

ガスと星形成率の関係の根源に迫る

小麦真也

〈東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター 〒181-0015 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: skomugi@ioa.s.u-tokyo.ac.jp



渦巻銀河には数百から数千パーセクの規模で、分子ガス密度と星形成率との間に強い相関が見られる。この星形成則は銀河進化の基本であるのみならず、星形成過程の理解に関して有益な示唆を与える可能性がある。特に本稿では、最近のデータを用いて導かれた相関からこれまでの描像を再考察し、経験的な星形成則から星形成物理過程への示唆を与える例を紹介する。さらに野辺山の45 m 電波望遠鏡で行われた大規模なサーベイの結果を用いて系外銀河中心部の棒状構造が星形成則に与える影響を説明し、また ASTE サブミリ波望遠鏡の最近の成果も紹介する。

1. はじめに

銀河の進化は、主に星形成活動によって進むと考えることができます。ガスから星へ、そしてまたガスへというサイクルを繰り返す中で、金属量や銀河形態（力学構造）の変化が起きます。宇宙の構成要素の基本単位が銀河だと考えれば、銀河における星形成はまさに宇宙の進化史と密接にかかわる問題だといえます。

銀河における星形成は、個々の分子雲の中で起きる局所的な現象（局所的星形成：空間スケール数 AU \sim 100 パーセクで起きる現象）であると同時に、周りの星間空間や銀河間環境にも影響を受ける大局的な現象（銀河スケール星形成：100 \sim 数千パーセクで起きる）であるともいえます。局所的星形成においては乱流や磁場、分子雲コアなどといった過程が重要です。

一方で、局所的星形成を空間的に積分したものとして表されるような銀河スケール星形成を考えるうえでは、（平均）分子ガス密度、力学構造、などといったキーワードが重要になります。銀河の進化に大きくかかわるような星形成活動は、主に

この銀河スケール星形成現象の理解にかかっているとも考えられますが、この「銀河スケールでの星形成」がさまざまな物理条件のもとでどのような法則のもとに起きているのかは、いまだわからないことが極めて多いのが現状です。

2. ガス密度と星形成率

これまでの研究^{1),2)}で銀河スケールの星形成率はガスの密度とべき乗の相関があることがわかっています。この関係（図1）は研究者の名前をとってシュミット則あるいはケニカット・シュミット則（以降、シュミット則）と呼ばれますが、銀河スケールでの星形成則としてはほぼ唯一のものです。これは観測から得られた経験則ですが、シュミット則を説明するためにさまざまな理論モデルが提唱されてきました。また、銀河シミュレーションの分野では星形成をプログラムに組み入れる際にはシュミット則を仮定するのが一般的です。このように、シュミット則は観測的なガス・星形成分野、理論・シミュレーション分野などを結びつける結節点となっています。多くの研究結果は、シュミット則の精度（あるいは理解）に依

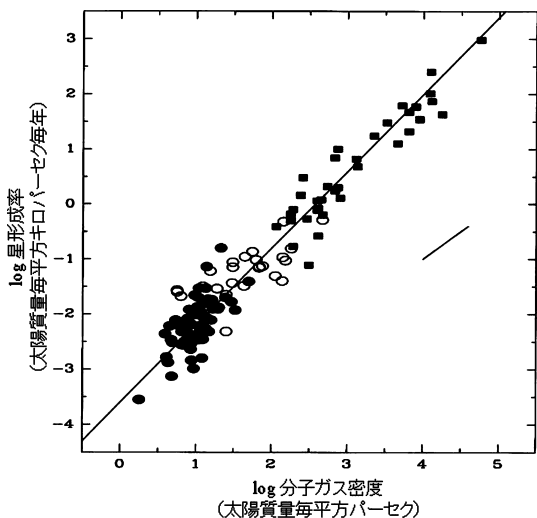


図1 これまでのシュミット則²⁾。黒丸は普通の星形成銀河、白丸はその中心部、黒角はスターバースト銀河。直線の傾きはおおよそ $N=1.4$ で、極めて広い密度範囲での相関がある。

存しているといってもよいでしょう。しかしながら次項で説明するとおり、観測からは個々の銀河の分散は大きく、またさまざまな物理状態の銀河について普遍的に成り立つかは分かっていません。星形成の激しさを決定づける最も影響の大きいものはガス密度であると考えられますが、それ以外にも銀河スケール星形成に影響があると思われる要因（腕状・棒状構造やショックなどの力学的構造）は、これまで知られているシュミット則では考慮されていません。

