

天文学b

第1回 宇宙の観測と理論 宇宙を理解するには

平居 悠 (ひらい ゆたか)

自己紹介

平居 悠 (ひらい ゆたか)

メディア情報コース 講師

居室：H-2研究室

E-mail: yutaka.hirai@koeki-u.ac.jp

学位：

博士（理学）2018年 東大天文





中央研究院天文學研究所
國立中央大學天文台

國立天文台

中央研究院天文學研究所
國立中央大學天文台

一律停止
STOP

禁止停車
NO STOPPING

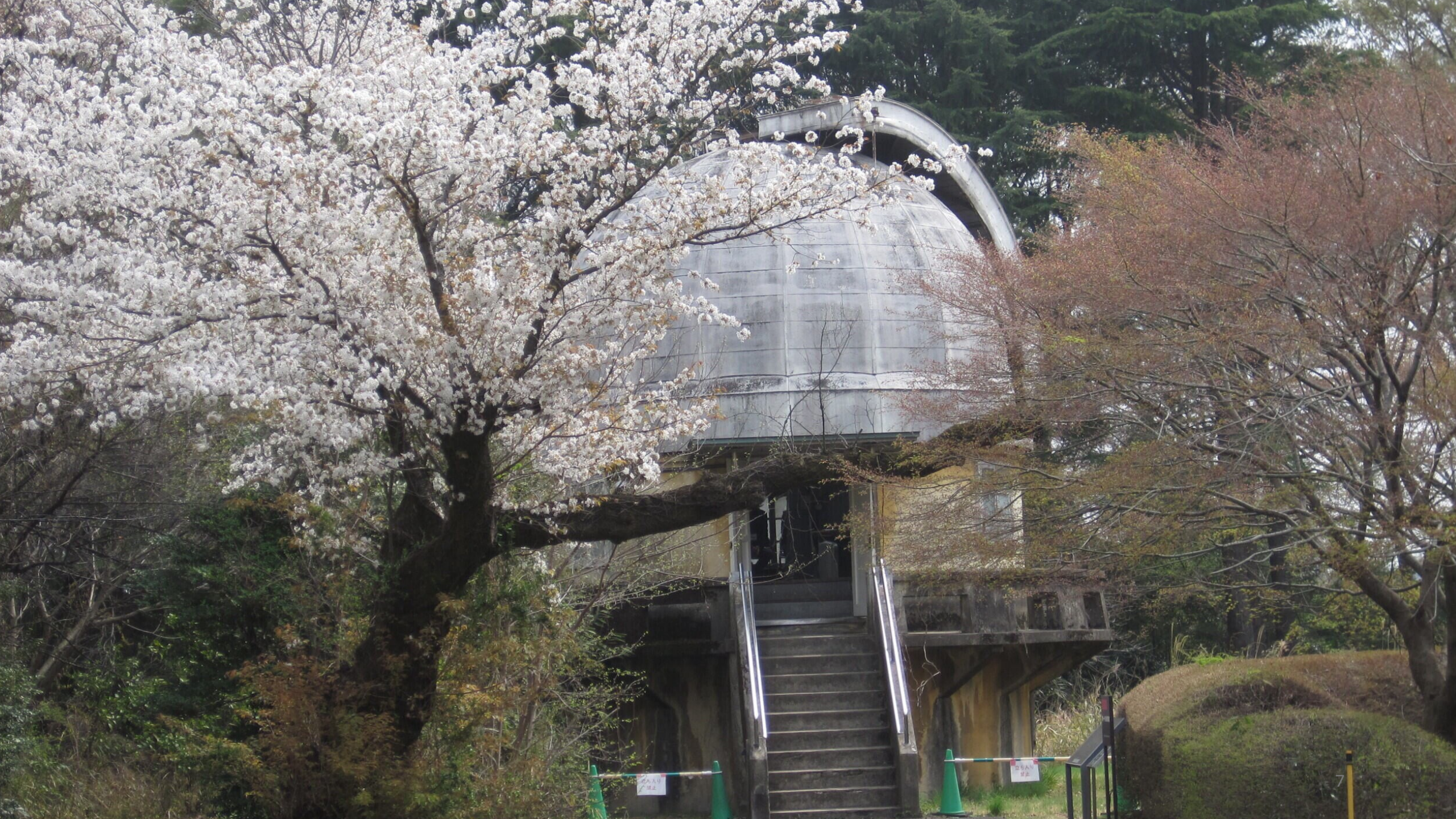
国立天文台







es. The Sizes of Telescopes. The H

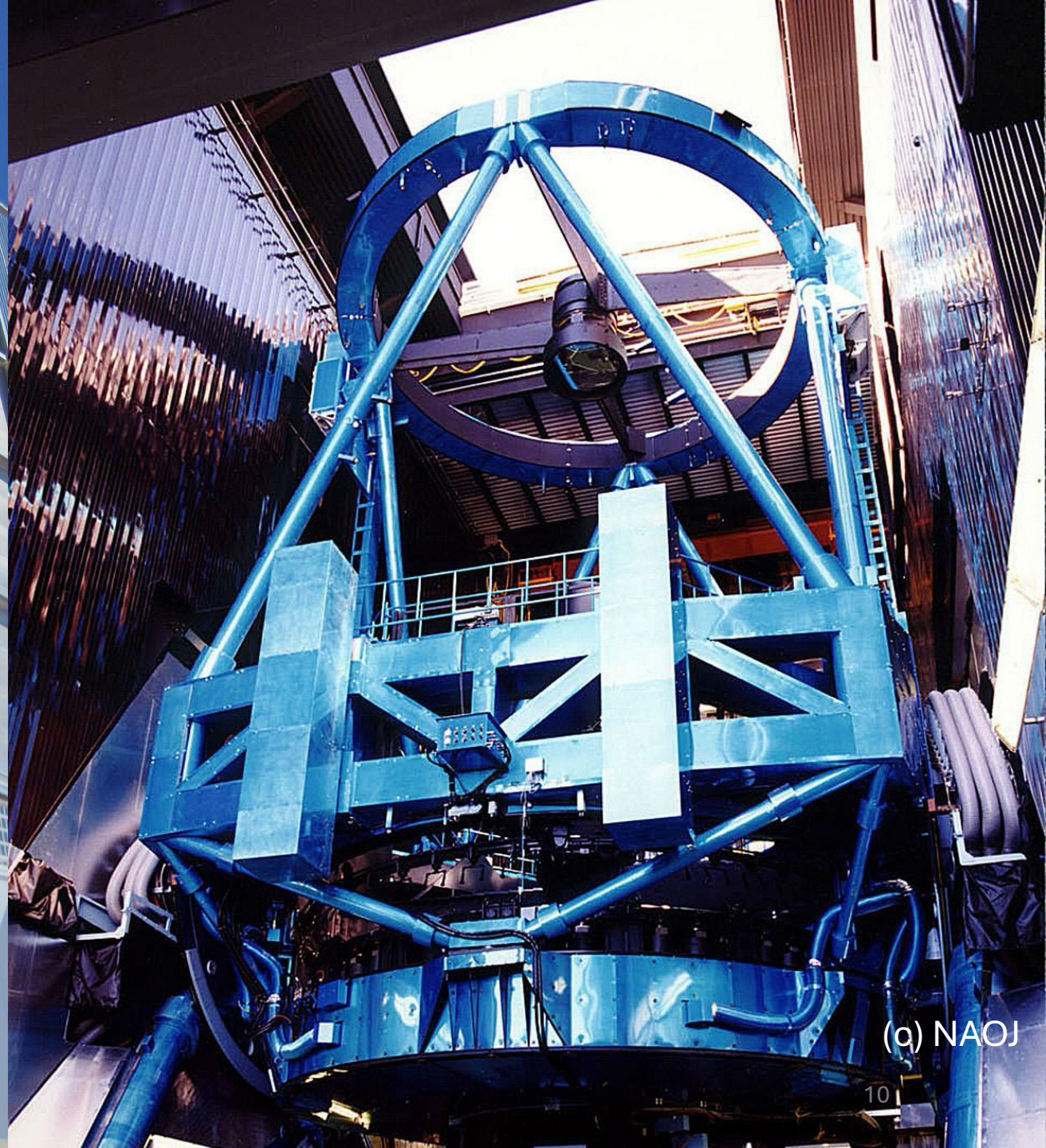
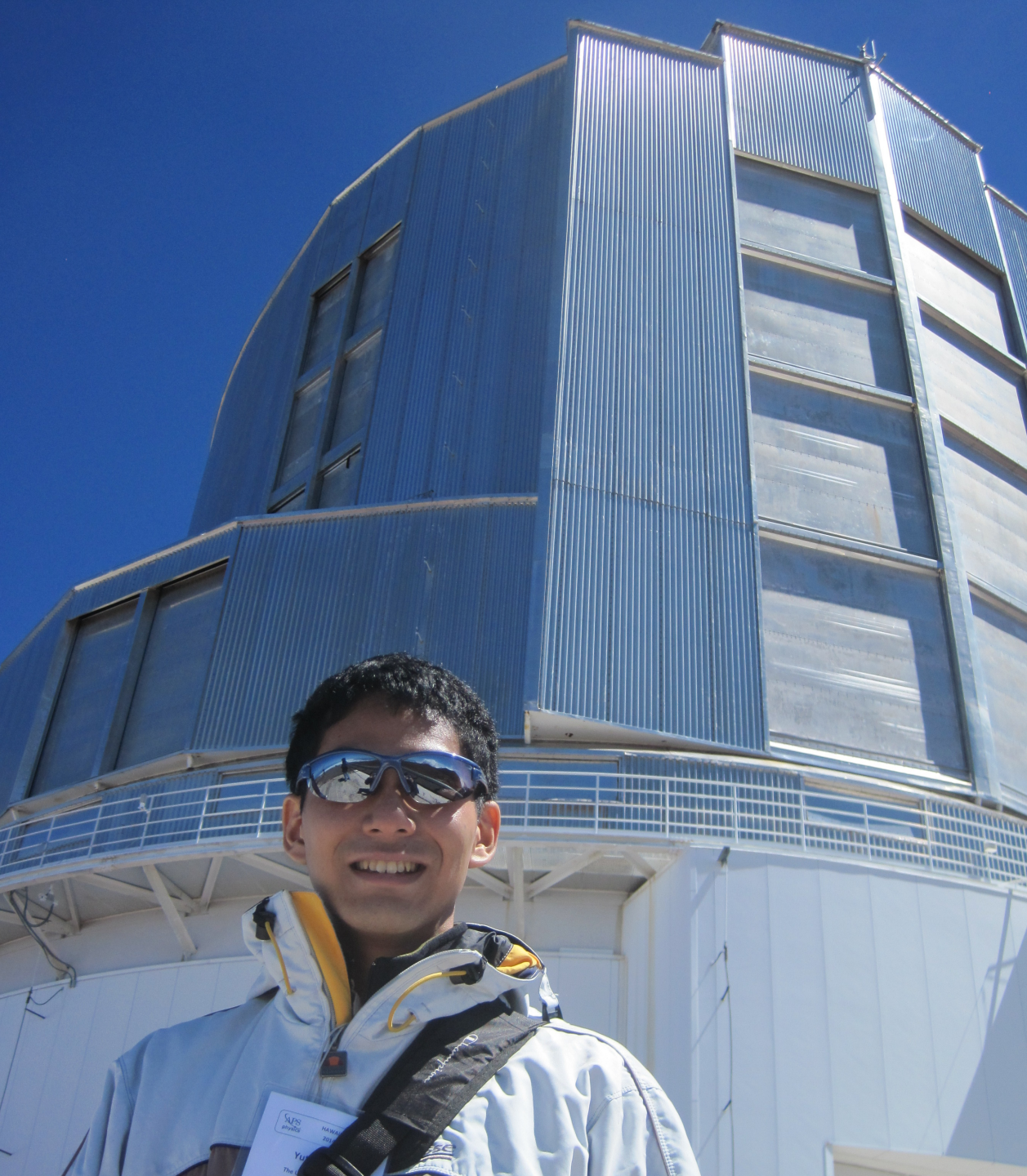


