



ICEHAP

NEWS International Center
for Hadron Astrophysics Jul. 2017 no. 7

ムーン・ピラーとアイスキューブ観測施設

まるでCGのようなこの画像は、南極で実際に撮影されたものです。月から上下に伸びる柱のような幻想的な光は、ムーン・ピラー (Moon Pillar) といい、日本では月柱とも呼ばれています。この光は大気中にある氷の結晶に月光が反射して出現し、気温が低く、氷の結晶の底面がほぼ水平に並びつつも多少揺らぐ時など、条件がそろわないと見ることができない稀な現象です。





プラズマ宇宙研究部門

惑星を作る塵

先進科学センター 教授
花輪知幸

見えてきた原始惑星系円盤

太陽系はもともと巨大なガスの雲だったとする考えは、18世紀にカントやラプラスにより提唱されています。20世紀後半になるまで、この星雲説は有力な仮説にとどまっていた。しかし、近年状況は大きく変わっています。太陽系を作った円盤はもはや消失して見えませんが、若い恒星の周囲には惑星の母体と思われるガスや塵からなる円盤が見つかるようになってきました。

すばる望遠鏡など口径が8m級の大型望遠鏡では、円盤中の細かい塵による反射光が観測できます。チリに建設された電波望遠鏡ALMA^{*1}では、より大きな塵が放射するサブミリ波^{*2}で円盤の構造を明らかにすることができます。これらの塵は原料なので、その量や分布はどのようにして惑星が出来てきたかを探る重要な証拠です。ALMA望遠鏡の視力は「6000」に達すると見積もられています。この視力だと、太陽-地球の距離(=1天文単位)だけ離れた2点を、300光年離れたところから見分けることができます。

しかしALMA望遠鏡の写真からだけで、塵の分布や量を測ることはできません。サブミリ波は塵の量と温度の両方に比例します。サブミリ波で明るい場所は、塵が集まっているところか温度が高いところか区別しなくてはなりません。私たちはHD142527という若いFe型星の周りの円盤について、ALMA望遠鏡で撮像された波長0.9mmの電波強度から、塵の分布と量を推定するという研究を行いました(図1)。

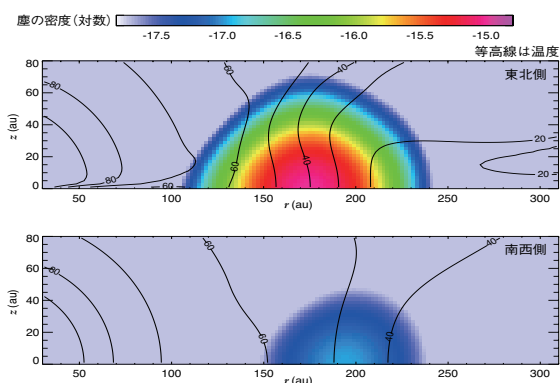


図1: HD142527でのダスト密度・温度分布。Muto et al. (2015) PASJ, 67, 122より転載

*1 電波望遠鏡ALMA=アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計。ミリ波・サブミリ波などの波長の短い電波によって銀河・星・惑星系の形成や宇宙における物質進化などの解析や解き明かすことを主目的とする大型電波干渉計。

円盤の塵が電波で見えるわけ

円盤の表面に近い塵は、星からの可視光により温められ遠赤外線を放射します。この遠赤外線が円盤の内部にある塵を温めます。放射により温められた塵は周りのガスを温め、円盤を膨らませます。円盤が膨らむと星からの放射が当たりやすくなるので、これらの効果が釣り合う状態を探する必要があります。私が担当したのは、観測された波長0.9mmのサブミリ波の強度分布を再現する塵の分布です。この星の原始惑星系円盤は、三日月、あるいはバナナと呼ぶのが相応しい形をしています(図2)。塵は私たちから見て東北側に片寄っていて、南西側は塵がとても少なくなっています。その対比は塵の面密度で約100倍であることを見積もりました。

この見積もりでは、塵は0.9mmの電波を吸収するより散乱させる方が10倍高い確率で起こるとする、これまでの定説を採用しました。しかしこのモデルでは円盤の北北西部分を再現することができません。北北西

