

氏名	いの うえ あき お 井 上 昭 雄
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2603号
学位授与の日付	平成15年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	Astrophysics of Dust in H _{II} regions, galaxy evolution, and intergalactic medium (H _{II} 領域, 銀河進化, および銀河間空間におけるダストの宇宙物理学)
論文調査委員	(主査) 教授 舞原俊憲 助教授 太田耕司 教授 大谷 浩

論 文 内 容 の 要 旨

この博士論文では宇宙ダストを含有したプラズマ中の輻射輸送過程を解析的に解くことで、現在知られている観測的拘束条件に立脚しつつ星間ガスや銀河そして銀河間物質の進化を調べ上げている。まず、我々の宇宙はいたるところに宇宙ダストが存在しているため、これらによる星間吸収を適切に見積もることが重要となる。たとえば、我々は天体の明るさからその天体までの距離を見積もる場合がある。もし天体と観測者の間に吸収物質がなにも存在しなかったならば、かつ、天体固有の明るさが知られていたならば、観測者に近い天体は明るく、遠い天体は暗く見えることから天体までの距離が分かる。しかし、宇宙ダストの存在は天体固有の明るさを減じる。よって、この減光の効果を補正しない限り天体までの距離という天文学にとってもっとも基本的量を大きく見誤ってしまうのである。学位申請論文においては、この宇宙ダストによる減光の効果が銀河進化の解明という観点からも見過ごされ得ないことを明確に示し、その補正方法を示すことに成功している。

銀河進化論の観点から本学位申請論文を位置づけてみる。銀河進化を論じる場合、宇宙論的時間に亘る星形成史を詳らかにする必要がある。観測的には水素のバルマー輝線強度や遠赤外線の見積もる明るさが、銀河の進化段階毎にどの様に増減するのかを調べることになる。さて、水素のバルマー輝線強度を見積もる場合、水素の電離過程を中間状態として考える必要があるが、この電離光子は宇宙ダストによる吸収や散乱を効率よく被る。つまり、宇宙ダストによる電離光子の減光量を補正しなければ、水素のバルマー輝線強度から真の電離光子量を正しく見積もることができず、正確な星形成率が測定できないことになる。他方、星形成領域からの遠赤外線の起源は宇宙ダストの熱放射である。宇宙ダストは生まれたばかりの恒星からの輻射を吸収しそれを遠赤外線として再放射しているのである。これは、減光された電離光子の量と遠赤外線強度とに相関関係があることを示唆する。本学位申請論文のもっとも重要な点は、この電離光子の減光量と遠赤外線強度の関係に理論と観測の両面から首尾一貫した説明を与えた上で、銀河の星形成を実証的に論じたところにある。

本学位申請論文では、次の3点を具体的に明らかにしている。(1)星形成領域における電離光子の宇宙ダストによる減光過程を吟味した結果、ライマン連続光の減光が電離光子量の評価の補正に重要になることを、電波と遠赤外線という独立な観測量を統一的に取り扱うことで確立した。(2)その結果、今までの銀河の星形成率の評価にファクターで2程度以上の不定性が存在することを突き止めるとともに、より正確な星形成率評価処方をもとめあげた。(3)同時に、個々の星形成領域の中心星まわりには宇宙ダストの欠乏域があるべきことを突き止めた。特に、非常に若い星形成領域においてこの欠乏域の存在を明らかにすることはこの学位申請論文にまとめた理論的天文学的検証になる。これは次期宇宙赤外線衛星により可能であり、それらの計画に重要な観測的テーマを示すことにいった。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

宇宙空間における宇宙ダストの存在量とその観測量へのフィードバックを明らかにすることは、現代宇宙物理学においても基本的課題の一つとして知られている。天体現象を明らかにしようとするとき、観測対象となる天体までの距離を正確に

知る必要がある。もし、我々がダイレクトに天体を観測できるのならば天体固有の明るさを手がかりに距離を決定できる。しかし、宇宙ダストによる減光のために天体固有の明るさが直接的な観測量とはならず、減光補正に悩まされるのが常である。その補正の効果は、天体の個性による明るさの不均一さよりも大きくなることさえあるため、ダストによる減光の補正は必須である。他方、最近の観測天文学の進歩により、銀河の宇宙論的時間スケールにおける星形成史が定量的に議論できるようになった。このとき、銀河の年齢毎の星形成率を把握する必要がある、その星形成率は基本的に電離光子の量から求められる。電離光子はダストによる減光を非常に受けやすいため、正しい星形成率の評価にはその減光を補正しなくてはならない。これらのことを踏まえ、学位申請者は次の3つの課題に対し、独自の観点からユニークな成果をあげている。

(1)個々の星形成領域における電離光子は大質量星からのものが殆どである。このとき、ライマン連続光の減光もダストにより引き起こされると考えられている。学位申請者は、実際にライマン連続光の減光が有意であることを、水素の電離情報を反映する電波強度とダストの存在を反映する遠赤外線強度を統一的に記述する理論モデルを構築することで証明した。この研究により、ライマン連続光の減光が現実的な現象であると確立されることとなった。

(2)この成果を踏まえ、個々の銀河で評価される星形成率へのライマン連続光の減光の影響を調べた。良く知られているように、銀河間でのダスト量はその金属量に応じて異なる。一方、学位申請者が積み上げてきたモデルはダスト量に応じたライマン連続光の減光を議論できるために、個々の銀河の星形成量を再吟味するには非常に適したものである。彼の結果によると、今まで評価された星形成率にはファクターで2程度の不定性が残されていることが分かった。これは星形成に際する質量分布関数に起因する不定性と同程度である。つまり、今後の実証的星形成史の研究ではライマン連続光の減光の補正を彼の形式に則り行わなければならなくなったのである。この研究は国際的にも大きな評価が得られている。

(3)さらに、彼の理論モデルの妥当性は、形成初期の電離雲におけるダストの空間分布を吟味することで示される。形成期の電離雲では電離光子源である中心星周りにダストの欠乏域が存在すべきであることを、彼は理論的に予言しているのである。

以上の一連の研究は、星形成領域の実証的研究を基礎過程に基づいて明らかにしたため、その信頼性は従来のモデルに比べ格段に優れており、学問の進展に与えるインパクトも大きい。よって、本申請論文は博士(理学)の学位論文として十分に価値があるものと認める。なお、主論文及び参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これらに関連した研究分野について口頭試問を行った結果、合格と認めた。