子午儀資料館

W5
子午儀資料館
（レプリカの子午儀）
Replika Sternwarte

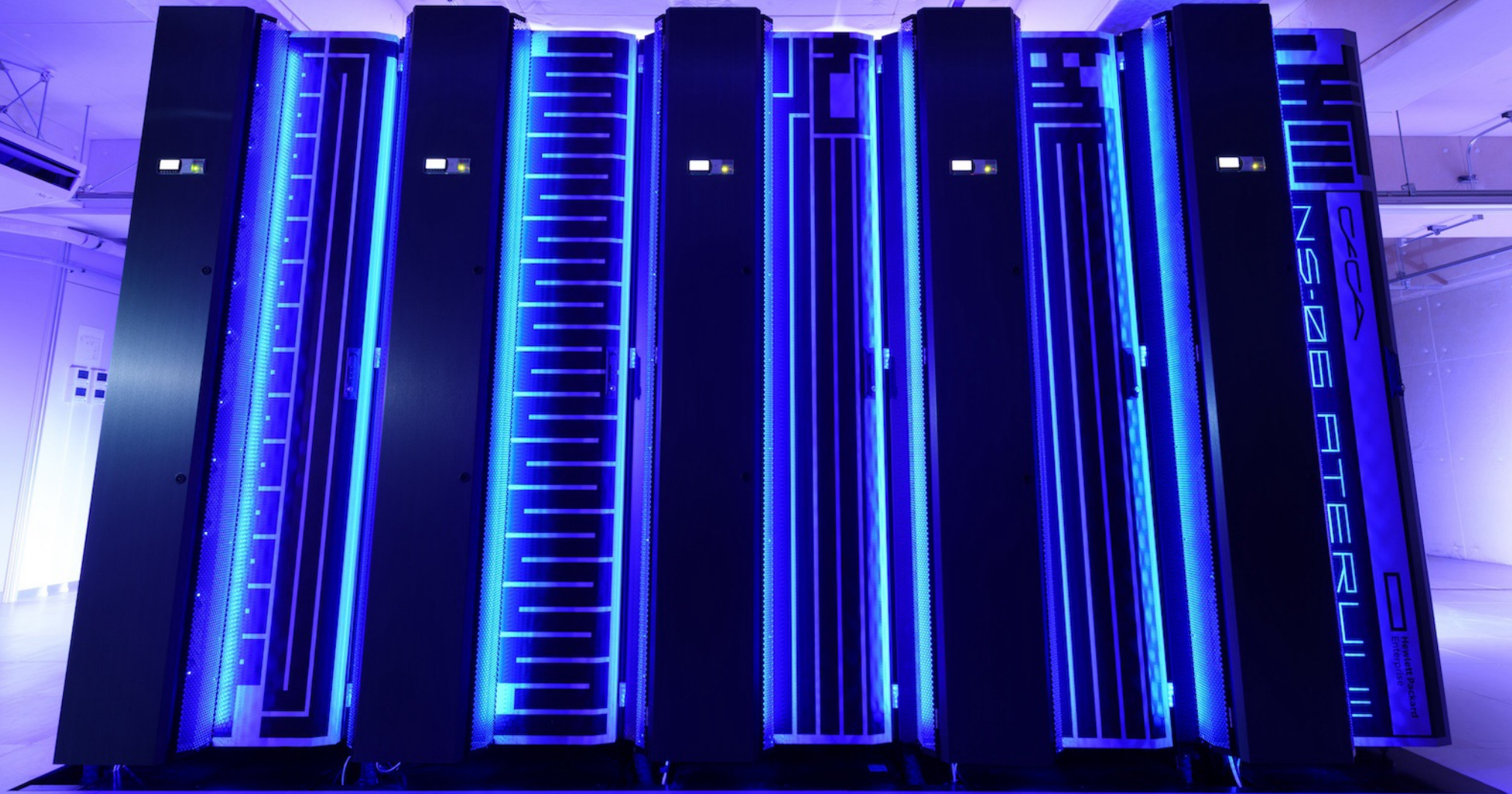






(c) NAOJ

スーパーコンピュータ「アテルイIII」

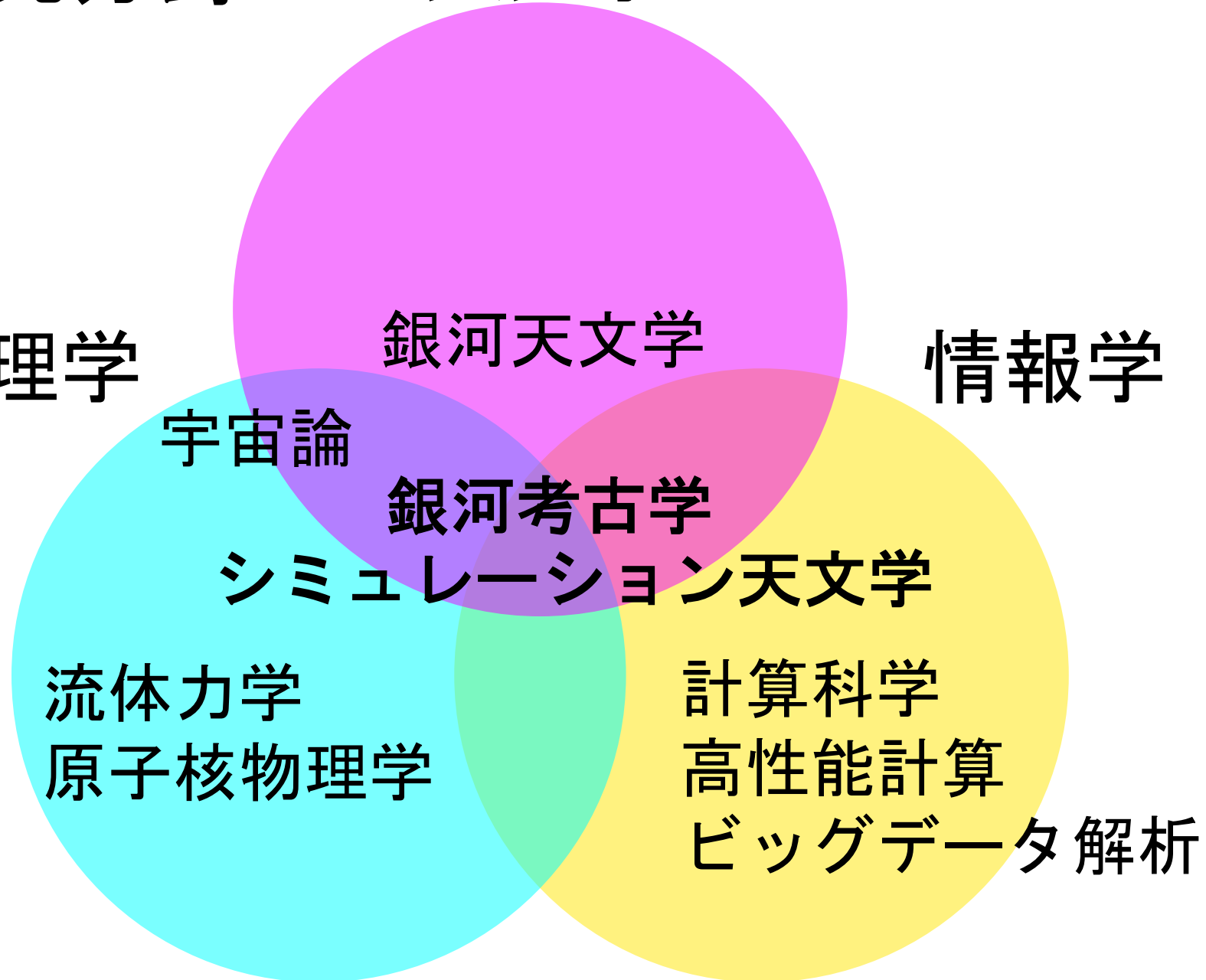


研究分野

天文学

物理学

情報学



所属学会

- 国際天文学連合
- 日本天文学会
- アメリカ天文学会
