

宇宙総合学研究ユニット NEWS 2020 年 7 月号



新たに着任した宇宙ユニット併任教員の紹介

井岡 邦仁 氏

基礎物理学研究所・極限構造研究部門 教授

高エネルギー宇宙物理の理論的研究、重力波天体やガンマ線バーストなど

この紹介文を書き始めて気づきましたが、宇宙を研究し始めてもう四半世紀（！）も経ってしまいました。少年老い易く学成り難し、とは良く言ったもので、まだまだ知らないことだらけで、宇宙の奥深さに翻弄されているなあと感じます。とは言え、これは実は思惑通りでもあって、院試を受けるときにどの研究分野を選ぼうかと悩んだときに、宇宙なら星の数ほど研究することがあって困らないはずだ、と思ってこの分野を選択しました。当時の（今より何も知らなかった）自分にしては、なかなか良い選択をしたなと我ながら感心しています。

これまでやってきた研究を見返すと、どうも好みは、宇宙最大の爆発とか、最高エネルギーとか、宇宙で起こっているトンデモナイことに集中しているようです。それと、やはり新しいことが好きなようです。それらを面白いと感じるようですが、なぜ感じるのかは自分でもよく分かりません。面白いは何か？が分かれば、もっと面白い研究ができるのになあと、日々面白いことを模索しています。

子供達は大きくなってきて、あまり相手してくれなくなってきたのですが、彼らを観察するのは相変わらず私の趣味です。畑に植えた野菜が育つのを見るのも好きです。最近ではカボチャの成長の早さに驚いています。何かが成長していく様を見るのも大変面白いですね。宇宙ユニットでも何か面白いことができれば嬉しいです。



梅野 健 氏

情報学研究科・数理工学専攻数理物理学講座 教授

電離層電波観測・花山天文台にイオノグラムを設置

現在、Zoom で学生相手にオンライン講義をする様になってから、文字通り講義の様相が一変しました。一番の課題が、果たして学生は解っているのか、面白いのか、といった反応が全く見えなくなったと言うところにあります。

現在、情報学科の 1 回生(彼らには未だに会ったことが無い)向けの「数理工学概論」で何故、量子コンピューターは現代暗号を解くことができ



るのかという話を 4 回でしています。3 回生向けと、大学院学生には、統計物理学の基礎についての話をしていますがそこでも量子力学の理解が重要となります。高校までは古典力学(ニュートン力学)を習っている彼らでも、量子力学の話となるとそれは異次元の物理になります。では、量子力学の必要性をどうやって説明するのか?もし、シュレーディンガーの猫(生きた猫状態と死んだ猫状態の重ね合わせ)の話を Zoom 越しで嬉々として話をしていたら、物理学者は残酷で変態な生き物であると思われて終わるでしょう。無論、我々はそんな残酷で変態ではありません。物理学者はもっとロマンチックな生き物なのです。そんな誤った誤解を解くため、私は、「COBE」や「PLANCK」といった衛星で観測された宇宙マイクロ波背景放射の話をし、実際に調和振動子のエネルギー量子化が予言する PLANK 公式(PLANCK 分布-3K 放射-)とぴつたりと一致する話をします。すると、その瞬間、ようやく彼らと宇宙を通じて“初めて”つながった感覚-共振経験(共通の体験を共有したと言うあの感覚)-を持つのです。そんな宇宙との関わり合いを持ちつつ、研究においては、柴田先生を初め関係者のご理解を得て花山天文台にイオノゾンデ観測局を置かせてもらい、電離圏の定常観測を行っています。電波による電離圏・宇宙観測に興味あります(元の専門は理論物理で統計力学・カオス・複雑系理論, ここ 20 年くらいは信号解析も-略-)。どうぞよろしくお願いいたします。

