

機関番号：34407

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19740108

研究課題名（和文） 銀河の実効的ダスト減光曲線進化とその観測的検証

研究課題名（英文） Evolution of effective dust extinction law of galaxies
and its observational examination

研究代表者

井上 昭雄（INOUE AKIO）

大阪産業大学・教養部・准教授

研究者番号：30411424

研究成果の概要（和文）：

すばる望遠鏡など最新鋭の観測装置による電磁波多波長観測の著しい進展を受けて、さまざまな天体スペクトルをモデル化するための輻射輸送計算が必要とされていた。特に、銀河のスペクトルは星間空間に存在する宇宙塵（ダスト）による減光を受けており、それを補正する実効的なダスト減光曲線と、銀河進化に沿ったその進化を導出することを目指した。しかし残念ながら、ダスト粒子サイズ分布のモデル化に課題が残り、減光曲線モデルの提案には至らなかった。一方で、新しい銀河進化モデルの開発と、汎用の輻射輸送数値計算コードの開発およびその応用により、次の4つの研究成果を上げることができた。(1) 銀河のダスト量決定機構の解明、(2) 銀河間媒質のダストによる光電効果加熱率の導出、(3) 銀河や銀河間媒質における電離光子輸送と新しい銀河スペクトルモデルの提案、(4) 原始惑星系円盤の構造に対する散乱の影響解明と散乱スペクトルモデルを利用した氷ダスト探査法の提案。

研究成果の概要（英文）：

Rapid developments of multi-wavelength electro-magnetic radiation observations by state-of-the-art instruments like Subaru telescope requested radiation transfer calculations to model spectra of various celestial objects. In particular, spectra of galaxies are suffering from extinction by cosmic dust which exists in the interstellar medium in galaxies. The main objectives of this research project were to obtain an effective dust extinction law to correct the spectra for the dust extinction and to obtain an evolution of the extinction law along galaxy evolution. However, unfortunately, I never reached these main goals because of a difficulty in the size distribution of dust grains. On the other hand, a newly developed galaxy evolution model and development and application of a general purpose code for radiation transfer enabled me to achieve the following four outcomes: (1) revealing mechanism to determine dust content in galaxies, (2) derivation of the photo-electric heating rate by intergalactic dust, (3) proposing a new spectral model of galaxies taking into account ionizing photon transfer in galaxies and intergalactic medium, and (4) revealing effects of scattering on structure of proto-planetary disks and proposing a technique to search icy dust by using a scattering spectral model.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	700,000	0	700,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	2,600,000	570,000	3,170,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：

キーワード：宇宙塵（ダスト）、輻射輸送、銀河進化、銀河間空間、原始惑星系円盤

1. 研究開始当初の背景

星間空間を漂う宇宙塵（ダスト）の物理化学過程は、銀河から惑星に至るさまざまな天体の形成と進化において重要な働きを及ぼすことが認識されつつあった。特に、近年の進展が著しい、遠方銀河や原始惑星系円盤などの電磁波多波長観測結果を解釈するにあたり、ダストを含む媒質における輻射輸送計算が必須であるとの認識が広がっていた。

2. 研究の目的

ダストを含む媒質における輻射輸送数値計算コードを開発し、それを応用することで、遠方銀河の観測結果からダスト減光を補正する実効的減光曲線の導出を第一目的とした。また、銀河の進化に応じた実効的減光曲線の進化も導出し、それを観測結果と比べて検証することも目的とした。さらに、輻射輸送計算コードをその他さまざまな天体に応用して派生的研究成果を挙げることも目的とした。

3. 研究の方法

ダストを含む媒質での汎用的な輻射輸送数値計算コードを開発し、それをさまざまな天体に適用する。数値計算結果と観測結果とを比較検討することで、観測結果に隠された天体の物理現象をあぶり出す。また、銀河のダスト量進化モデルを開発し、それと輻射輸送コードを組み合わせて、銀河の実効的減光曲線モデルを提案する。さらに、銀河の進化モデルを構築し、銀河のダスト量進化を調べる。

4. 研究成果

(1) 銀河のダスト量決定機構の解明

銀河の実効的ダスト減光曲線モデルの提案にあたり、まず、銀河のダスト量がどのように決定されるか調べた。ダストは、恒星進化の終末期（超新星爆発や漸近巨星分岐星）に形成され、星間空間に放出される。星間空間においては、超新星爆発起源の星間衝撃波による破壊や、密度の高い分子雲中での不揮発性元素の降着成長という過程により粒子サイズや全体の質量が変化すると考えられる。これら、形成、成長、破壊の素過程を取り入れた、銀河の進化モデルを構築した。その結果、衝撃波破壊の効率は極めて高く、星間成長が効果的でないと、銀河中のダスト量は観測値に比べて2桁ほど足りない。したがって、星間成長は非常に効果的であり、銀河のダスト量は、衝撃波破壊と星間成長の釣り合いで決定されていることが分かった。また、星間成長が重要になるための、金属元素量の下限值が存在することを解析的に突き止めた。こ

の成果は論文⑦として発表した。

(2) 銀河間媒質のダストによる光電効果加熱率の導出

銀河間空間にもダストが存在することが最近の観測により明らかになっている。銀河間空間では紫外線やX線の背景放射が強く、密度が極めて低いという特徴があり、銀河内の星間空間とは異なる物理状態にある。そのような環境にダストがあると、それによる光電効果加熱が効果的になる可能性がある。ダスト光電効果について、X線による2次電子放射やオージェ効果も考慮したモデルにもとづき、銀河間媒質に対する加熱率を調べた。この成果は論文⑤として発表した。

