

高強度レーザーが開く実験室天文学（1）

高 部 英 明

〈大阪大学レーザー核融合研究センター 〒565-0871 吹田市山田丘2-6〉

e-mail: takabe@ile.osaka-u.ac.jp

1960年のT. H. Maimanによるレーザー発振に端を発するレーザー技術の進展は目覚ましく、高出力レーザーを用いた爆縮実験で太陽中心に匹敵する高温・高密度のプラズマが生成されている。高強度レーザーを用いる事により星の進化等で見られる複雑な圧縮性流体や輻射輸送の現象を実験室で調べることができる。本稿では「レーザーを用いることにより、宇宙物理の重要研究課題の一部を解決し得る」という可能性を模索しつつある現状について、第1部では流体现象を中心に、第2部では輻射現象を中心に紹介する。

1. はじめに

天文学・宇宙物理学は、数ある科学分野の中でも特異な存在である。研究対象に触れることが出来ず、ただ空を眺めながら（観測）、遠い宇宙に思いを巡らす（理論）だけである。にもかかわらず、多くの科学者を魅了し、ガリレオ・ニュートンに始まる近代科学の先駆者たちを輩出してきたことは、宇宙の研究が人間の根源的な問いに答えようとしているからであろうか。

最近では、HST（ハッブル宇宙望遠鏡）、ASCA（X線観測衛星）、COBE（宇宙背景放射観測衛星）など、観測技術の進歩は目覚ましく、観測による理論の確認・再検討がかまびすしく行われている。これに加え、地上で宇宙物理の実験が可能となれば、星の進化の物理等、宇宙論の根幹をなす理論が精密科学として新たな進化を遂げるはずである。

レーザー核融合研究は二十数年の歴史を経て、高密度・高温度の爆縮プラズマを実現してきた。レーザーの技術は飛躍的に発展し、それを用いた爆縮実験で太陽中心より高温・高密度のプラズマが生成されている。小球ペレットへの高強度レーザー照射により固体密度の数百倍、温度数千万度のプラズマが出来る。さらに、中心で核融合点火

が起これば十億度にも達する高温プラズマが発生する。

宇宙物理学が、ビッグバンに始まり、150億年経った今日の宇宙構造に至る発展シナリオを解明することが最終目標であるとするならば、銀河形成、星の生成、超新星爆発による核合成や宇宙の重元素化のプロセス等で重要となる物理シナリオの不確かさを、もし、レーザーを用いた模擬実験でより明確なものにし得るならば、宇宙物理の新たな発展が期待できる。ただ「高強度レーザーで生成されるプラズマが宇宙で観測されるプラズマに類似している」というだけでは意味を成さない。「レーザーを用いることにより、宇宙物理のクリティカルな問題点の一部を解決し得る」という研究シナリオを明らかにする必要がある。

宇宙物理現象を支配する基礎物理は

- (1) 圧縮性流体・電磁流体力学
- (2) 原子物理と輻射輸送
- (3) 核反応
- (4) 重力相互作用

の4要素に大別できようか。この内、(4)については実験室内での模擬実験は不可能であるが、(1)、(2)、(3)に関連した各種の模擬実験を高強度レーザーを用いる事により実施することが出来る。超



新星爆発時の流体不安定や、高マッハ数の爆風波と星周物質の相互作用など、宇宙で見られる多様で不可解な現象を実験室で模擬することにより、現象を支配する物理を解明して行くことが出来る。

本稿では以下の5つの話題に関するレーザー模擬実験の可能性について説明する。

1. 流体不安定性, 対流現象 (超新星爆発時の混合現象等)
2. 高マッハ数の爆風現象 (スター・バースト, 超新星爆発等)
3. 強い衝撃波とプラズマの相互作用 ("ejecta-ring" 衝突現象等)
4. オパシティーと星の進化 (新星光度曲線等)
5. 非平衡原子過程 (超新星残骸等)

本稿は2部よりなり, 第1部では1, 2, 3の流体関連, 第2部では4, 5の原子・輻射関連の話題を紹介する。

このような高強度レーザー実験に加え, さらに, 近年出現した超高強度レーザー ($\sim 10^{20}$ W/cm²) を用いれば, 電子・陽電子プラズマの生成や超高压 (数百億気圧) の実現と, ブラックホール周りや宇宙初期の相対論的プラズマの研究が実験室で可能となる。ただし, この話題については, 具体的な問題の掘り起こし段階にあり, 後日, 改めて紹介することとしたい。