松岡 彩子 氏

理学研究科・地磁気世界資料解析センター 教授

磁場観測に基づく、地球・惑星の周辺環境や宇宙空間での電磁現象の研究

3 月 1 日付けで理学研究科附属地磁気世界資料解析センターに着任し、このたび宇宙ユニットに参加させて頂くこととなりました。どうぞよろしくお願いいたします。地磁気センターは地上磁場観測データのアーカイブ、地球磁気圏の地磁気指数の整備という重要な役割を長年担っており、これらを引き継いで国内外の研究者コミュニティに貢献していきます。京都大学に異動する前は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究所に在籍し、人工衛星や探査機による磁場の観測を軸にした研究を行ってきました。参加している現在進行中のプロジェクトには、ジオ



スペース探査衛星「あらせ」、水星磁気圏探査機 BepiColombo「みお」などがあり、これらの衛星に搭載した磁場観測器の責任者をつとめています。異動を機に研究のスケールを広げ、地上観測から惑星探査までを対象とし、宇宙で起こる様々な現象の普遍性と特殊性を探る研究活動を促進したいと考えています。宇宙ユニットには多様な研究対象や手法をお持ちの方々が所属されており、「宇宙」という言葉が包含する世界の奥深さを改めて感じております。宇宙ユニットでの活動を通して、私個人の「宇宙」が広がるのが楽しみです。新たな知識や発想を得て研究の幅を広げるきっかけに、もしさせて頂ければ大変嬉しいとも考えています。

京都大学への異動とほぼ同時に新型コロナの問題が起きたのは全く想定外でしたが、吉田キャンパスすぐの住まいの周りに行動が制限された結果、多くの小さな発見もありました。それほど有名ではないが行ってみると面白いところなど、ご存知でしたらお教え頂ければ幸いです。

向山 信治 氏

基礎物理学研究所教授

このたび、宇宙ユニットに参加させていただくことになりました。私はこれまで、ブレーン宇宙論、弦理論的宇宙論、量子重力理論に基づく宇宙論、ダークエネルギー・ダークマター、長距離・長時間での重力の変更、ブラックホールのエントロピー等についての研究を中心に、宇宙論及び重力理論分野での研究をしてきました。研究スタイルは決まっているわけではありませんが、基礎理論における新しい進展を受けて、それを宇宙に適用して新しい宇宙像を導くというパターンが多いように思います。最近では、インフレーションなどの初期宇宙シナリオや、重力波観測による重力理論の制限などの研究の他に、物理的自由度の数が（一般相対論と同じ）2の重力理論の研究もしています。これらの理論には、宇宙論の標準モデルつまり Lambda-CDM モデルよりも観測データをよくフィットするものもあり、今後の進展が楽しみです。これからも、基礎理論の観点から新しい宇宙像を探っていきたいと思います。また、宇宙の謎への挑戦を通じて、基礎理論についての新しい知見を得られるように努力していきます。



樽家 篤史 氏

基礎物理学研究所・極限構造研究部門 准教授

このたび、宇宙ユニットのメンバーとして参加させて頂くことになりました。私の現在の専門は、観測的宇宙論です。名前の通り、観測データをもとに宇宙の成り立ちと進化を探る研究分野です。とはいえ、膨大なデータから宇宙について理解を深めるには、基礎となる理論、あるいは理論モデルが必要です。ここでいう理論とは、膨張宇宙のダイナミクスと、銀河などの天体分布やダークマターと呼ばれる見えない質量分布の形成・進化（構造形成）、この2点を整合的かつ定量的に記述する土台をさします。昨今では標準宇宙モデルあるいは Λ CDM モデルがそれに該当しますが、私は、この理論モデルを手がかりに、主に宇宙の構造形成に関わる観測を通して、未解明問題に対する検証方法を探求したり、将来観測に向けて理論モデルの高精密化・拡張を行うことで、宇宙に隠された謎を明らかにする研究を行なっています。



理論主体の研究なので、私自身が観測に携わることはありませんが、過去に一度、観測チームの一員としてハワイにあるすばる望遠鏡を訪れたことがあります。マウナケア山頂で見た夜空は大変素晴らしく、同時に、自分はこういうものを相手に研究していたのだということを改めて実感し、身震いました。ただし、この時の感動は、その後の高山病の顛末ですぐにかき消されてしまいました。逆に、ああ自分は観測に向いていないんだ、という思いが強くなった次第です。

