

Interim Reports 2018

Sep. 18. 2018

Program

Sep. 18 (Tue.) at ES 606

10:00-11:00	Naoki Nishida	相互作用する超高温プラズマの運動論的記述について
11:10-12:10	Yuta Nakanishi	強い衝撃波と星間媒質の相互作用: 超新星爆発による過電離プラズマ形成過程の理論的研究
	Lunch Break	
13:30-14:30	Daisei Abe	分子雲中におけるフィラメント形成と星形成開始条件の解明(進捗報告と今後の展望)
14:40-15:40	Daiki Nakatsugawa	低金属環境における超音速分子雲乱流
	Break	
16:40-17:40	Ryunosuke Maeda	中性水素ガス衝突による星団形成の理論的研究

西田 直樹

相互作用する超高温プラズマの運動論的記述について

粒子加速メカニズムの問題や、パルサーの σ 問題、ガンマ線バーストの起源など、高エネルギー天体物理学の問題には未解決のものが多い。これらの現象の理解には、相対論的な現象としての取り扱いが必要不可欠である。しかしながら、相対論的流体の振る舞いを実験的に確かめることは困難である。

Boltzmann方程式を直接解くことも困難であるため、相対論的な温度をもつプラズマの運動論的な解析も難しい。流体近似を用いる場合にも、熱伝導や粘性などの散逸現象を相対論的に正しく取り扱う方法が確立されていないという問題がある。そのため、相対論的な現象の理論的な解析は十分に為されているとは言いがたい

相対論的な解析が必要な一例として次のようなものがある。非常に若いSNR(超新星残骸)であるかに星雲の近年の観測によって、10TeVにも及ぶパルサー風が吹くシンクロトロン放射を伴うような内部の領域で水素分子雲($\sim 2800\text{K}$)が存在していることが示唆されている(Loh et al. 2011)。しかし水素分子は2000K程度から解離しはじめて壊れてしまうので、この観測から水素分子ガスを低温に保つ何らかのメカニズムが存在することがわかる。また熱伝導による加熱が効率的に起こっていないことについても理解しなければならないが、それらの詳しい機構についてはほとんど明らかにされていない。そこで、本研究では相対論的な温度を持つプラズマと低温なガスが接触した際の散逸現象を相対論的なプラズマ運動論を考慮して記述し、未だ明らかになっていない相互作用の物理的素過程について理解を与えることを目標とする。

今回の発表では主に運動論的SPH法の計算手法の開発について扱う。

中西祐太

強い衝撃波と星間媒質の相互作用: 超新星爆発による過電離プラズマ形成過程の理論的研究

超新星爆発が起きると周囲の星間媒質(Interstellar Medium; ISM)中に衝撃波が生じ、超新星残骸と呼ばれる高温の天体が形成される。この衝撃波は高エネルギー宇宙線を加速すると考えられている。またISMに運動量を与え星間ガスの乱流の起源になっているとも考えられている。さらに、掃き集められたガスが冷却することで低温のH I ガスが形成され、それが分子雲の形成過程において重要な役割を果たすと考えられている。近年のガンマ線観測により(Abdo et al 2009)、衝撃波と分子雲が衝突しているという観測的な示唆も得られており、衝撃波とISMの相互作用についての理論的な記述が求められている。しかし、現実的なISMは密度や温度が2桁以上空間的に変化する多相構造となっていることが知られているが、そのようなISM中の衝撃波の伝搬の理論的研究は極めて不十分である。

そこで本研究では衝撃波と分子雲が実際に衝突している現象を詳細に調べるため、衝撃波後面の高温プラズマのX線観測によって発見された過電離プラズマに着目した。過電離プラズマとは、電離温度が電子温度よりも高く、電離度が熱平衡状態より高くなっている電離非平衡プラズマである。電子温度が電離温度より低くなる要因の一つとして、高温プラズマと分子雲との衝突による熱伝導冷却が提案されている(Kawasaki et al 2002)。ほぼ無衝突プラズマで近似される高温プラズマと分子雲の衝突により電子温度が下がり、過電離プラズマが形成可能であることはあまり調べられていない。逆にこの現象を理論的に示すことができれば、ガンマ線観測に加えX線観測でも高温プラズマ前方にある衝撃波と分子雲が実際に衝突していること自体を証明することになる。本講演では、現実的なISM中の衝撃波の伝搬の理論的研究に向けた第一段階として、高温プラズマと分子雲の相互作用を定量的に議論する。