2. レーザー核融合研究の特徴と宇宙物理

レーザー核融合では, パルス幅 10^{-9} 秒(1ns), 強度 10^{15} W/cm² 程度のレーザーを物質に照射する。この強度はプランク分布をした熱輻射のフラックス $Sp = \sigma T^4$ で置き替えると, $T \cong 300\text{eV}$ となり, いかに高強度であるかが分かる。このような高強度レーザーをガスや固体に照射すると, 生成されるプラズマの温度は keV 程度となり, 50-100Mbar (Mbar = 100 万気圧) の圧力が発生する。したがって, 宇宙環境で見られるような衝撃波現象や星の

周辺や内部の状態を実験室に再現することが可能となる。

高压を発生する方法としては, 衝撃波管¹⁾や高性能爆薬²⁾を使う方法などがある。しかし, 前者の標準的な圧力は数十気圧であり, 流体の Reynolds 数が低い。また, 後者では, 発生圧力は数百 kbar に達するものの, 高密度物質の電離現象を充分再現するとは言い難い。レーザー照射では $\rho = 1\text{g/cm}^3$ 程度の物質を 100Mbar にまで加圧でき, これは, 例えば超新星 1987 A 爆発のシミュレーション³⁾と比較すると, 重力崩壊後数百秒時点のパラメーターに相当する。この時点以降に, 物質混合を引き起こすレーリー・テラー (R-T) 不安定が発展したことを考えると, 超新星爆発の模擬実験が意味を持つと期待される。

レーザー核融合研究と天体物理研究とを結びつけるシナリオについて言及しておこう。対象とするプラズマのパラメーターが類似するというだけでなく, 研究方法にも類似性が見られる。レーザー核融合研究は図1のように4つの要素より成る。

実験では, 特定の物理現象を詳細に調べるためのモデル実験が必要である。例えば, モデル実験を通して, レーリー・テラー不安定の成長率を調べたり, その非線型発展の物理機構を解明したりする。モデル実験により理論モデルを点検し, その成果は, 一流体二温度の流体式を基礎に, X線輻射等が絡んだ, レーザー核融合の全物理シナリオをシミュレーションするための多次元流体統合爆縮コードに取り込まれていく。

これに対し, 爆縮実験は, 燃料球に複数本のレーザーを同時に照射し, 表面に高压を発生し, 爆発的に燃料球を球中心に収縮させる実験である。これは, レーザーとプラズマの相互作用から流体, 状態方程式, エネルギー輸送, 核反応と全ての物理が複雑に絡んだ総合実験である。その実験結果は, モデル実験で裏打ちされた各種物理モデルを組み込んだ統合爆縮コードで解析される。最終的には, 統合爆縮コードを用いた「数値爆縮実験」

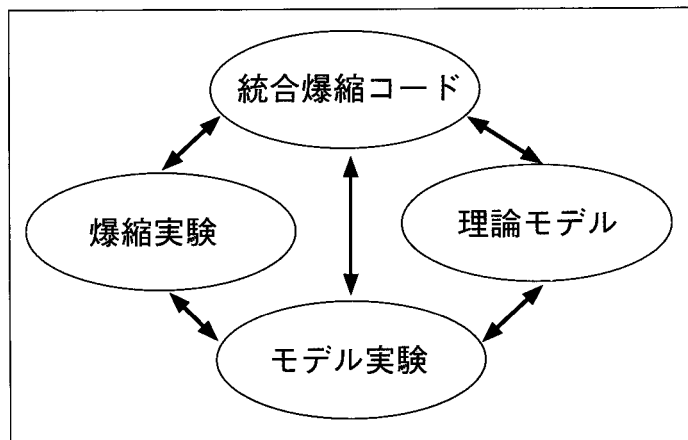


図1 レーザー核融合研究の4要素。諸々の物理が絡んだ複合系の物理を研究するためには、爆縮という総合実験を解析するための統合コードが必要であり、その構成要素である各種理論モデルはモデル実験で裏打ちされる必要がある。この研究スタイルは宇宙物理研究にも共通する。