- 日本物理学会
- 理論天文学宇宙物理学懇談会
- 光学赤外線天文連絡会

天文学b

天文学bの位置付け

基礎教育科目
共通科目
STEAM導入科目

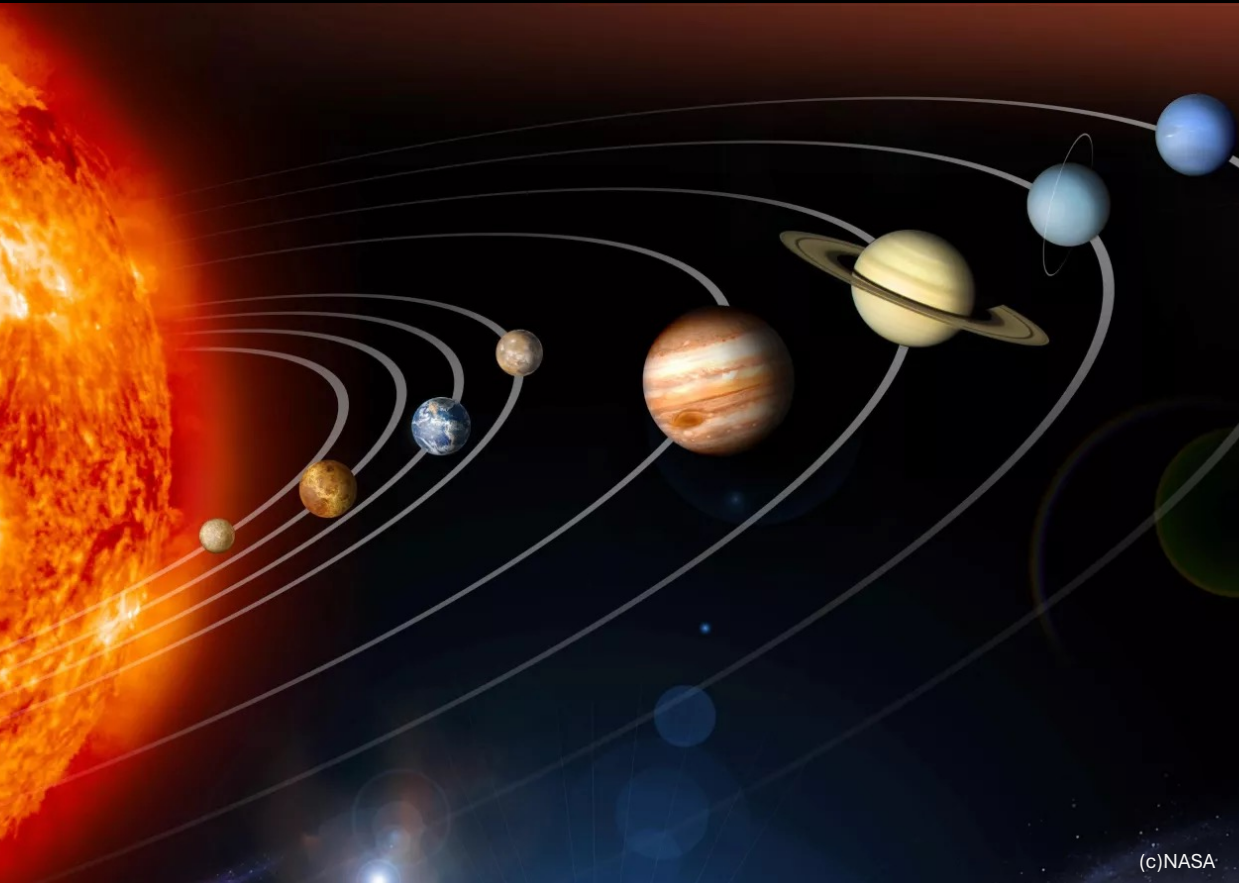


ディプロマポリシーとの関係

- DP1 課題を見つける力
「科学的思考力」
- DP2 探究に必要な知識
「持続可能な社会づくりに必要な知識」
- DP3 課題を分析する力
「数量的思考力」

