

# 「大学で学ぶ天文学」

日 本 天 文 学 会  
大学教育の参照基準策定ワーキンググループ

2021年1月1日

## 目 次

この文書の位置づけ.....	2
1 天文学の定義とその特性 .....	3
2 天文学を学ぶことで身につけて欲しい広範囲の素養 .....	9
3 天文学教育内容の分類と対象学生 .....	11
4 対象学生毎の教育目的・目標と教育内容の例.....	13
4.1 文系を含む全学生.....	13
4.2 関連理系分野を専攻する学生.....	14
4.3 天文学を専攻する学生.....	15
4.4 教員・科学コミュニケーターを目指す学生.....	16
参考文献 .....	17
付表 教育内容一覧 .....	18
参考資料 1：教育システムの現状と学修カリキュラムの構成例 .....	29
参考資料 2：天文学・宇宙物理学教育が行われている大学.....	31
参考資料 3：天文学・宇宙物理学の授業科目の例 .....	32
大学教育の参照基準策定 WG メンバー.....	36

## この文書の位置づけ

本文書は、大学で天文学を学ぶ学生および教員の指針となることを企図して日本天文学会が策定した文書です。文部科学省から諮問を受けた日本学術会議は、学問分野毎に「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準（以下、参照基準）」を作成しています[2]。天文学と物理学をまとめた参照基準は2016年10月に公表されましたが[3]、これは物理学・天文学を専門とする学部の専門課程における教育を対象とするものでした。一方、本文書は、理系以外の学部においても、教養課程を含む全ての学生を対象とする天文学教育の参照となることを目指すものです。

この文書で述べた事柄の中には高校の学習科目である「地学基礎」と「地学」に含まれているものもあります。しかし現在、高校でこれらの課目の履修率は低く、大多数の学生にとって大学1、2年次が系統的に天文学を学ぶ最初で最後の機会になっているため、それらの事項も含めて体系的に記述するようにしました。

この文書はあくまで参考としてまとめたものであり、基準を定めようとするものではありません。特に新たに天文学に関する授業を担当する教員の方々、あるいは天文学のカリキュラムを新たに作ろうと考えている方々の「参考書」としても役立つよう配慮しました。天文学教育研究や物理教育研究を中心とした、「学問領域に根ざした教育研究 (Discipline-based education research: DBER)」は現在急速に進展しています[4]。これらの動きも踏まえながら、各教育機関や教育者がこの文書を参考にしてそれぞれの立場や視点から工夫されることを期待しています。なお大学と同等の教育機関（高専など）にも適用されることを想定して、本文書では「大学等」と記す場合があります。

なお本文書の意図と骨子を要約した文章「天文学のすすめ」[1]も、合わせてご参照ください。

# 1 天文学の定義とその特性

## (天文学とは)

天文学は宇宙と天体现象に関する科学であり、宇宙そのものとその中にある天体の性質と起源・進化、およびそこで起きるさまざまな現象を解明することを目的とする。宇宙で起きる現象解明の基礎は既知の自然法則であるが、「宇宙は巨大な実験室」と言われるように、宇宙には、地上では実現できない時間・空間スケールと極限的物理状態が存在する。このため、宇宙で起きる現象の観測から、既知の自然法則の新しい理解や全く新しい法則が発見されることが珍しくない。

宇宙に関する学問分野を表す用語には、天文学の他に天体物理学、宇宙物理学、宇宙論などがある。天体物理学は、天体の位置と運動が主な関心事であった古代からの伝統的天文学に対して、測光や分光という新たな測定法を基礎に 19 世紀中頃から発展した、天体の物理的性質を調べる天文学を指す言葉である。しかし、現代天文学の基礎はいずれにせよ精密な物理測定であり、両者を別の学問であるかのように使い分ける必然性はなくなった。また、宇宙論は宇宙そのものの起源、構造、進化を研究する学問で、20 世紀半ば頃まではほとんど理論研究のみであった。宇宙観測との接点がほとんどなかったため、天文学とは少し異なる学問と見なされることもあったが、ビッグバン後わずか 5 億年にも満たない時代の銀河が観測され、宇宙マイクロ波背景放射の温度ゆらぎが精密に観測されるようになった現代では、天文学の主要な研究分野の一つである。

## (対象)

地球以外の天体は長い間、手に取ってみることのできないもの、その場 (in situ) 観測ができないもの、また、条件制御をする実験の対象にならないものであり、それらが天文学の対象であった。しかし、惑星探査機の登場などにより太陽以外の太陽系天体のいくつかには直接観測の手が届くようになった。このため、固体地球、海洋、大気など従来は地球そのものを扱っていた地球物理学の手法が、他の惑星などにも適用されるようになって地球惑星物理学として発展した。このため太陽系の惑星や小天体等、および太陽系空間の研究は、天文学と深い関係があるものの、独立した「惑星科学」あるいは「地球惑星科学」の一分野として認知されつつある。一方、地球および惑星の磁気圏物理学は太陽活動と強く関連するため、太陽地球系物理学 (Solar-Terrestrial Physics) という分野が確立し、さらに「宇宙天気研究」という学際的分野も生まれている。近年続々と発見されている、太陽以外の恒星を回る太陽系外惑星は、天文学と惑星科学両分野にまたがる対象であるが、さらに生物学、化学など広い分野を含む宇宙生物学の対象ともなっている。

## (研究手段)

天文学の主要な観測手段は、天体から地球に届く微かな電磁波である。20 世紀中頃までは可視光がほぼ唯一の観測手段であったが、現在では、電波、赤外線、紫外線、X 線、ガンマ線という電磁波の全ての波長に渡って天体を観測することが可能である。20 世紀にはまた、宇宙から飛来する宇宙線やニュートリノなど電磁波以外の粒子による観測も開

拓された。ダークマター粒子の直接検出を目指す装置も稼働している。さらに一般相対性理論が予測する重力波が2015年に観測・検出されたことによって、電磁波、粒子に次ぐ第三の新たな観測手段が得られた。これらの手段を宇宙からの情報を伝えるメッセンジャー（配達人）とみなして、多様な情報を総合して宇宙を解明する現代天文学の手法を「マルチメッセンジャー天文学」と言うことがある。

コンピュータは「理論の望遠鏡」ともいわれるほど天文学の重要な研究手段である。宇宙そのものとその中にある天体は実験の対象にできない。コンピュータの進歩により、現実的な条件設定の下で基本物理法則から出発する大規模シミュレーションが可能となり、観測と理論予測を比較する上で重要な役割を果たしている。さまざまなメッセンジャーからもたらされる観測データから新たな発見が生まれるが、データを整理統合した大規模データベースとその分析にはコンピュータが欠かせない。また、宇宙にのみ存在する分子や固体微粒子などの物質を生成・測定したり、宇宙の極限環境を実験室で再現したりする、いわゆる「実験宇宙物理学」も重要な研究手段になりつつある。

### (周辺学問分野等との関係)

天文学は、研究の基礎手段および基礎的法則においては数学および物理学と密接不可分の関係にある。またその研究対象としては、物理学に加えて、惑星科学、地球科学（地球物理学、地質学、岩石学、気象学）の対象と連続しており、それぞれの境界において学際分野を形成してきた。近年では宇宙化学、宇宙生物学が発展し、それぞれ化学、生物学との学際分野として急速に発展している。また、天文観測には光学をはじめとするさまざまな先端の工学技術やデータ解析技術が使われており、工学の諸分野やデータサイエンスも天文学と相乗的発展の関係にある。最近では、太陽活動の変動と地球環境への影響を研究する「宇宙天気・宇宙気候学」という新しい研究分野も発展している。太陽系外惑星系と太陽系の比較研究や第二の地球の探査は、天文学と地球惑星科学共通の研究課題であり、近年急速に発展した宇宙生物学の主要な研究テーマでもある。

初等中等教育課程において天文学は、高等学校においては「地学」の一分野、小中学校では「理科」の一分野としての地学の中で教育がなされている。しかしながら現状において高校の「地学」履修率はかなり低いため、大学で天文学の科目を学ぶ多くの学生にとって、それは系統的に天文学を学ぶ最初で最後の機会になると思われる。

### (天文学は最古の学問)

天文学は最古の学問の一つであり、「人類文明と他学問分野の発展」に貢献してきた。歴史的に、天体现象およびその議論が、神話、伝説、政治、哲学、宗教、世界観、風俗、農耕、暦法、時計、航海術、人工衛星などを通じて、人類の知性の形成、さらには文明や科学の発展に影響を及ぼした。13世紀までに成立した中世ヨーロッパの大学が基礎とした「自由七科」の中の「学問四科」には算術、幾何学、音楽とともに天文学が含まれている\*1。また物理学の発展は天文学と密接不可分の関係であった。16世紀以降の力学の発展

---

\*1 自由七科はこれに文法学、修辞学、論理学の三つを加えたもの。法学、医学、神学はこれら「自由学芸」の諸学とは別格だった。自由七科は現在の大学の「リベラル・アーツ」の起源でもある。

は、天球上の惑星の位置の移動の精密観測が重要な貢献を果たしたし、天体スペクトルの離散性が前期量子論に果たした役割も大きい。一般相対論の検証手段としての水星の近日点移動、最近のダークマター（暗黒物質）とダークエネルギー（暗黒エネルギー）の発見など、物理学の進展に果たした役割は極めて大きい。もちろん逆に、天文学が物理学の進展なしには進まなかったことは言を俟たない。

一方、現代天文学においても、過去の歴史資料から超新星爆発の時刻が同定されたり、逆に過去の日食記録から計算に基づいてその歴史資料が示す時刻を同定したり、歴史学などの人文系分野との関わりがあることは興味深い。

### （ユニバーサルな視点）

天文学は広い視野を持つユニバーサルな視点を獲得しやすい学問分野である。宇宙の空間と時間のスケールは莫大である。空間スケールは、地球から始まって太陽系、銀河系、銀河群・銀河団、宇宙大規模構造から、観測できる宇宙全域（ $10^{23}$  km 以上）にわたる。また時間スケールは、宇宙誕生から現在までの 138 億年（ $4 \times 10^{17}$  秒）に現在から宇宙の遠い未来まで加えた長い長い時間になる。

また宇宙には、極高温から極低温、極高密度から極希薄、極高エネルギーから極低エネルギーなど、物理状態においてもきわめて広い範囲が存在し、しかも多様な組み合わせを見せてくれる。このような広大なスケールと多様な状態を理解すれば、グローバル（全地球的）を超えてユニバーサル（全宇宙的）な視点に立って、その中に自らを置く、あるいは自らの思考を位置付けることができるようになる。

今日、社会ではグローバルな視点の重要性が語られているが、「グローバル」は「国境を越えた世界的な」視点を指す。天文学を学べばグローバルを超えたユニバーサルな視点を持つことができるだろう。天文学で学んだことと社会との関連を注意深く考察すれば、地球温暖化や地球環境の問題にも新しい見方が持てる筈であり、社会のインクルーシブ\*2な発展の重要性にも気づくことだろう。