われわれの研究は、この現在のシュミット則の精度を上げたうえで、さまざまな物理条件でこの法則がどのように変化するかを系統的に理解することが目標です。本稿では、その初期成果を紹介いたします。

3. これまでの問題点とその解決

力学的な効果がシュミット則に及ぼす影響を考

える前に、星形成に最も影響が大きいと思われるガスと星形成率の関係を再考します。図1のシュミット則は「普通の」星形成銀河を黒丸で、赤外線光度で明るいことを基準に選んだ爆発的星形成銀河（スターバースト銀河）を黒角で表してあります。ガス密度や星形成率は両方とも面密度の対数の単位で書かれています。べき乗則であると考えられているシュミット則は、

$$\Sigma_{\text{SFR}} \propto \Sigma_{\text{SMD}}^N \tag{1}$$

という式で表され、この図では傾き N の直線として表されます。

ここで言う「普通」の銀河とは、近傍の渦巻銀河の中でも一般的な星形成を行っている銀河のことで、スターバースト銀河ではない渦巻銀河、とも言えるでしょう。

図1の相関は良いように見えるのですが、実際にはスターバースト銀河だけを見たときの相関は極めてよいものの、普通の銀河だけを見れば相関は弱く、 N の値もおおよそ1から2、という程度までしかわかりません。これまで知られていたシュミット則は、普通の銀河に限っていえばかなり精度が悪かったと言えます。

理由としては分子ガスの物理状態の指標となる一酸化炭素の観測の角度分解能が悪く、あまり高密度の領域を探ることができなかったこと、また星形成の指標として使用していた $\text{H}\alpha$ 輝線^{*1}の星間塵による吸収の補正が適切でなかった、などがあります。星形成に関係するスターバースト銀河の物理状態というものが他の「普通の」銀河と異なる可能性を考慮し、われわれはまず普通の銀河に関してシュミット則の精度を上げることを考えました。

シュミット則の精度を上げるためには、幅広い密度の範囲で星形成率との関係を確認しなければ

*1 電離した水素から出る電磁波の一つ。大質量星からの輻射を受けて周辺の水素ガスが電離されるため、 $\text{H}\alpha$ 輝線の強度は大質量星の数に焼き直すことができる。大質量星は寿命が極めて短いため、現在の星形成率の指標となる。星形成率を求める方法としては一般的。

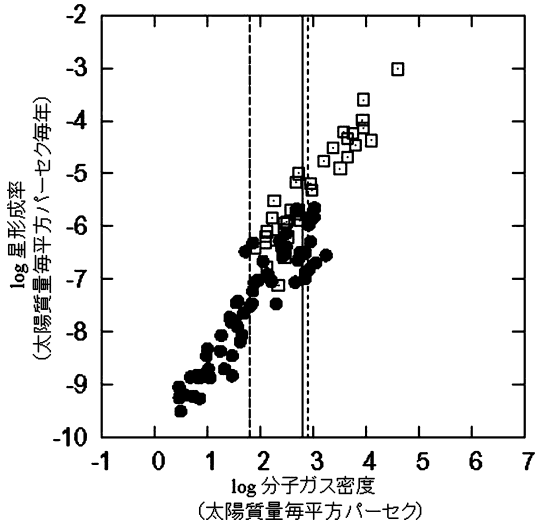


図2 本研究で得られた星形成率と分子ガス密度の相関。黒丸が普通の星形成銀河、白角が図1と同じスターバースト銀河。縦線が第4節で説明される星形成過程の変化する密度。2本の点線の間が誤差範囲に対応する。

なりません。これまでの精度が悪かったのは高密度領域のサンプルが少なかつたためです。しかし一般に銀河で分子ガスの密度が高い領域は広く分布しておらず、高密度の領域だけを観測しようと思うと高い空間分解能が必要です。そこでわれわれは、野辺山ミリ波干渉計や^{3),4)}アメリカのBIMA干渉計で得られた⁵⁾系外銀河の一酸化炭素データを用いて、一般に分子ガス密度の高い、銀河の中心部分に関してガスの面密度を求めました。さらに、分光観測に基づいて星間塵による吸収を補正したH α 輝線のデータを使って星形成率を求めました。低密度の領域については文献から角度分解能の粗いデータを集め、高角度分解能のデータとの差を取ることで補填します。

こうして得られた、23個の「普通の」星形成銀河のさまざまな領域での新しいシュミット則が図2(黒丸)です⁶⁾。図1に比べ、10倍も密度の高い領域までをカバーし、相関がよくなっています。図2の白角は、図1と同じスターバースト銀河です。やはり、普通の銀河についてもちゃんとシュ

ミット則と呼べそうなものが存在することがわかりました。新しくわかったNの値は、普通の銀河のみで求めると 1.33 ± 0.09 です。これまで受け入れられていた(スターバースト銀河も含めてフィットした)値である 1.40 ± 0.05 とは矛盾しません。

4. 発見!?

