2016年に
本センターから発行された主要な論文です

- ・IceCube Collaboration: R. Gaior, A. Ishihara, T. Kuwabara, L. Lu, K. Mase, M. Relich, S. Yoshida, et al. ;
Search for Astrophysical Tau Neutrinos in Three Years of IceCube Data
Physical Review D 93, 022001, DOI:10.1103/PhysRevD.93.022001 (2016)
- ・IceCube Collaboration: R. Gaior, A. Ishihara, T. Kuwabara, L. Lu, K. Mase, M. Relich, S. Yoshida, et al. ;
Search for Correlations Between the Arrival Directions of IceCube Neutrino Events and Ultrahigh-Energy Cosmic Rays Detected by the Pierre Auger Observatory and the Telescope Array
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 01,037, (2016)
- ・IceCube Collaboration: R. Gaior, A. Ishihara, T. Kuwabara, L. Lu, K. Mase, M. Relich, S. Yoshida, et al. ;
Search for Transient Astrophysical Neutrino Emission with IceCube-DeepCore
Astrophysical Journal 816,75, DOI:10.3847/0004-637X/816/2/75(2016)
- ・H. Hotta, M. Rempel, T. Yokoyama; Large-scale magnetic fields at high Reynolds numbers in magnetohydrodynamic simulations, Science, 351, DOI: 10.1126/science.aad1893, (2015)
- ・N. Ikeya, Y. Matsumoto, Stability property of numerical Cherenkov radiation and its application to relativistic shock simulations, PASJ, 67, DOI: 10.1093/pasj/psv052, (2015)

Message from Matt

先日アメリカへ帰国したMattさんが、大好きだった亀戸ライフについて語ってくれました

I have now spent nearly two and a half years working alongside some very talented physicists as a member of ICEHAP, where my focus has primarily been on studying high energy neutrinos using the IceCube detector. However, instead of rambling on about how great the group is, or how hard working our students are, I thought I would discuss how I spent my free time in Japan. In particular, I want to bring to light a hidden gem in east Tokyo called Kameido, which is where I lived for half of my stay. Many of you probably know it as one stop on the Sobu local line on your way into Tokyo, which is in fact how I always treated Kameido. It wasn't until my wife and I were apartment hunting that we found a nice building in this area and decided to explore the surrounding neighborhood. Right away we were amazed after taking a stroll down a side street lined with fresh produce stands, local butchers, florists, bakeries, and speciality shops. We like to support local, small businesses, so Kameido seemed like the perfect fit. My love for this neighborhood has only grown over the months. Kameido gyoza became a weekend tradition, along with enjoying the three main ホルモン restaurants in the area: 青木ホルモン, 吉田ホルモン, and 亀戸ホルモン, with the order indicating my personal ranking. With ample places to relax in the evening after a hard day work and a wonderful park sitting next to a small inlet from the Arakawa, Kameido is a wonderful place to live, and, out of



亀戸の自宅にて、雨にも負けずBBQ

every place I have been in Tokyo, I will miss it the most. I intend to return to Japan often, and I hope to keep in touch with those I have met through my time at Chiba University. Good luck to those continuing in ICEHAP and I hope you will all visit Kameido!

Matthew Relich

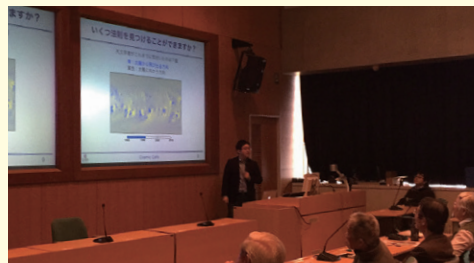
01 ICEHAP 主催研究会

公開講演会「Cosmic Café」のご報告

前号でお知らせしましたICEHAP主催の公開講演会「Cosmic Café コズミックカフェ」が3月27日に無事開催され、多くの方にご参加いただきました。講演の間も、とても熱心にノートを取られている姿があちこちで見られ、質問タイムでもたくさんの手が挙がりました。ご参加いただきました皆様、ありがとうございました。



間瀬圭一助教「南極からニュートリノで宇宙を覗く」



堀田英之特任助教「スーパーコンピュータの中の太陽」

02 LEAFLETS

ニュートリノについて楽しく学べるリーフレットを発行しました

この度、私たちの研究するニュートリノについて説明をしたリーフレットを2種類作成しました。イラストや写真も多くあり、楽しくわかりやすい内容となっています。ICEHAPのHPに掲載しています。是非のぞいてみてください。各QRコードからもご覧いただけます。



「宇宙から降り注ぐ
謎の粒子
ニュートリノの
秘密を探る」



「「にゅー」と「リノ」の
ニュートリノな
ある日の午前1時」



03 NEW MEMBER!

新しい仲間が加わりました!

Simon Archambault



Hello, I am Simon Archambault, and will join the Chiba IceCube group in July 2016.

I just completed my PhD at McGill University, in Montreal, Canada, working on the VERITAS experiment, located south of Tucson, in Arizona. VERITAS is looking at very-high-energy gamma-ray emissions from astrophysical objects, using the Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope technique. My work was to look for such emissions coming from primordial black hole evaporation.

I am joining the IceCube collaboration to work on the development of the new Askaryan Radio Array detectors, as well as working on the analysis from the detectors already installed at the South Pole.

On a personal note, I am looking forward to the opportunity to work in a new country, with the experiences that come along.

最近の アイスキューブ



IceCube

2016年5月20日から、IceCubeの観測は2016年の観測設定に切り替わりました。

ここから、完成したIceCube検出器による6年目のRUNが始まります。今年は特に南極点で直接データを解析し、面白そうなニュートリノ事象の情報を、すぐにさまざまな望遠鏡へ送りその付近の天体や現象を調べてもらう「オンラインアラート」のシステムがますます充実します。

最近の南極



日本の夏は南極の冬。南極点では今も約50人の越冬隊が滞在しており、IceCubeを含むさまざまな実験装置などのメンテナンスを行っています。

2月から10月までの南極点は天候も悪く暗闇の中。飛行機での行き来も非常に難しく、まさに陸の孤島です。そのため、隊員の健康診断などは念入りに行われています。

今年は南極点で急病人が発生、真冬にもかかわらず緊急にチリの病院までの搬送を行い、事無きを得ました。このような危険なミッションが行われたのは、南極点にあるアムンゼン・スコット基地の60年の歴史の中でたった3回しかありません。

最近のセンター長



夏はやっぱりアロハですよ。

ICEHAP

NEWS International Center for Hadron Astrophysics

Aug. 2016 no. 4

千葉大学大学院理学研究科附属 ハドロン宇宙国際研究センター

International Center for Hadron Astrophysics, Graduate School of Science, Chiba University

〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33

URL <http://www.icehap.chiba-u.jp>

問い合わせ先 icehap@astro.s.chiba-u.jp