を通して研究計画を策定して行く事になる。つまり、実験で裏打ちされた統合コードを用いて、核融合点火や核燃焼波発生の為のターゲット核燃料球の構造やレーザーの時間波形を最適化したり、ターゲットの表面歪やレーザー強度の不均一に関する許容条件などを定量的に明らかにしていく。このような研究は「ターゲット設計」と呼ばれている。

宇宙物理の研究は「観測」という一種の総合実験（レーザー核融合の爆縮実験に相当）を通して、理論・シミュレーションが絡む図1と同様の構造を持つ。しかし、天体現象に絡む宇宙物理の研究ではモデル実験に相当する研究手段が必ずしも確立しておらず、研究のさらなる発展には何らかのモデル実験が不可欠である。宇宙物理のモデル実験装置として高強度レーザーはその必要に応え得ると考えている。

3. 流体不安定性

SN 1987 A の爆発はある意味で宇宙物理における壮大な「実験」であったと考えられる。これを機に球対称な爆発シナリオは見直しを迫られ、流体不安定

に関する研究が本格的にスタートした。それが、シミュレーション技術など研究手段の向上、研究テーマの多様性へと繋がった。爆発から10年経た今も、「この超新星は宇宙の進化の謎を解くカギを握っている」と宇宙物理学者は認識している⁴⁾。

レーザー核融合の研究は「流体不安定との戦いの歴史」といっても過言ではない。関連分野を含めた研究の現状と展望を最近、解説論文にまとめたので参照していただきたい⁵⁾。

ここでは、LLNL（ローレンス・リバモア研）のレーザー爆縮実験とその理論解析について紹介するに止める。

実験は、直径約0.5 mmの球形のターゲット（厚さ約50 μmのプラス

チック球殻に水素-重水素混合ガスを50気圧充填）の表面に、レーザー・エッチング法でゴルフボールのように凹凸を付け、爆縮するというものである。表面の粗さが増すほど、当然、爆縮時の流体不安定が成長し、核反応中性子数が低減する。図2に示したのは、横軸が表面の粗さの2乗平均値（RMS）、縦軸が爆縮により発生する核融合中性子数である。図で、黒丸、白丸が実験で得られた値である。表面粗さの増大とともに単調に中性子数が減少しているのが分かる。

LASNEX と呼ばれる一次元の爆縮コード⁶⁾に、Haan の弱乱流混合モデル⁷⁾を導入し、実効的な中性子数を求めたのが図2の×印である。実験の傾向を良く再現している。混合モデルは、まず、初期不均一スペクトルの各球関数モードについて線型不安定成長の様子を二次元 LASNEX で追跡し、それをデータベースとして蓄積する。次に、非線型飽和モデル⁷⁾を適用し実効的な混合幅を時々刻々計算し、一次元コードに入力し、乱流拡散効果を定量的に取り込む、というものである。例えば、超新星爆発のシミュレーションに同様の手法