ここで、不思議なことに気がつきます。普通の銀河とスターバースト銀河では、シュミット則がずれているようにも見えます。実際、これらは一つの法則として処理するよりも二つの独立した法則として考えた方が統計的にもよいことがわかりました。つまり、ある一定の密度以上にガスが集まると、単にシュミット則に従って星形成率が上昇する以外に、単位ガス量当たりの星形成率も突然、上昇しているという見方ができるのです。この境界となるガス密度はどのように決まっているのでしょうか。

われわれは、主要な星形成の物理過程の変化としてこの境界値をとらえようと試みました。分子雲内部で星形成を起こす要因としてはいくつかの物理過程が考えられています。分子雲は自己重力に対して乱流運動で自分自身を支えています。一つにはこの乱流が拡散することにより「静かに」自己重力的に収縮し、星形成する場合があります。観測的には、おおむね自由落下(あるいはその数倍)のタイムスケールで星形成することがわかっています⁷⁾。二つ目は、何かの引き金により重力的な不安定が誘発され、星形成が誘発される場合。さまざまな引き金が考えられますが、分子雲同士の衝突が代表的な例として考えられます。分子雲の個数密度が高ければ、それだけ衝突も頻発するので、星形成はほとんど分子雲衝突に伴ったものとなります。一方、衝突がほとんど起きないような、分子雲の個数密度が低い領域では、今度は自然発生的に自己重力収縮による静かな星形成が主になります。つまりこの二つの物理過程がそ

れぞれ支配的になる領域は分子雲の個数密度で決まっていることとなります。星間空間の水素分子ガスがほとんど分子雲の形で存在していると考えれば、簡単な計算により、この二つの星形成過程が入れ替わる境界値としての分子ガス面密度が計算できます⁸⁾。考えている系の物理状態にもよりますが、この値は毎平方パーセク当たり、およそ600太陽質量という極めて高い密度です。この境界値は図2に縦線として示してありますが、ちょうど、シュミット則のずれのところにあります。この値より高密度側（右側）では分子雲衝突による星形成、低密度側（左側）では自己重力収縮による星形成が主となると考えられます。高密度側ではガス密度に対する星形成率が突然、8倍程度に上昇しています。これはどのように説明できるのでしょうか。

定性的には、分子雲の衝突の場合には星形成にかかる時間が短い、という説明ができるかもしれませんが、分子雲は衝突面で圧縮され、衝突の境界面（あるいは内部）でガス密度の高い部分を作ります。この密度の高くなった部分は重力収縮にかかる時間がもとの分子雲のときよりも短くなるため、星形成にかかる時間が短くなるのです。星形成率は「単位時間当たりの星形成」を表しますから、星形成にかかる時間が短くなると、星形成率は突然大きくなります。そのため、図2のようなずれが観測されると考えられるのです。

シュミット則における普通の銀河とスターバースト銀河のずれが本当に存在するかどうか、判断は実は難しいものです。星形成率を求める際にH α を使うか、赤外線^{*2}を使うかにもよります。H α を使う場合には星間塵による減光を適正に評価できているかなど、その問題だけに取り組む研究者が何人もいます。しかしこれまでのシュミット則の精度を上げたことから新たな疑問が浮かび上がってきたのは確かです。星形成過程の議論から