天文学aとの関係

天文学a 太陽系内 天文学b 太陽系外



(c)NASA

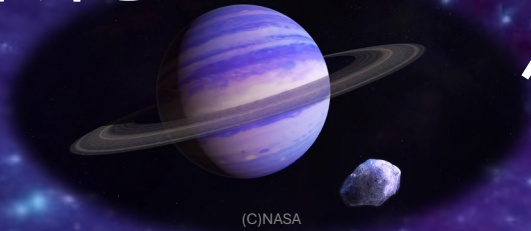


(c)NAOJ

授業概要

太陽系の外側の宇宙

第2回
太陽系外惑星



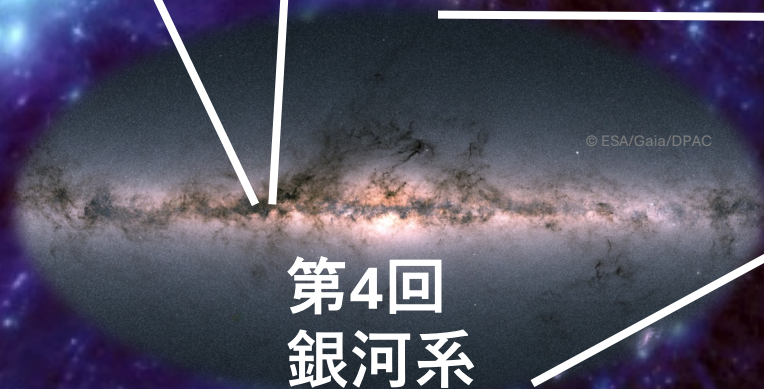
第1回
宇宙の観測と理論



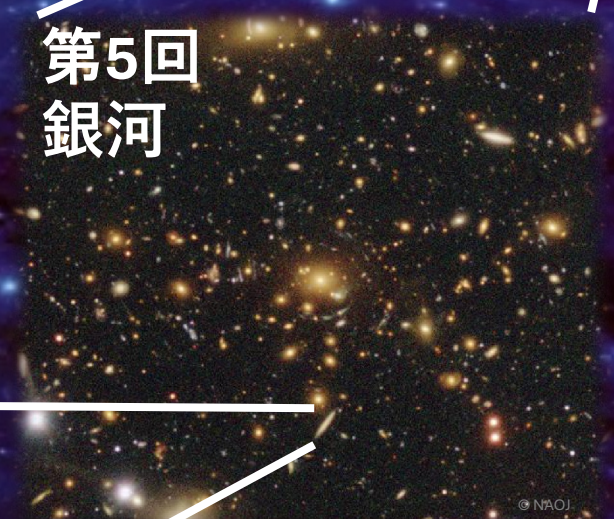
第3回
恒星



第4回
銀河系



第5回
銀河



第6回
宇宙論

到達目標

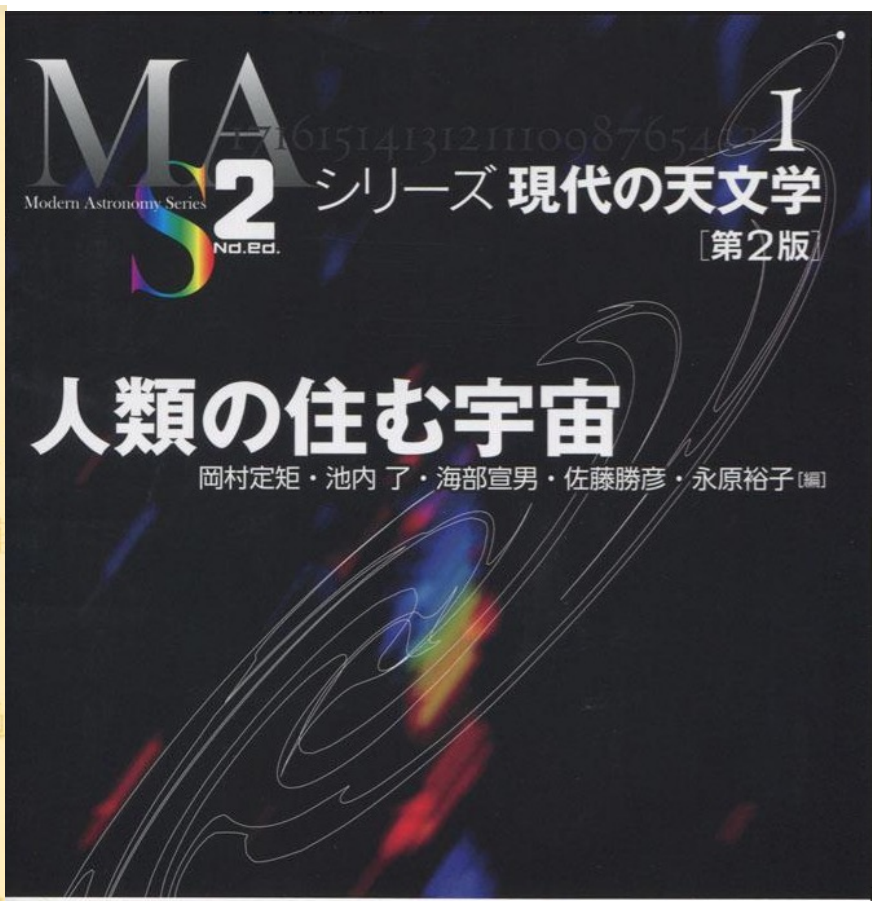
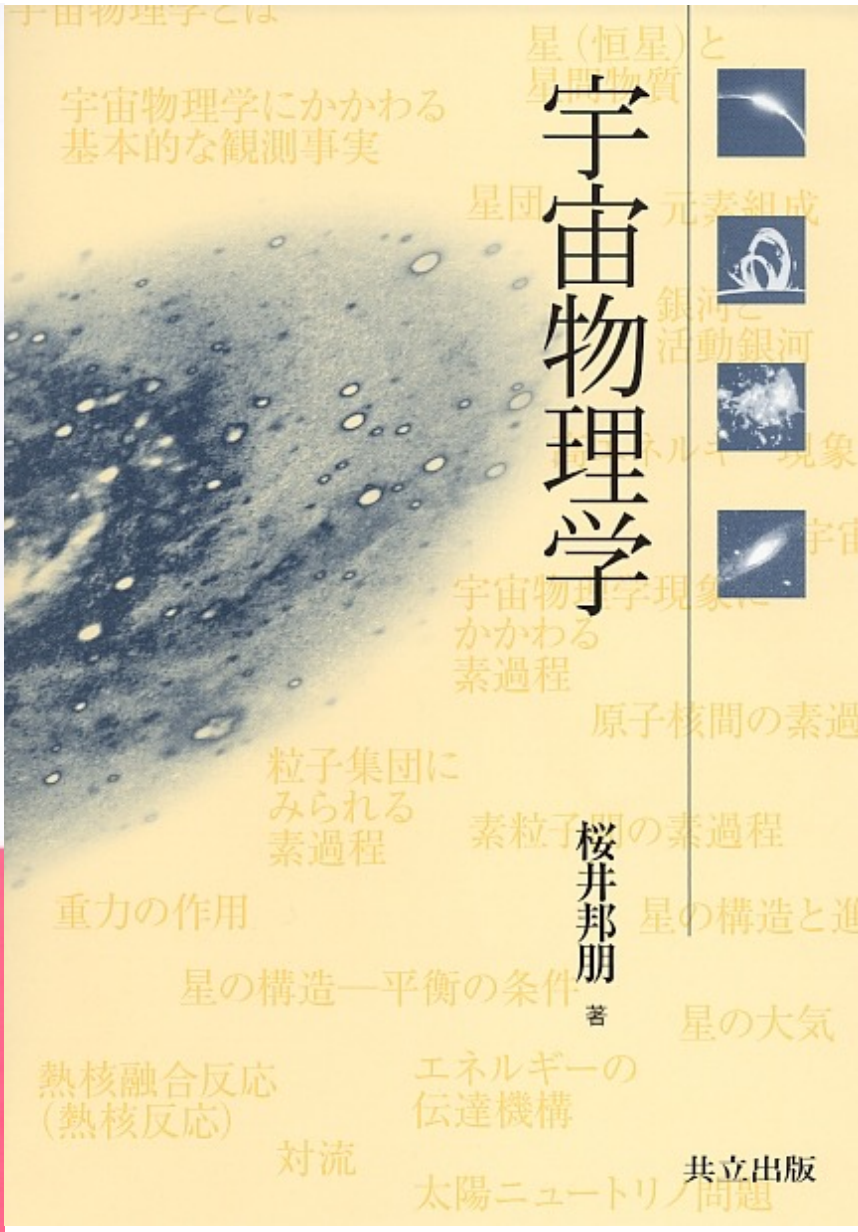
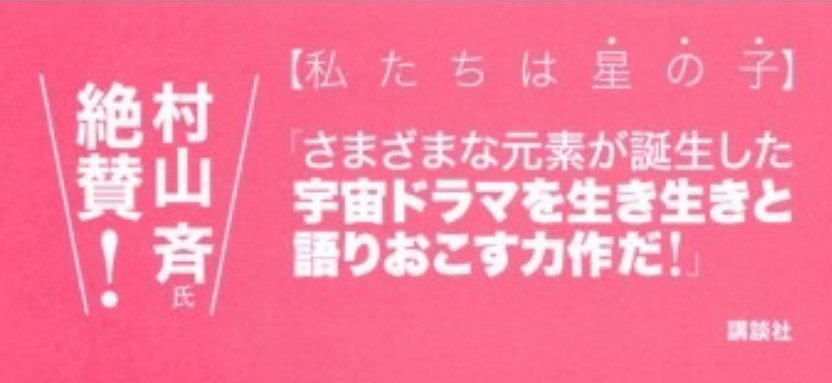
- 太陽系外の宇宙について理解する。
- 宇宙を理解する手法について説明できる。
- 広い視野を持ち多角的に物事を捉えることができる。

成績評価

平常課題 (20%)

期末試験 (80%)

参考書



天文学辞典

<https://astro-dic.jp/>

シリーズ 現代の天文学 別巻

天文学

Encyclopedia of Astronomy

辞典

岡村定矩
[代表編者]