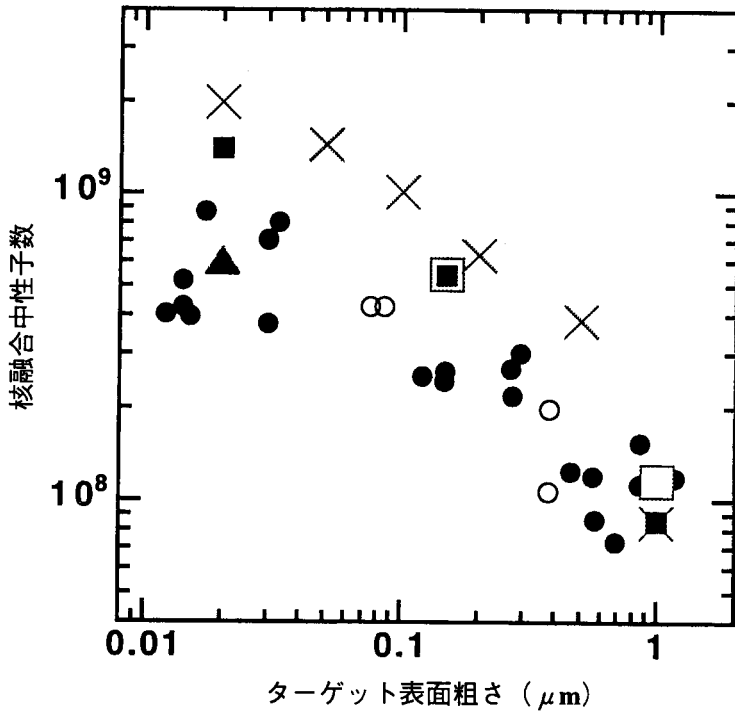


図2 流体不安定による爆縮性能の低下。球ターゲット爆縮時の核反応中性子数と表面に印加した凹凸の振幅との関係。●、○印が実験データ。X印は1次元コードに乱流混合モデルを加えた場合。■、□印は2次元、▲印は3次元の爆縮コードによるシミュレーションの結果⁸⁾。

を導入することは興味深い研究テーマと成り得ると思う。

図2で■、□は二次元LASNEXで長波長不均一の効果を実験値に比べ少し多い。これは、二次元では、三次元に比べレーラー・テラー(R-T)不安定の成長が非線型段階で遅いことによる。最近、三次元の輻射・流体コードHYDRAが開発された。図2の▲点で示したのがその結果で、一例ではあるが実験を良く再現している⁸⁾。

SN 1987Aの爆発来、超新星爆発の多次元シミュレーションが盛んに行われた⁹⁾。X線観測衛星「ぎんが」が捉えた硬X線強度の時間変化の説明には、初期に5%程度の速度擾乱が必要¹⁰⁾ということである。しかし、何故このような不均一が爆発時に

形成された(されていた)のか不明な点が多く、多次元流体コードを用いて、精力的に研究が進められている¹¹⁾。超新星爆発初期の流体现象はニュートリノ輸送・衝撃波が絡んだ複雑物理であり、スーパー・コンピュータを用いた“grand challenge”な研究テーマとして注目を集めている¹²⁾。レーザー爆縮も、X線・電子さらに核反応粒子等のエネルギー輸送と流体が絡んだ複雑系であり、数値計算手法等、共通の基盤に立脚している。

最近、超新星爆発の二次元シミュレーション・コード¹³⁾とレーザー爆縮コード¹⁴⁾とを、レーザーを用いた実験データと比較する試みが成されている¹⁵⁾。R-T不安定によるスパイクの成長やマッシュルーム構造の形成等を超新星環境に近いパラメーターで調べる実験であり、今後のより詳細な研究が楽しみである。

4. 高マッハ数の爆風現象

超新星爆発やスター・バースト¹⁶⁾等、宇宙空間の局所から短時間に膨大なエネルギーが放出され、周りの星雲や銀河内を強い衝撃波が伝搬する現象が広く観測されている。このような現象の解明は星の誕生や元素の起源に関連して重要である。宇宙における爆発現象を議論する際の出発点は、良く知られたSedov (Taylor - Sedov - von Neuman)の自己相似解である。爆発により宇宙空間の希薄なガスは加熱され、電離する。従って、実際には、理想的なSedov解ではなく、電離や輻射輸送なども絡んだ多様な現象が見られる。