とはいえ、すばる望遠鏡による銀河サーベイ計画や、宇宙マイクロ波背景放射の衛星観測プロジェクトなど、日本が重要な役割を果たす計画がどんどん進んでいます。また、KAGRA が近々本格稼働することもあり、重力波観測も見逃せません。観測の基礎に関わる研究に携わる身として、今後の成果と進展に期待しつつ研究を進めるとともに、宇宙ユニットでのつながりを利用して、様々な成果・情報を発信、共有できればと思います。

久徳 浩太郎 氏

理学研究科・物理学宇宙物理学専攻・天体核研究室 准教授

重力波天文学、多粒子天文学、高エネルギー天体物理学の理論研究

改元に合わせて京都大学の一員になり、この度新たに宇宙ユニットに参加させていただくことになりました。主に重力波天文学の理論研究を、当面は中性子星やブラックホールといった強重力天体への理解を深めることを目指し、いわゆる数値相対論シミュレーションなどを使って進めています。私が大学院の物理学専攻に進学して研究を始めた頃には、少なからず「重力波の研究なんて随分気が長いね」と言われたことを思い出しますが、観測・実験研究者の多大な尽力のおかげもあって、今では天体現象の研究者への仲間入りできたように思っています。元々は宇宙自体に強い興味があったわけではなく、大学で物理を勉強するうちに重力や特に重力波に関係する自然現象を理解したいと思うようになり、そのための実験場というある意味で邪な動機により宇宙に目を向けるようになりました。とはいえ何事も勉強すればわかることも増えて面白く感じられてくるものらしく、最近は物理以外の観点も含めて色々な切り口から宇宙そのものを理解することにも興味があり、この宇宙ユニットで色々な人の見方を学ばせていただけることを楽しみにしております。



横山 竜宏 氏

生存圏研究所・生存圏診断統御研究系 准教授

観測とシミュレーションによる電離圏物理の基礎研究、電波伝搬への応用研究

2018年11月に生存圏研究所レーダー大気圏科学分野に着任致しました。工学部電気電子工学科から生存圏研究所の前々身である超高層電波研究センターの研究室に配属され、スプラディック E 層やプラズマバブルといった電離圏の擾乱現象の研究を開始しました。卒業後は、名古屋大学太陽地球環境研究所(現宇宙地球環境研究所)、米国コーネル大学、NASA ゴダード宇宙飛行センター、情報通信研究機構(NICT)を経て現職に至ります。日米の4種のドメイン(ac.jp, go.jp, edu, gov)でそれぞれ1年以上過ごした人間はなかなか珍しいのではないかと思います。



「超高層」は地球大気から見たときの用語ですが、宇宙の最下端の領域でもあります。中性大気と電離したプラズマが共存しており、その相互作用によって複雑な現象が多く発生します。主な研究課題は、「電波伝搬に影響を及ぼす電離圏現象の発生予測」です。電離圏が乱れた状態になると、伝搬の過程で人工衛星による測位に大きな誤差が生じたり、情報そのものを取得できなくなる場合があります。このような影響を事前に予測し予報するために、観測とシミュレーションを駆使した研究を進めています。今後ともよろしくお願い致します。

原田 裕己 氏

理学研究科・地球惑星科学専攻・太陽惑星系電磁気学講座 助教
月や火星といった非磁化・弱磁場天体のプラズマ環境の研究

私は月や火星といった、地球と比べて磁場の弱い天体の周りで何が起きているのかを、探査機の観測データを解析することで調べています。特に惑星・衛星の周辺空間において、プラズマや電磁場が太陽光や太陽風の変化にตอบสนองして（あるいは自発的に）どのように変動するのか、物質やエネルギーの輸送過程はどうなっているのか、といったテーマに興味があります。