家 正則・犬塚修一郎・小山勝二・千葉柁司・富阪幸治
[編]

日本評論社

授業ページ

学内：<http://roy.e.koeki-u.ac.jp/>

学外：<https://www.koeki-prj.org/roy/>

東北公益文科大学 学生専用サーバ

重要連絡

[s4 アカウントの設定を](#) / [世界大学ランキングアンケート2025のお願い](#) [オンライン学習環境について](#) / [個人PCのネットワーク接続について](#) / [教育研究棟での無線LAN接続](#) / [教科書・参考書の購入](#) / [パスワード管理をしっかりと](#) / [情報PC端末使用上の注意](#) / [s4 / 設定変更・障害情報](#)

教員のページ

[神田](#) / [広瀬](#) / [西村](#) / [山本](#) / [植田](#) / [平居](#) / [廣瀬美](#) / [保科](#) / [宝賀](#) / [神田和](#) / [カロール](#) / [ヤグナ](#)

1年次(編入生)

- [各種マニュアル\(まずここ!\)](#)
- [Webページの書き方](#)
- [情報教室授業環境のショートカットキー](#)

学生専用サーバ→平居→天文学b

質問等

- s4グループ（天文学b）
- メール (yutaka.hirai@koeki-u.ac.jp)
- オフィスアワー（H2研究室木曜2限）

授業概要

太陽系の外側の宇宙

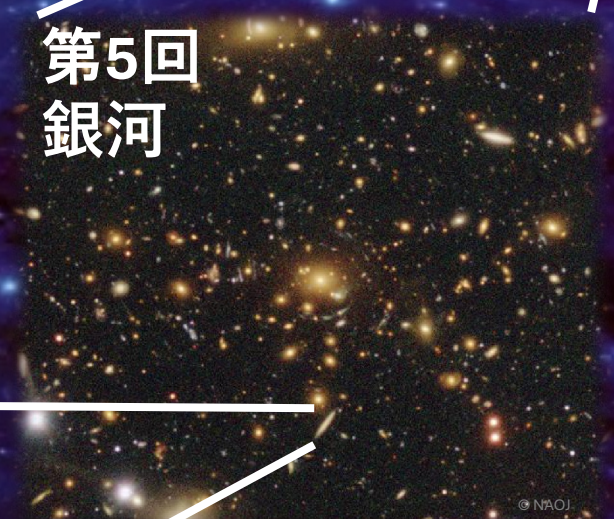
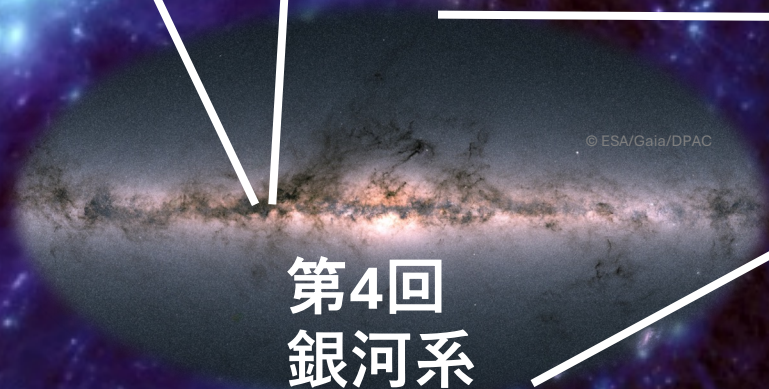
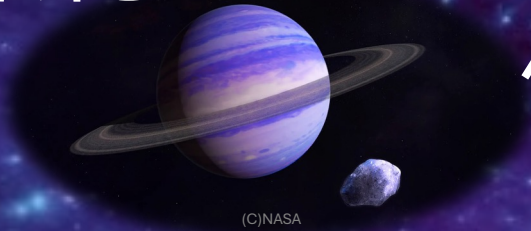
第6回
宇宙論

第5回
銀河

第3回
恒星

第2回
太陽系外惑星

第1回
宇宙の観測と理論



本日の目標

宇宙を理解するための観測と理論の手法について説明できる。

アイスブレイク

知っている宇宙の観測手段
や理論を挙げてみよう！

本日の内容

- 天文学とは
- 天体の明るさと等級
- 光赤外天文学
- シミュレーション天文学

本日の内容

- 天文学とは
- 天体の明るさと等級
- 光赤外天文学
- シミュレーション天文学

天文学の目標

宇宙そのものとその中にある全ての天体の起源と進化と性質、およびそこで起きるさまざまな現象を理解すること

「天文学のすすめ」公益財団法人日本天文学会

<https://www.asj.or.jp/jp/epo/encouragement/>

なぜ天文学を学ぶのか？

リベラルアーツ（教養）基礎科目の一つ

- 古代ギリシャ・ローマ時代に起源
- 中世ヨーロッパの大学の基礎科目：
「自由七科」（文法、論理学、修辞学、
算術、幾何学、**天文学**、音楽）
- 現代のリベラルアーツ教育の原点

ユニバーサルな視点

- 広大な空間（宇宙全体は 10^{23} km以上）、時間（宇宙誕生から138億年） スケール
- 多様な状態（極高温低温、極高密度、極希薄、極高エネルギー、極低エネルギー）