### （時を遡る）

天文学は「過去を直接観測することができる」唯一の手段を持つ学問分野である。光（電磁波）の速度は大きいといえども有限で、宇宙は莫大な空間スケールを持っている。このことから、遠方の天体を見れば宇宙の過去を知ることができ、観測データに基づいて宇宙の歴史を実証的に解明することができる。このことを特に利用した分野として観測的宇宙論がある。本文書執筆の 2020 年の時点で人類が見た最古の銀河はビッグバン後 4 億年の姿を見せている。現在の観測が届く最も過去の宇宙はビッグバンの約 37 万年後であり、その姿は宇宙マイクロ波背景放射で書き出された。この放射と過去の銀河の詳細な観測から、宇宙の基本構造や、銀河の誕生と進化が解明されつつある。ニュートリノや重力波の観測によって、宇宙マイクロ波背景放射よりも昔の宇宙の情報を得る可能性も議論さ

---

\*2 「インクルーシブ（誰も排除しない）」とは、国籍、民族、宗教、性別や性的特性、障がいの有無などにかかわらず、すべての人を対等に平等に「みんないっしょに」扱う考え方やその状態を指す。エクスクルーシブの反対を意味する語。

れている。

一方、宇宙そのものがなぜどのように誕生したのかについてはまだ十分な理解が得られていない。「時間・空間の始まり」を研究する宇宙起源論は新たな学問の萌芽となる可能性を秘めている。

### (世界観・宇宙観の醸成)

天文学は「世界観・宇宙観醸成」へ貢献できる学問分野である。「世界はどのようになっているのか」という問いは人類にとって永遠の疑問であり、関心の対象であるので、天文学は古代から人類の世界観（宇宙観）や哲学思想と密接な関わりを持っている。天動説から地動説への「コペルニクスの転回」、銀河系と銀河の発見、膨張宇宙の発見、太陽など恒星のエネルギー源が核融合反応であることの発見、などなどの新しい宇宙観の提示は天文学の成果に基づいている。生命の基であり、人類の基でもある多様な元素の起源は、恒星内部の核融合反応や超新星爆発現象などであることも、社会とのつながりの中で忘れてはならない。

現代の天文学・宇宙物理学は、次の二方向で新しい世界観を生み出そうとしている。一つはダークマターとダークエネルギーという未解明の大きな謎であり、宇宙誕生の解明と合わせて物理学との学際領域として大きな発展が期待される。他方、太陽系外惑星の中に第二の地球を発見し、そこに生命の手がかりを見いだせば、それも間違いなく人類の世界観に大きな影響を与えるであろう。このように 21 世紀の天文学は新しい宇宙観の幕開きを準備している。

### (総合科学)

天文学は、研究の手段として物理学、化学、数学、計算機科学、統計学など幅広い理学の分野を駆使する。また理学の中でも、公理を扱う数学、法則を扱う物理学や化学とは違い、歴史・成り立ち（宇宙の始まり、太陽系の始まり、それらの行く末）や、我々がその中で暮らす宇宙を扱う、ということから生物学、地球物理学、環境学などとのつながりも強い。宇宙化学、宇宙生物学など学際融合が活発であり、特に近年の太陽系外惑星の研究の進展により、生命の起源とのつながりが注目されている。天文事象の研究はまた、歴史学ともつながり、人文・社会系科学とも無縁ではない。

また多くの科学分野と同様、天文学は最先端の技術を駆使する学問分野でもある。地上の望遠鏡を用いる電波天文学（野辺山電波望遠鏡、VERA 干渉計<sup>\*3</sup>、アルマ望遠鏡、イベントホライズンテレスコープなど）と光学赤外線天文学（すばる望遠鏡、TMT<sup>\*4</sup>など）、飛翔体による天文学（天文衛星による観測や惑星探査機による探査）、およびスーパーコンピュータを用いたシミュレーションなどがその良い例である。工学の関連諸分野およびデータサイエンスは天文学の発展に不可欠の学問分野である。天文学から生まれた技術は社会のいろいろなところで役立っている[5]。

<sup>\*3</sup> VERA: VLBI Exploration of Radio Astrometry (VLBI 技術による電波位置天文学の探究) の電波干渉計

<sup>\*4</sup> TMT: Thirty Meter Telescope (30 メートル望遠鏡)

## (社会との関わり)

天文学は、「社会に研究活動が開かれた」学問分野である。同一天体を世界各国で同時に、あるいは連続的に観測することが可能なことから、多くの場合において天体観測は検証が可能であり、社会人も含めた国際協力、全地球的共同研究が盛んである。また観測データは、衛星観測でも地上観測でも、多くのものが公開されており誰でも利用できる。学術文献も、NASA が支援する ADS (Astrophysics Data System) により、検索のみならず無料で閲覧できる文献が多く、経済的に余裕のない発展途上国の人であっても、ネットワーク環境さえあれば研究に参加できる。また、天体現象は多様かつ突発的なものもあり、アマチュア天文家、学生（中学、高校、大学等の学部学生）の研究活動がプロの天文学者と比肩する結果を出すこともできる。この意味で天文学は現在では珍しい分野である。日本天文学会が 2000 年に開始した、学会年会における「ジュニアセッション」は年々参加者が増え、他分野でも同じ企画が始まるなど大きな成功を収めている。

天文学は、「科学コミュニケーション・アウトリーチ活動を通じて実社会との関わりが強い」学問分野である。宇宙の始まり、生命の起源など、人類の知的好奇心の核心部分に答えようとする学問であるため、社会において宇宙への関心は年齢や性別を問わず比較的強く、学問分野としても概して好意的に受け取られている。このような背景から研究者・教育者は一般に科学コミュニケーション・アウトリーチ活動を熱心に行う傾向にあり、社会人や児童・生徒の科学への興味を醸成することに貢献している。科学館での天文・宇宙の扱いは重点的であり、国内では多数の公開天文台が運営されている。市民講演会の主題としてもしばしば取り上げられ、最新の発見や科学的知見に注目が集まる。

大学で天文学の教育を受けた者の進路（キャリアパス）としては、天文学および関連分野の研究者、宇宙関連産業の技術者（エンジニア）、初等中等教育における理科教員はもとより、博物館・科学館等の学芸員やプラネタリウム解説員、科学ジャーナリスト、サイエンスライターなど、総合科学としての天文学のバックグラウンドを活かした多様なものがある。今後もこの多様性は発展させて行くべきである。

国際天文学連合（IAU）は上記の総合科学としての天文学の特性を踏まえて、2009 年のリオデジャネイロ総会で、「社会発展のための天文学」というタイトルの「戦略計画 2010-2020」を採択した。その成功を背景に、2018 年のウィーン総会では、国連で定められた「持続可能な開発目標（SDGs）」<sup>\*5</sup>も視野に入れた「戦略計画 2020-2030」[6] が採択された。そこに掲げられた目標は次の五項目である。

- (1) 天文学の世界的な連携調整を主導し、天文学者の中でコミュニケーションや天文学的知識の普及を推進する。
- (2) すべての国で、天文学という学問分野のインクルーシブな発展を促進する。

---

<sup>\*5</sup> 2015 年 9 月の国連サミットで採択された、持続可能な世界を実現するための国際目標。Sustainable Development Goals の頭文字をとって SDGs (エスディーゼーズ) と呼ばれている。国連加盟 193 か国が 2016 年-2030 年の 15 年間で達成することを目指している。地球上の誰一人として取り残さない (leave no one behind) 持続可能な世界を実現するための 17 のゴールと、それらの下に 169 のターゲットが掲げられている。(SDGs の日本語訳 <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/000101402.pdf>)

- (3) すべての国で、発展のための手段として天文学の利用を推進する。
- (4) 天文学の情報へのアクセスと天文学のコミュニケーションを通じて、市民の天文学への関わりを促進する。
- (5) 学校教育における天文学の利用を推進する。

これら 5 項目のうち (3)、(4)、(5) は天文学と社会との関わりについての目標である。社会との関わりが強く、社会を変えるポテンシャルを持つことも天文学の特性の一つである。さらに IAU はこれらの目標達成に資するものとして、科学教育を受けた市民が天文学について知っているべきことをまとめた「**Big Ideas in Astronomy**」(日本語版：ビッグアイデアー天文学の主要概念ー) [7] を刊行している。ここには本文書の内容と共通するものが多い。

## 2 天文学を学ぶことで身につけて欲しい広範囲の素養

大学における天文学の教育を受けることによって、天文学固有の知識や能力の獲得にとどまらず、下記に例示するように、広範囲の重要な素養を身に付けることが期待される。

### (気候と大気は人間の活動によって大きな影響を受けていることを知る)

現在の知識で、我々人類が多様な生物と共存して生命を維持できる唯一の惑星は地球である。大気がなければ、地球は氷に覆われ平均気温は約 $-19^{\circ}\text{C}$ となる。しかし、大気中の温室効果ガスによって、地球は多様な生命が居住可能な環境になっている。これは、太陽から入射するエネルギーと、地表から宇宙空間に放出されるエネルギーの収支バランスの結果である。人間の活動によって、地球大気中の主要な温室効果ガスの濃度が大幅に上昇し、地球のエネルギー収支のバランスが崩れている。産業革命以降の温室効果ガスの急激な増加によって、地球の平均気温は上昇し、地球規模の温暖化が生じている。温室効果ガスの増加の影響は、数十年後に顕著になる。

地球温暖化の理解には、地球という太陽系第3惑星を、ユニバーサル（宇宙的な）視点で見ることが必要である。人類活動が地球温暖化に大きな影響を与えており、100年後の地球環境は、現在から10年後くらいまでの期間に、人為的な温室効果ガスの排出をどれくらい削減できるかによって大きく影響される。地球市民としての意識をもって、私たちの子孫のために地球を残したい。

### (科学による成果と疑似科学による偏見の区別ができる能力)

宇宙や天体に対する認識は、観測技術の発展等にもなまって変化していく。このような変化の速さと世間の注目度が相まって、天文学は疑似科学の好餌となるきらいがある。科学の進歩による変遷と、疑似科学による偏見との違いを正しく理解するリテラシーと判断能力を身につけて欲しい。

### (多様な視点、発想、アプローチにより天文学が豊かになること)

国際天文学連合（IAU）は、国籍、民族、宗教、ジェンダー、セクシュアリティ、障がいの有無にかかわらず、あらゆる天文学研究者があらゆる活動に参加できるインクルーシブな組織を目指している。多種多様な天文学研究者が所属し、さまざまな視点、発想、アプローチをこの分野にもたらすことで、天文学全体が豊かになる。IAUの部会C「天文教育、アウトリーチ、天文遺産」では、傘下の委員会や作業部会を中心に、特別な教育ニーズのある人々や視覚、聴覚、運動障がいなどの障がいがある人々のための戦略、ツール、教材を検証、開発している。天文学コミュニティが天文学分野のインクルーシブな発展を推進していることを、理解して欲しい。

