

研究成果

宇宙は、ビッグバン以後の膨張過程で、ダークマターの密度揺らぎが成長し、様々な階層構造が形成され、第一世代の星形成、銀河の形成とその後の恒星の形成と進化などをへて、宇宙は進化してきた。この過程で、恒星による元素合成進化が行なわれてきた。宇宙物理学研究室では、理論グループは、宇宙初期に形成された星の進化、宇宙論的な銀河・銀河団の形成進化の解明を目標に研究を進めている。具体的には宇宙初期に形成された低金属星の研究、数値シミュレーションによる銀河銀河団の宇宙論的な形成と進化の研究を行っている。また、観測グループは、宇宙電波観測によって、銀河の星間分子輝線の観測、銀河の星形成、銀河の棒状構造の影響などの研究を行っている。当研究室では、北海道大学苫小牧研究林内に北大理学研究科宇宙電波観測所を設け 11m電波望遠鏡による銀河系の分子雲の星形成領域の観測を進めている。11m電波望遠鏡は、日本国内の大学連携連携超長距離基線干渉計観測(VLBI)網(国立天文台と北大、岐阜、山口、鹿児島各大学)に参加して成果をあげている。

恒星の進化と元素合成の研究、銀河系の星形成史・化学進化の研究

恒星進化グループの主たる研究の対象でもあり、銀河系ハローの残存する宇宙黎明期の恒星の表面特性、その形成史の分析の基礎となる、中低質量星の進化と核種合成について研究を継続した。漸近巨星段階でのヘリウムフラッシュ中の水素混合あるいはその後の表面对流による浚渫の生起についての質量および金属量依存性についてまとめた。また、漸近巨星の進化を支配する質量放出を表面組成の特異な恒星の統計から見積もる可能性についても検討した。また、超金属欠乏星の特性を考慮した銀河系ハローの形成の形成過程の研究では、階層的な銀河系形成理論に基づくmerging treeを用いた研究成果をまとめた。われわれのグループの提唱した大質量の初期質量関数および連星シナリオに従い、その帰結としての、初代星とその超新星爆発に汚染された第2世代以降の星の特性の相違、あるいは、電子対発生不安定によって誘起される超新星爆発の可能性について議論し、宇宙黎明期の星形成史とその探査の可能性を議論した。金属欠乏星データベース(The Stellar Abundances for Galactic Archaeology (SAGA) database <http://saga.sci.hokudai.ac.jp>) は、引き続き国内外から広く利用されている。我々のグループでも、このデータベースで集積したデータを用いて、銀河系ハローの恒星の統計的な分析を遂行、銀河系ハロー星の諸性質の系統的な解析をまとめ、とりわけ、炭素星の統計から、銀河ハローにおける初期質量関数の変遷を導いた(Mon. Not. Ras. Astron. Soc. 2011)。引き続き、この過程で見出した太陽の約100分の1の金属量で銀河系ハロー星の初期質量関数が転換の痕跡が与えると核種合成への影響について検討した。その初期的な成果として、亜鉛やコバルトの表面組成に初期質量関数の変化の痕跡が見られることを示した(Astrophys. J. に投稿中)。その他の元素についても、その増加過程の解析を進めている。その他の研究としては、Ogata et al. (2009) によって提唱されたヘリウムの 3α 反応率についての恒星進化への影響を調べた。観測との照合、とりわけ、巨星進化の要請から反応率の上限値を導き、それが、新しく提唱されたものより小さく、現行の反応率に近いことを示した(Astrophys. J. 2011)。また、惑星をもつ恒星の研究では、公開を目指して東海大学の比田井昌英教授グループと共同で、恒星母星をふくむ恒星の組成についてのデータベースの開発を続けた。それとともに、最近の太陽系外惑星の発見で注目されている、巨大ガス惑星の構造と進化に関する研究を東京工業大学の生駒太陽助教との共同研究も継続している。これらの成果は天文学会等で学会で発表した。

銀河・銀河団の進化に関する研究

銀河理論グループは、宇宙における構造形成を、おもに銀河銀河団の形成と進化について理論的研究を進めている。この宇宙論的な銀河銀河団の形成では、宇宙の物質の大半を占めるダークマターが重要な役割をはたし、銀河形成時における星形成過程の解明も重要である。また、銀河中心には巨大ブラックホールが宇宙のかなり初期から存在していた証拠があり、その形成と進化は銀河の性質や銀河の進化と密接に関係している。これらの点に注目して研究を進めている。

