

数値シミュレーションで探る遠方銀河の分子雲質量推定法

早津 夏己 (東京大学大学院 理学系研究科)

Abstract

本研究では数値シミュレーションによって得た銀河カタログを用いて、遠方銀河の物理的特徴を予測する。今後の ALMA による高感度ミリ波・サブミリ波観測によって銀河進化への理解が深まると期待される。このような観測に先立って理論予測を行うことは非常に重要である。銀河を特徴づける物理量のうち、とくに分子雲質量は銀河進化の段階を知るために重要な物理量である。そのトレーサーとしては CO 輝線が挙げられるが、一方で分子雲質量を CO 輝線から見積もる為の変換係数は環境依存性がある。本講演の目的は、遠方銀河の分子雲質量をより正しく観測で見積もる方法を見つけることである。基本的な手順は次のようになる。まず分子雲質量と CO 輝線を銀河カタログから独立に計算する。つぎに変換係数と分子雲の環境を表す物理量の関係を調べる。最後に分子雲の環境を特徴づける物理量を観測量で表現する。これらの具体的方法を探るべくいくつかの論文のレビューをし、夏の学校の時点での研究成果を示す。また ALMA Observing Tool を用いて現実的な観測条件に従った疑似観測を行い、その場合に観測される銀河の定量的予言を示す。さらに CO のみでなく、特に強い輝線である [CII] 輝線観測の具体的なストラテジーを提供する。また CO 輝線が起源としない dark gas の有力なトレーサーとして注目されている [CI] 輝線についても考察を与える予定である。

1 Introduction

星が生まれて死ぬサイクルには、星間物質として存在する期間がある。その中でも分子雲は星の種の段階に対応する。分子雲の主成分は H_2 であり、2 番目に多い CO の水素との存在比は 10^{-4} にもなる。しかし、 H_2 は電氣的に中性かつ 10K 程度の低温の環境である為に輝線を発さない。そのため、分子雲の情報を観測から得るためには CO の回転遷移輝線を用いるのが一般的である。

CO 輝線の波長は遷移によって 2.6mm, 1.3mm, 840 μ m, ... と、ミリ波・サブミリ波と呼ばれる波長帯に位置する。この波長帯の光は遠方から観測されても見かけの明るさが変わらないという特性を持つ。この特性は非常に遠方銀河観測に適する。この波長帯の光は星間塵や星間ガス中の金属 (水素・ヘリウム以外) の輝線を起源とする。ミリ波・サブミリ波帯で明るく輝く銀河をサブミリ銀河と呼ぶが、これは星間物質に囲まれた爆発的に星生成する銀河のことである。遠方のサブミリ銀河を観測すれば、銀河の化学進化や構造進化について理解が深まると期待される。2012 年に本格運用が始まった高感度ミリ波・

サブミリ波大型干渉計の ALMA (検出可能な波長域: 305 μ m-9.27mm) によって、それが成されようとしている。

遠方銀河の分子雲質量を正しく見積もることは、銀河進化を理解する為に重要である。しかし、分子雲質量を CO 輝線から見積もる為の変換係数 α は環境依存性 (金属量の違いや銀河系内・系外の違い) が知られる (e.g., Tacconi et al. (2008))。大きな問題は、変換係数 α を分子雲の環境を特徴づける量 (金属量・星間減光・内部構造など) の関数で表現できていないことである。

観測量である遠方銀河の輝線光度と分子雲の環境を特徴づける物理量の関係を探るには、シミュレーションが適した方法である。本講演では、数値シミュレーションによって得た銀河カタログを用いて遠方銀河の分子雲質量をより正しく観測で見積もる方法を見つけることを目標とする (Shimizu et al. (2012))。また ALMA Observing Tool を用いて現実的な観測条件に従った疑似観測を行い、その場合に観測される銀河の定量的予言を示す。宇宙モデルは Λ -CDM とし、宇宙論パラメータは $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $\Omega_m =$

$0.27, \Omega_{\Lambda} = 0.73$ とした。

2 Methods

シミュレーションは Shimizu et al. (2012) を用いた。基本的な情報は粒子数 $N = 2 \times 640^3$ (dm, gas), $Boxsize 100h^{-1} Mpc$ など挙げられるが、気になる人はポスターを参照されたい。計算の結果、各銀河の gas 質量、星生成率、遠赤外線光度 L_{FIR} など得られ、UV の光度関数が $z = 2.5$ と 3.2 の観測と一致が確かめられている。しかし、このような大規模数値シミュレーションの規模では一般に星間物質の細かい構造までは分解されていない。それゆえ、PDR 領域や分子雲を起源とする輝線光度を計算する為には工夫が必要である。方法としては2つ挙げられる。1つは、すでに計算されている物理量と輝線光度の相関を利用する方法である。たとえば、観測から得られた星生成率と [CII] 輝線光度との経験則 (Sargsyan et al. (2012))

$$SFR = (L_{[CII]}/L_{sun}) \times 10^{-7.08} \quad (1)$$

から、大まかな目安としての銀河が発する輝線を計算できる。

もう1つの方法が、sub-grid scheme と呼ばれる方法である (Vallini et al. (2013))。ガス粒子を圧力平衡と仮定すると温度と密度についての二層平衡状態が得られる。この2つの平衡状態を成したガス雲がより細かい構造でそれぞれ分布していると考え、より小さな領域の輝線強度を得られた密度、温度、UV 輻射強度から計算する。

3 Summary and Discussion

本研究はまず経験則を用いた方法で [CII] や CO 光度を計算し、現在は sub-grid scheme による計算を進めている。経験則から求める方法で分かったことは一言でいうと「経験則から導出した場合の model dependence は少なく、銀河の統計的特徴を示す目安になりうる。」というものである。つまり、具体的な観測条件の下で疑似観測した場合に何個観測されるか、という予測をたてるためにはこの方法は十分に

役割を果たす。また、採用する経験則によって星生成率の redshift 進化など、遠方銀河の物理的特徴についても有用な予測がたてられる。しかし、例えば CO 輝線については、遠方宇宙の CMB 温度の上昇を考慮して遷移による輝線のでやすさの違いを考慮すべきである。このような効果は経験則に取り込むのは困難で、やはり sub-grid scheme を使って直接計算する必要がある。

Acknowledgement

観測的なことに関する議論については国立天文台 ALMA 棟の皆さん、特に松田さま、河野さま、田村さま、斎藤さま (@IPMU)、伊王野さま、他にも沢山の方々のご協力をいただきました。また UTAP-RESCEU の皆さま (名前を挙げるときりがないので挙げませんが) にはいつも助けて頂いています。あと、たまに現れて議論の相手をしてくれる内藤くん @大内研、研究の話をしながらお酒を飲んでくれる近藤くん、和田くん、菊池くん、宿谷くん、... など、他の皆様にもこの場をお借りして感謝の気持ちを表したいと思います。本当にありがとうございました。また、呑み議論仲間とは昨年度の天文学会若手夏の学校で出会いました。このような若手研究者の交流の場作りに尽力されている事務局スタッフの方々にも感謝します。

Reference

- Shimizu et al. 2012. MNRAS, 427,2866
- Tacconi et al. 2008. ApJ, 680,246
- Vallini et al. 2013. MNRAS, in prep.
- Sargsyan et al. 2012. 755,171