

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14261

研究課題名(和文) 赤外線衛星観測によって解き明かす星形成活動にともなった有機分子進化の全貌

研究課題名(英文) Evolution of organic molecules in star-forming regions revealed by infrared space observations

研究代表者

山岸 光義 (Yamagishi, Mitsuyoshi)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・宇宙航空プロジェクト研究員

研究者番号：30735676

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：赤外線や電波帯で観測される星間分子は、宇宙における物質進化を探るうえで重要な物質である。本研究では、中間赤外線帯で観測される多環芳香族炭化水素と電波帯のいくつかの分子に関して、銀河系内の大質量星形成領域を観測したデータを解析した。あわせて、地上赤外線望遠鏡用の狭帯域フィルターを新しく製作し、分子進化に大きな影響を与える紫外線を定量的にとらえた。本研究により、星形成領域において分子が紫外線を受けた際の進化の理解が進んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙誕生直後の水素とヘリウムで構成されたシンプルな宇宙から、今日の生命をはぐくむ豊かな宇宙に至るまで、物質がどのように進化してきたかを明らかにすることは、天文学における主要なテーマの一つである。本研究はこのテーマに対して、星形成領域における分子の進化という切り口で迫った。今後、打ち上げが予定されている赤外線望遠鏡を用いた観測に発展させることで、宇宙初期から分子がどのように進化してきたかを明らかにできるようになると期待される。

研究成果の概要(英文)：Interstellar molecules observed in infrared and radio are important probes to reveal the evolution of matter in the universe. In this study, observational data of polycyclic aromatic hydrocarbon in mid-infrared and several molecules in radio have been analyzed for Galactic massive star-forming regions. In addition, new observations have been performed using newly fabricated narrow-band filters to examine UV in star-forming regions which strongly affects evolution of molecules. This study has contributed to understand the evolution of molecules affected by UV in star-forming regions.

研究分野：赤外線天文学

キーワード：星間物質 星形成 赤外線衛星観測

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多環芳香族炭化水素(PAH)は、炭素分子約50個からなる有機分子である。観測的には、近・中間赤外線帯で、ベンゼン環のC-C、C-H結合に起因するスペクトルフィーチャーを出すことが知られている。これらのモードは、FUV($E=6-13.6\text{ eV}$)によって励起されることから、PAHは主に光解離領域(PDR)に存在すると考えられている。また、PAH放射は、銀河系内から遠方銀河に至るまで広く見られることから、PAHは宇宙における有機分子進化を探る有力なプローブとして期待されている。PAHフィーチャーのバンド強度は、PAHの状態(サイズ、形状、電離度)に応じて敏感に変化することが、実験によって調べられている。そのためPAH研究では、観測されたPAHフィーチャーのバンド強度比からPAHの状態を調べ、それぞれの星間環境がどのようにPAHに作用したか?という議論が多く行われてきている。ただしこれまでの研究では、様々な天体に対する観測結果を寄せ集めて、PAHの変化を系統的に議論していることが多く、特定の領域内のPAH状態の空間変化をダイレクトに捉えて周囲の星間環境と比較するような研究は行われていない。

2. 研究の目的

本研究の主目的は、銀河系内の星形成領域周囲(HII、PDR、分子雲領域)を空間分解して観測し、星形成環境での分子の物理状態の空間変化をクリアに捉えることである。さらにそこから、周囲の星間環境と照らし合わせることで、分子の物理状態の変化が何によって引き起こされているかを明らかにし、星形成領域における分子進化の様子を解明する。

3. 研究の方法

本研究の流れと手法は以下の通りである。

- (1) 銀河系内の星形成領域に対するSpitzer/IRSの分光観測データを解析し、PAH放射が含まれる中間赤外線の3次元スペクトルキューブを作成する。それをもとに、PAHの状態(電離度、形状)のマップを作成し、領域内での分子の物理状態変化の有無を調べる。
- (2) (1)で調べた領域に対して、他波長観測データを整備し、星形成領域の星間環境を調べる。特に、近赤外線帯にある水素再結合線は、領域のUV量を反映するため重要である。そこで、新しく再結合線観測用のナローバンドフィルターを作成し、フォローアップ観測を行う。
- (3) PAH状態と周囲の星間環境のマップを合わせ、分子進化を決めている要因を明らかにする。
- (4) 星形成領域における分子進化の様子を、電波帯でみられる分子に対しても明らかにし、より一般的な分子進化の描像を得る。

4. 研究成果

(1) ターゲット天体の選定

はじめに本研究で扱う星形成領域の選定を行った。Spitzer望遠鏡に搭載されている中間赤外線分光器IRSによって、中間赤外線帯の低分散スペクトルマッピング観測(波長 $5-15\mu\text{m}$ 、波長分解能 $R=100$)が行われている領域をターゲット天体に選定した。Spitzer望遠鏡のデータアーカイブをくまなくチェックし、 $30'' \times 30''$ 程度の広さに対してのマッピング観測が行われている領域を探したところ、26箇所の星形成領域が該当することが分かった。これは研究計画当初に想定していた数(15領域程度)より多い。

