

PLAIN センター ニュース

Center for PLAnning and INformation Systems

コンピューター・シミュレーションで解き明かす宇宙科学 (1)

宇宙科学の観測分野では、電波領域から X 線・ガンマ線領域にわたる「多波長観測」や「高時間空間分解能観測」とかの重要性が益々増えてきておりますが、計算機シミュレーションにおいても同じような考え方が必要となってきました。宇宙・天文のシミュレーション屋は、しばしばコンピューターのことを「数値望遠鏡」という言葉で表現することがあります。そしてどのような接眼レンズを用いて「観測」するかで様々な流体コードとか輻射コードとかの様々なシミュレーション・コードを用いています。しかし昨今では更に発展させて、様々な物理近似で記述される数値コードをうまく組み合わせ多様な天体現象を解き明かしていこうという、いわゆる数値シミュレーションによる「多波長観測」プロジェクトが米国を皮切りに活発に進められてきております。また計算格子を細かくとって計算していく「高時間空間分解能観測」も、スーパーコンピュータの性能向上に伴って多くの知見が得られるようになって来ています。

さて現代科学は 20 世紀に大きく発展し、宇宙科学の分野においても、実験・観測・理論によって宇宙惑星の構造や性質、運動・進化などの基本性質が次々と明らかになりました。複雑に絡んだ現象を切り分けてより本質的な問題に還元し、その切り分けた要素を理解することで多くの自然現象を解明し、それがまた新たな物理学・化学などの発見につながってきました。しかし現代科学をもってしても理解が困難な重要問題が沢山あります。現代科学の苦手とする問題に共通しているのは、いくつかの要素が複雑に絡み合っており、要素を切り分けても決して問題が単純にならない現象です。要素が複雑に絡み合うことを非線形性と呼びますが、これまでの現代科学においてはこの非線形科学をうまく記述したり理解したりすることが大変遅れています。身近な例として天気予報があります。現代科学の成果として流体力学の枠組みは確立しても、様々な物理化学過程が絡んだ複雑系をなす気象学の中で、明日の天気を予想することは未だ難しいものがあります。この非線形科学の解明に必要な不可欠なのがコンピューターです。

コンピューター(computer)という言葉は、ラテン語

の computo に由来し、もともとは主に指で数えることを意味しているそうです。このコンピューターを世界で最初に科学に役立てることに奔走したのは、数学者として名を馳せたブダペスト生まれのジョン・フォン・ノイマンです。彼は 1930 年末ごろから応用数学にも興味を持ち、弾道計算などの研究もはじめました。1945 年に書かれた論文「EDVAC に関する報告書」では、それまでの計算機とは異なりプログラム内蔵方式の高速デジタル計算機の理論が述べられています。現在のコンピューターが「フォン・ノイマン型計算機」と呼ばれる所以です。

さてこれまで科学分野においてコンピューターがもたらした大発見はいくつもあります。例えば、物理学者フェルミ達によって研究された非線形型振動子のエルゴート性に関する Fermi-Pasta-Ulam 問題があります。固体の比熱を説明するモデルとして、バネでつながれた質点の運動を考え、初期条件としてある振動状態にのみエネルギーを与え、その長時間挙動を調べました。長時間経てばエネルギーがすべての振動状態に等分配されるだろうという予想の下に計算機シミュレーションを行った結果、予想にまったく反して、ある一定の周期後にまた最初の状態に戻るという「再帰性」が現れました。最初フェルミがこの結果を得たときプログラムのミスか計算機エラーではないかと思ったことでしょう。

宇宙科学の分野においても、数値シミュレーションは大きな成果をもたらします。例えば、シュワルツシルドは、星の進化を系統的に理解することを目指したシミュレーションを行い、星の温度や輝きの時間変化を解き明かしました。またシミュレーション実験が果たした重要な役割として、星のヘリウム層の核燃焼が不安定になることも特筆すべきことで、今日ヘリウム・シェル・フラッシュとして知られている現象です。林忠四郎先生による「林フェーズ」の発見も数値計算によって得られた成果です。

また最近の成果の中から一つピックアップさせていただいたものが図 1 に示してあります。これは超新星 1987A と呼ばれる天体とその周りに形成された 3 つのリングの観測とシミュレーション結果です。左図が NASA のハッブル望遠鏡でとらえたもので、

[裏へ続く]