このような爆発に伴う諸現象を、真空容器に適度のガスを詰め、固体ターゲットに高強度レーザー

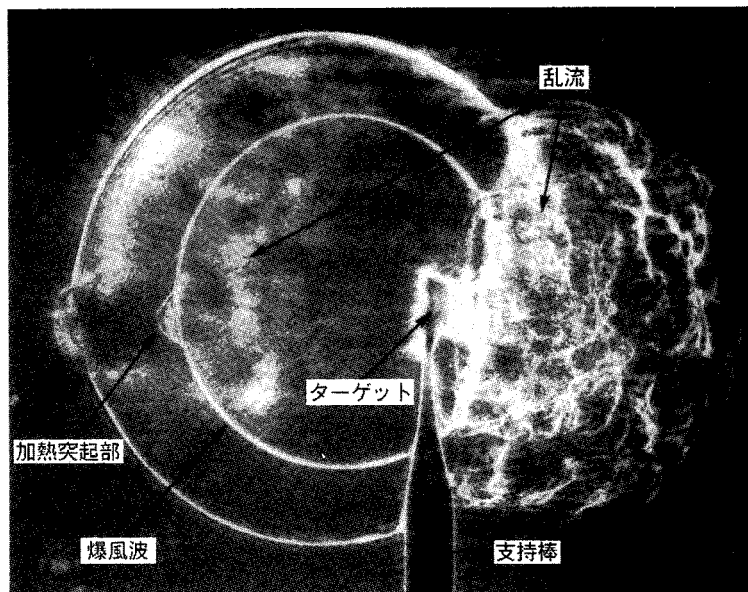


図3 レーザー照射により窒素ガス中に生成された爆風波と乱流。ただし、写真は2重露光している。スケールは約1 cm¹⁷⁾。

を照射することにより1 cmの空間で模擬することが出来る。図3に示したのはその一例¹⁷⁾である。窒素ガス中に平板状のアルミニウム・ターゲットを置き、左方より高強度レーザーを照射する。その結果、加熱されたアルミニウム・プラズマの噴出速度は700 km/sにも達し、高マッハ数の爆風波が左方へ形成される(図3は二重露光していることに注意)。裏面には爆風波とは異なる乱流状の構造が見られる。これはターゲットが右方へ加速される際の流体不安定等により、ターゲット自体が破片状になって飛散することが原因かと思われる。

例えば、レーザーをもう一本用意し、図3の右方にもう一つのターゲットを置き、同時ショットすると、第2のターゲットで形成されたきれいな爆風波が図3の乱流部分と衝突するという興味深い現象を見ることが出来る。宇宙空間もきれいな密度分布とは限らず、乱れた星雲ガス中に強い衝撃波が衝突するとどうなるか。所謂、バロクリニック(baloclinic)項($\nabla \rho \times \nabla P$)により渦が形成され¹⁸⁾、衝撃波のエネルギーが異常散逸を受けたり¹⁹⁾と、

圧縮性流体の基礎物理としても興味深い研究を行うことが出来る。

宇宙空間には、弱い 3×10^5 Gauss程度の磁場が存在する¹²⁾。一様磁場中での爆風波伝播への磁場効果について、球対称を仮定した場合の記述がある¹⁶⁾。ところが、実際には爆風波で電離が起り、磁場が波面に凍りついて広がろうとすると、そのうち磁場の圧力が爆発による放出物質を減速することになり、レーリー・テラー不安定が発生する。コイン状のターゲットに両サイドよりレーザーを当て、背景磁場が有る場合と無い場合での放出物質の広がり様子が調べられている²⁰⁾。磁場がある部分、一様な膨張が妨げられ、フ

ィンガー状に広がっていく構造が観測されている。このような実験は磁場と衝撃波が絡んだMHD現象や、それに伴う高エネルギー粒子発生等²¹⁾面白い研究テーマを内包している。

爆風波は極めて安定(球形状)に思えるが、電離や輻射による加熱や冷却が波面の形成に絡んでくると様子が変わる。1980年頃まで、「爆風波はいかなる場合でも安定でありうるか」という議論が行われていた。その後、球対称自己相似解の多次元擾乱に対する安定性解析が行われ、ある条件下では不安定となり得ることが理論的に示された²²⁾。NRL(Naval Research Lab.)のグループは図3と同様の実験条件で、窒素ガスを用いた場合(図3と同じ)とキセノン・ガスを用いた場合について爆風波の形成実験を行った²³⁾。その結果、図4に見られるように、窒素ガスではきれいな爆風波が形成されたのに対し、キセノン・ガスでは乱流状に乱れた爆風波と成ることが分かった。ここで、図4では、左側に置かれた固体のポリエチレンに右側からレーザーが照射されている。