もこのようなずれが観測されても不思議ではなく、むしろ期待されると言ってもいいでしょう。

そもそも、スターバースト銀河と普通の銀河でシュミット則が異なるかもしれない、というところからわれわれの議論は始まりました。しかし、図2において星形成過程が遷移していると思われる領域では、スターバースト銀河でも普通の銀河の中心とガス密度・星形成率が変わらないものもあります。一体、スターバースト銀河というのは何なのでしょう？ 図1や2にプロットされたスターバースト銀河は赤外光度が明るいという基準で選ばれていますが、現在、スターバースト銀河のとらえ方は主に二通りあります。一つは「単純に星形成率が高いもの」、もう一つは「単位ガス量あたりの星形成率が高いもの」です。前者の解釈ではガス量がある程度より多ければシュミット則に従って普通の銀河の延長として「連続的に」スターバースト銀河が定義されることとなります。しかし後者の立場では、ただガス量や星形成率が高いのみでは十分ではなく、何かしら星形成の物理過程に制限を要求することとなります。

われわれのここまでの結果から、これら二つの定義の仕方は両方とも矛盾なく、統一して解釈できることがわかります。なぜなら、星形成率はガス密度の増加に従ってただ大きくなるのみでなく、ある境界値を超えれば単位ガス量当たりの星形成率も、突然上昇するからです。したがってスターバースト銀河の定義として、新たにこの「境界値よりも高密度側にある」とすれば、普通の銀河よりも単位ガス当たりの星形成率が高く、かつ星形成率もある値より大きいものを選ぶことができます。

5. 系外銀河の一酸化炭素サーベイ

前項では分子ガス密度のみをシュミット則の変数として扱ってきましたが、力学的な構造も銀河

^{*2} 大質量星に温められた星間塵は、遠赤外線を受けたエネルギーを再輻射する。この強度を測ることで星形成率を求める方法も一般的。

スケールでの星形成を大きく左右します。例えば、多くの銀河では棒状構造（バー）が見られますが、バーのある銀河では中心数百パーセク領域のガス密度・星形成率ともに大きいのが一般的です。星形成率が大きいのは単に分子ガス密度が高いから前項のシュミット則に従っているだけ、という可能性もありますが、バーのような力学的構造がシュミット則に影響を与えていることは十分期待されます。前項で得られた新しいシュミット則の中には純粋なバーをもつ銀河はほとんどなく、このような変化がもしあるとすれば数多くの銀河を使って統計的に調べる必要があります。そこでわれわれは、さまざまな銀河中心領域でのシュミット則の変化を見るために野辺山宇宙電波観測所の 45 m 電波望遠鏡を使って一酸化炭素輝線でのサーベイを行いました。一酸化炭素の回転遷移 ($J=1-0$) の輝線は、冷たい分子ガスをトレースすることができます。

サーベイの対象になった銀河は過去に低角度分解能の一酸化炭素観測⁹⁾が行われており、また $H\alpha$ 輝線および星間塵による吸収補正が可能なものに限られました。2005 年度から 2006 年度にかけて、69 個の近傍銀河の中心 1 点が観測されました。これまでに野辺山の 45 m 鏡で得られているデータや、同程度の角度分解能をもつ IRAM（フランス・スペインなどのミリ波電波天文台）の 30 m 望遠鏡のデータと合わせると、176 個の銀河を用いて考察を行うことができました。シュミット則の変化を銀河スケールの力学的パラメーターで分類する研究としては、この角度分解能では世界最多のサンプルです。これらの銀河のほとんどはわれわれから 20 Mpc 程度の距離にあります。45 m 望遠鏡の一酸化炭素輝線での角度分解能（15 秒角）は、この距離ではおよそ 1.2 キロパーセクの

領域を見込んでいることになり、中心から 600 パーセクに対応します。この大きさは銀河の中心部分の特徴的な力学構造を見るのに適しています。多くの銀河で一酸化炭素はこの領域に集中しているほか、銀河の回転もこの付近で急激に性質を変える^{*3}など、高い分子ガス密度での星形成を探る肝であるともいえます。特にバーは中心付近で強い非円運動を誘発し、ディスク部分からガスを中心部分へ運ぶ役割をもつと考えられています。したがってほとんど純粋な円運動をしているバーのない銀河とは物理状態がかなり異なると考えられます。バーは通常、数キロパーセクの大きさをもつ構造なので、ここで考察しているバー銀河のガスは、バーの内部というよりもバーの影響で中心に落ち込んだ結果として星形成をしているガスを見ていることに対応すると考えられます。ここでは角運動量を失って非円運動をしながら中心 1 キロパーセク内へ落ちてきたガスと、円運動をしながら中心に溜まっているガス、という二つの物理状態をもったガスの星形成に関する性質を比べることが目的です。

6. バーと分子ガスと星形成と

もしガスがバーの影響で中心へ運ばれた結果として星形成の物理過程が変化すれば、スターバースト銀河の場合の類推で、単位ガス密度当たりの星形成率が変化する可能性があります。