(3) 銀河や銀河間媒質における電離光子輸送と新しい銀河スペクトルモデルの提案

観測的宇宙論に残された大問題、宇宙再電離現象に関連して、銀河や銀河間媒質での輻射輸送、特に、電離光子の輻射輸送について調べた。銀河内の電離水素領域内での、自由一束縛再結合電離光子の輸送を考慮した結果、銀河からの電離光子放射を、従来考えられていたより強くすることができる。これは、最近の遠方銀河の観測により発見されている電離光子放射銀河の起源として有望な機構である。また、電離光子は銀河間媒質によっても吸収されるので、観測結果と直接比較するためには、銀河間媒質における電離光子輸送も解かねばならない。これに対して、観測者の視線上に銀河間吸収雲が存在するかどうかをモンテカルロ法によりシミュレーションした。これらの成果は論文②、④、⑥として発表した。

(4) 原始惑星系円盤の構造に対する散乱の影響解明と散乱スペクトルモデルを利用した氷ダスト探査法の提案

惑星系形成の舞台となる原始惑星系円盤における輻射輸送計算を行ない、円盤の構造に対する散乱の影響を明らかにした。また、円盤表面に氷ダストが存在している場合に期待される散乱光スペクトルを予想した。このモデルを用いて、円盤表面の氷ダスト分布を描き出す新しい観測手法を提案した。この成果は論文①、③として発表した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① Inoue, A. K., Honda, M., Nakamoto, T., Oka, A., Observational Possibility of the ``Snow Line`` on the Surface of

- Circumstellar Disks with the Scattered Light, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 60, No. 3, pp. 557-563, 2008, 査読あり
- ② Inoue, A. K., Iwata, I., A Monte Carlo simulation of the intergalactic absorption and the detectability of the Lyman continuum from distant galaxies, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 387, Issue 4, pp. 1681-1692, 2008, 査読あり
- ③ Inoue, A. K., Oka, A., Nakamoto, T., Effects of scattering and dust grain size on the temperature structure of protoplanetary discs: a three-layer approach, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 393, Issue 4, pp. 1377-1390, 2009, 査読あり
- ④ Inoue, A. K., Lyman 'bump' galaxies - I. Spectral energy distribution of galaxies with an escape of nebular Lyman continuum, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 401, Issue 2, pp. 1325-1333, 2010, 査読あり
- ⑤ Inoue, A. K., Kamaya, H., Intergalactic dust and its photoelectric heating, Earth Planets and Space, Vol. 62, No. 1, 69-79, 2010, 査読あり
- ⑥ Inoue, A. K., et al., Lyman 'bump' galaxies - II. A possible signature of massive extremely metal-poor or metal-free stars in $z=3.1$ Ly α emitters, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 411, No. 4, 2011, 査読あり
- ⑦ Inoue, A. K., The origin of dust in galaxies revisited: the mechanism determining dust content, Earth Planets and Space, 印刷中, 査読あり
[学会発表] (計 11 件)
- ① Inoue, A. K., et al., A numerical simulation of radiative transfer in protoplanetary disks, Structure Formation in the Universe, 2007 年 5 月, フランス・シャモニー
- ② 井上昭雄, 中本泰史, 原始惑星系円盤における輻射輸送数値計算コードの開発, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007 年 5 月 22 日, 幕張メッセ
- ③ 井上昭雄, 他, 散乱光による星周円盤表面のスノーライン検出の可能性, 日本天文学会 2007 年秋季年会, 2007 年 9 月 28 日, 岐阜大学
- ④ 井上昭雄, 岩田生, 銀河間中性水素吸収の確率分布と遠方銀河の電離光子探査,

日本天文学会 2008 年春季年会, 2008 年 3 月 27 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター

- ⑤ Inoue, A. K., Kamaya, H., Intergalactic dust and its photoelectric heating, Asia-Oceania Geoscience Society - Cosmic dust, 2008 年 6 月 18 日, 韓国・釜山
- ⑥ 井上昭雄, 岡明憲, 中本泰史, 静的原始惑星系円盤における鉛直方向の温度構造に対する散乱の影響, 日本天文学会 2008 年秋季年会, 2008 年 9 月 12 日, 岡山理科大
- ⑦ 井上昭雄, 赤外線天文学の現状と将来, 光応用・視覚研究会「最近の赤外線テラヘルツ波研究」, 2010 年 1 月 27 日, 大阪産業大学梅田サテライト教室
- ⑧ 井上昭雄, 他, 赤方偏移 3 のライマン α 輝線銀河が示す種族 III 星あるいは超低金属星の兆候, 日本天文学会 2010 年春季年会, 2010 年 3 月 24 日, 広島大学
- ⑨ Inoue, A. K., Dust growth in the interstellar medium can account for a huge amount of dust in $z \sim 6$ QSOs, Asia-Oceania Geoscience Society - Cosmic dust, 2010 年 7 月 9 日, インド・ハイデラバード
- ⑩ 井上昭雄, $z \sim 6$ QSO のダスト量進化モデル: 星間雲内ダスト成長の重要性, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 2010 年 9 月 22 日, 金沢大学
- ⑪ Inoue, A. K., et al., Toward observationally resolving snowline location in proto-planetary disks, Dust in planetary systems, 2010 年 9 月 30 日, ドイツ・イエナ

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:

国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 昭雄 (INOUE AKIO)
大阪産業大学・教養部・准教授
研究者番号：30411424

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：