### (正しい倫理観を身に付ける姿勢)

学問研究の世界では、ねつ造、改ざん、剽窃など、公正研究に反する行為が可能な状況にあることに気づき、そのような行為を決してしない姿勢を身につける。また著作権を正しく理解し順守することも求められる。天文学の学びの中でも、研究倫理や科学倫理などの科目

と連携しながら、正しい倫理観を身に付ける姿勢を育成することが大切である。これは天文学固有ではなく、全ての学問分野に共通する教育目的であるが、学ぶことの基本であるのでここに明記する。

### 3 天文学教育内容の分類と対象学生

大学等において教育内容として取り入れるべき内容・項目を俯瞰する便宜のために、天文学の教育内容を表1のようにA-Jの10カテゴリーに分け、それぞれの中にいくつかの項目を掲げた。さらに、学生の卒業後の進路によって次の4つの区分を設け、それぞれに対して教育内容に取り入れるべき項目を第4章で記述する。

**I 文系を含めた全学生 (4.1 節)**

**II 関連理系分野(物理学、地球科学、惑星科学、宇宙工学など)を専攻する学生(4.2 節)**

**III 天文学を専攻(卒業研究、大学院進学など)する学生(4.3 節)**

**IV 理科教員・科学コミュニケーター等を目指す学生(4.4 節)**

このため、4章の項目は11カテゴリー×4区分に対応するものとなるが、4.1-4.4節に対応する区分には図1に示すような包含関係がある。この包含関係から分かるように、Iの学生に対して教育すべき項目(4.1節の内容)は、II、III、IVの学生にも共通するものである。そこで、IIの学生に対して教育すべき内容を示す4.2節においては、4.1節の内容を重複して記述することはせずに、4.1節の内容に加えて教育すべき項目のみを記した。同様に、4.3節では、4.1節および4.2節の内容に加えて教育すべき項目のみを記した。IVの理科教員・科学コミュニケーター等を目指す学生は、必ずしもIIIの天文学を専攻とする学生が学ぶべきすべてのことを同じレベルまで掘り下げて学ぶ必要のない場合もある。そのため4.4節ではそれに留意した記述をした所もある。

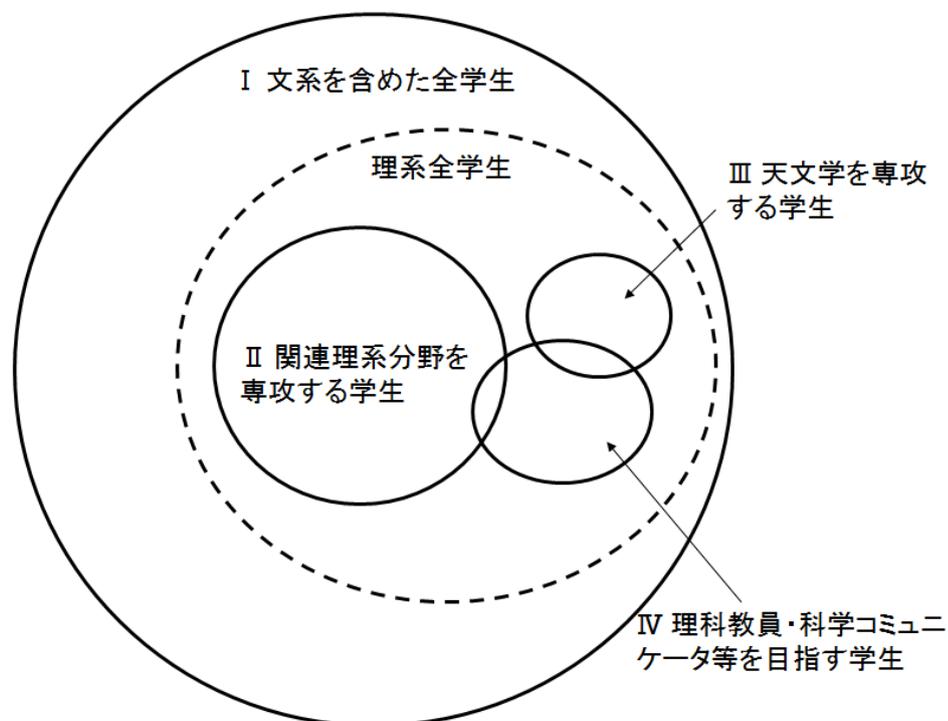


図1 対象学生区分の包含関係

表 1 天文学の教育内容のカテゴリー分け

A 宇宙の空間的および時間的広がり		G 恒星と星形成	
	A1 天球と座標系と視差		G1 恒星とは何か
	A2 宇宙の中の地球の位置づけ		G2 恒星の種類
	A3 宇宙の年齢と大きさ		G3 恒星の進化
B 天体の種類と宇宙の階層構造			G4 星・惑星形成
	B1 天体の種類		G5 原始惑星系円盤
	B2 宇宙の階層構造	H 太陽と太陽系	
C 宇宙の起源と歴史			H1 太陽と太陽系の概要
	C1 ビッグバン宇宙論		H2 太陽の内部構造と周期活動、長期変動
	C2 標準宇宙モデル		H3 太陽の大気構造と磁気活動
D 銀河と宇宙の大規模構造			H4 太陽系の惑星
	D1 銀河と銀河系		H5 太陽系小天体
	D2 宇宙大規模構造	I 太陽系外惑星	
	D3 銀河の性質と銀河環境		I1 惑星系形成の一般論
E 宇宙の極端環境・状態と物理			I2 多様な系外惑星
	E1 宇宙は巨大な実験室		I3 系外惑星の性質と進化
	E2 極限天体	J 観測とデータ解析	
	E3 高エネルギー現象		J1 観測手段と装置
	E4 希薄/低温の宇宙空間		J2 データ解析とコンピュータ
F 物質の起源と進化			J3 観測実習
	F1 宇宙は元素合成の場	K 天文学と社会	
	F2 軽元素と鉄まで		K1 日常生活と天文学
	F3 鉄より重い元素		K2 文明と世界観
	F4 分子とダストの進化		K3 科学リテラシー

このように構成された次の第4章の記述をわかりやすく整理した付表（表 2.1-2.11; pp.18-28）を用意した。これによって、I、II、III、IVの学生区分に対して提供すべき教育分野（A-K）ごとの項目の階層性を見ることが出来る。本文書と比較して見ていただきたい。

これらの分類や、文末の別表、および参考資料 1、2、3 の作成に当たっては、天文学研究者有志が長年にわたって情報収集、整理、公開し続けている「宇宙を学べる大学・天文学者がいる大学一覧」最新版 [8] のデータを参照させていただいた。

## 4 対象学生毎の教育目的・目標と教育内容の例

### 4.1 文系を含む全学生（区分記号 I）

天文学・宇宙物理学は、大学においては専門教育を供するばかりではなく、教養教育のなかである種の「必修」的な位置づけを持たせるに値する分野であると言える。少なくとも、所属する学部学科によらず、すべての学生が履修可能なものとするのが望まれる。それは天文学の教育によって以下の目標を達成することができるからである。なお、大学入学前の教育内容との接続、連続性について、個人による修得度の差異にも十分配慮した上で、適切に対応する必要がある。

#### （世界観・宇宙観の醸成）

世界観・宇宙観を醸成し、視野の拡大、相対的思考態度の習得を促す。世界とは何か、我々がどこにいるかという問いについて、古来人類はさまざまな考えを巡らせてきた。天文学が人類の世界観を牽引したと言っても過言ではない。古代文明とともに暦などの天文学が誕生した歴史的背景や、天動説から地動説に至る中世のコペルニクスの転回と望遠鏡の発明によってもたらされた観測事実に基づく宇宙観への変遷を知る。

#### （科学リテラシーの習得）

現代天文学の知見がどのように獲得されたかという手法や理論を学術的素養として学ぶ。さらに、天文学が数学や物理学を基盤としており、化学や生物学とも関連することを知り、宇宙を含む自然現象の仕組みが、科学的手法や知識を用いた推論と証拠に基づく検証を繰り返して解明されてきたことへの理解は、科学リテラシーの習得に必要である。また、天文学・宇宙物理学に対する市民の関心が高いために、この分野の報道は比較的多い。これらを例として報道や記事に関心を持つ姿勢を体得するよう誘導し、さらにネット等で散見するデマや風評を自ら認知し正否を自己判断する「考える力」を醸成する。

天文学で扱う広大なスケールと多様性を理解すれば、グローバル（全地球的）を超えてユニバーサル（全宇宙的）な視点に立って、その中に自らを置く、あるいは自らの思考を位置付けることができるようになる。ユニバーサルな視点の獲得は科学リテラシーの基本の一つである。

#### （科学および工学一般への入り口の提供）

豊かな科学的素養・科学的手法を身につけるとともに、科学の入り口として、科学一般への興味・関心を喚起するとともに、データに基づいて物事を科学的に把握する能力や、統計学的な観点から多様な量的事象を考察する能力を涵養する。また、天文観測にはさまざまな先端の工学技術やデータ解析技術が使われており、工学分野やデータサイエンスの分野へも興味をつなげる事ができる。

#### （科学史の一例としての教育）

天文学は、物理学をベースとしながらも化学や生物学、地球惑星科学などの他分野との

協力や連携によって進歩してきたし、今後もそれが期待される。また天文学は、自然科学系分野のみならず、科学史・思想史との関連、地域や民族による世界観や自然観の相違と類似のような人文社会系分野とも連携しながら発展してきたものである。このような科学が相互に関係しながら発展してきた歴史を習得する。

#### **(我々が住む地球は宇宙と結びついているという認識)**

昼と夜、潮の満ち干、四季の変化と一年の繰り返しは最も基本的な天体现象であるが、この他にも、例えば太陽でフレア爆発が起こると地球磁気圏が乱され、電波通信障害などが発生する。太陽の総放射量はわずかながら変動しており、これと地球の気候の関係が研究されている。地球の軌道や地軸の傾きの長期にわたる変動は、ミランコビッチ・サイクルとして知られ、地球で起きた氷河期の原因の一つとされる。太陽系小天体の地球への衝突は、恐竜の絶滅など環境や生態系に大変動をもたらしたと考えられている。このように、天体现象は我々の住む地球の環境と深い関連があることを認識する。

## **4.2 関連理系分野を専攻する学生（区分記号 II）**

物理学、地球科学、惑星科学、宇宙工学などの天文学以外を専攻する理学部や工学部の学生に対して天文学を教育することは、各学生の専攻分野が天文学・宇宙物理学と学際的接点を持つために、学生の将来の専門研究において役立つ可能性がある。また天文学は、そのために学生に適切な材料を提供できるという意味で価値が高い。ここでは **4.1** で述べた内容に加えて取り入れることが望ましい内容をあげる。