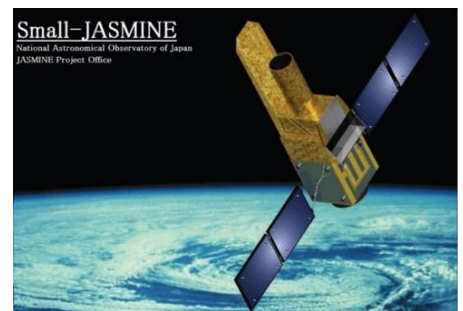
私生活では2女の子育て中です。昨年度に育児休業を取得してから長女がたくさん遊んでくれるようになりました。



山田 良透 氏

理学研究科・物理学宇宙物理学専攻・天体核研究室 助教
赤外線位置天文観測衛星のデータ解析および銀河系考古学の研究

私は、大学院の学生の時からシミュレーションによる天体物理の研究をしてきました。計算の対象は、超新星(一つの星)から宇宙の大規模構造までです。その延長で、流体の計算手法の研究も行ってきました。2000 年ころから、JASMINE という衛星での位置天文観測という分野の研究を行っています。位置天文は、星の位置と運動を正確に測定する研究分野ですが、星の運動を精密に測定すると、星までの距離が分かります。この分野は、天体学的仮定によらず、力学だけで直接的に星までの距離を測ることができる、唯一の天文学です。赤外線で観測して、我々が棲む天の川銀河系の中心のダストに覆われた部分の3次元構造を明らかにすることが狙いで、宇宙研公募型小型3号機に選定されています。



この宇宙ユニットの中には、いろいろな方がいらっしゃると思います。私も、JASMINE を始めてから、プリカーサとしての超小型衛星を作ったり、ハードウェア、システム、統計手法の議論をし、ソフトウェア工学を学んだり非常勤で教えたり、いろいろなことをする機会ができました。宇宙ユニットで、いろいろな分野の方との交流を深めてゆきたいと思います。

今後の宇宙学セミナー・関連イベントなど

日時	内容	開催方法
7月27日(月) 15:00~16:30	第2回宇宙学セミナー タイトル：海のある惑星地球の気候ー沿岸に起きるエルニーニョの類似現象について 講師：山形俊男氏（東京大学名誉教授、元京都大学宇宙ユニット特任教授） ※事前申込制： envhazards@gsais.kyoto-u.ac.jp に、件名「第2回宇宙学セミナー参加希望」と書いて申し込んでください。後日、zoomリンクをお送りします。	Zoomによるオンライン開催

※宇宙学セミナーの詳細は随時 Web ページ (<http://www.uss.kyoto-u.ac.jp/seminar.html>) で公開いたします。

オリオン星雲における衝撃波の運動

土井 隆雄 特定教授（総合生存学館）

冬の南天の夜空を見上げると、オリオン座の勇姿がすばらしい。オリオン座の中央にある三ツ星から少し南に小望遠鏡を向けると蝶が羽を広げたような見事な星雲が視野に飛び込んでくる。これが有名なオリオン星雲であり、18 世紀のフランスの天文学者メシエが作った星雲星団カタログの 42 番目の天体であるため M42 とも呼ばれる（図 1）。オリオン星雲は、実は地球から約 1500 光年離れた巨大分子雲の一部である。オリオン星雲の中心部を拡大すると 4 つの明るい星が小さな星団を作っており、小望遠鏡でもよく見ることができる。これがトラペジウムであり、そのなかで一番明るい星が $\theta 1\text{Ori C}$ である。

