まえがき

半世紀前、S. Chandrasekhar はその賞賛され成功した本[1] の序文に以下のように記した。

> このモノグラフでは、古典力学—天体力学と同様な範疇の学問のこと—の支流のひとつとしての恒星系力学の理論を記すという試みがなされている。[...] 実のところ、現代の恒星系力学理論の問題の幾つかは極めて厳格に古典的であり、それらがもはや、例えばヤコビの講義録 (Jacobi's Vorlesungen) に於いて議論されていないということを信じることが困難なほどである。

それ以来恒星系力学は、現象論を理解する際に直面する問題を見る立場としては基本的に三種の見地から、幾つかの方向と様々な水準で発展して来た。大雑把に言えば恒星系 (星団や銀河など) は、天体力学 ($N \gg 1$ の N体問題)、流体力学 (連続体として表現される系)、あるいは統計力学 (系を構成する要素の位置と運動状態の分布関数を定義する) の立場から考察することができる。

この三種の異なるアプローチは勿論、お互いを排除するものではなく、或る種の問題の扱いに於いては共存することが頻繁にある。様々な問題は、関連する分野から得られる道具を使って上記のいずれかの見地から見られるように還元され模式化される、と私達が主張したとしても、それは自明なことのように聞こえるであろう。けれども、(N体問題に関して数学者が為した膨大な量の仕事のことを考えると) 逆説的に聞こえるかもしれないが、恒星系力学の研究者からは殆ど見向きもされなかったのがこのうちの第一番目のアプローチ (天体力学的なもの) である。少なくとも、恒星系力学の分野に於ける研究の進歩を考えればこのアプローチはもっと注目されて良かったはずだが、さっぱり注目されて来なかったアプローチであるというのが私達の意見である。Chandrasekhar の著作が出版されてから現在に至るまでこういう事態が実際に生じて来たのであれば、それは (私達の考えでは) 以下のふたつの理由に因っている。

第一の理由は、天体力学から得られる結果は常にごく僅かの数の天体に関するものであり、恒星 (多体) 系力学には適用できないと信じられていることに関係している。より具体的な言葉で言うと、天体力学の問題を扱う人々(数学者) と恒星系力学の問題を扱う人々(天体物理学者) の意見交換はいつも最小に留まるという状況が続いて来たとも言える。この点については後に再度触れる。

二番目の、そしてずっと最近の理由は、猶も成長を続けていてともかくも圧倒的な計算機の使用に関係するものである。かつての十年間は特に、解析的な研究に関して数値計算がその重要な立場をどんどん強くして来た。疑いなく、計算機は或る種の問題を研究するためには飛び抜けて強力な道具である。けれども、私達の考えでは、計算機は解析的な研究を避けるための近道としてではなく、解析的な研究に集中するために使われるべきものである。即ち、計算機は解析的な研究を代替するのではなく、解析的な研究を推進するべきものである。このことは、Hénon と Heiles

[1] S. Chandrasekhar: Principles of Stellar Dynamics (University of Chicago Press, 1942; reprinted by Dover, New York, 1960), p. VII.

のかの有名な論文[2]、数理物理学のひとつの支流への新しい地平を開いた論文の目的であった。その上にこの論文は恒星系力学の内容をも扱っており、これは上述した言及がいかに本質的であるかの証左となるものであろう。

私達は更に、天体力学の問題の (初歩的ではない) 知識が恒星系力学の問題を扱う際に不可欠であるということを確信している。その上、これら二つの分野に鮮明な境界があるべきではないと考えている。この考えが私達をして対象の全領域を、二冊ではあるが単一の書籍として執筆せしめた。私達の目標は従って、天体力学と恒星系力学の基礎を構成する問題に関して出来る限り完全で明快な説明を天文学や天体物理学の研究者に与えることにある。それ故に、後者 (恒星系力学) としてこの書籍で採用されたアプローチは前述したうちの最初のもの (天体力学) である。

数学的および物理的な文化は極めて明確に異なっており、時には、お互いを理解することが困難な場合もあるという事柄については今や一般的に合意されている。私達の考えでは、この状況は、科学的学習の専門分化がますます進行することにより、天文学と天体物理学の領域にとってはとりわけ深刻なダメージを与えている。

過去に於いては (私達は 1920 年代に終焉した 『黄金時代』のことを言っている)、天文学者と天体物理学者は数学や物理学の最先端の知識を活用することができたのであるが、現代ではそんなことは不可能であるばかり、思い付きすらしない。天文学と天体物理学の大学教育は圧倒的に 『物理型」である。数学的な道具の獲得はいかなる数学の論文 (数理物理学や微分方程式の理論など) を読むにも不足するものである。そうした数学的道具は或る種の研究に於いては必要不可欠なのに、である。自分自身の特殊な言語の中に隠居したいという抗し難い傾向が誰のうちにも (それ故に数学者にも) あると言うことも理由のひとつである。天文学者と天体物理学者は、彼らが扱う事象の本質故に、物理学者や数学者によって得られた結果を研究手段として用い続ける必要がある。後者 (数学) の場合には、上述した理由によりそれはどうしようもなく困難であり、時にはまったく不可能である。Poincaré, Jeans, Eddington のような人格が居た時代と文化的環境は二度と戻って来ることがないことは明らかであり、そのことは私達も確信している。しかしながら、現在の状況をより良くするための何かを行うことは出来、また行わなければならないということも私達は確信している。