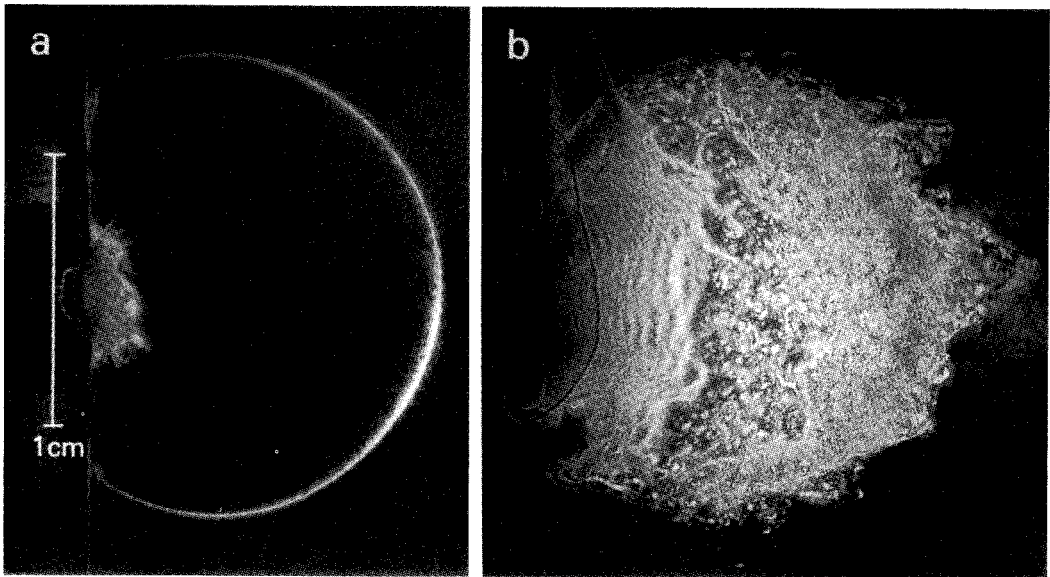


図4 輻射冷却に起因する爆風波面の不安定. 窒素(低Z)ガス中では図aの様に綺麗な爆風波が形成されるものの、キセノン(中Z)ガス中では図bの様に輻射冷却により波面が不安定になる²³⁾.

波面の伝搬距離の時間依存性より、Sedov 解を仮定した場合の実効的な γ (比熱比)を評価したところ、窒素では $\gamma = 1.3$ 、キセノンでは $\gamma = 1.06$ であった。キセノンで γ が1に近いのは、爆風波面で電離が起こり、X線放射でエネルギーが減少することによる。これは輻射冷却という新たな自由度が加わったため流体の実効的な γ が1に近づいた、と解釈できる。図4 (b)の擾乱をスペクトル分解し、流体不安定の成長に関し理論との比較がなされた。成長モード・成長率等については理論との一致が見られたが、実験では非線型な段階にまで達しており、より詳細な解析を必要としている。

上に説明したように、爆風波も高マッハ数では原子過程や磁場と絡んで、Sedov 解のような単純な理論では記述出来ない。このような現象を実験室で詳しく調べ、その知識が超新星爆発やスター・バーストにより引き起こされる多様な現象の解明に繋がれば、と考えている。

5. 超新星 1987A の "ejecta-ring" 相互作用

第3節でも述べたように、超新星 1987A は流体不安定に関連して宇宙物理に新たな研究スタイルをもたらした。爆発後 10 年を経て、爆発時の衝撃波で加速された放出物質 (ejecta) は 1 万 km/s の速度で宇宙空間に広がっている。Hubble 望遠鏡がとらえたように²⁴⁾、SN1987A の周りには直径 1.3 光年で密度が 10^3cm^{-3} 程度のリング状の星周物質がある。実際にはその上、下のリングを含めて三重リング構造であるが、このようなリングがどのように作られたのか、未だはっきりした説明はない⁴⁾。

この SN1987A の放出物質は 4 ~ 5 年先にリング状の星周物質 (以下、ring と呼ぶ) と衝突すると予想されている²⁵⁾。衝突時には強い衝撃波が形成され、物質が加熱され、可視から X 線領域を含むすべての波長領域で増光すると考えられる。シミュレーションによれば、20 年ほどかけて、X 線強度は 2 ~ 3 桁増大するようである²⁵⁾。これがいわ

