まえがき

常に荘厳で、いつも劇的に美しい銀河。銀河は宇宙の構成する基本的な素材である。好奇心を持つ者であれば、銀河がどのようにして出来上がり、どのように機能しており、遠い未来にはそれがどのようになって行くのかを知りたいという気持ちを止めることはできないであろう。こうした疑問に答えるための主要な道具こそ恒星系力学、すなわち相互重力作用の影響下で軌道運動する多数の質点の運動に関する学問である。本書の主要な目的は、銀河構造に関する研究の遂行に必要とされる水準の恒星系力学の背景知識を読者に提供することにある。

銀河はその存在自体がとても重要であるばかりでなく、新しい物理法則を得るための鍵をも与えてくれる。例えば銀河の形成は初期宇宙の性質と密接に結び付いているし、銀河内に存在すると思われている暗黒物質は何らかの未知の素粒子から構成されている可能性がある。また銀河は、非常にしばしば極限的条件下での物理法則を研究するための巨大な実験室として使われて来た。それに加えて銀河の研究は、理論物理学の他分野で発展して来た多くの強力な道具を応用する機会を物理学者に与えている: 古典的な天体力学、現代的なハミルトン力学、流体力学、統計力学、プラズマ物理学がもっとも関連する分野である。量子力学自体が必要とされることはほとんど無いが、量子力学の初期の過程で発達した数学的技巧は銀河力学でも常用される。

その背景の巨大な広がりにも関わらず、理論物理学の他のどの分野と比べても、銀河力学の研究を行う物理学者は最前線の知識に素早く到達することができる。その理由のひとつは、銀河力学の本質的事項が学部学生水準の物理学を学んだ者であれば誰にでも容易に理解できるものだからである。また、劇的に増加するであろう新しい観測事実の洪水—ハッブル宇宙望遠鏡の打ち上げ、および次世代の大型地上望遠鏡が利用可能になることによる知識の洪水—に理論家が必死に追い付こうと努力しているためでもある。そして恐らく最も重要な理由は、銀河の構造を理解するためにここ二三十年の間行われて来た研究、特に理論的な研究に払われた努力は、同様な関心と重要性を持つはずの他の多くの研究分野に払われた努力に比べ、遙かに小さなものであったという事実である。

本書では銀河力学が理論物理学の一分野であるという立場を採用する。従って、本書は学部水準の標準的な物理学の知識を持つ読者を対象としている。その一方で、天文学の背景知識の有無については読者に対して何も仮定していない (もちろん初歩的な天文学の知識を身に付けた読者であれば、何らかの利があることは言を待たない)。本書に関連する銀河についての観測的事実は冒頭の導入の章に纏められている。

急速に進展する学問分野の教科書を書く楽しみのひとつは、様々なトピックや研究領域を適切に構成し、それらの相対的な重要性に序列を付ける作業について、自分自身の見方を宣伝する機会に恵まれることにある。このことは、銀河構造の研究に代表されるように、影響力のある教科書がこの半世紀の間に数えるほどしか書かれて来なかった研究分野に於いて特に事実である。古典的な教科書である Chandrasekhar の *Principles of Stellar Dynamics* (1942) や Ogorodnikov の *Dynamics of Stellar Systems* (1965) は今やまったく時代遅れであり、主として歴史的な興味の対

象でしかない。最近の寄与と言えば Dimitri Mihalas の手による学部学生向けの教科書 *Galactic Astronomy* (1968) であるが、これも既に版元品切れである。本書は、1975 年前後に J. P. Ostriker が Mihalas の教科書を二分冊の大学院生用教科書 (第一分冊は観測、第二分冊は理論に主眼を置くもの) へと増補改訂することを私達に奨めたことが契機となって生まれた。第一巻 (観測について) は再び *Galactic Astronomy* という書名を与えられ、Mihalas と Binney によって 1981 年に出版された。本巻は観測ではなく理論に関する書となっており、*Galactic Astronomy* に伴う、あるいは相補する書を意図して執筆されている。

導入を除くすべての章には章末に演習問題が掲載されている。多くの演習問題は、本文中では十分にカバーし切れなかった主題をわかりやすく解説するためのものである。演習問題の難易度は冒頭にある角括弧で括られた数字により示されており、[1] (易) から [3] (難) までがある。六個の章にはひとつあるいは複数の補遺が付随している。補遺は巻末にある。例えば、補遺 5.B は第五章で扱われている題材に関連する第二番目の補遺である。

天体物理学での表記法に於いて困ったことのひとつに、「近似的に等しい」ということを如何にして示すかということがある。これについて私達は、数桁まで有意に等しい場合には "$=$" を用い、桁が等しいという場合には "$\approx$" を用い、両者の中間の場合にはすべて "$\simeq$" を用いることにした。証明の終了は横向きの三角形、"$\triangleleft$" にて示している。

私達は専門用語の使用を最小限に留めるように努めたが、二三の略語を使うことによる効率の向上に逆らうことはできなかった。例えば、分布関数 (distribution function) は本書全体を通じて "DF" と記されており、初期質量関数 (initial mass function) は "IMF"、二乗平均の平方根 (root mean square) は "RMS"、という具合である。

本書を準備する間、多くの仲間達が忍耐強く且つ熱烈に私達を支持してくれた。彼らには深い恩義を感じている：John Bahcall, Mordehai Milgrom, J. P. Ostriker, Martin Rees, そして Hugo van Woerden は、プリンストンの高等学術研究所、レホヴォットのワイズマン研究所、プリンストン大学観測所、ケンブリッジ大学天文学教室、およびグロニンゲンのカプテイン研究所への長期の訪問を企ててくれ、その間に本書の大部分を執筆することができた。Sandra Faber, Ken Freeman, Ortwin Gerhard, Douglas Heggie, Steve Kent, Blane Little, Dimitri Mihalas, Lyman Spitzer, そして Simon White は草稿のひとつあるいは複数の章についての多くの有用なコメントを残してくれた。Alar Toomre は草稿全般に関して建設的な批評を行ってくれたし、同様な批評は Nick Kylafis と Stefano Casertano が運営する高等学術研究所の "shotgun" セミナーの参加者からも受けることができた。他の仲間達も、本書で用いる図解のためにデータやオリジナルの印刷物・原図を供給するよう特別に努力してくれた。David Malin, Allan Sandage, そして François Schweizer は銀河や星団やその他の天体の 2 ダース以上もの写真のための買物リストを作製してくれた。Alar Toomre は幾つかの極めて美しく精巧な図版を作るのを手伝ってくれた。van Albada は私達のために N 体数値シミュレーションの結果を再び図にしてくれた。そして Sverre Aarseth は、彼の N 体数値計算コードを補遺 4.B のために特別に短縮し、供給してくれた。本書の企画の初期段階では、Dimitri Mihalas が膨大な時間を割いて多くの助言を与えてくれ、私達はこれに特別な感謝の意を表している。

最後に、J. P. Ostriker に感謝を捧げたい。彼は本書の企画を最初にけしかけてくれた人であり、本書の構成の決定にも参加し、多くの議論を明確化あるいは改善し、プリンストン大学出版会に於いては私達の擁護者ともなってくれた。そしてもっとも重要なことは、恒星系力学に関して私達が知っている物事の多く—ことによるとその殆ど—を教えてくれたのは、J. P. Ostriker その人なのである。