の理解

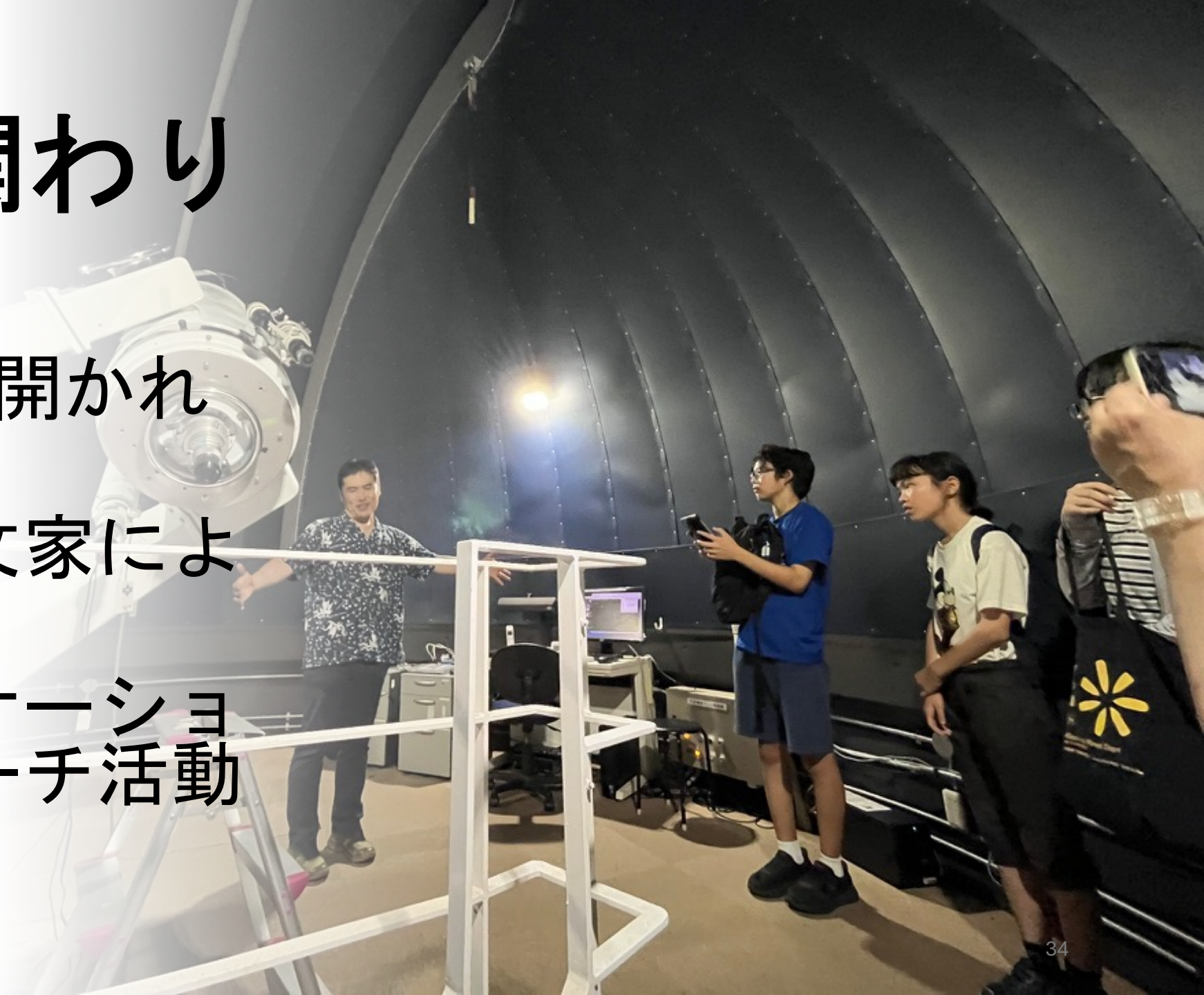


広い視野、全宇宙的（ユニバーサル）な視点に
立って考える力

社会との関わり

天文学は社会に開かれた学問

- アマチュア天文家による観測
- 科学コミュニケーション・アウトリーチ活動



多様な学問分野への入り口

経済経営
大規模プロジェクト

情報
データ分析

観光まちづくり
観光地としての
天文台

天文学

政策
宇宙政策

地域福祉
地域コミュニティ
の創出

国際
国際共同研究

公益の風 #52



東北公益文科大学 講師

平居 悠

「皆さんは天の川を見たことがありますか？」講演会でそんな問いかけをする、大抵半数くらいの方が「見たことない。」と答えます。昨今は天の川を見る機会は減ってしまいましたが、天の川は古来から人々の生活・文化に深く影響してきました。特に、年に一度、天の川に隔てられた織姫と彦星が巡り合う七夕は有名ですね。読者の中には、鶴岡の「えんむすび七夕祭」に参加したことがある方もいらっしゃるのではないでしょうか。私はこの「天の川」が一体どのような形にできたのか解き明かすことを目指して研究に取り組んでいます。

天文学者たちは、天の川を理解しようと何百年にも亘り研究を続けてき

星から探る天の川の歴史

ました。人類で最初に天の川に望遠鏡を向けたのは、ガリレオ・ガリレイです。ガリレイは、肉眼では雲のように見える天の川は実は無数の星の集まりであることを見出しました。それから300年後の20世紀初頭には、エドウィン・ハッブルが秋の夜空に見えるアンドロメダ銀河は天の川の遙か外側にある天体であることを明らかにしました。無数の星の集まりである天の川銀河はこれまでに無数にある銀河の一つであることがわかったのです。

天の川銀河がどのように生まれ、現在の姿になったのかを理解するには、星々に刻まれた情報を読み解く必要があります。私たちが形作る元素のほとんどは星で合成されました。星の中で合成された元素は、その星が一生を終える際に宇宙空間に放出されます。次世代の星はこれまでに放出された元素を取り込んで形成されます。すなわち、星の元素組成には銀河の歴史が記録されているのです。こうした星に刻まれたいわば化石情報から銀河の歴史を読み解く研究分野を銀河考古学と呼びます。

私はこの銀河考古学を専門としております。観測された星の元素組成

から銀河の歴史を読み解くために、天の川銀河形成シミュレーションを行っています。銀河形成シミュレーションでは、宇宙誕生から現在まで138億年に亘ってスーパーコンピュータの中で銀河ができる様子を再現します。写真は、私が行った天の川銀河形成シミュレーションでできた銀河です。私たちは天の川の中から見ているので、川のように見えますが、上から見るとこの写真のように渦巻き構造をしています。これまでの研究で、過去に天の川に合体して今はバラバラになっている銀河の姿を星の元素組成から甦らせることができるようになってきました。

こうした天文学研究で

生まれた手法は、幅広く社会で活用されています。例えば、私がシミュレーションのために用いるSPH法という流体力学の手法は、水や空気の流れの計算や、材料解析などでも用いられ、日々の防災や建物の設計などに役立てられています。天文学では、AIを活用したビッグデータ解析や計算の高速化の研究も進んでおり、いずれ様々な分野で応用されることでしょう。このように、天文学は公益学に含まれる重要な分野の一つと言えます。