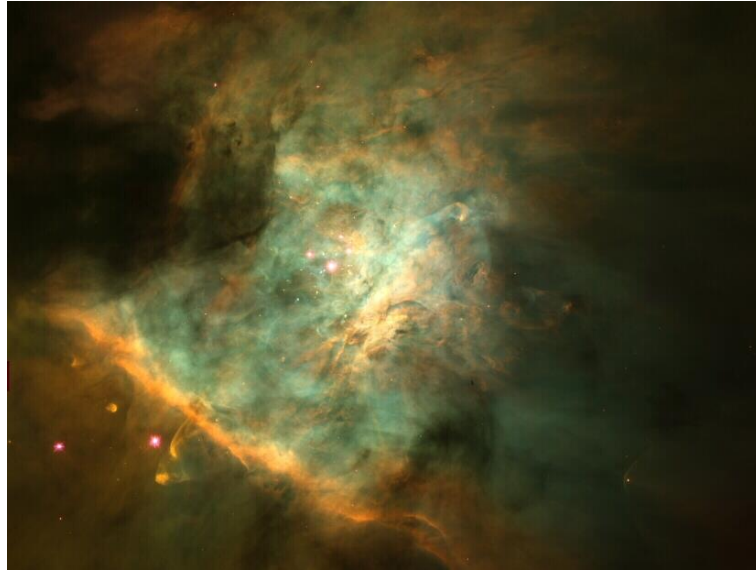


図 1 オリオン星雲

ハッブル宇宙望遠鏡による撮影（ロバート・オデール提供）

オリオン星雲は、どうやって光っているのだろう。そのメカニズムを理解するために、すこし物理の復習をしよう。宇宙のすべての物質は、分子と原子からできている。分子は、原子の集合体だ。例えば、水素分子は水素原子 2 個からできている。今、水素分子に非常にエネルギーの高い光（波長の短い光）を当ててみよう。あるエネルギー以上の光を当てると、水素分子は水素原子に解離（分子が原子に分解されること）し、さらに電離（原子から電子が失われ、電荷を持つこと）することによって、水素イオンと自由電子になる。この現象を光電離という。水素原子が電離するのに必要なエネルギーは、13.6 eV だ。1eV とは、電子 1 個を 1 V の電位差で加速した時の電子の運動エネルギーに等しい。また、光のエネルギーは、その波長に反比例して大きくなる。

恒星は大きくなればなるほど表面温度が高くなり、そこから放出される光のエネルギーも大きくなる。例えば、私たちの太陽は表面温度が 6000K（絶対温度）であり、太陽からの光の大部分は可視光線の領域にある。太陽よりも大きな恒星の表面温度はさらに高く、放出される光は紫外線の領域に入る。そのような巨大な恒星のひとつが、トラペジウムの $\theta 1\text{Ori C}$ なのだ。 $\theta 1\text{Ori C}$ は表面温度が 40,000K を超える O 型星であり（恒星は大きさ・明るさ・表面温度の高い順に、O/B/A/F/G/K/M 型星に分類される。太陽は G 型星である）、そこから出る大部分の光は、水素分子を電離させるのに十分なエネルギーを持っている。

オリオン星雲のある巨大分子雲は極低温の水素分子からできており、その表面（主電離面）は、 θ 1Ori C からの光による光電離によって常に水素イオンと自由電子が作られている。水素イオンと自由電子は、巨大分子雲から真空中へ音速で飛び出していき、再び衝突・再結合して水素原子となる。この時、水素原子から放出される光は、特別の波長（656.3 ナノメートル）を持ち、H α と呼ばれる赤い光だ。すなわち、オリオン星雲は、 θ 1Ori C が作り出した水素イオンと H α を放つ水素原子雲から作られており（このような領域を HII 領域と呼ぶ）、巨大分子雲の私たちから見える表面が光って見えているのである。巨大分子雲が θ 1Ori C からの光であぶられて光っていると言って良いかもしれない（O'Dell 2003）。