#### **(広い空間的・時間的視点から対象を俯瞰し考察する能力の醸成)**

宇宙の広大さとそこに広範な物理・化学状態が存在しうることから、常により広い視点に立って対象・現象を俯瞰し、多角的に考察する能力を育てる。また、巨視的である宇宙は、物理学を定量的に学ぶ力の育成にも活用できる。

#### **(地球、生命、人類の位置づけを宇宙的・相対的視点で理解し判断する能力の醸成)**

地球は、人類にとっての全世界であるとともに、太陽系惑星の一つにすぎない。他の星にも知的生命が存在する可能性を認識し、環境問題などの根底に潜む人間中心主義を批判的客観的に考察できる能力の育成が重要である。すなわち「グローバル」を越え、「ユニバーサル」な視点で地球・人類・社会を捉える。

#### **(周辺分野・学際分野を専攻する学生への最新の知見の提供)**

周辺分野を専攻する学生のために、天文学のエッセンスと最先端を、知識として正しく伝える。

### 4.3 天文学を専攻する学生（区分記号 III）

天文学・宇宙物理学はその理解と研究において、数学および物理学の基礎的能力を必要とする。従って、カリキュラム編成においては、数学および物理学との関係に特に留意する必要がある。ここでは 4.1 および 4.2 で述べた内容に加えて取り入れることが望ましい内容をあげる。

#### （天体现象の定量的理解能力を養成する）

諸現象を記述する数式を理解し、その背後にある物理法則を理解する能力を身に付けさせる。

#### （広範なスケールの現象を正しく把握する能力を身に付けさせる）

宇宙の広大な空間・時間スケールの中で生じるさまざまな天体现象を想像し把握する能力を身に付けさせる。地上と比べて格段に大きな空間スケール、格段に長い時間スケールにおいて、代表的な天体现象を適切に把握でき、および極端な物理的状态においてそれらの現象を支配する基本法則と適用範囲を考察できる能力を身につけさせる。

#### （対象を客観的・数量的に把握する能力・態度を身に付けさせる）

データに基づき、物理学などの基本法則を適用して、対象を科学的・定量的に把握する能力を身に付けさせる。天文学・宇宙物理学は典型的な自然科学であり、観測－解析－帰納－演繹－観測のサイクルによってより一般的な現象の理解や法則の発見を期待することができる。

#### （多様性の中から法則性を抽出する能力を身に付けさせる）

宇宙・天体现象は通常はいわゆる実験をすることができない。遠方からの観測のみで多様な可能性のなかから本質を導き出す能力が育成される。

#### （ICT 技術を駆使する能力を教育する）

観測データの解析およびコンピューターシミュレーションを通じて、プログラミング言語や解析ソフトウェアを使用する能力が育成される。また、世界中で公開されている観測データの検索・収集および論文の作成、研究発表を通じて、コンピューターおよび ICT（Information and Communication Technology）技術を習得する。

#### （装置開発を進める能力を身に付けさせる）

観測技術開発を研究テーマとする学生は、研究上の目的を達成するために、機械、電気、光学、制御、システム構築などの分野における、設計、製作、試験の技術を習得し、プロジェクトの様態を学ぶとともに、完成に向けて努力する姿勢が育成される。

#### 4.4 教員・科学コミュニケーター等を目指す学生（区分記号 IV）

中学校や高校の理科教員を目指す学生、あるいは学芸員や科学コミュニケーター、マスコミ関係を目指す学生に対しては、次のような教育が必要である。ここでは **4.1 および 4.2 で述べた内容に加えて**取り入れることが望ましい内容をあげる。4.3 で述べた教育内容の中には必須ではないものもある。

##### （天文学・宇宙物理学を題材に、市民に科学の進歩を「伝える力」を養成する）

科学コミュニケーション・アウトリーチ活動の能力を教育する。日常生活とはかけ離れた天体や現象について広い視点、相対的な視点から、社会人や児童・生徒に正しく伝え、説明する能力を育む。以下に具体的な項目を挙げる。

- ・単に自然科学としての知識を伝えるだけでなく、天文学の発展が、過去の、そして現在と未来の人類の宇宙観・世界観へ与える影響を伝える能力。
- ・実際に太陽は地球環境に大きな影響を与えていることを理解させる能力。
- ・天文学周辺の科学はもちろん、人文学についても基礎的な知見の習得。
- ・天体観測実習を行う能力。
- ・疑似科学による偏見との違いを正しく理解するリテラシーの取得。
- ・「市民と科学との関わり」を考慮したトランスサイエンス的な視点の習得。
- ・大多数の人々の科学的知見と能力のレベルや好奇心の程度への関心を高める能力。

## 参考文献

- [1] 「天文学のすすめ」（本文書の意図と骨子を要約したもの）  
<https://www.asj.or.jp/jp/epo/encouragement/>  
日本天文学会、2021年1月1日
- [2] 「回答－大学教育の分野別質保証のあり方について」  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-k100-1.pdf>  
日本学術会議、2010年7月22日  
「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準について（解説）」  
<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/daigakuhosyo/pdf/kaisetsu.pdf>  
日本学術会議・大学教育の分野別質保証委員会  
<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/daigakuhosyo/daigakuhosyo.html>
- [3] 「報告－大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準・物理学天文学分野」  
日本学術会議、2016年10月3日  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h161003.pdf>
- [4] 「提言－物理学分野における学問分野に根ざした教育研究（DBER）の推進」  
日本学術会議、2020年8月28日  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t295-3.pdf>
- [5] 「From Medicine to Wi-Fi; Technical Applications of Astronomy to Society」  
（日本語版：「天文学の技術と私たちの生活 医療からWi-Fiまで」）  
国際天文学連合（IAU）、2019年5月（第1版）  
英語版 <https://www.iau.org/public/images/detail/ann19022a/>  
日本語版 [https://tenkyo.net/activity/iau-publications/from\\_medicine\\_to\\_wi-fi/](https://tenkyo.net/activity/iau-publications/from_medicine_to_wi-fi/)
- [6] 「IAU 戦略計画 2020-2030」 国際天文学連合（IAU）、2018年8月  
英語版 [https://www.iau.org/administration/about/strategic\\_plan/](https://www.iau.org/administration/about/strategic_plan/)  
日本語版 [https://tenkyo.net/activity/iau-publications/iau\\_strategic\\_2019\\_jp/](https://tenkyo.net/activity/iau-publications/iau_strategic_2019_jp/)
- [7] 「Big Ideas in Astronomy」  
（日本語版：ビッグアイデア－天文学の主要概念－）  
国際天文学連合（IAU）C1委員会 2020年1月（第1版）  
英語版 <https://www.iau.org/static/archives/announcements/pdf/ann19029a.pdf>  
日本語版 [https://tenkyo.net/activity/iau-publications/big\\_ideas2020/](https://tenkyo.net/activity/iau-publications/big_ideas2020/)
- [8] 「宇宙を学べる大学・天文学者がいる大学一覧」  
<https://www.solato.net/solawomanabu/college/>

## 付表 教育内容一覧

本文 4 章に述べた対象学生区分ごとの教育項目と学修内容を一覧にして表 2.1-2.11 にまとめた。表 2 では表 1 の項目を簡略化して示したところもある。表中で「・」の項は「授業で伝えるべき事実・成果など」、また「+」の項目は「備えることが期待される能力」を表す。

表 2.1 A 宇宙の空間的・時間的広がり

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケータ等を目指す学生
A 宇宙の空間的・時間的広がり	A1 天球の 座標系と 視差	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地球の自転と公転は星の日周運動および年周運動と関係する。</li> <li>+ 天球の概念と天球座標の原理を理解する。</li> <li>+ 太陽時と恒星時の違いによって、地球の公転によって季節ごとに見える星座や星が異なることを、実感を伴って理解する。</li> </ul>			
			<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 見かけの位置の変化(固有運動)と、視線速度が高精度で測定できるようになった。その結果、個々の恒星の運動や局所銀河群中の銀河の運動が分かるようになった。</li> <li>・ また、多くの太陽系外惑星が発見されるようになった。</li> <li>+ 天体の位置や運動を記述するために必要な基本座標系(赤道座標系、銀河座標系)を習得させる。</li> <li>+ 天球上の天体の運動や現象を力学を用いて一般的、定量的に理解させる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 緯度によって見える天体が異なる。また天体の見える時刻は経度と密接に関係する。</li> <li>・ 距離測定法と宇宙の広がりとの関係を理解する。</li> <li>+ 天球・座標系・視差について理解する。特に、北極星、黄道 12 星座など代表的な星や星座を認識でき、日食・月食・彗星などの天体現象を理解すること。加えて、北半球と南半球で月や星座の見え方が異なることを理解する。</li> <li>+ 宇宙の空間的な広がりや時間的なつながりの中で考える習慣をつける。</li> </ul>	
	A2 宇宙の中 の地球の 位置づけ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地球も太陽も宇宙の中心ではない。</li> <li>・ 地球は他の惑星と同様に太陽の周りを公転していると同時に自転している。</li> <li>・ 太陽は銀河系にある 1000 億の桁の恒星の一つである。</li> <li>・ 太陽に最も近い恒星でも太陽までの距離(1.5 億 km)の約 30 万倍遠くにある。</li> <li>・ 太陽系は銀河系中心の周りを回っている。</li> <li>・ 銀河系の外には銀河系と同じ規模の恒星の大集団(銀河)が多数ある。</li> </ul>			
	A3 宇宙の 年齢と 大きさ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宇宙の年齢は 138 億年で、観測できる宇宙の広がりや 1 兆 km の 1000 億倍(<math>10^{23}</math> km)以上である。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 天体までのさまざまな距離測定法(年周視差、変光星、超新星など)によって、宇宙の空間的広がりが定量的に把握され、宇宙の大きさとその中における天体の分布が解明されてきた。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「距離はしご」など銀河の距離決定法が開発され、高精度化された。</li> <li>・ 精密宇宙論から宇宙の基本パラメータが高い精度で求められている。</li> </ul>	

表 2.2 B 天体の種類と宇宙の階層構造

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケーター等を目指す学生
B 天体の種類と宇宙の階層構造	B1 天体の種類	+ 銀河の中にある天体(恒星、惑星、星団、ガス星雲など)、銀河、銀河群、銀河団、超銀河団、ポイド、フィラメントからなる宇宙の大規模構造などの天体の種類とスケールを理解する。			
	B2 宇宙の階層構造	+ さまざまな天体の階層構造を包括的に理解し、その中に太陽系と地球を位置づける。		+ 宇宙の階層構造、すなわち、太陽と太陽系(木星型惑星と地球型惑星、準惑星、太陽系外縁天体や小惑星など)、恒星、星団、銀河、銀河群や銀河団、そして、宇宙の大規模構造を、それぞれの天体の性質をもとに物理的観点から理解する。	+ 宇宙の階層構造、すなわち、太陽と太陽系(木星型惑星と地球型惑星、準惑星、太陽系外縁天体や小惑星など)、恒星、星団、銀河、銀河群や銀河団、そして、宇宙の大規模構造を、大きさや広がりを含めて包括的に理解する。