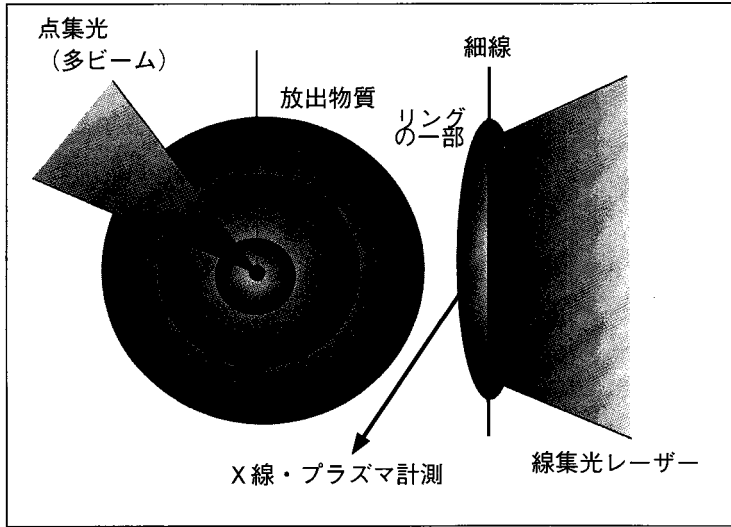


図5 超新星 1987 A の ejecta-ring 相互作用模擬実験の概念図。球ターゲットで放出プラズマを作り、リング物質の一部を模した線状プラズマを線集光レーザーにより同時に作る。

ゆる超新星残骸で見られる「X線フラッシュ」²⁶⁾現象の一例である。

この ejecta-ring 相互作用の様子を実験室で模擬することができる。例えば、図5のように2本のレーザーを用い、ejecta に相当するプラズマは球状ターゲットで生成し、リング・プラズマは線状集光したレーザーで作る。この時 ejecta プラズマは 10^3 km/s 程度の速度でリング・プラズマと衝突し、強い衝撃波の形成と瞬時のX線増光が観測される。これに図3と同様の計測手段も加えれば、衝突時の流体不安定の様子や、乱流・塊形成等が詳細に観測できる。

Hubble の観測ではリング物質にはすでに凹凸形状が見られ、ここに放出物質が衝突すると、この凹凸を種にレーリー・テラー不安定（というより、むしろ、衝撃波駆動型のリヒトマイヤー・メッシュコフ不安定¹⁸⁾）が起り、リングがバラバラに分解する可能性がある。これは、衝撃波による刺激が原因で星間ガスや分子雲から星が誕生するシナリオに関連して興味深い。図5のワイヤーに凹凸を予め付けたり、線集光レーザーの強度分布

に不均一を施すことにより、歪みを伴うリング・プラズマを生成でき、上記の状況の模擬が可能となる。

図5に示した実験が宇宙に於ける現象の模擬実験と成り得るかは、例えば、次のような比例則で確認できる。SN1987A のリングの距離 (L_{SN}) は約1光年 (10^{18} cm) で、リングの密度 (n_{SN}) は 10^3 cm^{-3} 、ejecta の速度 V_{SN} は 10^4 km/s である。ここで、衝突時に作られる衝撃波の構造に注目すると、その幅 l_{SN} は平均自由行程 (l_{mfp}) 程度である。プラズマの l_{mfp} は温度 T 、密度 n として

$l_{mfp} \propto T^2/n$ の関係がある。今の衝突問題では温度 T は衝突速度 V の2乗に比例すると考えてよいから、従って

$$l_{SN} \propto V_{SN}^4 / n_{SN}$$

となる。図5の模擬実験における距離を L_M (約1 cm)、リング密度 n_M とし、ejecta が $V_M = 10^3$ km/s で衝突するとすれば、無次元量 L_{SN} / l_{SN} と L_M / l_M が等しくなる条件として $n_M = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と出る。ワイヤーの初期密度 (固体密度) が 10^{22} cm^{-3} 程度であることから、これは充分現実的な値である。従って、模擬実験により衝突時の衝撃波の形成の様子や、加熱X線の発生の様子等がSN 1987A の衝突を前にして、実験室で予想出来ると期待される。

さらに、図5に外部マグネットで磁場も印加すると、磁場中での無衝突衝撃波の形成と、それに伴う粒子加速の様子が調べ得る²¹⁾。そして、もし、現在米国が建設しているNIF (National Ignition Facility)²⁷⁾のような数メガ・ジュール(MJ)出力のレーザーを用いれば、ejecta 用のターゲット中で核反応点火を起こすことが可能となり、核燃焼波で加速された ejecta の速度はまさに1万 km/s に達する



