

# 地球流体力学 講義ノート

岩山隆寛

2013 年度版

# ガイダンス

## 授業のテーマと目標

流体, 流体力学, 地球流体力学とは... 物質の三態, 即ち, 固体, 液体, 気体のうち, 液体と気体は力を加えると変形し, 流れるという共通の性質を持っている. そこで, 気体と液体を総称して流体 (fluid) と呼び, その運動を調べる学問分野が流体力学 (fluid mechanics) である.\*<sup>1</sup> 地球 (さらには惑星) 上に存在する大気や海洋を一括して地球流体と呼び, これらの運動を考察する学問分野が地球流体力学 (geophysical fluid dynamics) である. 気体である大気と液体である海洋の運動が統一的視点で研究できることは流体力学の結論であるが, さらに大気と海洋は, 自転する惑星上でなおかつ重力場中に存在しているという点で同じ環境に置かれているので, 共通の性質を持つであろうことは推測できる.

地球流体力学の学び方, この授業の目標 地球流体力学は, 通常, 流体力学を学んだあとに, その応用・発展 (回転系上の密度成層流体の力学) として論じられる. すなわち, 通常の地球流体力学のテキストや講義では, 流体力学は既知であるとして議論が始まっている. しかしながら, 本学理学部では流体力学の講義が開講されていないので, 本講義では, 密度成層や系の回転の効果を考慮しない流体力学の基礎から解説する.

流体力学は, 小さなスケールでは血管の中の血液の流れから, 大きなスケールでは星間空間物質から星や惑星が形成される過程など, 時間的にも空間的にも非常に幅広いスケールに適用され, 応用範囲が広い. 地球惑星科学関連の学問分野では, 気象学, 海洋学, 宇宙物理学で流体力学が応用されている. 流体力学のこれらの分野への応用例は他の授業に譲る. 授業科目名は「地球流体力学」であるが, どの分野に進むかに依存することなく, 地球惑星科学の学生として持つべき流体力学の基礎知識について解説することを目標とする.

---

\*<sup>1</sup> 橋やダムなどの流体中に存在する物体が流体の運動によって受ける力や, 流体中の物体と流れの相互作用の研究も流体力学の範疇であるが, これらはどちらかといえば工学的な流体力学であろう.

## 成績の評価方法

学期末に行う試験もしくはレポートにより評価する。

## 教科書・参考書

幾つか推薦図書を挙げておく。将来、大気や惑星宇宙物理学の研究室への配属・進学を志す人は流体力学のテキストを一冊ぐらいいは手元に持っておくことを勧める。また、できれば「研究者向け」と紹介されている本は、一度は手に取って眺めて欲しい。

### • 流体力学

#### 1. 木田重雄, 「なっとくする流体力学」(講談社)【初学者向け】

講談社の“なっとくするシリーズ”の1冊。著者は流体力学, 特に乱流理論の世界的に有名な研究者であり, 近年「乱流力学」という450ページの大著も著している。他の“なっとくする”シリーズと同様に, 難しい数式を極力減らし, 基本的な考えを丁寧に解説している。またベクトル解析の詳しい説明が付録についていることも特徴で, ベクトル解析の教科書としても適当である。

#### 2. 巽友正, 「流体力学」(培風館, 新物理学シリーズ21)【一般向け】

著者は乱流理論の専門家で, 準正規理論と呼ばれる乱流の解析的理論の基礎を提唱した。次に述べる今井功著「流体力学」との大きな違いは, 粘性流体の運動方程式から話をはじめ, 比較的初めの章で波の運動を扱っている点である。また, 今井著「流体力学」では書かれていない「乱流への遷移」や「乱流の統計理論」についての章が設けられていることも特徴のひとつである。実在の流体は少なからず粘性を持っているために, まず実在する流体としての粘性流体を記述する上での概念や基礎方程式の導出を行い, 数学的に扱いやすい理想的な非粘性流体の運動は粘性流体の近似として位置づけている。この本に準じた内容で初学者向けの“巽友正, 「連続体の力学」(岩波書店, 岩波基礎物理シリーズ)”も出版されている。

#### 3. 谷一郎, 「流れ学 第3版」(岩波書店, 岩波全書136)【初学者~一般向け】

流体力学の入門書を意図して書かれた本で, 多くの流体力学の教科書が数学的側面を強調して, 書かれているのに対し, 本書は物理的な解釈に重点を置くように書かれた本である。1967年の出版以来いまだに読みつがれている名著である。