表 2.3 C 宇宙の起源と歴史

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケータ等を目指す学生
C 宇宙の起源と歴史	C1 ビッグバン 宇宙論	<ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙は「ビッグバン」と呼ばれる大爆発で始まり、膨張して現在に至っている。</li> <li>一般相対性理論によって宇宙の膨張が記述できる。</li> <li>宇宙膨張によって遠くの銀河からとどく光は赤方偏移している。</li> <li>宇宙膨張は現在加速している。</li> <li>光速度が有限であるので、遠方の天体を観測すれば「過去の宇宙」が見える。</li> <li>膨張とともに宇宙の温度が下がり、ダークマターの塊の中でガスから星や銀河ができた。</li> <li>宇宙の誕生とそれに続く天体の形成の歴史の流れの中で、我々が住む地球が誕生し、生命が誕生した。</li> </ul>			
		+ ビッグバン宇宙論の内容と観測的証拠を一般相対論の視点で説明できる。			
	C2 標準宇宙 モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙初期にインフレーションが起きてビッグバンへとつながった。</li> <li>宇宙にはバリオンに加え大量のダークマターとダークエネルギーがある。</li> <li>現在の標準宇宙モデルは、インフレーションで始まり、ビッグバンを経て加速膨張している宇宙で、大量のダークマターを含み、ダークエネルギーに満ちている。</li> <li>ダークマターとダークエネルギーの正体は未知で、物理学と共通の最先端研究課題である。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙の構成要素(バリオン:ダークマター:ダークエネルギー)=(0.05:0.26:0.69)。</li> <li>ダークマターの密度ゆらぎが銀河や銀河団の誕生に大きな影響を及ぼした。</li> <li>宇宙マイクロ波背景放射の精密観測によって、精密宇宙論の時代に入った。</li> </ul> + 宇宙 138 億年の進化史の概要を説明できる。 + 宇宙の加速膨張の観測的根拠を説明できる。			

表 2.4 D 銀河と宇宙大規模構造

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケーター等を目指す学生
D 銀河と宇宙の大規模構造	D1 銀河と 銀河系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 銀河は 1000 億の桁の星と星間物質からなる巨大な自己重力系である。</li> <li>・ 私たちは銀河の一つである銀河系(天の川銀河)に属している。銀河系は夜空に天の川として見える。</li> <li>・ 銀河は宇宙の基本構成要素である。</li> <li>・ 宇宙には 1000 億の桁の銀河がある。</li> <li>・ 銀河にはさまざまな形態のものがある。</li> <li>・ ほとんどの銀河の中心にはブラックホールがある。</li> </ul>			
				<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 銀河が恒星の大集団として認識された歴史経過の概要。</li> </ul>	
				<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 星間空間に星間物質と磁場などがある。</li> <li>・ 中心の巨大ブラックホールから強い電磁波やジェットが出ている。</li> <li>・ 銀河はダークマターハローに包まれている。</li> <li>+ 銀河の形態、質量、構成する星の種族、活動性など概略を説明できる。</li> <li>+ 銀河の進化過程の概略を説明できる。</li> </ul>	
	D2 宇宙の 大規模 構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宇宙における銀河分布は一様ではなく、その粗密構造を宇宙の大規模構造と呼ぶ。</li> <li>・ 宇宙大規模構造は、超銀河団、ボイド、フィラメントなどからなるスポンジ状の三次元構造。</li> </ul>			
				<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 銀河団は宇宙で最大の自己重力系である。</li> <li>・ 銀河団には銀河質量以上の高温ガスが存在する。</li> <li>+ 銀河分布の階層構造を、ダークマターとの関連で説明できる。</li> </ul>	
	D3 銀河の 性質と 銀河環境			<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 銀河の存在環境と銀河の性質には相関がある。</li> <li>・ 銀河の相互作用が銀河の成長や大規模な星形成を引き起こしている。</li> <li>・ 銀河の進化には中心のブラックホールも関わっている。</li> </ul>	

表 2.5 E 宇宙の極端環境・状態と物理

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケータ等を目指す学生
E 宇宙の極端環境・状態と物理	E1 宇宙は 巨大な 実験室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宇宙は巨大な実験室である。</li> <li>・ 地上では実現できない温度、密度、磁場強度、強重力場などが実現されている天体・場所がある。</li> <li>・ 地上では実現できない空間スケールと時間スケールで現象を調べることができる。</li> <li>・ 物理法則の検証や発見に重要な役割を果たす。</li> </ul>			
			+ 宇宙における温度、密度、磁場強度などの実現範囲を説明できる。		
	E2 極限天体	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 極限天体の概念を理解できる。</li> <li>・ ブラックホール、中性子星、白色矮星などの極限天体がある。</li> </ul>			
			<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 恒星進化の終末期に、恒星質量ブラックホール、超新星、コンパクト星などの極限状態天体が生まれる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高密度天体、強磁場天体、爆発天体、短時間変動天体など、さまざまな種類の極限天体がある。</li> <li>・ 連星系の進化の道筋は複雑である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 白色矮星と中性子星の違いを物理的に説明できる。</li> <li>+ ブラックホールと事象の地平面を説明できる。</li> </ul>
E3 高エネルギー現象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宇宙では莫大なエネルギーが関与するさまざまな現象が起き、宇宙線が放出される。</li> </ul>				
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 莫大なエネルギーが関与する、超新星爆発、宇宙ジェット、ガンマ線バースト、重力波放射などがある。</li> </ul>			
		+ 降着円盤、超新星爆発、宇宙ジェット、ガンマ線バースト、重力波放射などの典型的な高エネルギー現象の概要を説明できる。			
E4 希薄/ 低温の 宇宙空間	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宇宙には一方で、とても希薄(低密度)だったり、絶対零度に近い低温だったりする場所がある。</li> </ul>				
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 超新星残骸や銀河間空間は高温だが希薄である。</li> <li>・ 分子雲や暗黒星雲中心部は 10K 以下の極低温である。</li> </ul>			

表 2.6 F 物質の起源と進化

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケーター等を目指す学生
F 物質の起源と進化	F1 宇宙は 元素合 成の場	<ul style="list-style-type: none"> <li>安定な元素を地球上で作ることはできない。</li> <li>地球上にある元素は宇宙でできた。</li> <li>我々の身体を作っている元素は、恒星内部などで多数回の核融合過程を経験した。</li> <li>宇宙では生命の材料になりうる有機分子が生成されている。</li> <li>生命の起源として宇宙を認識する。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙における元素合成の過程がほぼ解明された。宇宙誕生時にはほぼ水素とヘリウムのみで、他の元素はその後に合成された。</li> <li>炭素、酸素などの地球や人類に重要な元素は、恒星内部の核融合反応、超新星爆発、赤色巨星、中性子星の合体などで合成されて、再び宇宙にまき散らされた。</li> </ul>			
	F2 軽元素と 鉄まで	<ul style="list-style-type: none"> <li>ビッグバン元素合成で、水素、ヘリウムと微量のリチウム、ベリリウムが出来た。</li> <li>恒星内部の核融合反応は恒星質量によって異なり(p-p チェイン、トリプルα 反応)、合成される元素も異なる。</li> <li>最も質量の重い星では <math>^{56}\text{Fe}</math> までが合成される。</li> </ul>			
	F3 鉄より 重い 元素			<ul style="list-style-type: none"> <li>金、銀、ウランなどの <math>^{56}\text{Fe}</math> より重い元素(原子核)の合成には、r-過程と s-過程の二つの道筋がある。</li> <li>二重中性子星連星の合体で r プロセス元素の合成が確認された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>金・銀・ウランなどの <math>^{56}\text{Fe}</math> より重い元素(原子核)は超新星爆発や中性子星合体などの現象で合成される。</li> </ul>
	F4 分子と ダストの 進化	<ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙でできた元素から、さまざまな分子や固体微粒子が宇宙空間で作られ、惑星へもたらされる。</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素とヘリウム、恒星の内部で合成されたさまざまな元素を材料として、さまざまな分子が星間空間で作られる。</li> <li>惑星系のもととなる原始惑星系円盤には、既にさまざまな有機分子が存在する。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>合成された元素は、超新星爆発、赤色巨星や脈動星の星風などによって宇宙空間にまき散らされる。</li> <li>これらの元素が凝結して星間微粒子(ダスト)が生成される。</li> <li>ダストを含む分子雲中で星ができ惑星ができる。ダストは、微惑星を経て、地球のような岩石惑星や木星のような巨大ガス惑星の中心核になる。</li> <li>分子雲に含まれるガスやダスト表面氷層中では、さまざまな有機分子が見つかっていて、原始惑星系円盤を経て、惑星にもたらされる。</li> </ul>		

表 2.7 G 恒星と星形成

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケータ等を目指す学生
G 恒星と星形成	G1 恒星とは何か	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽は最も近距離にある恒星である。</li> <li>銀河系には 1000 億の桁の恒星がある。</li> <li>恒星とは中心部で起きている水素の核融合反応のエネルギーで自己重量を支えているガスの塊である。</li> <li>質量が十分大きくなく、水素の核融合反応が安定して起きない星を褐色矮星と呼ぶ。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>+ (太陽類似の) 恒星には、太陽のように大気構造があり、黒点が生成消滅し、太陽風が吹き出し、フレアが起これると X 線やプラズマの爆風が惑星を直撃するであろうことを理解する。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>恒星は表面温度と半径で特徴づけられること。これらは質量、組成、年齢に依存していること。光度も表面温度と半径で決まる。</li> <li>+ 太陽を元に恒星をより深く理解する: 大気構造、日震学による内部構造、磁気活動とダイナモ機構、黒点形成と総放射の変調など。</li> </ul>	
	G2 恒星の種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>さまざまな温度、質量、光度、年齢の恒星が存在する。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>恒星の色は表面温度を反映している。</li> <li>恒星の寿命と光度は質量に大きく左右される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 分光観測によって恒星の表面重力(圧力)から半径がわかり、矮星・巨星・超巨星が区別できる。</li> <li>恒星は質量が小さいものほどその数が多い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>恒星の色は表面温度を反映している。</li> <li>恒星の寿命と光度は質量に大きく左右される。</li> </ul>	
	G3 恒星の進化	<ul style="list-style-type: none"> <li>恒星は誕生して死を迎える。</li> <li>恒星は質量によってさまざまな一生を送る。</li> <li>質量が大きい恒星ほど進化が早く、小さい恒星は進化がゆっくりであり、太陽より軽い恒星では宇宙年齢より長い寿命を持つものがある。</li> <li>太陽は恒星の一種であり、内部構造と進化が恒星の理論で解明された。</li> <li>+ 太陽の赤色巨星への進化と、太陽系の惑星(特に地球)への影響について理解する。</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>恒星は終末期に、巨星、変光星、超新星、白色矮星、中性子星、ブラックホールなどになる。</li> <li>恒星は誕生時の原始星から、核融合反応を起こす主系列星を経て、赤色巨星(巨星及び超巨星)へと進化し、質量に応じた多様な最期を迎える。</li> <li>最終段階では、質量の小さい恒星は惑星状星雲と白色矮星となり、質量の大きな恒星は超新星爆発を起こして、中性子星やブラックホールを残す。</li> <li>+ この多様な進化の道筋を H-R 図(色-等級図)上でたどることができる。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>恒星内部構造論によって、恒星の質量、組成、年齢と観測量との関係が解明された。</li> </ul>			
G4 星・惑星形成	<ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙空間にある分子雲のガスやダスト(固体微粒子)が自己重力で集まって、恒星や惑星が形成される。</li> </ul>				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>星間分子雲から主に重力と磁場の作用で、エネルギーと角運動量を開放して恒星が誕生する。</li> <li>恒星、褐色矮星、惑星では、誕生の過程や時間が異なる。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>銀河規模では、大質量星が誕生する/しない領域があり、分子雲のガスやダスト、金属量などによって、星形成に違いが見られる。</li> </ul>		
G5 原始惑星系円盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>恒星を取りまくように原始惑星系円盤が誕生し、惑星系のもとになる。</li> </ul>				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>原始惑星系円盤は物質の一部が惑星などの天体になり、それ以外は散逸して大部分がなくなる。</li> </ul>				