安部 大晟

分子雲中におけるフィラメント形成と星形成開始条件の解明(進捗報告と今後の展望)

近年の観測から星形成は分子雲中のフィラメント状の高密度領域で行われることが明らかになっている(André 2010)。よって星形成の理解には、分子雲中でのフィラメント形成を解明する必要がある。Inoue et al.(2018) では高解像度な磁気流体シミュレーションを用いることで、分子雲が衝撃波に圧縮されるという普遍的な現象からフィラメントが形成されるメカニズムを特定した。フィラメントは臨界線密度を超えると重力不安定によって崩壊し、星形成を始めることが知られている。フィラメントの平衡状態を計算して臨界線密度を見積もった仕事としてTomisaka(2014) が知られている。Inoue et al.(2018) ではシミュレーションから、Tomisaka(2014) の臨界線密度がフィラメント崩壊の初期条件を決めると示唆している。

しかしながら、Tomisaka(2014) で調べられた平衡状態は、Inoue et al.(2018) によるシミュレーションで示された、分子雲が衝撃波によって圧縮されるという動的な状況とは異なっている。加えて Inoue et al.(2018) では 1 つの初期条件のもとでしか計算されていない。よって本研究では Inoue et al.(2018) の高解像度シミュレーションを様々なパラメータで実行することで Tomisaka(2014) の臨界線密度の見積もりの正当性を検証するための計算をするつもりである。本発表では、第一段階としての低解像なシミュレーションによる進捗報告と今後のフィラメントからの星形成研究の展望を示す。

中津川 大輝

低金属環境における超音速分子雲乱流

星は宇宙を構成する最も基本的な要素であり、現在生まれている星は分子雲で形成されていることが知られている。近年の研究によると、超音速分子雲クランプ同士の衝突が星の形成につながっていると考えられている。そのため、超音速乱流の理解は星形成の理解のために必須である。

Koyama & Inutsuka (2002) で行われた現実的な星間媒質における加熱冷却を考慮した 2 次元の流体シミュレーションによって、衝撃波圧縮を受けた星間媒質内に多数の低温高密度のクランプが形成されることが示された。この分子雲クランプは超音速で高温低密度領域の中を動き回り、乱流を引き起こす。この超音速乱流の起源は、熱的不安定性を經由して形成されたクランプのランダム運動と考えられている。

加熱・冷却は重要であり、冷却を考慮しない場合、速度分散は亜音速にとどまることが知られている(Inoue et al 2013)。冷却の機構としては、高温領域では水素原子の Ly- α 輝線放射が主であるが、低温領域では炭素をはじめとする金属原子の微細構造輝線や分子の回転遷移輝線放射であり、金属量に依存している。ところが、今までに行われた超音速乱流分子雲の形成シミュレーションは太陽近傍の金属量で行われたものがほとんどであり、金属量を変えて行われたものはほぼない。

金属量は銀河によって異なり、また初期宇宙においては金属がほとんど存在しない。そのため系外銀河や初期宇宙においても銀河系同様の超音速乱流を伴った分子雲を形成することができるかどうかは分かっていない。超音速乱流がどの程度の金属量で発生するかを調べることは、星形成のさらなる理解のために大変有意義なものである。

本研究では、太陽近傍とは異なる金属量での流体シミュレーションを行い、その速度分散から乱流強度を調べる。金属量の違いと乱流強度の関係を議論したいと考えている。

前田 龍之介

中性水素ガス衝突による星団形成の理論的研究

銀河スケールにおける最大の星形成の要因はYoung Massive Cluster(YMC)と呼ばれる星団の形成である。ここでYMCとは質量が大きく若い($M \gtrsim 10^4 M_{\odot}$, $t_{\text{age}} \lesssim 100\text{Myr}$) 星団を指す。YMCの形成機構はその重要性とは裏腹に長年謎に包まれていたが、近年の観測で中性水素ガスの衝突による星団形成の可能性が示唆された (Fukui et al. 2017)。本研究はこの観測を元に中性水素ガスの衝突による星団形成を理論的側面から検証する。ここではその第一段階として“ 衝撃波で圧縮された領域は自己重力で束縛されたガス塊を作ることが可能か? ”ということについて検証を行った。その結果ガス塊の質量の試算値は $10^6 M_{\odot}$ 程度になり、星形成効率を約 10% と低めに見積もったとしても星団形成に十分な質量のガス塊が衝撃波後面で形成可能だということがわかった。