では円盤を斜めに
見るため、定説に従うと、私たちの方向に届くサブミリ波が弱くなってしまいます。塵による散乱が定説の1/10以下でないと、円盤全体の明るさを説明できません。これまで塵は一様な密度をもつ球として吸収や散乱の断面積が求められてきましたが、実際の塵はもっと複雑で、散乱断面積^{*3}がもっと低いのではないかと考えています。

ALMAで見えてきた原始惑星系円盤には、腕やリングといった構造を示すものが見つかっています。これらの構造は惑星によってできたと考える人も多くいます。もしこの考えが正しいなら、今、まさに惑星の形成が見えてきたこととなります。

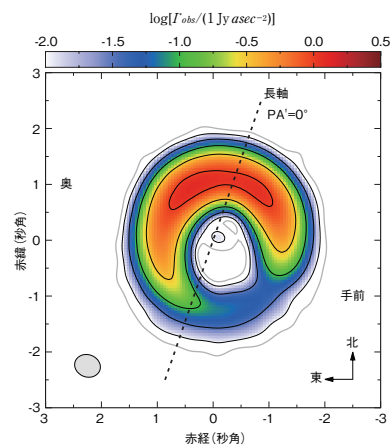


図2: 336GHzの電波で見たHD142527。Soon et al. (2017) PASJ 69, 34より転載

*2 サブミリ波=波長0.1~1mm, 周波数300~3000GHzの範囲の電磁波。遠赤外線の一部。

*3 散乱断面積=量子力学において、入射粒子が散乱される確率を標的粒子の断面積として表わす量。



プラズマ宇宙研究部門

太陽大気を熱くする鼓動の源を探る

大学院理学研究院 特任研究員
加藤 成晃

太陽大気が熱い理由とは？

太陽の中心核は水素の熱核融合反応が持続できる高圧高密度な百万度のプラズマです。核融合によって生じたエネルギーは、まず放射によってじわじわと太陽半径の7割程度まで運ばれ、対流によって表層にある6千度の光球面まで運ばれます（図1下段左）。対流で生じた光球面の乱流を可視光望遠鏡で撮影すると、まるで味噌汁が鍋で煮えたぎっているような対流模様（粒状斑^{*1}）が見えます（図1上段左）。

通常、熱源から遠く離れるほど温度は低下するはずですが、実際には光球の上空で温度が上昇します。それが皆既日食の時、太陽の縁を彩る1万度の彩層とその外側を包み込むように淡い光を発する百万度のコロナです。これは彩層とコロナに何らかの熱源があることを示唆しています。この謎の熱源を探ることが太陽物理学の積年の課題である「太陽大気の加熱問題」です。

最近、私の国際研究チーム（ドイツとノルウェー）は、対流と磁場の相互作用で生じる圧縮性の磁気流体波動が衝撃波となり、彩層を加熱・維持できることを世界最新の太陽大気のシミュレーションで突き止めました。

乱流と磁場のアンサンブル

太陽大気には様々な天体に共通する多彩なプラズマ物理現象が段階的に存在するため、太陽大気のシミュレーションには多様な物理過程が組み込まれています。さらに地上や衛星の望遠鏡で太陽大気のプラズマの動きが手に取るように見えることから、宇宙プラズマの実験室と呼ばれています。

光球面上には黒点の他に1kGの強い磁場をもつ直径100km程度の小さな磁束管が無数に存在します。この磁束管^{*2}はスピキュールと呼ばれる細長い複雑な構造を彩層やコロナに作ります（図1上段中央および上段右）。こうした磁束管と対流で生じた乱流場との複雑な非線形相互作用を調べるため、私はドイツとノルウェーに足掛け7年間滞在し、世界最新の太陽大気シミュレーションコードを用いて研究してきました。

その結果、乱流場が磁束管を激しく揺さぶると、我々が発見した「磁気ポンプ」というメカニズムによって圧縮性の磁気音波が生じ、磁束管が固有振動数（約4分周期）で恒常的に振動することがわかりました（図1下段右）。こうした乱流と磁場が奏でるアンサンブルによって衝撃波加熱が継続し、彩層を加熱し維持するのに十分なエネルギーを供給していることがわかりました。