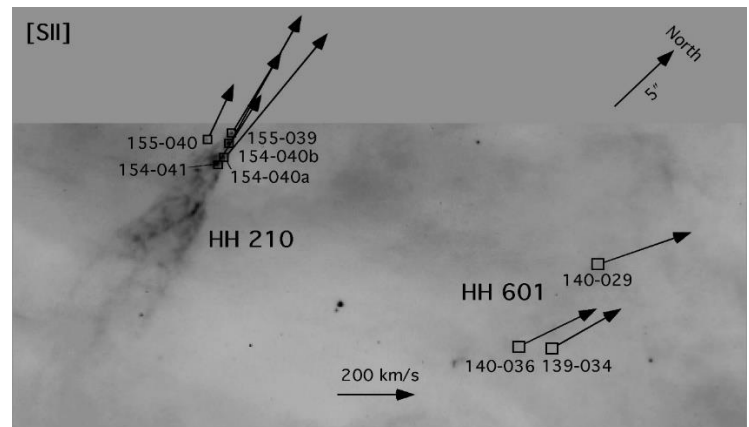


図 2 HH210/601 の天空面における速度ベクトル

オリオン星雲にある星を調べてみると、どれも若い星であることがわかる。これらの星は、すべて巨大分子雲の中で生まれたのだ、そして、オリオン星雲の背後にある巨大分子雲の中では、今でも新しい星が生まれている。ハッブル宇宙望遠鏡で注意深くオリオン星雲を観察すると、多数の弧状の物体が観察される。これは、実は若い星が生まれる時に放出されたジェットが HII 領域にあるガスと衝突して作られた衝撃波だ。私の研究目的は、オリオン星雲にある衝撃波の分布を調べ、その性質を明らかにすることである。そのためには、オリオン星雲にある衝撃波の速度を求めなければならない。

まず 3 年かけてオリオン星雲に見られる測定可能なすべての衝撃波を分類した。ハッブル宇宙望遠鏡で撮影した撮影年月日の異なる 2 枚の写真から、衝撃波の位置の違いを測定し、その天球面上での速度を求めたのである。ハッブル宇宙望遠鏡の空間分解能は 0.1 秒を越え、約 1500 光年離れているオリオン星雲の衝撃波の移動は、約 5 年が経過すると十分測定が可能であることに驚いた。図 2 は、オリオン星雲内を移動する衝撃波 HH210 と HH601 の天球面上の速度ベクトルを示している。生まれたての星から放出されたジェットや衝撃波による発光物体のカatalogを作った二人の作成者の名前を使って、このような天体はハービック・ハロー（HH）天体と呼ばれている。例えば、HH210 の先端付近の速度は、約 390km/s にも達し、高速で運動しているのがわかる。

図 3 は、このようにして得られたオリオン星雲内に分布する衝撃波の天空面速度図である（Doi et al. 2002）。トラペジウム北部に北に向けて高速で移動する衝撃波の一団がある。HH210 もそのひとつだ。これは、ベックリン-ノイゲンバウアー/クライマン・ロウ（BN/KL）天体と呼ばれる約 1000 年前に起こった強大な爆発によって作られたものである。爆発した天体自体は、巨大分子雲の中に隠されて見えていない。オリオン星雲の中心部、トラペジウムから南西に少し行った所（図 4 では B と表示されている）は、オリオン S と呼ばれる領域がある。この領域からも東と北東と南東さらに北西方向に衝撃波が伸びている。これらの衝撃波の源もまた巨大分子雲の中に埋もれおり、未だ発見されていない。