高精度銀河形成モデルを用いた銀河形成とダストの影響の研究

最近の宇宙背景マイクロ波放射の観測から支持されている Λ CDM宇宙では、銀河団形成はかなり早くおこりはじめ、銀河形成への大きな影響が考えられる。この宇宙論的な銀河形成と銀河団形成の関連を数値シミュレーションを用いて調べている。この関連では、最近観測から明らかにされた遠方銀河のサイズ進化に注目して研究を進めている。コンパクトな遠方銀河は単純な銀河形成モデルでは説明できないことが示され、銀河合体過程が注目されるが、この過程を高精度の研究した例は限られている。そこで、我々は、銀河団形成領域におけるダークマターハローの合体過程を高精度シミュレーションの結果を用いて調べ、minor mergerが多く、それによって銀河のサイズ進化が観測程度に急速であるという結果を得た (Mon. Royal Society投稿中)。銀河形成時の星形成については、水素分子形成過程が重要であり、ダストの有無はこれに大きく影響することに注目して研究を進めた。銀河形成時のダストの生成と破壊における超新星の重要な役割、特にサイズ進化を考慮した研究はなされていない。この研究を宇宙理学専攻の小笹と協力して研究を進め、その影響がかなり大きいことを示し (Astrophysical J. 2011)、現在、宇宙の最電離過程への影響を研究し、宇宙再電離の新しいモデルを提案している。

銀河中心へのガス供給と巨大ブラックホール

巨大ブラックホールがどのように質量を増加されるのかは未解明で、ガスの流入による可能性と銀河合体による巨大ブラックホールの合体が考えられている。我々の銀河中心にも太陽質量の百万倍の巨大ブラックホールが存在し、ガスの流入過程を詳細に研究できる可能性がある。そこで、我々の銀河中心領域を対象に、多重の棒状構造を仮定し、数値シミュレーションを行った。その結果、銀河中心から20pcの領域にガスが集中しガス円盤が形成されること、それが自己重力不安定となって進化すると、角運動量を輸送しながらガスがさらに銀河中心に集中することが明らかになった (Namekata et al. Astrophys. J. 2011 掲載)。また、棒状構造をもつ銀河の分子ガスの量と星形成率との関係は、円盤銀河と異なっている問題について数値シミュレーションを進め、棒状領域で形成される巨大分子雲は、内部速度分散が大きく星形成効率が低下する可能性を理論的に示した (投稿準備中)。現在、デニユアトラック助教として赴任したEliabeth Taskerと協力して高精度3次元計算を進めている。

宇宙電波観測グループ

銀河系内の星形成領域における高密度分子ガスの観測

銀河系の棒状構造の端 (バー・エンド) の星形成領域G23.44-0.18及び渦状腕上の星形成領域W 39, G23.01-0.41を苫小牧11 m電波望遠鏡を用いてNH₃分子スペクトル線の探査

観測を実施した。この観測により、G23.44-0.18では分子雲衝突と考えられる領域に高密度分子ガスの分布が明らかになり、さらに、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の45 m電波望遠鏡によるH¹³CO+輝線の観測から、この高密度分子ガス塊形成は自己重力収縮や大質量星からの圧縮等によるのではなく、分子雲衝突の可能性が高いことを示した。この結果は、大石の学位論文及び査読論文（2012年8月出版予定）にまとめられている。

星形成領域の高空間分解能観測

国立天文台VERAを用いて大質量星形成領域G353.27+0.641のH₂Oメーザー観測を実施し、質量降着の比較的若い段階にある同天体からコリメートされたジェットが間欠的噴出を明らかにした。また、苫小牧11 m電波望遠鏡による同天体のH₂Oメーザーのモニター観測を行い、小口径の単一鏡モニター観測の、原始星進化の研究上の重要性を示した。以上の結果は、元木の学位論文及び査読論文にまとめられた。