今回の研究成果は、「太陽大気の加熱問題」を解く重要なステップになっただけでなく、ブラックホールのような未だに姿すら捉えられていない天体の周囲にある高温プラズマの正体を探る鍵にもなると期待しています。

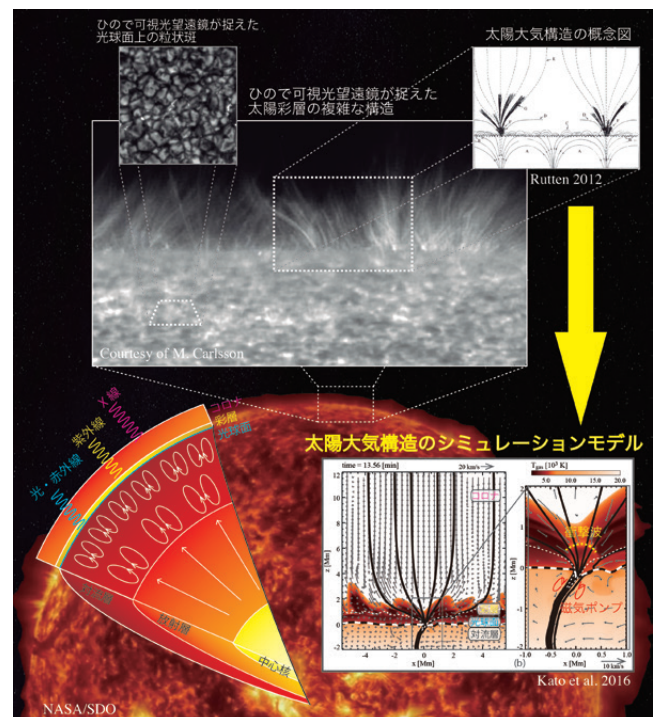


図1：(上段左) 太陽観測衛星「ひので^{*3}」が撮影した光球面上の粒状斑。(上段中央) 「ひので」が撮影した彩層やコロナに突き出ているスピキュール。(上段右) 太陽大気構造の概念図(Rutten 2012)。(下段左) 太陽内部と太陽大気の模式図。(下段右) 我々の研究グループが行なった太陽大気構造のシミュレーション結果。磁束管の内部で衝撃波が生じている。色は温度、黒線は磁力線、白と黒の線は光球面を表す。白い点線よりも上空は磁気エネルギーが卓越する領域を表している。

*1 粒状斑(りゅうじょうはん)＝太陽光球面に見られる対流模様。穀物の粒を敷き詰めたように見えることからそう呼ばれる。

*2 磁束管＝空間内の曲面を通り抜ける磁場の流束。

*3 太陽観測衛星「ひので」＝日本の国立天文台 (NAOJ) と宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 (JAXA/ISAS) がアメリカのNASA、イギリスのMSSLと共同で開発し、コロナ加熱問題や、太陽フレアなどコロナ内部における爆発現象の発生過程の解明を主な目的とする太陽観測衛星。



宇宙ジェットによる 円弧状分子雲の形成

大学院理学研究院 教授
松元亮治

活動銀河中心核やX線星から噴出する宇宙ジェットは周囲の星間ガスを圧縮してX線・ガンマ線を放射したり、星形成の母体となる分子雲を形成したりし、銀河の進化にも影響を及ぼします。ジェットと星間ガスが相互作用する領域に形成される衝撃波は高エネルギー宇宙線の加速にも寄与し、ニュートリノ放射源になる可能性もあります。

名古屋大学の福井康雄教授らのグループは南米に設置したNANTEN電波望遠鏡を用いてWesterlund2星団方向の分子ガス分布を観測し、TeVガンマ線源を挟んで左側に粒状に並んだ分子雲、右側に円弧状の分子雲を発見しました。星間空間に円弧状の高密度ガスがあると超新星によって形成されたと考えがちですが、私たちはジェットと中性水素ガス雲^{*1}の相互作用によっても円弧状の分子雲が形成されることを、3次元磁気流体シミュレーションによって示しました(Asahina et al. 2017, Astrophysical Journal 836, 213)。図1の上段は模式図です。水色は中性水素ガス雲で、ジェットによって圧縮されると青い低温高密度の分子雲になります。図の下段は3次元磁気流体シミュレーションの結果です。左半分は温度分布で、青い領域が分子雲に相当します。中性水素ガス雲がまばらな領域をジェットが通過すると、圧縮された中性水素ガス雲が粒状の分子雲になります。