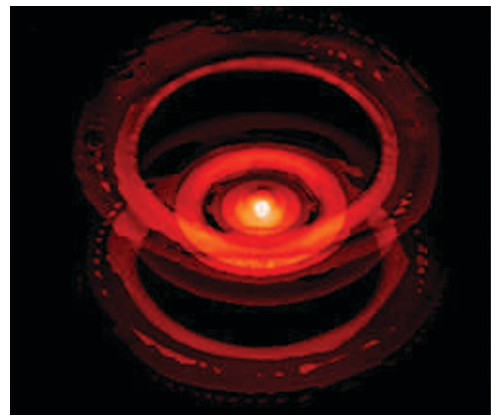
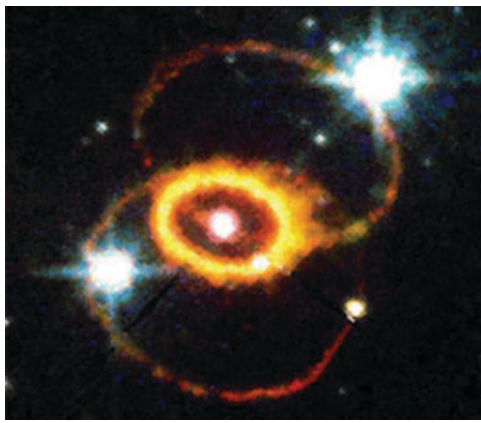


図1 ハッブル望遠鏡が捕らえた超新星 1987A と周りの3つのリング構造 (左図) とそのMHDシミュレーション結果 (右図)

右図が電磁流体シミュレーションによって得られたプラズマ密度の高い領域です。太陽風中での大域的磁場とプラズマ構造の解明に使われた電磁流体コードを星風に適応し、見事に最近の高精度観測を再現することに成功しました。

以上のように、計算機シミュレーションが宇宙科学においても活躍してきたわけですが、スーパー・コンピュータの性能が上がったらといって何でも計算できるわけではありません。例えば、電磁流体力学の枠組みにおいて、流体粘性、電気抵抗、熱伝導などの輸送係数は電磁流体の枠組みでは答えられない問題で、何らかの物理モデルを仮定するしかありません。輸送係数については、第一原理に戻って

マックスウェル方程式とローレンツ方程式を連立させた粒子法と呼ばれるコードで解く手法もありますが、この粒子法では莫大な計算時間やメモリーを必要とするので、大規模構造の計算は非常に苦手です。輻射が優勢になる領域では、輻射流体コードが必要になってきます。重力場での多体相互作用が重要になる場合は、万有引力の法則に従って個々の粒子運動を計算することが必要不可欠です。今後はこれらの様々な計算コードを組み合わせることで複雑に絡んだ非線形現象の本質を明らかにすることが必要になってきています。次回は数値天文学における計算機コードのお話をしたいと思います。

(東京大学大学院 理学系研究科
星野 真弘)

大型計算機に関するお知らせ

1. 大型計算機の12月・1月の保守作業予定と年末・年始の運転スケジュール

システム名	12月 26日(木)～27日(金)	28日(土)	29日(日)	年末年始 12/31～1/5	1月 6日(月)
VPP800/13	1	停止 (M:9:00～)	12:00～自動運転	M:9:00～, 13:00 運転開始	M:9:00～, 13:00 運転開始
GS8300/10N	自動運転	2	停止(M:9:00～)	M:9:00～, 13:00 運転開始	M:9:00～, 13:00 運転開始
AlphaServer その他サーバ	連続運転 - -	3 M:9:00～14:00	連続運転 - -	連続運転 - -	M:9:00～, 13:00 運転開始

M: 保守
作業

- 1 VPP 800/13 の 12 月 16 日 (月) に予定していた定期保守作業は中止にして、12 月 28 日 (土) の 9:00 からの集中保守作業の中で行います。尚、12 月 26 日 (木) 18:00 SIMPLEX モード、12 月 27 日 (金) の 3:00 ジョブキュー停止になります。
 - 2 GS 8300/10 N は 12 月 28 日 (土) 18 時に長時間イニシエータ、キューの停止となります。
 - 3 12 月 28 日 (土) 9:00～14:00 は NR ファーム改版のため、他のサーバも停止します。
- (1) 12 月 28 日 (土) 14:00 から 1 月 6 日 (月) 9:00 の間の連続運転中はセンターオペレータが不在のため、システムダウンがあった場合 1 月 6 日 (月) 9:00 まで対応が出来ません。
- (2) 注意 大型計算機関係の各サブステーション・オープンステーションは 12 月 27 日 (金) 17:00

でクローズします。

- (3) 1 月の Alpha サーバの定期保守は中止させていただきます。

2. 計算機登録予算の移算締切りについて

前年度と同様、今年度も下記日時で計算機登録予算の移算処理を締切らせていただきます。

締切日 平成 14 年 12 月 20 日 (金) 15:00

尚、上記日時以後も予算追加は出来ますが、その追加予算は翌年度移算となりますので、配当が確実なものに限ってください。

3. 問い合わせ先

大型計算機利用上の質問・トラブルなどは高橋氏・林氏 (内線 8391) ネットワーク関係の質問・トラブルなどは PLAIN センター 本田秀之 (RN 1261・内線 8073) までお願いします。 (三浦 昭)