近傍の棒渦巻銀河における分子ガスと星形成に関する研究

野辺山45 m電波望遠鏡用いた赤方偏移が0.1 – 0.2の棒渦巻銀河のCO輝線探査観測により、活動的でない通常銀河としては最遠の天体から分子ガスを検出することに成功した。さらに、近傍銀河のアーカイブデータと比較することで、楕円率と分子ガス分布の進化依存性について議論した。これらの結果は、松井の学位論文及び査読論文（2012年6月出版予定）にまとめられている。また、近傍の棒渦巻銀河Maffei 2のCO観測の結果から、棒状部の分子ガスが渦状腕の分子ガスに比べて力学的に束縛されにくい状態にあり、星形成が起こりにくいこと、また、この状態が分子ガスの質量を推算するための変換係数に影響を与えていることを示した。この結果は、徂徠他が査読論文にまとめた（2012年6月出版予定）。

苫小牧11 m電波望遠鏡の整備

水素メーザーの保守を5年ぶりに実施した。望遠鏡、観測装置ともに老朽化が進んでおり、多数の装置が故障、破損した。代替の効かない一部の装置については、観測の縮小で対応せざるを得なくなり、現在NH₃分子とH₂Oメーザーの同時観測ができなくなるなど、大きな支障を来している。一方で、全自動観測に向けた整備を進めており、中間周波数部の観測装置の制御の更新を進めた。

附属天文台ピリカ望遠鏡搭載可視分光撮像装置（NaCS）の製作

東京大学、神戸大学と共同で進めているNaCSは、5月に簡易版CCDカメラでの撮像モードでのファーストライトに成功、さらに、11月に大型CCDカメラでの撮像及び分光モードでのファーストライトに成功した。科学的運用に耐えられる性能を達成するために、現在整備を進めている。

ASTE望遠鏡搭載多色連続波カメラの開発（南谷・竹腰）

2008年度から東京大学、国立天文台野辺山観測所と共同で進めている、超伝導転移端センサー（TES）を用いたミリ波・サブミリ波帯連続波カメラの開発を引き続き行った。北大

では、カメラ光学系の設計・製作を担当しており、検出器及び光学系を冷却する大型デュアアの設計・製作、冷却光学系の設計・製作等を行った（国立天文台野辺山観測所 大島 助教、国立天文台先端技術センター 松尾 准教授、U. C. Berkeley A. T. Lee 准教授、Cardiff大学 P. Ade教授、C. Tucker博士、北大低温研・技術部 中坪氏、千貝氏、北大電子研・技術部 武井氏、北大理学部・技術部 加藤氏 との共同開発）。また、ASTE望遠鏡への搭載に向け、野辺山観測所においてカメラの最終組み上げと評価試験を行い、2012年3月には、ASTE望遠鏡へ搭載、同望遠鏡を用いた試験観測を実施する予定である。なお、本研究は、科学研究費補助金 特別推進研究（代表：東京大学 河野孝太郎 教授）経費の配分を受けて実施している。

大・小マゼラン雲中の巨大分子雲と星形成のサブミリ波観測による研究（南谷）

我々の銀河系から最も近くに位置する系外銀河である大・小マゼラン雲には、銀河系では見られない、重力的に束縛された若い星団が多数存在し、現在も星・星団形成が活発な銀河であり、星団形成過程を理解する上で重要な対象である。2011年は、マゼラン雲中の星形成の母体である分子ガス物理状態について観測的研究を進めた。南米チリ共和国北部のアタカマ高地（標高4800m）にある、口径10mのASTE（アステ）望遠鏡による、大・小マゼラン雲中の分子雲のサブミリ波帯高励起分子輝線観測のデータの整約を行った。これらのデータと、分子励起計算結果との比較から、大マゼラン雲中の分子雲の密度が $8 \times 10^2 \sim 7 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ 、温度が $15 \sim 200 \text{ K}$ ($-258 \sim -73^\circ\text{C}$) 程度であることが、これまでにない確度で明らかになった。また、星形成活動の指標との比較から、分子雲の進化が進むにつれてその温度・密度が上昇する傾向があることを明らかにした。（Minamidani et al. 2011）また、小マゼラン雲についても同様な解析を行い、比較的高温・高密度な分子雲が多いことを明らかにした。（Minamidani et al. in prep.）