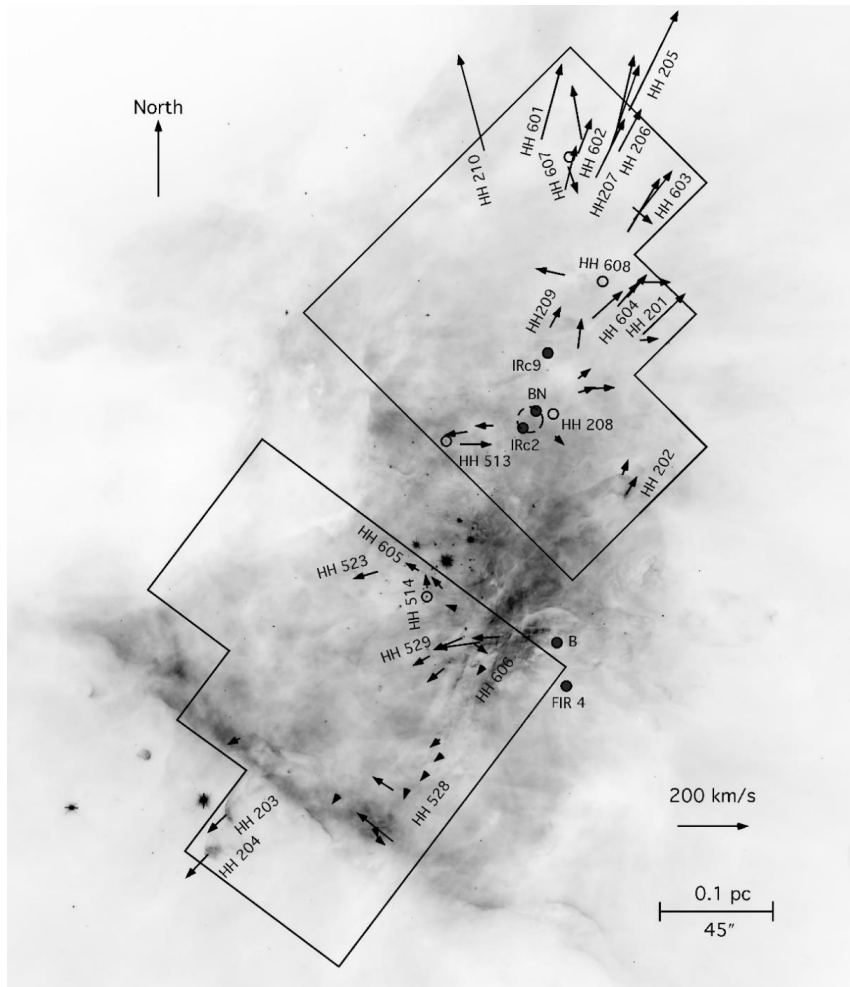


図 3 オリオン星雲内の衝撃波の天球面速度図

黒い四角はハッブル宇宙望遠鏡の広角感星カメラ 2 (WFPC2) の視野を表している。天空の45 秒角が1500 光年かなたでは、0.1pc (1 パーセク：3.26 光年) に等しい。

次の3 年間はオリオン星雲のスペクトル撮影を行い、ドップラー法により衝撃波の視線方向速度を求めた。先の天球面上での速度と視線方向速度が分かることによって、衝撃波の3 次元方向速度がわかるのである。オリオン星雲のスペクトル撮影のためにアリゾナ州にあるキットピーク天文台に2 回、チリのセロ・トロロ天文台に1 回出かけた。図4 は、オリオン星雲の南東端に位置するHH203/204 の視線速度を表している。両天体とも先端の衝撃波とそれらを作っているジェットも見えている。HH203 は視線速度約60km/s で近づいてきており、HH204 はその半分の速度30km/s で私たちに近づいている。3 次元速度は、HH203 が104km/s、HH204 が103 km/s であり、ほぼ等しい。運動方向はやや異なるが、両天体は同じ天体からほぼ同時期に射出されたと考えられ、その天体は巨大分子雲の境界のごく近くにあると推定される (Doi et al. 2004) 。

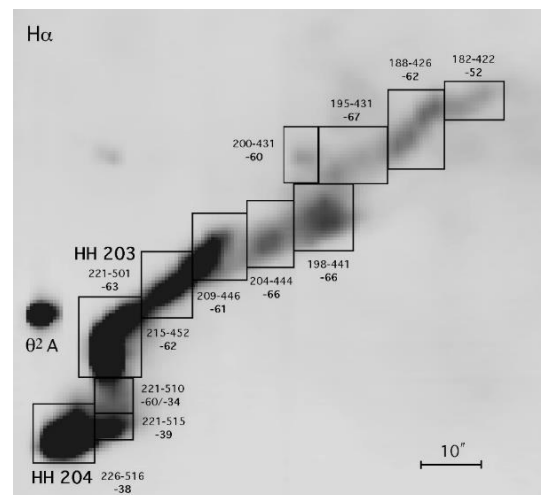


図 4 HH203/204 の視線方向速度

先頭の衝撃波とそれら作るジェットが見えている。速度の数字のマイナスは私たちの方向に運動していることを意味している。

図 5 は、オリオン星雲における衝撃波・ジェットの見線方向速度図である。オリオン星雲中心部付近の運動している天体の見線方向の速度に寄って色を変えて表示しているので、通常の写真とかなり違ったオリオン星雲の様子を示している。図の中央にある 4 つの星の集団がトラペジウムである。赤い色はオリオン星雲よりも少し早い速度（毎秒 24-40 キロメートル）、緑色は中速（毎秒 44-60 キロメートル）、そして青色は高速（毎秒 64-80 キロメートル）で私たちに近づいてくる天体を示している。トラペジウムの北西にある大きな衝撃波が HH202 である。丁度、HH203/204 と反対向きに運動しているのが興味深い。HH202 もまた、図 3 で触れたようにオリオン S と呼ばれる領域から発生している。

