

木星自由振動と木星内部構造

1. はじめに

この7月下旬に起きた Shoemaker-Levy 9 彗星の木星衝突は木星内部構造を研究している惑星科学研究者に対しても大きな事件であった。本稿ではこの衝突イベントを踏まえ、木星振動(木震)から内部構造を推定する研究を紹介する。

2. 木星モデル

木星型惑星の内部構造モデルは表層から分子水素層、金属水素層、岩石・氷層(コア)の3層から構成される。木星は太陽から受けるエネルギーの約2倍のエネルギーを放出している。これを説明するため水素層では層全体が対流しているとし、標準モデルでは断熱温度勾配を仮定する。水素層の組成は対流混合が十分起こっていると、木星表層で観測される値を用いる(ヘリウム質量比0.18, その他の元素の質量比0.04)。これに静水圧平衡の仮定と実験・理論的に求められた状態方程式を使って、観測量である質量、半径、自転周期それに重力ポテンシャルを制約条件としてモデルは作られる。この際コア質量がフリーパラメータで観測量に合うように最適化される。求められたコア質量は使用した状態方程式の違い、分子金属相転移が1次相転移(Plasma Phase Transition)であるか否かなどの違いによって、5~20地球質量程のバラツキがある。コアの大きさを別の観測量で決められるなら、逆に状態方程式にも制約を与えることができよう。新しい観測量として注目を浴びているのが、木震である。現在複数のグループによって、この木震の検出が試みられている。

3. 木星内部振動

水素層が対流しているとする、そこでは浮力

による復元力は働かない。そのため、木星深部の構造を探るのには音波モードが有効であろう。音波モードは擾乱によって生じた圧力摂動を復元力として伝わる波(音波)によって生じるモードである。音速は深部に行けば行くほど早くなるので、下方に伝搬する音波はやがて曲げられて、表層に戻って来る。表層では圧力スケールハイトが小さくなるため、波長の長い波は表層でも下方に曲げられる。こうして閉じ込められた波は定在波を生じ、木星自由振動として観測されるはずである。その固有周期は内部の音速構造によって支配される。また、コア-水素層間では4割程度音速に不連続が生じる(コアの方が遅い)。不連続層の存在は固有振動の倍音構造(固有振動数の並び具合)に影響を与える。このため倍音モードを観測できれば、コアの大きさが決められるのである。同じことが分子-金属水素境界にも当てはまる。さて、SL9 彗星による音波モードの励起はいかほどであろうか? 衝突エネルギーが 10^{21} Jの場合(密度 1 g/cm^3 , 半径 0.5 km の彗星に相当)、残念ながら個々のモードの速度振幅は高々 1 mm/sec にも満たない。 1 km 程の彗星は木星にとってはチリにも等しいということである。モードとしてはそうだが、衝突直後の伝搬波は振幅数 100 m 、温度にして 0.01 K 程の擾乱を与える。これ自体も簡単には検出できないが、赤外での測光を行ない、広がる波紋に合わせてピクセルをスタックすれば観測できると予測されていた。

4. 湿潤大気層を伝播する重力波

気圧数百mbのところにはアンモニアの分厚い雲で覆われており、その下の大気組成を詳しくすることはできない。大気組成が太陽からどれだけ違っているかを定めることは、木星大気形成に対して大きな制約となる。水の存在量もまだ良く分

からない重大な問題である。アンモニアの雲の下には水の雲が存在しているはずである。そこでは対流圏にありながらも、湿潤断熱のため浮力による復元力が働く。この層は重力波モードの良い導波層となる。水の存在度が多ければ、浮力振動数は大きくなり、重力波の伝搬速度も大きくなる。したがって、彗星落下地点から広がる重力波モードを検出することができれば、水の存在量も押えることができる。太陽元素存在度程度の水の量を仮定すると、重力波モードの伝播速度は約 130 m/sec であり、 10^{21} J の衝突では温度擾乱は 1 K 程にもなる。筆者等もこの重力波を捕らえようと 7 月下旬に岡山天体物理観測所の口径 2 m 望遠鏡を用いて、木震観測を行なった。しかしながら、天候に恵まれず 7 日間の観測割当てで 2 夜分のデータしか得られなかった。記録の取れた日も曇がちの天候で、十分な光子量を得ることができなかったのは大変残念である。

5. 木震の観測

1992 年に木星振動を観測し、検出に成功したという報告がフランスのチームによってなされた。彼らの結果によると、観測された基本周波数は標準モデルのものより若干低いものであった。この結果から彼らは水素層とコアの境界は明瞭なものではなく、水素層にコア物質が溶け込んでいるとするモデルを支持すると議論している。最近の高圧実験は水素分子層では以前考えられたものより音速が若干低くなることを示した。観測基本周波数が標準モデルより低いことは、この実験事実と矛盾しないが、観測を全て説明できるほど音速は低くならない。コアの大きさは如何程か？ コアは金属水素層に溶けているのか？ 分子-金属相転移は 1 次相転移か？ 木星の形成・進化を考える上で基本的な問いに我々はまだ十分に答えることができない。SL9 彗星の衝突による木震の励起が期待される所以である。しかしこの寄稿の執筆時点で筆者の耳に検出の朗報はどこからも入って

来ていない。

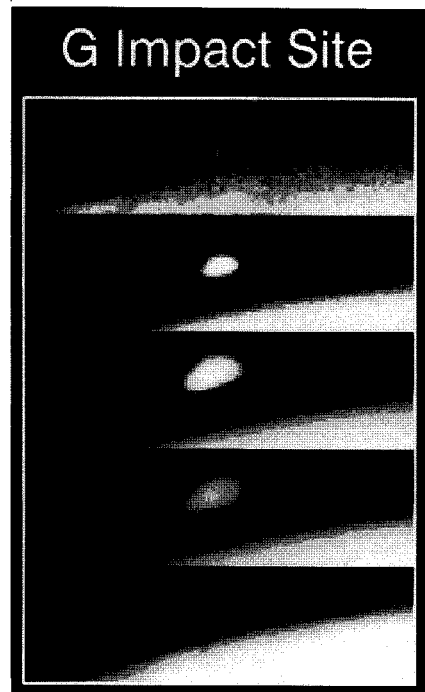
小林直樹 (東京大学理学部)

Jovian Free Oscillations and Internal Structure

Naoki KOBAYASHI

Department of Astronomy, University of Tokyo

Abstract: This letter is an introduction to Jovian Seismology. We review some ideas on standard models of Jovian structure and explain seismology is a very important for researches into the structure and evolution of Jupiter.



ハッブル宇宙望遠鏡が捉えた G 核衝突後に立ち上がった巨大なきのこ雲の変化 (© NASA/HST)