表 2.8 H 太陽と太陽系

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケーター等を目指す学生
H 太陽と太陽系	H1 太陽と太陽系の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽は恒星の一つで、その周囲に惑星や小惑星、彗星などが回っていて、全体を太陽系と呼ぶ。</li> <li>太陽の重力によって、周囲の天体が公転を続けている。</li> <li>太陽も含めて、太陽系全体が約 46 億年前に誕生した。</li> <li>太陽中心部の核融合反応で生み出されたエネルギーが周囲の惑星などを温め、空間をプラズマ化するなど太陽系全体に支配的な影響を及ぼしている。</li> </ul>			
			+ 太陽までの距離、太陽の大きさ、質量、年齢、元素組成、表面の温度と密度、放射エネルギーとその波長分布などの基礎量とその導出法について理解する。		
	H2 太陽の内部構造と周期活動、長期変動	<ul style="list-style-type: none"> <li>黒点の生成消滅、周期 11 年の活動サイクルなど、太陽も変動する。</li> <li>太陽の変動(総放射量、紫外線、太陽宇宙線の変動)が地球環境に大きい影響を与える。</li> </ul>			
			<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽の内部は外側 30%が対流層、内部は放射層となっている。中心温度は約 1500 万度である。</li> <li>これらの性質は物理学の理論から導かれ、日震学による観測で確認、精密化された。</li> <li>磁場の発生機構として、ダイナモ理論が定説である。</li> </ul>		
				+ 日震学の基本を学ぶ。 ・ 理論から予想されるニュートリノ発生量は、観測と矛盾しない。	
	H3 太陽の大気構造と磁気活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽から吹き出す太陽風が惑星間空間を満たし、地球や他の惑星はその中を公転している。</li> <li>太陽風がフレア爆発で乱されると地球磁気圏も乱され磁気嵐などが起こる。</li> </ul>			
			+ 外層大気の加熱、太陽風の加速、フレアと磁気リコネクションなど、恒星物理や惑星物理に共通なプロセスを理解する。		+ 太陽風と惑星磁気圏、ヘリオスフェア、太陽風と星間物質の相互作用について理解する。
	H4 太陽系の惑星	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽系の主な惑星には、惑星探査機が接近したり到達したりしている。これらの直接観測と、地球からの望遠鏡観測によって、惑星の個性が明らかになってきた。</li> <li>2006 年に惑星の定義ができ、冥王星は惑星ではなくなり、冥王星型天体となった。</li> <li>火星やその他の惑星の衛星などの太陽系内天体で、地球外生命が存在する可能性がある。</li> </ul>			
			・ 惑星は、岩石惑星、ガス惑星、氷惑星に分類でき、形成過程は異なる。	・ 太陽系の惑星形成については、「林モデル」とよばれる標準理論が認められている。	
	H5 太陽系小天体	<ul style="list-style-type: none"> <li>惑星以外に、衛星、小惑星、彗星、太陽系外縁天体など、さまざまな小天体がある。空間にはガスやダストが浮遊している。</li> </ul>			
			<ul style="list-style-type: none"> <li>惑星、小惑星、太陽系外縁天体、彗星、隕石などの研究が、太陽系外惑星(系)の研究と密接な関係がある。</li> </ul>		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>さまざまな小天体の成因が解明されてきている。</li> </ul>		

表 2.9 I 太陽系外惑星

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケータ等を目指す学生
I 太陽系外惑星	I1 惑星系 形成の 一般論	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 夜空に多数輝く恒星には、周囲に惑星を伴っているものがある。それらの惑星は、恒星の誕生時に原始星周囲に付随した原始惑星系円盤から誕生した。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原始惑星系円盤から、恒星とほぼ同じ材料から巨大ガス惑星が生まれた。一方、原始惑星系円盤中のダスト(固体微粒子)等が衝突・合体して岩石惑星が、恒星から離れた低温の領域では氷を主成分とする氷惑星が誕生した。これは太陽系のなりたちを説明するモデルだが、他の惑星系でも同様の理論で説明できる例が多い。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ これまで発見されている惑星系には、太陽系とは異なる形成過程でできたと考えられる例もあり、多様である。</li> <li>・ 恒星が惑星を持つ条件、割合などがわかってきた。</li> </ul>			
	I2 多様な 系外惑星	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 太陽系外惑星はすでに、4000 個以上見つかった。</li> <li>・ 主系列星周囲の系外惑星は、1995 年に最初に視線速度法により発見された(中性子星周囲の惑星が 1992 年に発見されている)。この惑星は、質量が木星の半分ほどにもかかわらず、恒星のすぐ近く(太陽系では水星軌道より内側)を周回している。このような惑星は「ホットジュピター」と呼ばれる。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 太陽系外惑星は、トランジット法、視線速度法など、初歩の物理法則を用いて、主に検出されてきた。</li> <li>・ 宇宙望遠鏡で多数発見されている一方、地上からの小型望遠鏡による観測でも見つかった。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 木星のような巨大ガス惑星が多く見つかったが、地球に似た大きさや温度の惑星、ハビタブルゾーンに位置する惑星などさまざまな惑星が発見されている。</li> <li>・ 質量は木星の 13 倍(13 倍以上は褐色矮星)から地球程度、軌道半径は 0.01 天文単位ほどから 100 天文単位以上のさまざまな惑星がある。</li> </ul>			
	I3 系外惑星 の性質と 進化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 生命居住可能な惑星を「ハビタブル惑星」と呼び、複数の候補が見つかった。ハビタブルゾーンは、地球と似た生命が存在できる条件、すなわち、液体の水が天体表面に安定に存在できる条件で定義されている。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 系外惑星の個々の性質がハッブル宇宙望遠鏡・スピッツァー宇宙望遠鏡や地上大型望遠鏡などで調べられ、さまざまな大気/雲をもつことなどがわかってきた。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ハビタブル惑星の有無は、中心星の温度や年齢等さまざまな物理量に依存する。</li> <li>・ 系外惑星の質量と半径から平均密度が求められ、地球に近い大きさの岩石惑星も見つかった。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 太陽系外惑星の探査手法を概説できる。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地球以外の生命探査計画が提唱されているが、「生命存在の証拠」については確立していない。</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 生命居住可能な太陽系外惑星の探索、宇宙生命の探索に注目が集まっている。</li> <li>・ 太陽系内天体については、エウロパやエンケラドス等の衛星の氷表面の下にある海が生命の存在環境の候補とされ、探査機などの観測が進んでいる。</li> </ul>			

表 2.10 J 観測とデータ解析

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケータ等を目指す学生
J 観測とデータ解析	J1 観測手 段と装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>天文学の主な観測手段は、電磁波、宇宙から来る粒子、重力波の三つである。</li> <li>観測場所は地上からスペース(惑星間空間)さらには地下までさまざまである。</li> <li>望遠鏡は天体から来る電磁波を集光し、それを検出器(観測装置)で検出し記録する。</li> <li>望遠鏡の構造と検出器は電磁波の波長によってさまざまに異なる。</li> <li>天体から来る電磁波を地上まで通す大気の窓がある。</li> <li>地上望遠鏡と宇宙望遠鏡にはそれぞれ役割がある。</li> </ul>			
			<ul style="list-style-type: none"> <li>さまざまな波長の電磁波の望遠鏡と観測装置の構造と基本原理を説明できる。</li> <li>計測技術・観測技術の基本を説明できる。</li> <li>粒子と重力波の観測原理を説明できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電磁波の波長に応じて、さまざまな望遠鏡と観測装置があり、粒子や重力波の観測設備も望遠鏡と呼ばれることがある。</li> </ul>	
	J2 データ解 析とコン ピュー ター	<ul style="list-style-type: none"> <li>現代の莫大な量の観測データの処理解析には、高性能コンピュータと高性能ソフトウェアが必須である。</li> <li>天文学では、対象となる天体が世界共通であり、観測データを公開・共有することが特徴である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンピュータの性能とアルゴリズムの発展が、シミュレーションの急速な発展をもたらした。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>データの処理と解析のソフトウェア、データベースなどの役割の基礎を理解する。</li> </ul>	
J3 観測実 習		<ul style="list-style-type: none"> <li>観測や解析の一連の流れを包括的に理解できる。</li> <li>観測とデータ処理の一連の実習が体験できるとよい。</li> <li>CCDなどの観測装置を用いた観測結果を画像ファイルとして取得して保存する。</li> <li>画像処理プログラムを用いて観測データを解析する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>赤道儀などの望遠鏡を用いた天体観測を指導できる。</li> </ul>		