本書を計画し、また執筆する際の私達の目的は、ここ数十年間に達成された成果の幾つかを数学的側面から天文学的 ・天体物理学的側面へと渡し船に乗せて渡すことであって、それは太陽系、恒星系、銀河の力学などを扱う誰にとっても重要であると考えている。この種の作業に於いては、渡し船が過積載であるとか、船頭が熟練していないとかの理由によって何かを渡し損ねるということが発生し得ることは明らかである。けれども私達は、この種の損失を許容できる範囲内に納め得たと考えている。隠喩を続けると、渡し船が到着する側に居る人々に、私達は大学院中期水準 (微分積分、微分方程式、ベクトル微積分, ...) の準備があると仮定している。

或る教科書から他の教科書へと読者が移動し続ける時間を省くために、少なくとも理解の第一段階に於いては私達は自己完結的な扱いを提供すべく最善を尽くした。同時に私達は、参考文献リストの詳細も含めて不可欠な情報を提供することで、個々の議論の深化を容易にするためにも努力を払った。

私達が仮定した視点は 『問題」を議論することであり、様々な応用の詳細に踏み込むことではない。私達は基本的な問題 (例えば数学モデル) を選び出し、上述した数学的知識を持った読者に対してそれらをできるだけ明確で読み易いやり方で提示しようとした。私達はまた、読者が学部

[2] M. Hénon, C. Heiles: The application of the third integral of motion: some numerical experiments, *Astron. J.* **69**, 73–79 (1964).

学生の水準での天体力学の知識を十分に、例えばDanbyの秀逸な教科書[3]から得られる程度には身に付けているものと看做している。

伝統的に天体力学に関する古い教科書は、摂動論にとって不可欠な道具であるハミルトン力学にひとつの章を割いていた。私達もこの伝統から逃れておらず、第一巻では力学および力学系に関して厳選された話題についての一章を設けている。第二章は二体問題を扱っているが、(本書の読者なら既知のはずの) 伝統的な解説を置き換えるつもりはなく、更なる発展に繋がる問題の特徴点を単に強調するためのものである。その後に同様な精神で続く第三章と第四章 (N体問題と三体問題) では、原著論文に於いてのみ見られた結果に多くの紙面を割いた。第五章は、私達としては、常々同意されているように、天体力学と恒星系力学の中間に位置する。第二章から第五章までの四つのすべての章に於いて、幾つかの目新しい (と私達は信じる) 題材と最近の結果の解説の他に、伝統的に認められた古典的な議論を残している。後者については時折り、その仕事が今や古典と看做され、各章の注に於いて言及されている著者達の説明から、私達の「インスピレーション」を引き出した。

第二巻に於いては、古典的な問題から始まってKAM理論まで、そしてLie変換の使用の導入に至るまでの摂動論に最初の三章を割いている。断熱不変量および天体力学と恒星系力学に於けるその応用については丸々一章を当てて扱っている。共鳴の理論についても例示し、天体力学と恒星系力学の双方に於ける応用も示している。周期解に関連する古典的および現代的な問題が概観されている。保存系でのカオス理論の現代の発展の記載は、近可積分系と非可積分系の双方で起こっている物事への導入が与えられている章の主題である。低自由度系と大規模なN体系の両方についての幾つかの数値算法とその応用が例示された最終章では、長時間に亘る力学系の振舞いの探索に於いて計算機から供給された極めて貴重な支援が認知されている。

謝辞

この書籍を執筆し、編集し、出版することを援助し忠告してくれたすべての人々に、この場を借りて感謝の意を表したい。この仕事を推進すべきであると励ましてくれたCarlo Bernardiniと、この仕事を出版すべきであると勧めてくれたGiancarlo Settiには暖かい感謝を捧げる。本書の最終版の改訂と編集 (いかなる誤りがあったとしてもすべて筆者の責任である) の間にCattello Casarano, giovanni De Franceschi, そしてMaria Rita Fabbroが提供してくれた支援に対しても感謝することが出来、私達はとても幸せである。

最後に、計算機と印刷設備を提供してくれたローマの相対論的天体物理学国際センター (I.C.R.A, International Centre for Relativistic Astrophysics) に感謝したい。

ローマにて, 1995年8月

Dino Boccaletti
Giuseppe Pucacco

[3] J. M. A. Danby: *Fundamentals of Celestial Mechanics,* 2nd Revised & Enlarged Edition (Willimann–Bell, Richmod, 1988).

読者への注[†]

この第二巻では、第一巻に現れた数式は式番号によって参照されおり、巻番号は特定されていない。章の番号付けは全二巻を通じて連続しているので、このことによって誤解が生じることはないと願っている。読者の便宜のために数式が再記されることもあるが、元の式番号は保たれている。

謝辞[†]

当初から私達を助け支持してくれた人々、および第一巻の謝辞で述べた人々に対する感謝の念を再確認したい。大半の図を描画してくれた Chiara Boccaletti, 全ての原稿を入力してくれた Maria Rita Fabbro には特に感謝したい。

助言と指導を惜しまなかった W. Beiglböck 教授、評価できないほど貴重で何物にも置き換え難い寄与を果たしてくれたハイデルベルグの Springer-Verlag のスタッフ、および担当編集者の Mark Seymour には特別な感謝を捧げたい。

最後に、本書の執筆に要した四年の間、辛抱し、励まし、精神的な支持を与えてくれた私達の家族に感謝したい。

ローマにて, 1998 年 9 月

Dino Boccaletti
Giuseppe Pucacco

[†](訳注) 第二巻の preface にあるもの。