


超伝導工学・大規模数値計算・データ科学で解明する宇宙最初期の重元素生成過程

	研究代表者 河野 孝太郎 (この こうたろう) 研究者番号：80321587
	研究課題 情報 課題番号：23K20035 研究期間：2023年度～2029年度 キーワード：輝線強度マッピング、集積超伝導分光、疎性モデリング、深層学習、サブミリ波

この国際共同研究の重要性・面白さは何か（研究の目的と意義）

●本研究の背景：宇宙における隠された星形成活動

宇宙における星生成活動が、138億年の歴史の中で、いかに変化してきたか、また、その変遷を司る物理過程は何か、を理解することは、星の中で生成され私たちの世界と生命を構成するに至った元素や物質の起源を知るために極めて重要である。今や赤方偏移が10を超える初期宇宙での銀河の候補がハッブル宇宙望遠鏡やジェームズウェーブ宇宙望遠鏡による可視光から中間赤外線での観測により見出され、研究できる時代となった。一方、重元素からなる固体微粒子(ダスト)に隠された星生成活動を探るためには、アルマをはじめとするサブミリ波帯での観測が鍵となる。現在までのところ、個々に検出可能な明るい銀河の詳細な観測に基づく研究は劇的に進展している。しかし、より暗く、より多数存在する銀河、すなわち、より一般的・代表的な銀河において、こうしたダストに隠された星生成活動を広く探ることは、アルマをもってしても容易ではないことが明らかになってきた。このため、宇宙におけるダストに隠された星生成活動の重要性について、観測的な決着はいまだについていない。

●本研究の目的と意義：サブミリ波輝線強度マッピングで迫る重元素の生成集積過程と暗黒物質

この解決の決定打と期待されているのが、「輝線強度マッピング」と呼ばれる手法に基づく、ミリ波サブミリ波帯での広域分光撮像観測である。この手法では、個々の銀河を分解するのではなく、空間方向・奥行き（赤方偏移）方向に平均化した銀河からのスペクトル線の放射エネルギーを測定することにより、個別には検出が困難な、暗い銀河、すなわち、その時代における一般的で大多数を占める銀河の情報を、スペクトル線強度の揺らぎ（パワースペクトル）として得ることが出来る。本研究は、宇宙最初の約20億年（赤方偏移が約4から8の時代）の銀河における炭素イオンからの[C II] 158 μ m輝線に着目した輝線強度マッピングを行う(図1左)。その実現のため、大規模化に適した超伝導集積分光技術に基づく分光撮像カメラTIFUUNの開発(図1右上)と、その真価を十分に引き出すためのデータ科学を駆使した観測・解析手法(図1右下)の開発も行う。サブミリ波望遠鏡ASTEでの大規模観測により、宇宙最初の20億年における隠された星生成活動の全貌を明らかにすると共に、炭素をはじめとする重元素が、宇宙のいつの時代にどの程度集積されてきたか、明らかにする。提案する超伝導検出器技術とデータ科学的手法との融合によりもたらされる、より広く高感度な次世代輝線強度マッピング観測は、将来的には、酸素イオン [O III] 88 μ m輝線を活用して、さらに初期(宇宙再電離期より以前)の宇宙への観測的な手がかりを与えることにもつながる。また、高赤方偏移宇宙における銀河の大域的な分布を探ることで、暗黒物質モデルや初期宇宙物理に新たな制限を与えるなど、宇宙論の重要課題に迫ることもできると期待されている。

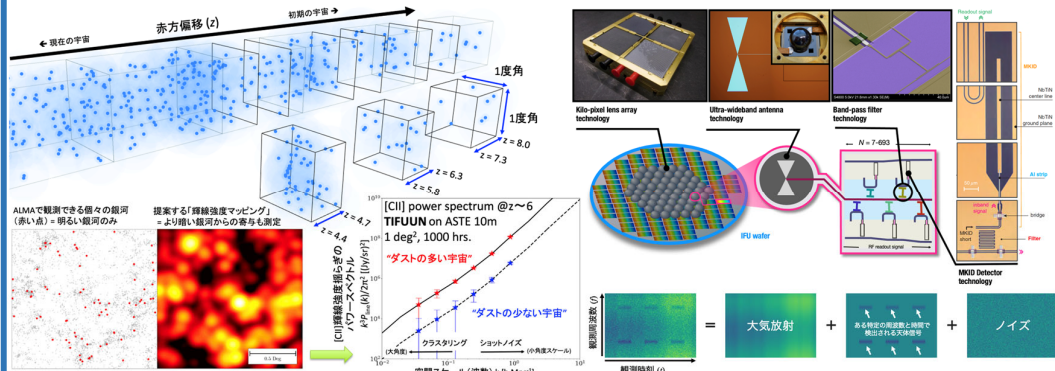


図1 輝線強度マッピング概要(左)・超伝導分光撮像カメラ(右上)・データ科学を使った大気放射分離(右下)