こととなる。

このような模擬実験を実施することにより、例えばX線観測衛星 ASCA で SN1987A の ejecta-ring の衝突現象を観測しようと準備する際、X線のどんな振舞に注目すると、それが流体现象とどう関連づけられるかの指針を与えたり、又、Hubble で観測される流体现象とX線信号との関連づけの情報を提供してくれると期待している。さらに、宇宙での衝突シミュレーションコードに図5の模擬実験のパラメーターを入れ、実験結果と比較してみれば、コードの有効性と同時にモデルの不備な点等に関し多くの情報が得られるはずである。

(第2部に続く)

参考文献

- 1) 例えば, K. Takayama, "Shock Waves", Vol.1,2 (Springer-Verlag, Berlin, 1992).
- 2) E. Meshkov et al, in "Computational and Experimental Studies of Hydrodynamic Instabilities and Turbulent Mixing (Review of VNIIEF Efforts)", LA-12896, Los Alamos, p.E69.
- 3) T. Shigeyama and K. Nomoto, *Astrophys. J.* 360, 240 (1990).
- 4) 野本憲一, 日経サイエンス, 1997年4月号, p.92.
- 5) 高部英明, "流体不安定と慣性核融合", プラズマ核融合学会誌 73 (1997), 2, 3, 4月号に連載.
- 6) 例えば, J. Lindl, *Phys. Plasmas* 2, 3933 (1995).
- 7) S. W. Haan, *Phys. Rev. A* 39, 5812 (1989).
- 8) M. M. Marinak et al., *Phys. Plasmas* 3, 2070 (1996).
- 9) I. Hachisu et al., *Astrophys. J.* 368, L27 (1991); E. Muller et al., *Astron. Astrophys.* 251, 505 (1991); E. Livne, *Astrophys. J.* 406, L17 (1993).
- 10) 蜂巢 泉, *ながれ* 16, 40 (1997).
- 11) 例えば, K. Sato et al., in "Elementary Process in Dense Plasma" ed. S. Ichimaru (Addison-Wesley, Mass, 1995) p.35.
- 12) M.L. Norman, *Phys. Today*, Oct. (1996). p.42 及び表紙.
- 13) E. Muller, B. Fryxell, and D. Arnett, *Astron. Astrophys.* 251, 505 (1991).
- 14) G. Dimonte et al, *Phys. Rev. Lett.* 74, 4855 (1995).
- 15) J. Kane et al., *Astrophys. J.* April 1, (1997).

- 16) 坂下志郎, 池内 了著「宇宙流体力学」(培風館, 1996) 第7章.
- 17) B. H. Ripin et al., in "Laser Interaction and Related Plasma Phenomena" Vol.7 (Plenum, 1986) p.837.
- 18) 例えば, 高部英明, *プラズマ・核融合学会誌* 69, 1285 (1993).
- 19) D. Rotman, *Phys. Fluids A* 3, 1792 (1991).
- 20) B. H. Ripin et al, *Phys. Fluids B* 5, 3491 (1993).
- 21) 大沢幸治, 内藤統也, 私信.
- 22) E. T. Vishniac, *Astrophys. J.* 274, 152 (1983).
- 23) J. Grun et al., *Phys. Rev. Lett.* 66, 2738 (1991).
- 24) D. フィッシャー, H. デュルベック著, 渡辺鉄哉訳「ハッブル宇宙望遠鏡」(シュプリンガー東京, 1996) p.1 03.
- 25) T. Suzuki et al., *Astron. Astrophys.* 274, 883 (1993).
- 26) 小山勝二著, 「X線で探る宇宙」(培風館, 1992) p.32.
- 27) A. Lawler, *Science* 275, 1252 (1997).

Laboratory Astrophysics Opened by Laser Fusion (1)

Hideaki TAKABE

*Institute of Laser Engineering, Osaka University
Yamada-oka 2-6, Suita, Osaka 565-0871 Japan*

Abstract: Since the first generation of laser energy by T. H. Maiman in July 1960, the laser technology has made a big progress. With the energetic lasers, the plasmas characterized by the temperature and density comparable to the interior of the Sun have been produced in laser fusion experiments. It will be possible to study complex hydrodynamic and radiation phenomena relating to, for example, the physics of evolution of stars by use of the intense lasers. We try to clarify a possible research scenario according to which a part of the critical issues to be studied in the astrophysics will be solved in model experiments with the intense lasers. The paper is divided into two parts. The first (present) one describes the topics related to hydrodynamic phenomena and the second (coming) one will deal with the topics of the radiation phenomena.