

論文審査の結果の要旨

氏名 谷口 暁星

ミリ波サブミリ波帯では多くの遠方銀河がサブミリ波銀河などとして検出されており、これらの天体の赤方偏移や性質の特定のために大口径単一鏡による高効率な分光サーベイが望まれている。本論文は、このような科学的要請を背景に、「FML0 法」(局所発振源の周波数変調を利用した観測法)という高効率な分光観測手法を実装し、必要な装置と解析手法を複数の電波望遠鏡で評価試験して、期待通りの性能が得られることを実証した成果についてまとめている。

本論文は 8 章と補遺からなる。

第 1 章は序論であり、冒頭でミリ波サブミリ波分光観測による遠方銀河研究のハイライトや、それを実現するための観測システムの主要な構成要素であるヘテロダイン受信機の構成や観測手法について紹介している。さらに、ブランクスカイや装置に由来する出力(本論文ではこれらを「相関雑音」と呼ぶ)を除去する際に従来用いられてきたポジションスイッチ法や周波数スイッチ法の課題と、多素子カメラによる最近の「空間的なスキャンを通じた相関雑音除去」による高効率な撮像観測手法の紹介、そしてそれを踏まえた「周波数方向のスキャンを通じた相関雑音除去」による高効率な分光観測手法の概念についてまとめている。

第 2 章では、FML0 法の原理について、周波数変換初段の基準周波数を変調した信号を分光したスペクトルデータを復調する際に、主成分分析によって天体の放射から相関雑音を除去できること、かつ上下側波帯を分離できることを数学的に示している。

第 3 章では、既存の電波望遠鏡に FML0 法による観測モードを新たに導入するための最小限のハードウェア構成について整理するとともに、FML0 法の制御システムの開発を行い、それを国立天文台の 45m 電波望遠鏡とアタカマサブミリ波望遠鏡実験 (ASTE) 用 10m サブミリ波望遠鏡に実装した際の機器構成について示している。

第 4 章では、FML0 法で取得したスペクトルから天体の信号を求める処理を詳述している。既存の観測方程式と対比して、OFF 点の観測が不要になること、変調周波数に応じたゲインの補正が必要になること、地球大気由来の輝線放射をモデル化して除去する必要があることが示され、これを高速に処理する上で期待値最大化主成分分析 (EMPCA) が有効であることを示している。

第 5 章では、第 3 章に示された機器構成にて 45m 電波望遠鏡と ASTE 望遠鏡による試験観測を行い、原理として確立された FML0 法を実際の観測と解析で実証した結果について示している。特に、周波数変調による基準信号の純度低下が高分散分光でも問題ないこと、基準信号の周波数変調と分光器のデータ取得の間の時刻同期に問題がないこと、周波数変調ゲインの補正が十分長時間に渡って有効に働くこと、地球大気のスペクトルの推定とスカイ成分の除去が可能であること、解析パイプラインで処理された周波数変調法の観測結果が従来のポジションスイッチ法の結果と矛盾なく、一点観測ではポジションスイッチ法に比

べて単位観測時間あたり感度が約 1.7 倍(観測効率としては約 3 倍)であること、周波数変調幅は天体の輝線幅より広くとる必要があることを、ブランクスカイの実データとシミュレーションデータの解析から示している。

第 6 章では科学評価試験の結果を述べている。標準に観測される 3 天体に対して、45m 電波望遠鏡を用いた ^{13}CO $J=1-0$ 輝線と CS $J=2-1$ 輝線の 1 点分光観測や、ASTE 望遠鏡を用いた CO $J=3-2$ 輝線の 1 点分光観測を行い、それぞれ FML0 法と従来のポジションスイッチ法とで結果を比較した。また、45m 電波望遠鏡を用いた ^{13}CO $J=1-0$ 輝線と CS $J=2-1$ 輝線のオン・ザ・フライ (OTF) マッピング観測の結果とも比較した。これらを通じて、FML0 法が基本的には (FML0 法では地球大気由来のスペクトルも検出されること以外は) 従来のポジションスイッチ法や OTF マッピング法と矛盾ない結果を与えること、また地球大気由来のスペクトルの強度が予想通りの仰角依存性を持ち、パイプライン処理により除去可能であることを示している。

第 7 章では、FML0 法による観測の限界や今後の課題 (温度標準を用いたゲイン較正や微弱な大気分子スペクトル線のモデリングなど)、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) のトータルパワーアレイを含む他の望遠鏡への搭載可能性についても触れている。

最終章である第 8 章では、前章までの結果を総括している。

本論文に記述された FML0 法は、ミリ波サブミリ波帯に限らず電波分光観測全般において高効率な観測を可能にする世界でも前例のない重要な観測手法であり、これを、原理の考察、必要な解析手法の開発、試験観測による実証試験といった一連の過程において実際の科学観測に利用できるレベルまで確立したことはきわめて大きな貢献である。また、今後 45m 電波望遠鏡や ALMA トータルパワーアレイなどに実装され高感度化に寄与する可能性もある。

本論文の主要部分は第 2 章から第 7 章までに記述されている。これは河野孝太郎、田村陽一、高橋茂、豊谷仁男、堀込治、前川淳、酒井剛、久野成夫、南谷哲宏との共同研究の成果をまとめたものであるが、科学観測に使用するために必須となる時刻同期、ゲイン較正、周波数変調幅の最適化、従来の手法で取得したデータとの比較検証などに対しては、論文提出者が主体となって研究計画の立案、データ解析および考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断した。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。