ハッブル宇宙望遠鏡の出現は、ジェットや衝撃波の天球面上の移動速度を正確に求めることを可能にした。地上からのスペクトル観測と組み合わせることにより、オリオン星雲中の衝撃波の 3 次元運動の詳細な解析ができるようになった。衝撃波の 3 次元解析は、衝撃波の特性やそれらが運動している媒体である HII 領域の物理量の推定を可能にしたばかりでなく、それらを作り出した天体の位置特定にも知見を与えることになった。今回の研究で解析された巨大な衝撃波の源は、どれもオリオン星雲と巨大分子雲との境界、すなわち主電離面の近くに存在していることが明らかになった。主電離面は、巨大分子雲の中に刻々と侵入して行くために、オリオン星雲は常に新しい姿を見せていると言って良い。巨大分子雲の中に隠されている星々が、やがてオリオン星雲の中に現れるであろう。

参考文献

- O'Dell, C.R., 2003, The Orion Nebula, Harvard University Press..
Doi, T., O'Dell, C.R., & Hartigan, P., 2002, The Astronomical Journal, 124, 445-463.
Doi, T., O'Dell, C.R., & Hartigan, P., 2004, The Astronomical Journal, 127, 3456-3478.

宇宙ユニットの活動やイベントについては、下記サイトをご覧ください。また、宇宙ユニットや本 NEWS に関する皆様のご意見等も気軽に下記メールアドレスまでお送りください。

京都大学 宇宙総合学研究ユニット

<http://www.uss.kyoto-u.ac.jp/>

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 403 号室

編集人：伊藤梓

Tel&Fax: 075-753-9665 Email: uss@kwasan.kyoto-u.ac.jp

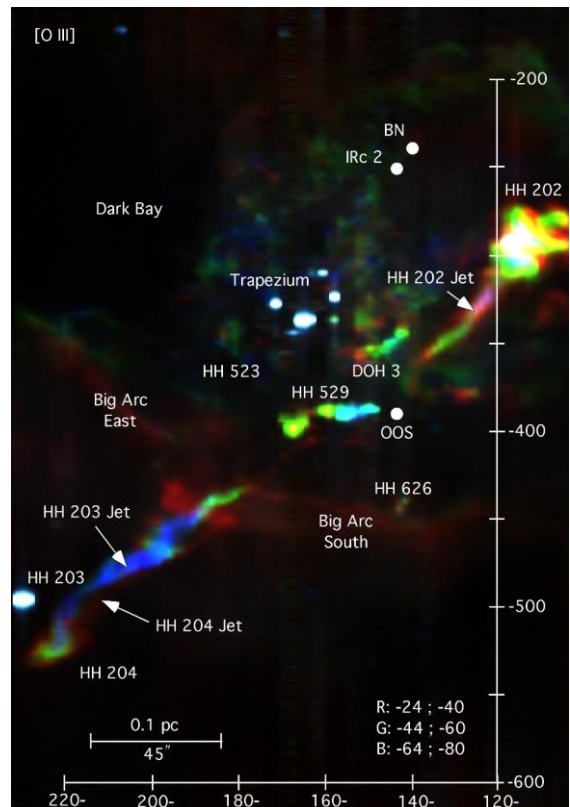


図 5 オリオン星雲における衝撃波・ジェットの視線方向速度図

この速度図は、酸素 2 価イオン ([OIII]) の出す 500.7 ナノメートルの波長の光で測定された速度が表示されている。