表 2.11 K 天文学と社会

		I 文系を含む全学生	II 関連理系分野を 専攻する学生	III 天文学を専攻する 学生	IV 教員・科学コミュニ ケータ等を目指す学生
K 天文学と社会	K1 日常生活 と天文学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 季節があるのは、地球が自転軸を傾けつつ太陽の周りを公転するからである。</li> <li>・ 潮の満ち干は月と太陽の重力によるものである。</li> <li>・ 日食・月食は太陽、地球、月が特別な配列に並んだ時に起きる。</li> <li>・ 太陽・月・星々の見え方から方角を知ることができる。</li> <li>・ 太陽の光は、地球上のほとんどの生物にとって不可欠である。</li> <li>・ 太陽から出た粒子が地球に届きオーロラを発生させる。</li> <li>・ 天文学で扱う距離と時間のスケールは日常生活とは桁違いである。</li> <li>・ 天文学研究のために開発された技術は社会でも利用されている。</li> </ul>			
	K2 文明と 世界観	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 天体運動の周期性から数千年前に暦が生まれて文明へとつながり、また方角や時刻の概念が形成された。</li> <li>+ 天動説から地動説に至る中世のコペルニクスの転回と、望遠鏡の発明によってもたらされた観測事実に基づく宇宙観の変遷を理解する。</li> </ul>			
			<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 太陽系惑星、銀河の正体(銀河系と銀河)、宇宙膨張の発見、太陽のエネルギー源、宇宙マイクロ波背景放射、ダークマター、宇宙の加速膨張(ダークエネルギー)など、世界観を変えるような20世紀以降の天文学の発見とその歴史を概説できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 古代文明とともに暦などを通じての天文学が誕生した歴史的背景を概説できる。</li> <li>・ コペルニクスの発表から地動説の確立までには100年以上かかった。</li> <li>+ 観測事実(フーコー振り子、光行差や年周視差など)で地球の運動が説明できる。</li> </ul>	
K3 科学リ テラシー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現時点までの観測からは、地上で知られた自然法則は宇宙全体でも成り立つように見える。</li> <li>+ 宇宙の空間的な広がりや時間的なつながりの中で人類の位置を知ることで、グローバル(全地球的)な視点を超えたユニバーサル(宇宙的)な視点を身につける。</li> </ul>				
		<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 現代天文学の知見がどのように獲得されたかという手法や理論を学術的素養として身に付ける。</li> <li>+ 天文学が数学や物理学を基盤としており、化学や生物学とも関連することを知り、宇宙を含む自然現象の仕組みを、科学的な手法や知識を用いて証拠に基づいて研究することが肝要であるという認識をもつ。</li> </ul>			

## 参考資料1 天文学の教育システムの現状とカリキュラムの構成例

わが国の大学における天文学の教育システムの現状は以下のようである。本資料に概要を記し、参考資料2に、天文学・宇宙物理学教育が行われている大学（「宇宙を学べる大学・天文学者のいる大学」2020年度版[8]から作成）を示す。参考資料3には、2016年版日本天文学会会員名簿巻末の「主な関係機関」リストから抽出した大学ごとに、天文学に分類される授業科目の表を示した。この天文学の固有授業科目の数と実施態様で、各大学の教育単位（学科、コースなど）を以下に分類できる。

- A 学科あるいは学科内コースに「天文」あるいは「宇宙」の名を冠し、2年次から天文学固有の授業科目を設けている大学（国立4校、私立1校）
- B 学部3年次までは物理学科としての共通のカリキュラムが基本であり、「相対論、宇宙物理学、天文学概論」などの固有科目を選択科目として有し、卒業研究として天文学・宇宙物理学の課題がある大学（多数）
- C それ以外の大学（少数）

我が国の天文学の発展を支える上で、「A」の存在は中核として必須であるが、近年の天文学の拡大と発展にとって、多数の「B」が創設されていったことが極めて大きい。「C」の中にも「B」への改組が予定されている大学がある。今後の天文学・宇宙物理学のさらなる進展を図るためには、「A」の大幅な増加と、物理学以外の学科からの天文学・宇宙科学の大学院への進学者増大が必要であろう。

教員養成課程においては、地学担当教員が複数名在籍する大学の教員養成学部にて天文学が選択科目等で設置されていたが、国立の地方大学を中心に教員数が減少し、選択科目としても置かれていない大学が増えつつある。また、教員養成系大学・学部においては、「天文学」等を選択科目として有し、観測実習・演習や卒業研究として天文学・宇宙物理学の課題が取り上げられている。

科学コミュニケータ養成課程では天文学を系統的に学ぶ機会は少ないものの、科学と社会の接点として実習等で天文学が扱われる場合が多い。ただし、国内においては科学コミュニケータ養成課程を設置する大学はまだ少ない。

カリキュラムを構成する上では、教養教育、一般理科系教育（教員養成課程を含む）、天文学・宇宙物理学専門教育に分けて考えることが適切である。各大学・学部で、教員の数や専門分野を踏まえた適切なカリキュラムが構成されることが必要である。

天文学の研究手段として、「物理学」、「化学」、「数学」、「計算機科学」、「統計学」などが駆使されるため、これらの基礎についての学修が必要である。とりわけ物理学と数学については基礎および一歩進んだ理解と、それらを駆使できる能力が必要であり、研究に取り組む前の段階で習得できるように配置する必要がある。また、より広い視野の中での研究を可能にするために、「化学」、「生物学」、「地球科学」、「環境科学」などの基礎を学修しておくことが望まれる。

また、天文学の学修においては、座学としての講義だけではなく、実習も重要である。すなわち天体観測実習等と観測等データの解析作業、計算機シミュレーションおよびその成果発表と反省・講評を通じて、主体的な課題解決を学生が経験することである。これらは、個人や少人数グループによる演習やセミナー、あるいは卒業研究として配置されるのが望ましい。

また、教育形態の分類、成績評価について現状を記す。昨今では、新型コロナウイルス感染拡大防止のため、教育形態についてはオンライン授業が推進されており、効果的な形態の模索・開発・普及が急務である。

#### **(講義)**

大学教育において教育の中心的形態は講義である。講義を教育の核として位置付け、天文学固有の教育はもとより、数学、物理学はこの形式で体系的に学修することが基本である。

#### **(演習・セミナー)**

講義による体系的な学修を助け、あるいは学修結果を身に付けるために、演習を並行して行うことが効果的である。セミナーは啓発目的、あるいは議論、ディベートの教育を目的として行われる。実際に研究を行うために必要な技術（スキル）を身に付けるために、画像解析演習、計算機シミュレーション、統計処理演習、データベース使用演習などが有効である。

#### **(実験・観測実習)**

天体観測実習は、物理学における実験、地学におけるフィールドワークと同様、理系分野に共通する重要な教育である。

望遠鏡による可視光・赤外線観測、パラボラやアンテナによる電波観測、太陽観測、宇宙線検出器なども有効である。天体望遠鏡使用実習は教員養成、科学コミュニケーター養成では必修科目であろう。

#### **(成績評価)**

天文学・宇宙物理学に固有の評価方法はないといってよい。ただし実際の宇宙・自然を対象とした研究であることから、自然をありのままに観察し洞察する能力を重視すべきである。また宇宙観・自然観に深い影響を持つことから、広い視野で自分の研究を位置付けられる能力を高く評価することが望まれる。後者は、科学を「伝える」能力養成の点でも重要である。

## 参考資料 2 天文学・宇宙物理学教育が行われている大学

宇宙を学べる大学・天文学者がいる大学および宇宙を学べる大学（2020年版）一覧表[8]

<https://www.solato.net/solawomanabu/college/>

<https://www.solato.net/solawomanabu/college/2020list/>

上記サイトの一覧表を基に計数した。この調査は宇宙を研究しているスタッフのいる大学に直接アンケート調査を依頼し、回答結果がまとめられたものであり、データの入手ができていない大学がある点に注意する必要がある。より詳細な情報については、上記サイトを参照のこと。また、このデータは年々変化することに留意されたい。

宇宙を学べる大学・天文学者がいる大学： 国公立 40 校（コース）、私立 21 校（コース）  
天文学・宇宙物理学分野の教育の実施規模（教育単位の呼び方は学科、コースなどさまざま）

- ・かなり集中している ..... 13 学科・コース等
- ・ある程度まとまっている ..... 29 学科・コース等
- ・いくつかの講義が受けられる ..... 18 学科・コース等
- ・講義はほとんどない ..... 1 学科・コース等

（注：分類はアンケート回答に基づく）

教員・学生数： 教員数 258 名、講義数 386、ゼミ数 203

天文学・宇宙物理学分野の学生・院生数（年度により多少変動）

- ・卒業研究（学部生） ..... 606 名
- ・修士（博士前期）課程 1 年生 ..... 241 名
- ・博士後期課程 1 年生 ..... 58 名

天文学を専門とする学科は極めて少なく、天文学の教育は多様な形態で行われている。教育単位あたりの教員は 3 名以下のところが大半であり、講義内容などが教員の経歴に依存したものになりがちである（図 1）。

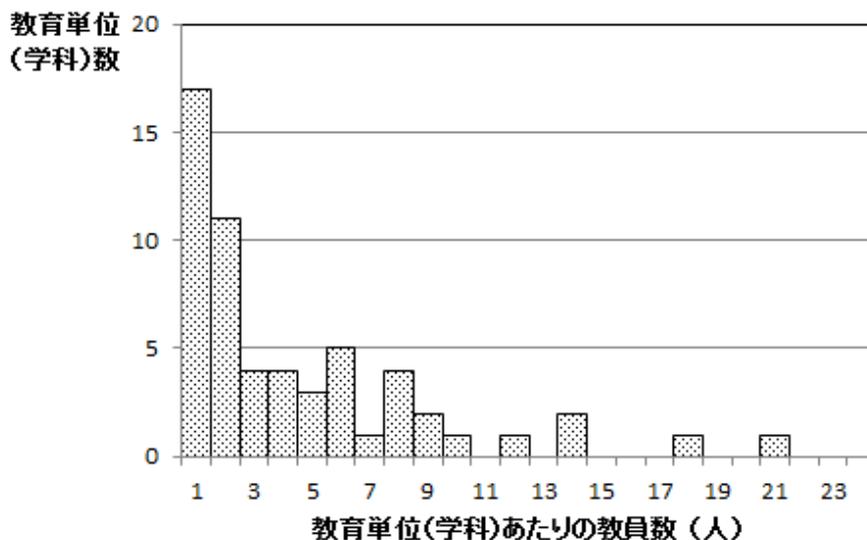


図 1 教育単位あたりの教員数の分布

### 参考資料3 天文学・宇宙物理学の授業科目の例

天文学・宇宙物理学に分類される授業科目の例として、「宇宙を学べる大学・天文学者がいる大学」[8] から抽出したものに、各大学等教員から得られた情報、オンライン公開されている情報を追加した。これらの内容は、完全かつ同じ基準で網羅したものではなく、年々変化することに留意されたい。なお卒業研究に相当すると思われる科目は網羅していない。