#### 4. 今井功, 「流体力学(前編)」(裳華房) 【一般~研究者向け】

著者は航空力学の専門家で、文化勲章受賞者である。著者は応用数学にも強く、超関数の本も執筆している。今井先生は誠に残念ながら 2004 年秋に亡くなったので、流体力学(後編)は未完となった。この本では粘性のない流体(完全流体)の力学から説き起こし、渦のない流れ、渦運動の力学、そして粘性流体へと議論を進めている。渦運動の章は特に詳しく、世界的に見てもこの本ほど詳しく渦運動を詳しく扱っている本はない。<sup>\*2</sup> 波を扱った章は残念ながら(後編に掲載される予定であった)。なお、この書籍のコンパクトなもの(全書版)として、“今井功、「流体力学」(岩波書店)”が出版されている。(私は大学 2 年生のときにまずこの全書版で流体力学の勉強をした。)

5. G. K. Batchelor, 「An Introduction to Fluid Mechanics」(Cambridge U. P.) 【一般～研究者向け】

著者は乱流理論の大家で、流体力学で最も権威ある雑誌 Journal of Fluid Mechanics の創始者である。残年ながら 1999 年に亡くなった。日本語訳が電機大学出版会から発行されている(訳者:橋本英典,松信八十男)。

6. L. D. Landau and E. M. Lifshitz, 「Fluid Mechanics」(Pergamon Press) 【一般～研究者向け】

物理学を学ぶ者は必ず手にする Landau - Lifshitz 理論物理学教程の 1 冊。Landau は 1962 年のノーベル物理学賞受賞者。東京書籍から翻訳が出版されている。

7. S. H. Lamb, 「Hydrodynamics」(Cambridge U. P.) 【一般～研究者向け】  
1879 年に初版が発行された流体力学の教科書の古典中の古典。著者は Sir の称号を持つ。現在手に入る版は第 6 版。東京書籍から翻訳が出版されている。

● 地球流体力学(気象力学)

1. 小倉義光, 「総観気象学入門」(東京大学出版会)【一般向け】

2000 年に出版された教科書。総観気象学とは、総観規模現象(高気圧や低気圧などの天気図に描かれる程度の大きさを持った気象現象)を扱う気象学の一科である。このテキストは文科系・理科系を問わず大学 1～2 年生程度の学生の気象学のテキストとして名高い小倉義光「一般気象学(第 2 版)」(東京大学出版会)を読み終えた人を対象に、流体力学と熱力学を基礎に気象現象を解説している。序文では程度は理科系の大学 3～4 回生向け、とあるが、私が読んだ印象としては大学院生レベルの教科書である。

2. J. Pedlosky, 「Geophysical Fluid Dynamics」(Springer) 【一般～研究者向け】

<sup>\*2</sup> P.G.Saffma, “Vortex Dynamics”, Cambridge Univ. Press. を除いて。

地球流体力学のテキストとしては最も有名. 700 ページ超の大著である. 2003 年に上記書籍のコンパクト版的存在の「Waves in the ocean and atmosphere」(Springer) が出版された. これはページ数 250 ページほどで 21 の章に分かれていて読みやすい. タイトルにもあるように波に特化した本である.

3. R. Salmon「Lecture on Geophysical Fluid Dynamics」(Oxford U. P.) 【一般～研究者向け】

1998 年に出版された地球流体力学のテキスト. Hamilton 形式の流体力学の章が特徴.

4. G. K. Vallis, 「Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics: *Fundamentals and Large-Scale Circulation*」(Cambridge U. P.) 【一般～研究者向け】

2006 年に出版されたテキスト. 地球流体力学の基礎, 波, 不安定, 大気・海洋の大循環までを扱った 700 ページ超の大著. 演習問題も充実している.

5. J. R. Holton and G. J. Hakim, 「An Introduction to Dynamic Meteorology, Fifth Edition」(Academic Press). 気象力学の代表的な教科書であるとともに気象学の代表的教科書でもある. この本の存在を知らない気象学者(気象学を専攻した学生も含めて)は「モグリ」であると言われるほど有名. 1972 年の出版以来読み継がれ第 5 版が出ている.(私は大学院生の時に第 2 版で勉強した.) 簡単な英語で書かれていて, 専門用語以外は辞書を使用しなくても読めるほどであり, 数式の展開も目で追えるほど丁寧で, さらに数式のあとは必ずその物理的意味やイメージが書かれている. 気象学を勉強しない人でもぜひ読んで欲しい本である.

6. 木村龍治, 「地球流体力学入門: 大気と海洋の流れのしくみ」(東京堂出版, 気象学のプロムナード 13) 【一般向け】

- 気象学一般

1. 小倉義光, 「一般気象学 (第 2 版)」(東京大学出版会) 【初学者向け】

大学の教養課程科目としての気象学のテキストとしては最も有名.

## 連絡先

授業に対する質問や要望がある人は遠慮なく授業中にしてください. 講義を中断してもかまいません. 講義が終わった後で気付いたことは, 私の居室(自然科学総合研究棟 3 号館 502 号室)に来て指摘してくれても結構ですし,

e-mail:iwayama@kobe-u.ac.jp

へ電子メールを送ってもかまいません. とにかく遠慮なくどうぞ.