(2) IRSF望遠鏡用ナローバンドフィルターの製作

上記で選んだ星形成領域に対する、他波長データセットの構築を行なった。その一環として、近赤外線帯に存在する $\text{Br}\gamma$ 、 $\text{Pa}\beta$ 輝線のデータを取得する。これらの輝線はHII領域から放射されるものであり、分子を励起・解離させるUVの環境をトレースすることが出来る。残念ながら、 $\text{Br}\gamma$ 、 $\text{Pa}\beta$ 輝線は、現在まで大規模なサーベイ観測が行われていないため、すぐに利用可能なアーカイブデータがない。そこで、南アフリカIRSF望遠鏡を用いて、 $\text{Br}\gamma$ 、 $\text{Pa}\beta$ 輝線をナローバンド撮像によってフォローアップ観測する。現在、IRSF望遠鏡には、 $\text{Br}\gamma$ 、 $\text{Pa}\beta$ の輝線観測用フィルターが装備されているが、連続波差引用のフィルターがなかった。そのため、共同研究者、メーカーとの打ち合わせを重ね、図1のような、 $\text{Br}\gamma$ 、 $\text{Pa}\beta$ 輝線観測用のナローバンドフィルターを新たに製作した。これにより、既存のフィルターと組み合わせ、星形成領域におけるUV環境を定量的に議論できるようになった。

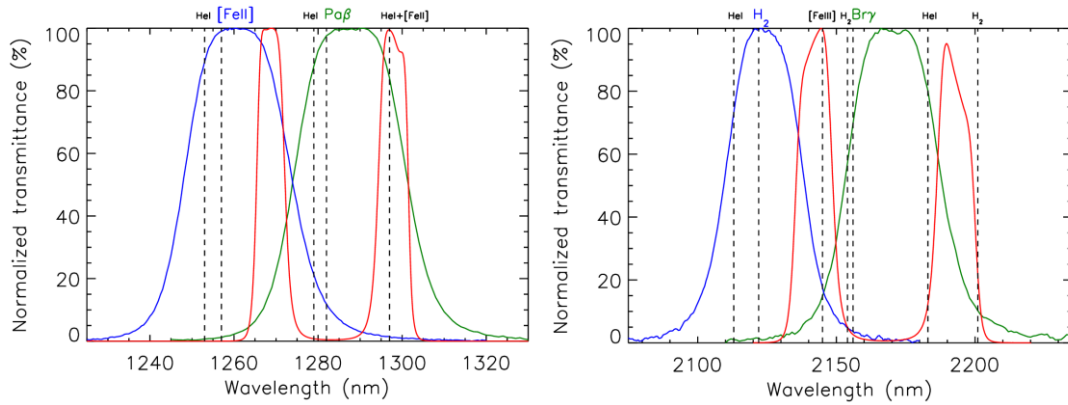


図 1: IRSF 望遠鏡用のナローバンドフィルターの透過率曲線と有名な輝線の放射波長。赤色の曲線が本研究で新しく作成したフィルター。青色、緑色が既存のフィルター。赤色と緑色の2つのフィルターを組み合わせることで、Pa β 、Br γ の輝線強度を見積もることが可能。

(3) 新しいナローバンドフィルターを用いた星形成領域のフォローアップ観測

(2)で製作した新しいナローバンドフィルターを南アフリカ IRSF 望遠鏡に持ち込み、試験観測を行なった。試験観測では、強い輝線強度が期待できる領域を観測し、輝線のイメージが正常に取れることを確認した。続いて試験観測データの定量的な解析を行い、観測データから輝線強度を導出する方法の確立と、求めた輝線強度の精度を評価した。その結果、現状では輝線強度を弱めに見積もる可能性があることが分かった。そのため、キャリブレーション方法はさらに慎重な検討が必要である。試験観測によって得られたマップを図2に示す。試験観測のあと、本格的な観測を始めるタイミングで、観測装置に不具合が発生し、視野の一部の領域が観測できなくなってしまった。この対応のため、1年近く観測の進捗がない期間が発生した。遅延による影響を抑えるため、新しいナローバンドフィルターを用いた星形成領域のフォローアップ観測は、天体数を絞って行うことにした。全3回の南アフリカへの渡航を経て、(1)で選んだ領域の中で、大規模な中間赤外線分光データがある領域に対して、データ取得が完了した。

