

Comment 惑星内部構造について

清水 幹 夫 (お茶の水大理)

惑星内部構造の問題は，その上層大気の問題とともに，最近恐る恐るながらここかしこに唱えられ始めた「宇宙物性論」の好個な研究対象であると考えられる。惑星は高温高圧の凝縮系ではあるが，天体としては密度が殆んど圧力で決まる「cold body」であり，構造決定の問題を温度分布の問題と一応切り離して論じ得る。そこで planetary matter を仮定し，その状態方程式を導けば，数学的モデルを解くことによりその bulk properties が求められる。とはいえ，熱学的研究は，温度がエネルギー収支のパラメータという天体物理学的重要性を持つ外に，地球以外には地震学的データが無いという理由から，物質がどういう凝縮状態にあるかということを決める役割をも荷っており，結局前の問題とからんで来る。これらの難点は，急激に蓄積されつつはあるが未だ乏しい観測データ——質量，半径，慣性モーメント，磁場，平均温度，表面状態など——の分析だけからでは解決困難なので，その間をつなげる物性論的知見・洞察が要望される訳である。

一番豊富な側面を持つのは，質量が大きいため hydrogen planets と思われる木星族惑星，Jupiter と Saturn である。これらの中心圧力は一億気圧にも達するので，solid hydrogen の相転移，その plasma への移行形態などが調べられなければならない。molecular crystal の内部エネルギーが二体ポテンシャルを総和することによつて計算されているが，ポテンシャルのとり方によつてかなり違つた結果が出てきてしまう。また b.c.c. 型 metallic hydrogen については，Wigner-Seitz 式の計算がなされているが，その binding energy が 10 kcal と小さいので，電子の spatial correlation の影響が強く効き，核間距離の小さい辺での改良が大へ

ん望まれる。これらをつなぐ相転移の限界圧力を出すことは、微分値を要求されるので一層厄介であるが、shock wave で金属化成功という話もあるので固体論的にも興味をそそる。もつと高圧になつて問題が Thomas-Fermi 流に取り扱えるようになる迄にも、別種の高圧安定な固相が存在するか、Landau が示唆したように metallic liquid から dielectric liquid への相転移が可能か、pressure ionization が一次の相転移か、といった未解決の課題が目白押しに並んでいる。木星からのマイクロ波と電波バーストは極で 50 gauss, 放射能帯で 2 gauss 程度の磁場の存在を明らかにした。木星の自転周期は 10 日ほどだから、dynamo theory から言つて liquid core がありそうである。バーストの分析は、その磁場に quadrupole part があることを思わせもして、上層大気の問題とからみ興味深い。木星と土星の表面温度は、solar radiation との平衡から予想されるよりもだいぶ高く、内部からの同程度の heat supply を考えさせる。こうして温度分布の検討が極めて望まれるが、それには高圧下の solid hydrogen の thermal, electric, optical な性質、それに対する不純物の影響などを研究しなければならない。

もつと外側の海王星、天王星となると組成の解釈でも二つの説が対立している。一つは H_2 が惑星形成時に逃散して He planets になつていると見て取り扱つていくやり方である。高圧により s-p band が重なる付近での solid helium の計算結果は band theory の破綻をみせつけるだけなので、状態方程式は実験と Thomas-Fermi 理論を内挿した程度で逃げを打つ。もう一つは chonno material (C, H, O, N, Ne が宇宙組成の割で混じり、その水素化合物が現在残つていると考える) の planets とする見方である。 CH_4 , H_2O , Ne では二体ポテンシャルを低圧実験や衝突現象から推定して分子結晶エネルギーを出す。metallic NH_4 についてはまず一中心展開で分子内ポテンシャルを求め、更に Wigner-Seitz 法を適用した計算を使う。

どちらでも一応の結果が出るから，基になつた物性データのクリティークが大切である。

地球型惑星となると，軽い元素は逃げ去つていたので，Si, O, Fe, Mg, などからできた物質の高圧実験解析が中心問題となる。Venus と Mars は Earth での Bullen model から出した質量半径曲線の上になんとかのる。Mariner II の磁気，プラズマ流，宇宙線測定から，Venus 双極磁場強度は存在したとしてもせいぜい地球の 5 ~ 10 % という結果をもたらしたが，radar 反射実験から自転周期は約 250 日とでているので，dynamo theory は一応 consistent らしい。また，高温高圧実験技術の進歩により Mars の中心圧力が static に出せるようになったので，Ramsay model からは無いはずの core の実在性が身近かに議論できそうであり，磁場のロケット測定が待たれる。Mercury は比重が大きく Bullen model では全然扱えない。太陽に近いので mantle 蒸発説もあるが，形成時に solar wind で吹きまかれて軽い元素が始めから少ないという見方もある。このように，一番内側と一番外側の惑星の議論は太陽系起源の最近の考え方に密接に結びつかねばなるまい。月の中心圧力は約 5 万気圧であるから，今や完全に実験可能範囲となつた。その Maxwell relaxation time は 1000 年ほどなので，月の年令と比べる rheological には極めて柔かいことになり，mantle convection が効いていそうである。AIS によつて撮られた月の裏側の写真では mare が一つしかなく，表側が mare であばた面をしているのと対称的である。月には core が無さそうだから，その粘性流体振動の球面函数解析では $l = 1$ の項が最大のはずであり，この観測に一致する。

地球の場合に問題となつた Simon 式の理論的裏付け，Birch 式と Thomas-Fermi 式の関係，高圧における Bulk modulus の圧力依存性などの検討が，他の惑星の場合にも同様重要な意味をもつことは言う迄もない。また他にも問題が残っているが，文献と共に割愛させていただく。