図 3, 4 では、われわれのサーベイの結果、15 Mpc より近い銀河、遠い銀河それぞれに対してバーのある銀河とない銀河のシュミット則を比べたものです^{*4, 10)}。2 桁の密度範囲にわたって強い相関が見られます。黒丸（バーのある銀河）は白丸（バーのない銀河）に比べてガス密度の高い側に分布しているように見えます。重要なのは、

^{*3} 銀河ガスの回転速度は中心から数百パーセク程度までは急上昇し、およそ 200 キロメートル毎秒に達すると半径に対して速度が変化しなくなる場合が多いことが知られている。

^{*4} 銀河によって距離が異なり、したがって電波観測で見込んでいる面積が異なる。観測ビームの大きさとガスの構造によってはシュミット則そのものが影響を受けるため、銀河の距離ごとに考察することが必要となる。

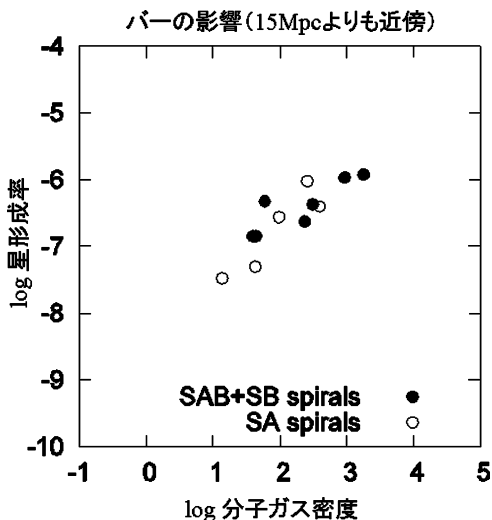


図3 15メガパーセクより近傍の銀河の中心部についてのシュミット則. 白丸が通常の渦巻銀河, 黒丸はバーをもつ渦巻銀河.

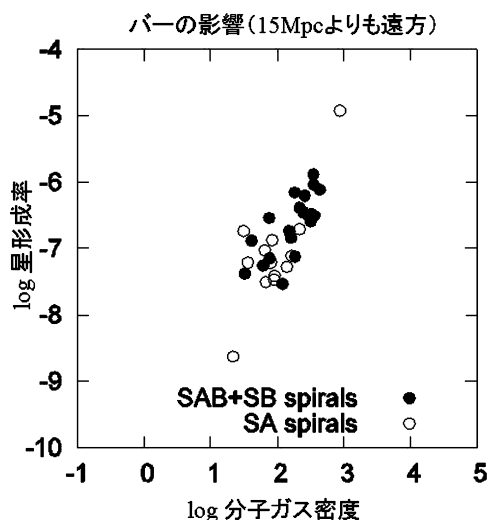


図4 15メガパーセクより遠方の銀河の中心部について, 図3と同じ.

バーの有無によってシュミット則が上下にずれたりはしていないということです。つまり、バー構造はこれまで考えられていたとおり、銀河の中心部分までガスを輸送する役割は担っているものの、中心での星形成はその増量したガスに従って粛々と星形成をしているとも考えられます。落ち

込んできたガスによって何か物理過程が変化し、「単位分子ガス当たりの星形成率」が上昇するということが観測されませんでした。ほぼすべての銀河で、分子ガスの面密度が前項で紹介した境界値に達していないということからもそれはうなずけます。

これらは、境界値よりも低密度の状態を観測した場合、シュミット則というものが多様な銀河スケールの変化に対してあまり敏感ではないという可能性を示唆しています。もちろん、銀河系内で個々の分子雲や星形成領域を観測すればいろいろな物理過程が働いており、一つのシュミット則などというものは到底あてはまりません。しかし数百パーセクのスケールでさまざまな星形成領域や物理状態を平均したとき、星形成と分子ガスとの関係はある一つの法則へ集約されている、というのは非常に興味深いことです。