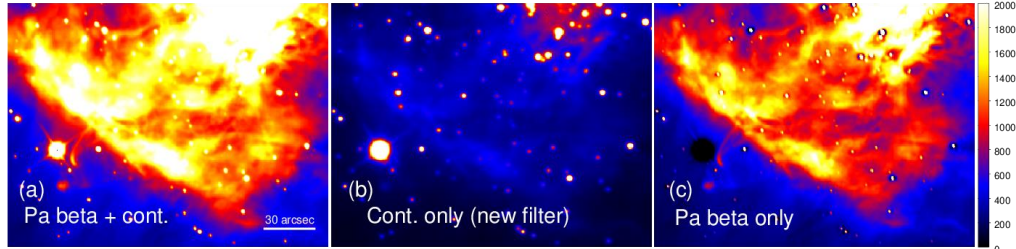


図 2: Orion bar 領域の試験観測結果(共通強度を使用)。既存フィルターのマップ(a)には輝線+連続波成分が含まれる。新フィルター(b)を用いることで、輝線成分のみのマップ(c)を得る。

(4) 中間赤外線スペクトルマッピングデータの解析

(1)で選んだ領域に対して、Spitzer/IRS のスペクトルマッピングデータの解析を行った。まず、波長 5-15 μ m に対するスペクトルデータに対して、公式の解析ツールを用いて3次元のスペクトルキューブを作成する作業を行なった。これによって、さまざまなスペクトルフィーチャーの空間変化を議論する際のベースとなるデータを得た。解析を進める中で、データの中には品質が安定していないものが多数あることが分かった。素性の悪いデータを適切に補正し、その後のモデル等を用いた解析に必要な素性の良いデータを作成するにはかなりの時間を要すると考えられる。そのため、PAH 状態の空間変化を議論する部分は未達成となった。

(5) 電波観測に基づく星形成領域の分子の観測

星形成領域における分子進化を、電波帯でみられる分子に対しても明らかにするため、電波望遠鏡を用いた分子の研究を行った。野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて Cygnus-X 領域を大規模(9平方度)にサーベイ観測し、紫外線が強い領域では CN 分子が光解離反応によって生成される可能性があることを示した。Oph-A 領域に対しては、ALMA を用いた CO 分子の観測を行い、CO 分子の同位体が紫外線を受けて選択的に解離される様子を明らかにした。これらの観測により、星形成領域において分子が UV を受けた際、分子が起こす反応の基本的な理解を深めた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Yamagishi Mitsuyoshi, Yamamura Issei, Mizuki Toshiyuki, Ootsubo Takafumi, Baba Shunsuke, Usui Fumihiko, Onaka Takashi	4. 巻 71
2. 論文標題 AKARI mid-infrared slit-less spectroscopic catalogue	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy132	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamagishi M., Hara C., Kawabe R., Nakamura F., Kamazaki T., Takekoshi T., Shimajiri Y., Nomura H., Takakuwa S., Francesco J. Di	4. 巻 875
2. 論文標題 ALMA Observations of Layered Structures due to CO Selective Dissociation in the Ophiuchi A Plane-parallel PDR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0d80	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamagishi M., Nishimura A., Fujita S., Takekoshi T., Matsuo M., Minamidani T., Taniguchi K., Tokuda K., Shimajiri Y.	4. 巻 235
2. 論文標題 Nobeyama 45 m Cygnus-X CO Survey. I. Photodissociation of Molecules Revealed by the Unbiased Large-scale CN and C180 Maps	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/aaab4b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Yamagishi, M.
2. 発表標題 ALMA observations of layered structures due to CO selective dissociation in the Ophiuchi A plane-parallel PDR
3. 学会等名 ISM2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yamagishi, M., Hara, C., Kawabe, R., Nakamura, F., Kamazaki, T., Shimajiri, Y., Takekoshi, T.
2 . 発表標題 Spatially resolved study of the CO selective dissociation in the Oph-A region
3 . 学会等名 East Asia ALMA Science Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Yamagishi, M., Mizuki, T., Yamamura, I., Usui, F., Onaka, T.
2 . 発表標題 AKARI near- and mid-infrared slitless spectroscopic catalog
3 . 学会等名 The Cosmic Wheel and the Legacy of the AKARI archive: from galaxies and stars to planets and life (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Yamagishi, M.
2 . 発表標題 Mapping observations of interstellar ice for an overall molecular cloud
3 . 学会等名 Evolution of Molecules (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 山岸 光義
2 . 発表標題 Nobeyama 45m Cygnus-X CO survey: photo-dissociation of molecules
3 . 学会等名 ALMA/45m/ASTE Users Meeting (招待講演)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸 光義
2. 発表標題 Nobeyama 45m Cygnus-X CO survey I: photo-dissociation of molecules
3. 学会等名 Nobeyama science workshop (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸 光義
2. 発表標題 FUGIN + IR collaboration
3. 学会等名 science Workshop 2018 on FUGIN: The Galactic Plane Legacy Survey for Molecular Clouds (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考