誰がこの国際共同研究を行うのか（優れたグループによる国際共同研究体制）

●超伝導ナノエレクトロニクス・数理科学・宇宙物理学および観測天文学をつなぐ国際共同研究

日本側は、アルマでの大型プログラムや炭素・酸素など重元素からのスペクトル線の観測および理論研究で世界第一線の業績を有するほか、データ科学と天文学との先駆的な融合研究を主導する数理科学の研究者、またサブミリ波観測装置開発で優れた実績を持つ工学部の研究者が参画する。世界に先駆けて集積超伝導分光技術を提唱し、天体信号の検出による実証を成功させたデルフト工科大学・オランダ宇宙研究所との長年にわたる国際共同研究をさらに強化・発展させる。加えて、輝線強度マッピングを含む理論研究及び観測とモデリングで国際的に知られた米国(ペンシルベニア大)とフランス(マルセイユ天体物理学研究所)の研究者が参画する。

●日欧での大型予算協力により実現する次世代のサブミリ波分光撮像カメラTIFUUNの開発

集積超伝導分光器をアレイ化しサブミリ波帯分光撮像カメラTIFUUNの実現に向けた開発研究予算がオランダ側で獲得されている。本研究で雇用される優秀な若手研究者や大学院生が、この貴重な次世代大型装置の開発に初期段階から参画できる。メキシコの大型ミリ波望遠鏡LMTを活用した観測研究・若手育成なども行う。

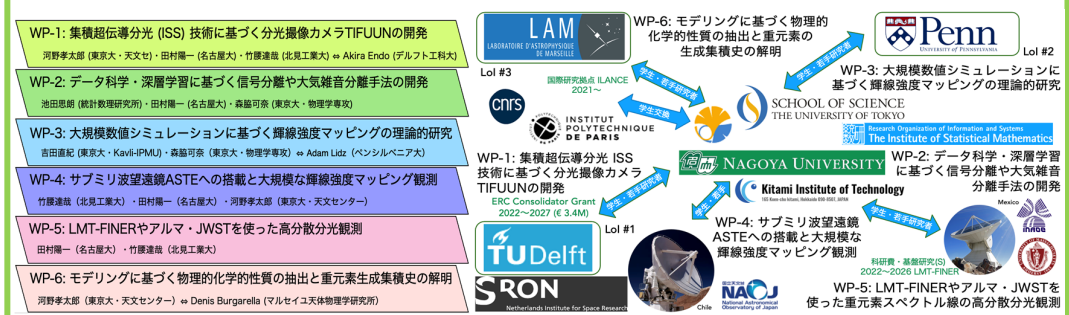


図2 研究項目とその実行体制(左)及び国際共同研究体制(右)

どのように将来を担う研究者を育成するのか（人材育成計画の内容）

大学院生および若手研究者、合計約20名が本計画に参画する(研究開始時点)。これに加え、CNRSと東大が設置した国際共同研究拠点等も活用して毎年数名の海外留学生・若手研究者も受け入れる予定である。人材育成計画の特色、また大学院生・若手研究者からみた魅力は、以下のようにまとめられる。

●多様な分野のエキスパートとの国際共同研究による幅広い視野の獲得・境界領域への挑戦

観測天文学・理論宇宙物理学の研究者、天文学との分野融合を主導するデータ科学分野の研究者、また光学や超伝導デバイスとそのデータの扱いに精通する工学部の研究者など、多様な分野のエキスパートが集う国際共同研究への参画を通して、幅広い人脈形成はもちろん、分野横断的な視野の獲得、ひいては境界領域への挑戦の機会が豊富に得られる。これまでに進めてきた分野連携・分野融合での研究、たとえばスパースモデリングを活用した大気雑音と天体信号の新しい分離手法、また、深層学習を用いた前景天体からの混入輝線情報の新しい分離手法など、更なる発展・展開が期待される具体的なテーマも多い。

●腰を据え自由な発想で研究に取り組むことのできる環境の提供

最長6年に及ぶ任期で、各分野のエキスパートと腰を据えて国際共同研究に取り組むことのできる特任助教ポストが用意される。研究のフェーズに応じて、短期から長期まで、必要な海外研究機関渡航・滞在を支援する。また、将来に向けた鍵となる超伝導技術やデータ科学のスキルを、より高い自由度で習得し、研究に取り組みやすくする。たとえば極低温冷却システムや関連計測器の整備などにより、大学院生・若手研究者が、他のプロジェクトの都合などに気兼ねすることなく、自由な発想で存分に実験できる環境を提供する。

●海外での活躍を後押しするキャリア・セミナーの実施

本研究に参画するデルフト工科大学の遠藤光博士らを講師として、海外で活躍し研究拠点を築くまでの貴重な経験を若手に直接伝えるキャリア・セミナーを実施する。学生を指導する教員にも、海外機関に向けた有効な推薦書の書き方など、若手の海外での活躍を後押しするセミナーを行う。

●超伝導チュートリアル・データ科学チュートリアルの実施

本研究に興味を持つ大学院生・若手研究者への導入となるチュートリアルを実施する。量子科学人材・データ科学人材の育成や分野を超えた若手人材交流にも貢献する。