7. ASTE サブミリ波望遠鏡からの示唆

それでは、高密度のガスを選択的に観測するとどうなるのでしょうか。前項のような一酸化炭素の回転遷移 ($J=1-0$) の輝線は、冷たい分子ガスを観測できますが、星形成領域に空間的に近く、星形成直前の段階であると考えられるのは、暖かい高密度な分子ガスであると考えられます。われわれはこのようなガスをトレースするのに適当な一酸化炭素の回転遷移 ($J=3-2$) 輝線での観測を、チリのアタカマ砂漠に設置した ASTE サブミリ波望遠鏡を用いて行いました。野辺山で行った観測同様、系外銀河の中心部に対するサーベイです。ただし、観測は赤外である程度明るい銀河に限られました。図5は横軸に一酸化炭素の回転遷移 ($J=3-2$) 輝線あるいは一酸化炭素の回転遷移 ($J=1-0$) 輝線での強度、縦軸に星形成率の星間吸収を補正したものと補正していないものをとってあります。輝線強度は分子ガス面密度に対応するのでこれはまさにシュミット則と同じもの

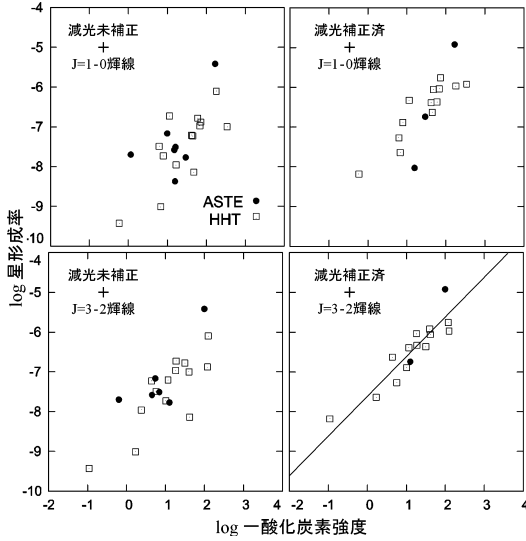


図5 ASTE で得られた一酸化炭素の回転遷移 ($J=3-2$) 輝線強度と星形成率。参考のために、同じ銀河について回転遷移 ($J=1-0$) の場合を示してある。星形成の減光補正をした場合とそうでない場合も示した。明らかに減光補正+回転遷移 ($J=3-2$) 輝線が $N=1.0$ (直線) で最も相関がよい。ASTE データ以外にも HHT (ハインリッヒ・ヘルツ望遠鏡; アメリカ) で得られたデータも用いた。

ですが、これら四つの組み合わせで最も相関がよいのは明らかに回転遷移 ($J=3-2$) 輝線と星間吸収を補正した星形成率のものです。星間吸収を補正したほうが相関が良いのはある意味あたりまえですが、それを考慮しても冷たい分子ガスよりも暖かい高密度のガスのほうが相関がよいことがわかります。そして同時に、その相関は $N=1.0$ と、回転遷移 ($J=1-0$) 観測の場合と異なる結果を与えます。

これは次のような解釈が可能で、星形成は冷たいガスが重力収縮し、温度・密度ともに上昇しながら進む過程であると考えられています。したがって暖かい高密度のガスは実際の星形成直前の現場をより詳細にトレースしていることになり、冷たいガスを見た場合よりも星形成率とガス密度の相関がよくなるのは自然であると言えます。

シュミット則の傾きが $N=1.0$ になったのはなぜでしょう？ 例えば、高密度の分子ガスをトレースする他の分子 (HCN: シアン化水素など) で同じように星形成指標との相関をとると傾きが 1.0 に近くなることがあります¹¹⁾。これは、高密度分子ガスは星形成ガスを選択的に観測しており、その強度は個々の星形成の単位を数えていることに対応するからだという説明がなされています¹²⁾。一酸化炭素の回転遷移 ($J=3-2$) 輝線の場合にも同じようなことが言えるのかもしれませんが、星形成に直結した高密度の分子ガスのみを観測することで星形成の個々の単位を数えているため、それぞれの単位に分子ガスと星形成両方が付随して両者が 1 対 1 対応しているとも考えられます。

8. これからの方向性

ガス密度と星形成率の関係をより詳細に探るうえでは、解決・改善すべき点がまだあります。物理環境の関数としての星形成則を探る上では、近傍銀河の多輝線での詳細なマッピング観測が必要でしょう。そのうえで、星形成率・ガス密度ともに求める精度を上げる必要があります。星形成率を求める研究は、地上の大型光学望遠鏡やスペースでの赤外線望遠鏡の寄与でここ 10 年、極めて大きな飛躍を遂げています。今はそれらのデータを集約して正しい定式化を行うフェーズにあります。しかし、分子ガスに関してはこの 20 年程度、大きな変化がありませんでした。一酸化炭素輝線から水素分子ガスの密度を出す際の比例係数 (X_{CO}) は通常、天の川銀河での値を用います。しかし銀河中心やディスク、スターバースト銀河などの異なる環境では X_{CO} も変化することが知られています。この比例係数を求めるためには個々の分子雲を観測的に分解する必要があります。天の川の外に関してはまだ難しい状況です。しかし、数年後に完成予定の ALMA によって、状況が一変するでしょう。さまざまな環境下で分子雲を分解観測して、個々の銀河に適した X_{CO} の値がわか