図1下段の左半分は、中性水素ガス雲密度が高い領域をジェットが通過した場合に形成される一酸化炭素(CO)分子の分布を示します。円弧状の分子雲が形成されています。福井教授らが発見した円弧状の分子雲は高エネルギージェット噴出の痕跡と考えられます。

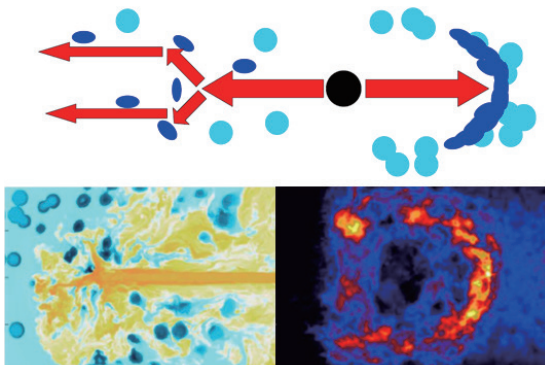


図1 宇宙ジェットと中性水素ガス雲の相互作用による分子雲形成機構(Asahina et al. 2017)。上段は模式図。水色は中性水素ガス雲、青色は分子雲。下段はシミュレーション結果。左半分は温度分布で、黄色は高温ジェット。右半分のオレンジ色は分子ガス分布。

*1 中性水素ガス雲＝星間空間に存在する100K程度の温度の水素を主成分とするガス雲。ほとんど電離していないため水素は陽子1個と電子1個が結合した中性水素原子の状態にある。

ICEHAPよりお知らせ

- ・松元亮治教授がSOC/LOCを担当したThe US-Japan Workshop and School on Magnetic Reconnection (MR2017)が2017年3月19日-22日に愛媛県松山市で開催され50名余りが参加しました。松元教授はチュートリアル講演、堀田英之特任助教が招待講演を行いました。

アイスキューブ実験よりお知らせ

- ・IceCubeでは二つの宇宙ニュートリノ信号同定チャンネル("EHE"-超高エネルギーと"HESE")がリアルタイム化され、GCNのアラートを送信しています。EHEは千葉大グループの開発です(ICEHAP News 第4号参照)。この解析チャンネルの詳細が論文(下記リスト内*「The IceCube Realtime Alert System」)として出版されましたので、アラートを受けてフォローアップ観測を計画されている研究者の方は一読していただくと幸いです。

ICEHAPの主な論文

本センターから発行された主要な論文です

- * IceCube Collaboration; A. Ishihara, T. Kuwabara, L. Lu, K. Mase, M. Relich, S. Yoshida, et al.; The IceCube Realtime Alert System, *Astroparticle Physics*, 92, 30-41; DOI: 10.1016/j.astropartphys.2017.05.002 (2017)
- ・ IceCube Collaboration; A. Ishihara, T. Kuwabara, L. Lu, K. Mase, M. Relich, S. Yoshida, et al.; The IceCube Neutrino Observatory: Instrumentation and Online Systems, *Journal of Instrumentation* 12, P03012, DOI: 10.1088/1748-0221/12/03/P03012 (2017)
- ・ N. Sakai, Y. Oya, A. E. Higuchi, Y. Aikawa, T. Hanawa, et al., Vertical structure of the transition zone from infalling rotating envelope to disc in the Class 0 protostar, IRAS 04368+2557, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 467, L76-L80, DOI:10.1093/mnras/slx002 (2017)
- ・ Masanori Iwamoto, Takanobu Amano, Masahiro Hoshino, Yosuke Matsumoto, Persistence of Precursor Waves in Two-dimensional Relativistic Shocks, *Astrophysical Journal* 840, article id 52 (14pages), DOI:10.3847/1538-4357/aa6d6f (2017)
- ・ Y. Kato and S. Wedemeyer, Vortex flows in the solar chromosphere. I. Automatic detection method, *Astronomy and Astrophysics* 601, id.A135 (12pages), DOI:10.1051/0004-6361/201630082, (2017)
- ・ Tomohisa Kawashima, Yosuke Matsumoto and Ryoji Matsumoto, A possible time-delayed brightening of the Sgr A* accretion flow after the pericenter passage of the G2 cloud, *Publications of the Astronomical Society of Japan* 69, article id 43, DOI:10.1093/pasj/psx015, (2017)

