



Stellar Magnetism

Leon Mestel 著

Oxford University Press, 656 ページ, £ 87.50

専門書

お薦め度

☆☆☆☆☆

この Mestel の著書を手にした時にふと 50 年ほど前に、Unsöld の *Physik der Sternatmosphären* を手にした時のことを思い出した。それ以前の天体物理の本格的テキストとしては、古今の名著 Eddington の *Internal Constitution of Stars* があったが、これは専門書というよりは自然哲学としての天体物理学の書であった。Unsöld は、研究に必要な知識を広く与えるという意味で 20 世紀前半を締めくくる初めての天体物理の専門書であった。同じ意味で、基礎から広範囲な応用に至まで間然する所の無い Mestel のこの書は 20 世紀の掉尾を飾る本格的専門書である。

Leon Mestel の名前が、天文学界で広く知られるようになったのは Mestel-Spitzer (1956) からではなかったであろうか。それより少し前から約 50 年の間、天体プラズマ電磁流体の研究の発展に指導的役割を果たしてきた成果の集積がこの著書である。

大学院に入り、天体磁場に関心を持った人はまず序章に続いて第 2 章理論的基礎を丁寧に読むとよい。この章には基礎理論が詳細にかつ手際よく述べられている。一見、平易に書かれているが、この章は Mestel 流の真骨頂がよく出ていて完全に理解するのは容易ではない。しかし、Alfvén, Cowling, Spitzer, Schlüter や彼自身によるプラズマ物理と電磁流体力学の橋渡しが実際に問題を研究する立場で実用的に纏められている。読者は、自分の理解の範囲でまず一通り読む努力を惜しんではならない。既に、この方面で業績を上げている人も Mestel 流を会得しておいて損は無い。理解がよく出来なかった人は、実際の問題に出会ってから再

びこの章をひもといて考え方のヒントを得ると同時に深い理解に達することができる。また、この本の構成もそうなっていて、後章のダイナモ理論や星形成などの基礎になる理論式はすべて第 2 章に直接又は間接にリファアされている。

何故 Mestel 流が実際的かは、天体の流体力学に於ける熱力学の本質的関与とその扱いを考えると、電磁流体に於けるプラズマ物理の本質的関与が類推されて理解できるように思える。流体力学が完結した系をなす為には、圧力場を与える必要があり、状態方程式や粘性などの物性を与えても、非圧縮性を仮定しない限り、熱エネルギー式を連立させなくてはならない。

磁気流体の場合は、通常の流体と違い本質的に電子とイオンを含む多成分系なので、温度のようなスカラー量だけでなしに、電場・磁場・電流といったローレンツ変換するベクトル量が本質的に関与する。速度場は運動方程式で、磁場と電場はマックスウェルの方程式で記述するとして、前者にはローレンツ力を通して後者には生の形で電流密度 j が入ってくる。この電流密度 j は、一般化されたオームの式として定式化されるが、その定式化には、電子とイオンの磁場・電場・温度場・速度場中の振る舞いの影響が入り、従って、プラズマ物理全体が関与してくる。磁気流体 (MHD) としてマクロの問題を扱う場合、電流密度 j の入り方は磁場や速度場と非線型に結合しているの、問題に応じてどの近似がよいかも変わり、それを一般的に論ずる手腕は Mestel 一流のものである。この章は、1. Maxwell's equation and MHD approxi-

mation, 2. Cosmical plasma, 3. A fully ionized gas: two-fluid model, 4. The energy equation, 5. Kinematic coupling, 6. Dynamical coupling, 7. Three fluid model, 8. Anomalous resistivity からなる。非線型性は、電流密度 j の定式化に入るだけでなく、全体を力学系として見た場合、プラズマ不安定性や対流不安定性と結合して Anomalous resistivity を生じ、更には、後章にあるダイナモ作用、磁場のリコネクションなどに繋がる。

第3章は、Applications であるが、天体磁場への具体的応用ではなく、理論的に理想化された概念的応用で第2章の演繹である。1. Magnetosonic waves, 2. MHD shocks, 3. Self-gravitating systems; the virial theorems, 4. Magnetostatic equilibrium; force-free fields, 5. Magnetic helicity, 6. Stability, 7. Effect of dissipation; reconnection, 8. Macroscopic dissipation, Appendix: Poloidal and toroidal fields からなる。

天体磁場構造の最大の特徴は、大きなレイノルズ数・磁気レイノルズ数にあり、対流不安定性やプラズマ不安定性があると非線形性と結合して大きなマクロの構造から小さなミクロのスケールへとエネルギーのカスケードを起こし、その過程で多次元のフラクタル構造を持つ複雑系をなすことである。この場合、非線型性から容易に乱流が発生するので、予め渦粘性、渦熱伝導度を導入しておくマクロの運動と矛盾なくそれらを決めてやるのが実際的な方法である。しかし、そうすると運動エネルギーの散逸が生じ、温度分布圧力分布が変わりそれらを定める熱力学を同時に扱うことになる。第4章: Magnetism and Convection; 第5章: Magnetic Fields in Stellar Interior; 第6章: Stellar Dynamos と続くのは、正にその機構の具体的表現を記述したものと理解できる。

こんな調子で全巻を紹介できればよいが、そうすると通読するのに一年くらいかかりそうなので、あとは各章のタイトルだけあげることにする。第7

章: Magnetic Braking of Stars by Winds; 第8章: Late-type Stars; 第9章: Early-type Magnetic Stars; 第10章: Pre-Main Sequence Stars; 第11, 12章: Magnetism and Star Formation I, II; 第13, 14章: Pulsar Electrodynamics I, II. Mestel の碩学さは、エチカを書いたスピノザに通ずるものがあり、本当のラビとはこういう人なのであろうか。

最後に、天文月報の読者に対しては、昨年3月号に始まり、8月号、9月の特集号と続いた岡本の“Anti-Collimation Theorem”に関する大論争について触れねばなるまい。Mestel のこの本では、これに関する議論は主として第7章に論じられているが、そこでの結論はまだ完全ではないようである。回転星からの定常軸対称の磁気星風は、すべての磁力線が軸に漸近して行くことはない、分離磁力線の作る円錐を境にして、赤道に近い部分の磁力線は逆に開いて行く、というのがこの定理で、そうでないと電荷が永年的に星に貯まってしまうというのが物理的説明である。その意味で、岡本の反漸近集束定理は Cowling の反ダイナモ定理(軸対称ダイナモは成立しない)が質量の発生又は消滅の特異点を許さないことを証明にしたのと似ている。一方、桜井(隆)のモデルは、反集束領域を赤道面に縮退させたもので、桜井は恒星磁場構造の進化の自然な結果としてそのモデルが成り立つであろうことを言った。進化という長年変化を暗に含む意味で、定常を僅かに崩したモデルと考えることも出来る。

特集号の寄稿者は、上野宗孝、工藤哲洋、内田豊、新田伸也、柴田晋平、堀内真司、福江純、岡本功の各氏であったが、読者にとっても寄稿者にとっても、実のあるよい議論であった。寄稿者の多くは直接間接に Leon と学問的繋がりを持った人たちであることを付記してこの書評(?)を終りたい。

海野和二郎

.....
 学会員には 15% の特別割引あり。オーダーフォームは D.Gooley さん <gooley@oup.co.uk> まで。