ば、シュミット則の精度は飛躍的に上がります。そうすれば、物理環境によって分子ガスから星への変換過程がどう変化するかという根本的な問いにも答えられるでしょう。

おわりに

本稿は、筆者の学部卒業研究から修士論文に至るまでの研究の一端をまとめたものです。紹介したいことはまだまだありますが、割愛させていただきます。これまでお世話になっている指導教官の祖父江義明先生、河野孝太郎先生、また一連の論文の共著者にもなっただいている中西裕之さん、小野寺幸子さん、江草実実さん、濤崎智佳さん、村岡和幸さん、 $H\alpha$ のデータを提供していただいたマサチューセッツ大学のジュディ・ヤング教授にお礼を言いたいと思います。その他、特に野辺山宇宙電波観測所の方々には観測・議論の面でたいへんお世話になりました。これからもたいへんお世話になるつもりですので、よろしくお願ひします。

よく、「なぜ君はシュミット則をやっているのか」という質問を受けます。シュミット則と呼ばれるものの研究は、非常にクラシックでありながらニッチというか、現在ではあまり流行らないテーマです。たくさんの研究者がこれまで突撃して、泥沼にはまっていった研究テーマでもあります。横軸のガス密度をどう求めるか、星形成に関係しているガスの量はどう求めるか、という問題は現在主流となっている一酸化炭素輝線観測の根本にかかわる問題となっています。星形成率を「正しく」求めることも電波から X 線のスペクトルにわたって何十年も議論されている大きな研究分野です。結果として出てきたシュミット則の解釈は、さまざまな観測・理論の研究者を悩ませてきたテーマです。天の川銀河で見るとこんなにもさまざまな、複雑な星形成を行っているのに銀河スケールで見るとこんなにも単純な法則が当てはまっている、大局的な現象と局所的な現象が密接

にお互いに関連しているのです。流行らないのは、面白くないからではなくて重要すぎるからだ、と筆者は考えています。直感的にはとてもわかりやすいのによく考えると何もわからない、でももっともっと考えたら何かわかるかもしれない、というあたりに魅力があるわけです。

参考文献

- 1) Schmidt M., 1959, ApJ 129, 243
- 2) Kennicutt R. C. Jr., 1998, ApJ 498, 541
- 3) Sakamoto K., Okumura S. K., Ishizuki S., Scoville N. Z., 1999, ApJS 124, 403
- 4) Sofue Y., et al., 2003, PASJ 55, 17
- 5) Helfer T., et al., 2003, ApJS 145, 259
- 6) Komugi S., Sofue Y., Nakanishi H., Onodera S., Egusa F., 2005, PASJ 57, 733
- 7) Egusa F., Sofue Y., Nakanishi H., 2004, PASJ, 56, 45
- 8) Komugi S., Sofue Y., Egusa F., 2006, PASJ 58, 793
- 9) Young J. S., et al., 1995, ApJS 98, 219
- 10) Komugi S., et al., 2007, in Mapping the Galaxies and Nearby Galaxies, eds. Wada K., Combes F. (Springer) p. 231
- 11) Gao Yu, Solomon P. M., 2004, ApJ 606, 271
- 12) Wu Jingwen, et al., 2005, ApJ 635, 173

Probing the Gas and Star Formation Rate Relation

Shinya KOMUGI

Institute of Astronomy, The University of Tokyo, 2-21-1 Mitaka, Tokyo 181-0015, Japan

Abstract: We study the relation between the molecular gas density and the star-formation rate for nearby spiral galaxies located at several hundred to one thousand parsecs. We present a revised star-formation law based on recent observational data. The obtained results are explained by various physical processes. We also show results from a recent observation using the NRO 45 m telescope. We discuss the effects of galactic bars on star-formation rate at the centers of nearby galaxies. Data from ASTE are also presented.