／ Congratulations ／

祝 石原安野准教授 第37回猿橋賞受賞

文：高橋 恵 (ICEHAP) イラスト：糟谷奈美

ハドロン宇宙国際研究センターの石原安野准教授が、ニュートリノ天文学においての顕著な業績を高く評価され、優秀な女性科学者に贈られる「猿橋賞」の第37回受賞者として選ばれました。

石原准教授は、国際共同研究アイスキューブ観測実験に2005年より参加、2009年には南極点に赴き、まだ建設途中であった観測施設にてニュートリノ検出器の設置などを行いました。

2012年には、高エネルギー宇宙ニュートリノ事象を世界で初めて同定することに成功し、世界中を驚かせました。その後も宇宙ニュートリノ探索に勢力的に取り組み、2016年には、長年有力視されてきた超高エネルギー宇宙線起源に関する仮説を覆す分析結果を発表。研究に新たな知見をもたらしました。現在は、アイスキューブの次世代実験 GEN2の「D-Egg」と呼ばれる検出器の開発にも取り組んでいます。

素晴らしい功績をあげ続ける石原准教授は、昔から物を考えたり読書をしたり工作などに熱中して取り組むことが大好きで、幼少の頃の夢は、『ウサギ小屋のような部屋で、たくさんの本に囲まれて好きなことに熱中すること』だったそうです。研究室ではアイスキューブ観測から得たデータを分析したり、時には半田ごてを片手に検出器の改良に励む石原准教授。まさに夢の「ウサギ小屋」（研究室）でたくさんの本（専門書）に囲まれて、大好きな研究に打ち込んでいる姿がよく見られます。

最近受けた取材の中で、石原准教授は、世界には科学者の50%が女性という国があるのにもかかわらず、日本では10%ほどしか女性科学者がいないことに触れ、日本の女の子たちにも科学者と出会う機会が増えるなど、科学をもっと身近に感じる環境があればいいと話していました。また、社会の価値観ではなく、自分のアンテナを持つことが大切と言い、「女の子が・・・になんて」という社会の概念にとらわれず、好きなことを見つけたら、目標に向かって傲慢になってほしい、とも話していました。

猿橋賞は、単に優秀な業績だけではなく、これからの世代の育成に大きく貢献できる女性科学者に贈られる賞でもあります。そんな未来の女性科学者のロールモデルとしても、これからの石原准教授の活躍が大いに期待されます。

猿橋賞とは

地球化学者の猿橋勝子教授によって1980年に創設された「女性科学者に明るい未来をの会」が「女性科学者のおかれている状況が必ずしも望ましくない中で、一条の光を投げ、いくらかでも彼女らを励まし、自然科学の発展に貢献できるように支援する」という趣旨のもと、自然科学分野で顕著な研究業績をおさめた50歳未満の女性科学者を毎年1名選び、猿橋賞を贈呈しています。

これまでに、国立遺伝学研究所の太田朋子研究室長（第1回1981年授賞）や千葉大学大学院自然科学研究科の西川恵子教授（第18回1998年授賞）などが受賞しています。

石原安野准教授 略歴

静岡県出身 自由の森学園高校を経て東京理科大学理学部第二部物理学科を卒業後に渡米。テキサス大学オースティン校大学院にて博士号(物理学)を取得。アイスキューブ・プロジェクトには2005年より参加。2006年より千葉大に所属し、2016年より現職。



猿橋賞授賞式にて「女性科学者に明るい未来をの会」関係者に囲まれ、受賞を喜ぶ石原准教授。



01 ICEHAP 主催公開講演会

第3回「Cosmic Café」のご報告と次回開催のお知らせ

3月26日(日)に開催された第3回ICEHAP主催公開講演会「Cosmic Café」には、たくさんの方にご来場いただき、とても楽しいイベントとなりました。第1部の講演会では、メイン会場だけでは席が足りず、下階にサブ会場をオープンし、ライブ中継にて講演をご覧いただきました。第2部のカフェタイムにも、小さなお子さんを含むたくさんの方に美味しいお茶菓子をつまみながら、クイズやショーなどを楽しんでいただきました。ご来場いただいた皆様、ご協力いただいた西千葉の皆様、本当にありがとうございました。