大学・学部・学科			1年次	2年次	3年次	4年次
北海道大学	理学部	物理学科	宇宙惑星探査の新展開	現代天文学	宇宙物理学 相対論	
北海学園大学			宇宙科学I 宇宙科学セミナーI・II 地学実験	宇宙科学II		
弘前大学	理工学部	数物学科 地球環境防災学科		天文学	宇宙物理学 相対性理論	
岩手大学			宇宙のしくみ			
東北大学	理学部	宇宙地球物理学科		天文学 相対論I 天体物理学I 天体物理学実習I 天体測定学I 天体測定学I演習	天体物理学II・III 天体観測 恒星物理学I 天体物理学実習II 天文学セミナー	銀河宇宙物理学I・II 天体測定学II 相対論II 天文学特選E・F 宇宙論 恒星物理学II 高エネルギー天文学 宇宙地球物理学研究
	工系		天文学			
	法経系		天文学概論			
宮城教育大学				地学講義IIA		
秋田大学			宇宙科学基礎 地学III 星の世界A 相対論と宇宙機器			
山形大学	理学部	物理学科			相対論 現代天文学入門	
福島大学			宇宙と素粒子の物理学 特論I・II			
茨城大学	理学部	物理学コース			宇宙物質学	相対性理論
筑波大学	理工学群	物理学類		特殊相対性理論	一般相対性理論	宇宙物理学概論 宇宙物理学
筑波技術大学	産業技術学部		宇宙地球科学			
埼玉大学	理学部	物理学科		相対論 地学概論	宇宙物理学	一般相対論
	教育学部	自然科学講座	地学 天文学	地学実験 天文学	地学演習 天文学	天文学
千葉大学	理学部	物理学科			宇宙物理学A 宇宙物理学特論 相対論特論	宇宙物理学B
東京大学	理学部	天文学科 物理学科	宇宙科学I・II 宇宙科学実習I・II	天文地学概論 天体物理学演習I	位置天文学・天体力学 銀河天文学 計算天文学I・II 天体観測学 天体物理学演習II 基礎天文学実験 太陽恒星物理学 天体輻射論I 天文学ゼミナール 基礎天文学観測	星間物理学I・II 恒星進化論 天体輻射論II 宇宙論 系外惑星 一般相対論 宇宙物理学 重力波物理学
	教養学部	学際科学科				
	文系		宇宙科学I			
東京学芸大学	教育学部		基礎地学 地学実験	宇宙地球と生命 地学演習	宇宙物理学 宇宙物理学演習 宇宙物理学特別演習 天文学特別演習 天文学実験	相対性理論

大学・学部・学科			1 年次	2 年次	3 年次	4 年次
東京工業大学	理学院	物理学系 地球惑星科学系			宇宙物理学 惑星天文学	一般相対論
お茶の水女子大学				相対論		
電気通信大学			宇宙・地球科学			
東京都立大学	理工学系	物理学コース			宇宙物理学 特殊相対論	一般相対論
青山学院大学	理工学部	物理・数理学科	宇宙科学		天体物理概論 宇宙物理 相対論	
桜美林大学			地学概論 自然理解	地学実験	天文学I	
学習院大学					核および天体物理学1	
慶応義塾大学	理工学部	物理学科			相対性理論 天体物理学	一般相対性理論
	文系		天文学 I・II			
工学院大学					宇宙・地球科学 地学概論	
國學院大學			宇宙物理学入門			
国際基督教大学					天文学	
中央大学	理工学部	物理学科				宇宙物理学 相対性理論
	文学部		宇宙論／特別教養(16)			
東海大学	理学部	物理学科			宇宙物理学 相対性理論	
東京理科大学	理学部第一部	物理学科			相対論 天体物理学 1	一般相対論 天体物理学 2
	理工学部	物理学科			相対論 宇宙物理学	
東邦大学	理学部	物理学科		相対性理論 地学	銀河天文学 宇宙物理学 物理学特論 II・V	
日本大学	理工学部	物理学科			宇宙物理学 天文学	
	文理学部		宇宙科学 宇宙を理解する 数と宇宙 1・2		相対性理論	宇宙物理学
日本女子大学	理学部	数物科学科	天文学と宇宙線の歴史	天文学概論	宇宙と現代物理学	宇宙物理学
法政大学	理工学部	創生科学科			宇宙科学計測	
東京都市大学	理工学部	自然科学科		宇宙科学 相対論入門	惑星科学	
明星大学	理工学部	総合理工学科物理学系		天文学 I・II	天文学 天体物理	一般相対性理論 宇宙論
立教大学	理学部	物理学科	宇宙物理学序論 1・2		宇宙物理学概論 宇宙地球系物理概論	
早稲田大学	先進理工学部	物理学科			相対性理論	宇宙物理学
	政経学部		宇宙・地球科学			
	教育学部		宇宙の物理学	天体物理学I 惑星科学		
神奈川大学	理学部	数理・物理学科	天文学概論		相対性理論・宇宙論	
	工学部				宇宙科学I・II	
関東学院大学			宇宙物理学 地学総論II 天文学		相対性理論	
新潟大学	理学部	物理学プログラム			特殊相対論	宇宙物理学 一般相対論
富山大学	理学部	物理学科		宇宙物理学概論	相対性理論	
金沢大学	理工学域	数物科学類 物理学コース				宇宙物理学
帝京科学大学	教育人間科学部	学校教育学科	宇宙と天文学	地学総論 II	地学特論 II	
信州大学	理学部		地学概論 II		宇宙物理学	

大学・学部・学科			1 年次	2 年次	3 年次	4 年次
岐阜大学			現代宇宙地球科学 宇宙地球科学概論			
静岡大学	教育学部	理科教育専修	基礎地学	地学実験	地球・宇宙システム 1	
	理学部				素粒子宇宙物理学 相対性理論	
名古屋大学	理学部	物理学科	宇宙科学	Astrophysics	宇宙物理学 I・II 一般相対論	宇宙物理学 III
	理系					
愛知教育大学			地学 I	宇宙科学 A・B 宇宙科学演習 A・B	宇宙科学実験 A・B	
名古屋市立大学	総合生命理化学部	総合生命理化学科	宇宙のなりたち	地学概論	天体物理学	
京都大学	理学部	物理科学系 (物理学科、宇宙 物理学科)	宇宙科学入門 天体観測実習	天文学概論 観測天文学 特殊相対論	基礎宇宙物理学 I・II 太陽物理学 惑星物理学 恒星物理学	銀河・星間物理学 観測的宇宙論 重力、重力特論 宇宙物理入門
	全学部					
京都産業大学	理学部	宇宙物理・気象学 科		天文学概論 宇宙観測と星の物理 学	星間空間と銀河の物 理学 ブラックホール天文学 宇宙観測・解析実習 天文観測技術特別実 験	
		物理学科			相対論	
立命館大学	理工学部	物理学科	宇宙地球科学 1・2		天体物理学	相対性理論
			宇宙科学			
龍谷大学			銀河と宇宙	宇宙の科学 I・II		
大阪大学	理学部	物理学科	宇宙地球科学 1・2	地球惑星物質学 地球科学概論 宇宙地球フィールドワ ーク	宇宙物理学 宇宙構造形成論 惑星科学概論 先端物理学・宇宙地 球科学輪講	相対論
			宇宙地球科学の考え方			
大阪教育大学	教育学部	教育協働学科		宇宙科学		
		教員養成課程	地学 2	天文学 地学実験 I 地学野外実習	宇宙物理学	
大阪市立大学	理学部	物理学科			現代物理学 I 相対性理論	素核宇宙物理学 I・II
大阪府立大学	生命環境科学域	自然科学類 物理科学課程		宇宙物理学 A	宇宙物理学 B	
大阪工業大学			宇宙科学			
近畿大学	理工学部	理学科			宇宙物理学 相対論	現代物理学 III
	生物理工学部		地学概論			
	工学部		宇宙の科学			
神戸大学	理学部	物理学科	惑星学概論 I・II 惑星学基礎 I・II 惑星学基礎 I・II 演習	特殊相対性理論	一般相対性理論 宇宙物理学	
			惑星学科		惑星学基礎 III・IV・V 惑星学基礎 III・IV・V 演習 惑星物理学基礎 I・II 地球惑星進化学 1・2 惑星学実習 D 惑星学実験実習の基 礎 I・II 相対論基礎	宇宙惑星科学 1・2 惑星物質科学 1・2 惑星物理学基礎 III 惑星学実習 A・B・C・E 惑星学 VI・VII・VIII 惑星流体力学 1・2 惑星物理学 1・2 同位体惑星科学
	発達科学部 国際人間科学部			宇宙環境物理学		

大学・学部・学科			1 年次	2 年次	3 年次	4 年次
兵庫県立大学	理学部	物質科学科	宇宙科学	天文学	天体観測 相対論	
	理系					
関西学院大学	理工学部	物理学科	宇宙物理学入門		宇宙物理学 特殊相対論 物理学実験	電波天文学 赤外線天文学 X線天文学
甲南大学	理工学部	物理学科	地学通論	相対性理論 地学実験 天体観測ワークショップ	宇宙物理学 天文学概論 宇宙学リサーチ	
奈良女子大学	理学部		地学概論 2		宇宙物理学入門	宇宙論入門
和歌山大学	教育学部		天文学 ミクロの宇宙論		天文学演習	
岡山理科大学	理学部	基礎理学科		宇宙科学 I	宇宙科学 II	
	生物地球学部		天文学概論 I	天文学概論 II 天文学史 天体力学	天体物理学 I・II 天文データ解析 天文観測実習	
広島大学	理学部	物理学科	天文学		相対性理論 宇宙天体物理学	
尾道市立大学			地球と宇宙			
山口大学	理学部	物理・情報科学科			宇宙物理学 相対論	
	教育学部					地学概論
香川大学	教育学部		地学 A・P	地学概論 I・II 宇宙地球環境論 地学実験	地学 I	
愛媛大学	理学部	物理学科		宇宙科学セミナー I	天文学 相対性理論 宇宙物理学 宇宙物理学実習 宇宙物理学セミナー	
福岡教育大学	教育学部		天文地球物理学 I	天文地球物理学実験 I 地学実験 II	宇宙地球科学 II 天文地球物理学 II・III 現代地学 B	
九州大学	理学部	物理学科 地球・惑星学 科	宇宙科学概論 地球惑星科学 I・II		特殊相対性理論・電 気力学 比較惑星学	一般相対性理論 宇宙物理学
福岡大学	理学部	物理学科		宇宙天体物理学	相対論	
長崎大学	教育学部	中学校教育コ ース		天文学		
熊本大学				基礎地球惑星科学		特殊相対論
大分大学	理工学部	共創理工学 科		基礎地学 地学実験 宇宙科学概論	宇宙科学	
	教育学部			地学概論 地学実験	天文学	
鹿児島大学	理学部	物理科学科 宇宙コース	宇宙のすがた	天文学入門	天体観測学 天体観測実習 相対論 宇宙物理学 I・II	宇宙物理学 III
琉球大学	理学部	物質地球科 学科	宇宙の科学	天文学序説	相対論	
	教育学部			地学 II		

この文書の起草は日本天文学会の「大学教育の参照基準策定ワーキンググループ」が行いました。

日 本 天 文 学 会  
大学教育の参照基準策定ワーキンググループ

座長	山岡 均	国立天文台・天文情報センター・准教授
幹事	岡村 定矩	東京大学・名誉教授
幹事	芝井 広	大阪大学・名誉教授
	縣 秀彦	国立天文台・天文情報センター・准教授
	大朝 由美子	埼玉大学・教育学部・大学院理工学研究科・准教授
	奥村 幸子	日本女子大学・理学部物理学科・教授
	海部 宣男	国立天文台・名誉教授（2019年4月まで）
	櫻井 隆	国立天文台・名誉教授
	福島 登志夫	国立天文台・名誉教授
	観山 正見	広島大学特任教授・国立天文台名誉教授