● そして！次回の開催が下記のとおりに決定しました。 ●
● いままでは3月に開催されていましたが、今回は10月の開催です！ ●

第4回 公開講演会「Cosmic Café」開催！ 日時：2017年10月22日(日)

場所・時間などの詳細は、当センター HP・Facebook等でお知らせします。お楽しみに！

02 NEW MEMBERS!

新しい仲間が加わりました！

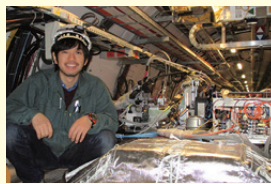
林田将明 Masaaki Hayashida



2017年4月より、研究員としてICEHAPのメンバーとなった林田将明です。私はこれまで、宇宙の高エネルギー現象について研究してきました。対象天体としては主に、天体の中心から「相対論的ジェット」を吹き出す活動銀河核「ブレイザー」と呼ばれる

天体で、これまで、解像型大気チェレンコフ望遠鏡やフェルミ衛星を用いた高エネルギーガンマ線を主体とした電磁波観測から、相対論的ジェットの構造やジェット内の加速機構について議論してきました。この度ICEHAPの一員としてIceCubeプロジェクトに携わり、今度はニュートリノを用いて宇宙の高エネルギー現象の解明を目指します。特に、IceCubeデータの解析手法の改良や次世代計画Gen2拡張への準備研究を通して、高エネルギー宇宙ニュートリノの起源の解明に「マルチメッセンジャー天文学」の視点で取り組んでいきたいです。

牧野友耶 Yuya Makino



初めまして、6月よりニュートリノ天文学部門に特任研究員として着任しました牧野友耶です。先月に名古屋大学の博士課程を修了し、今回ICEHAPで研究者として働く機会を頂きました。博士課程では、CERN研究所のLHC加速器を用いた、LHCf実験でハドロン散乱における散乱角の小さい領域への粒子生成に関する研究を行いました。IceCube実験において、希少なニュートリノを検出するために重要なことは、大気中で生成された粒子に起因する背景事象の量を正しく見積ることです。この点に関してハドロン散乱に関する知識が鍵となるため、これまでの経験が活かせると考えています。

今後ニュートリノ観測から宇宙線の起源に迫るために、IceCube実験の高エネルギーニュートリノ解析の高精度化と、次世代計画に向けた新型光検出器モジュールの開発に取り組んでいきます。

最近のアイスキューブ



宇宙線国際会議(ICRC)での研究発表に向けた追い込み期間が進行中です。議論するための電話会議は白熱し長時間に及ぶことも。IceCube実験では、14の口頭発表と28のポスター発表が予定されています。前回の会議よりも大きく増加しており、高エネルギーニュートリノ天文学の興隆を反映しています。

最近の南極



短い南極の夏も終わり、今年も2名の研究員がWinterover(越冬メンバー)として11月まで滞在し、アイスキューブ実験のメンテナンスなどに務めます。彼らの様子は、毎週送られてくるWeekly Report(週刊報告)で知ることができます。このWeekly Reportには、毎回彼らが撮った美しい南極の景色や南極での生活の様子がよくわかる写真が付いています。今号の表紙に選んだ写真もその中の1枚。見事な月柱の写真を見た瞬間に、次号の表紙はこれ！と即決してしまったのでした。



皿洗いを手伝える越冬メンバーのMartinとJames。

最近のセンター長



週2回の水泳を始めて1ヶ月。目に見える成果は...まだありません...



ICEHAPで起こった出来事を随時お知らせしています。研究に関するニュース、南極の美しい写真、前回のコズミックカフェの模様や、石原准教授の猿橋賞授賞式の様子などもUPやシェアしています。ぜひ「いいね！」してくださいね！

<http://www.facebook.com/ICEHAP.Chiba.Univ>