庄内には天の川が綺麗に見える場所がたくさんあります。ぜひ夜空を見上げて138億年の天の川の歴史を感じてみてください。



天の川銀河形成シミュレーションでできた銀河の写真

身近な天文学者

安川智之さん

酒田市副市長

専門：銀河天文学

東北大学大学院理学研究科天文学専攻修士課程修了



小野寺仁人さん

国立天文台助教
鶴岡市出身

専門：銀河天文学

東京大学大学院理学系研究
科天文学専攻博士課程修了



天文学の全体像

宇宙論

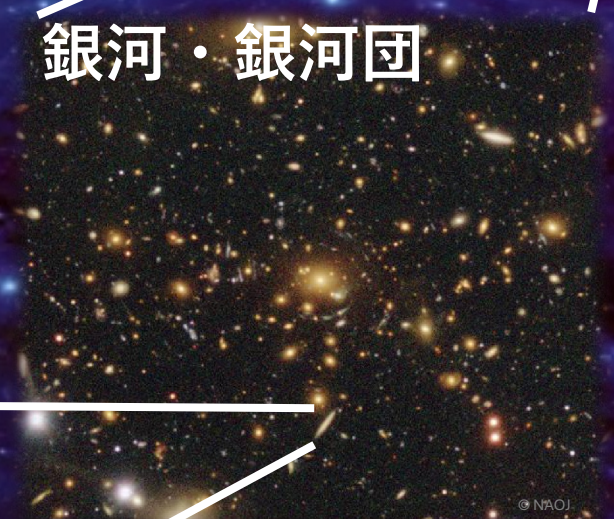
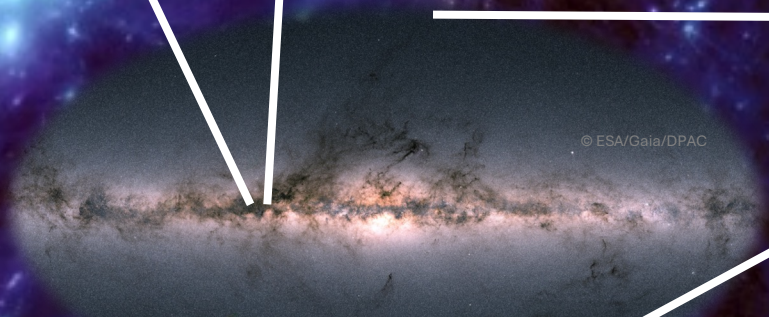
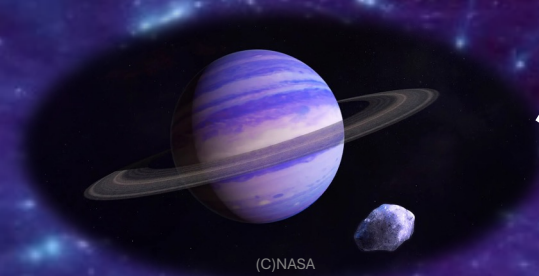
宇宙論
宇宙大規模構造

恒星と星形成
高エネルギー現象

銀河・銀河団

太陽と太陽系
太陽系外惑星

銀河系
局所銀河群



本日の内容

- 天文学とは
- **天体の明るさと等級**
- 光赤外天文学
- シミュレーション天文学

星の明るさ：等級



ヒッパルコス（古代ギリシャの天文学者）

- 最も明るく見える20個程度の星を1等星
- 肉眼でかろうじて見える一番暗い星を6等星



星の明るさ：等級

ハーシェル（1792-1871）

星の明るさの違いを判定

1等級違うごとに明るさは約2.5倍違い、1等星は6等星のほぼ100倍の明るさであることを明らかにした。

見かけの等級

ポグソン (1829-91)

1等星は6等星の100倍
の明るさと定義

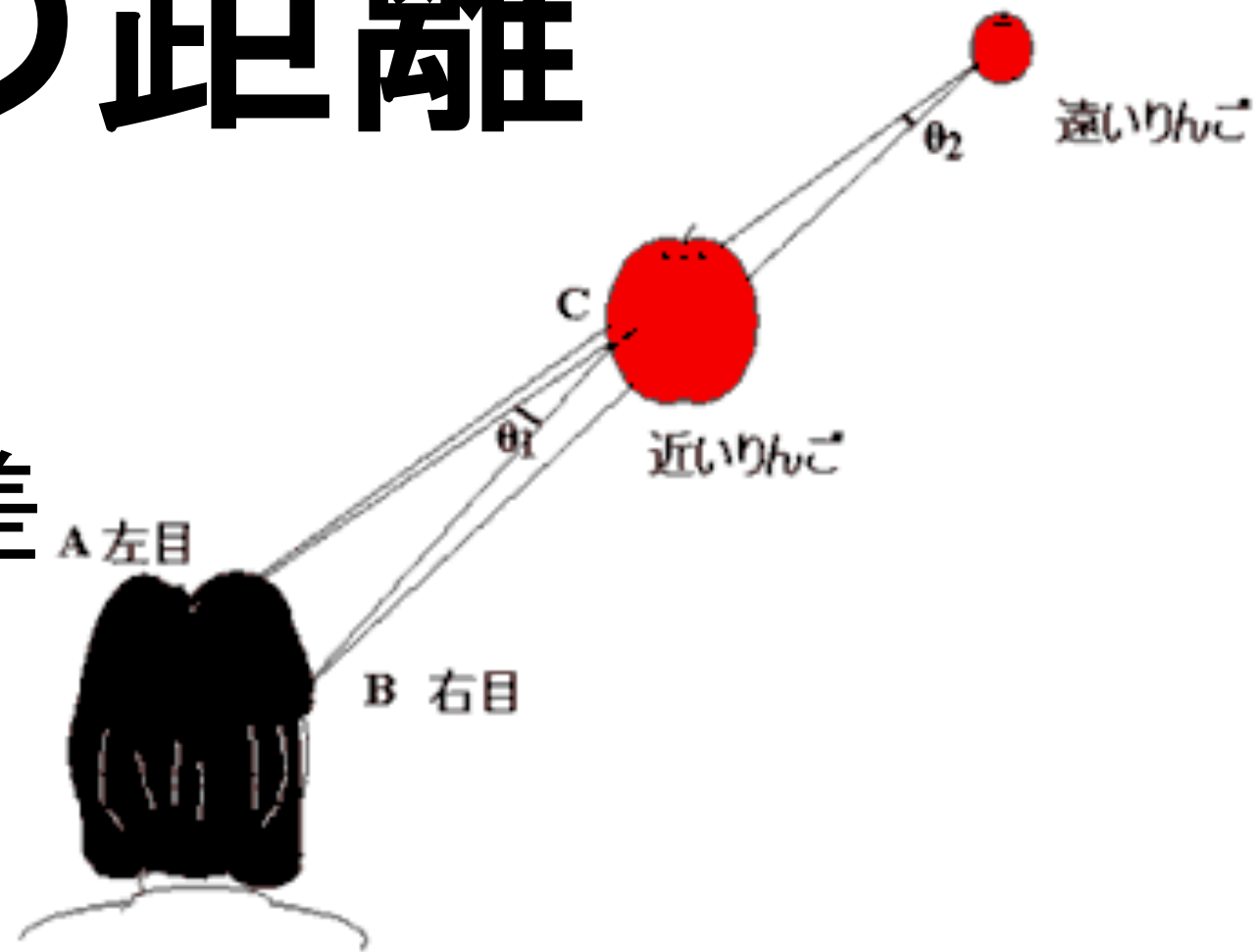
ポグソンの式：

$$m - n = -2.5 \log_{10}(I_m/I_n)$$



恒星までの距離

恒星までの距離は、
離れた2点からの視差
(三角視差) を測定
することで求める。



恒星の距離を表す単位

- 1 光年 = 光が1年間に進む距離 (1光年 = 9兆5千億 km)
- 1 パーセク (pc) = 年周視差が1"になる距離
 - 1" (秒) = 1' (分)の1/60
 - 1' (分) = 1° (度)の1/60
- 1 pc = 3.26光年

年周視差を p とすると、

$$d[\text{pc}] = \frac{1}{p}$$
$$d[\text{光年}] = \frac{3.26}{p}$$

絶対等級

恒星を10 pcの距離においてみたと
仮定したときの等級

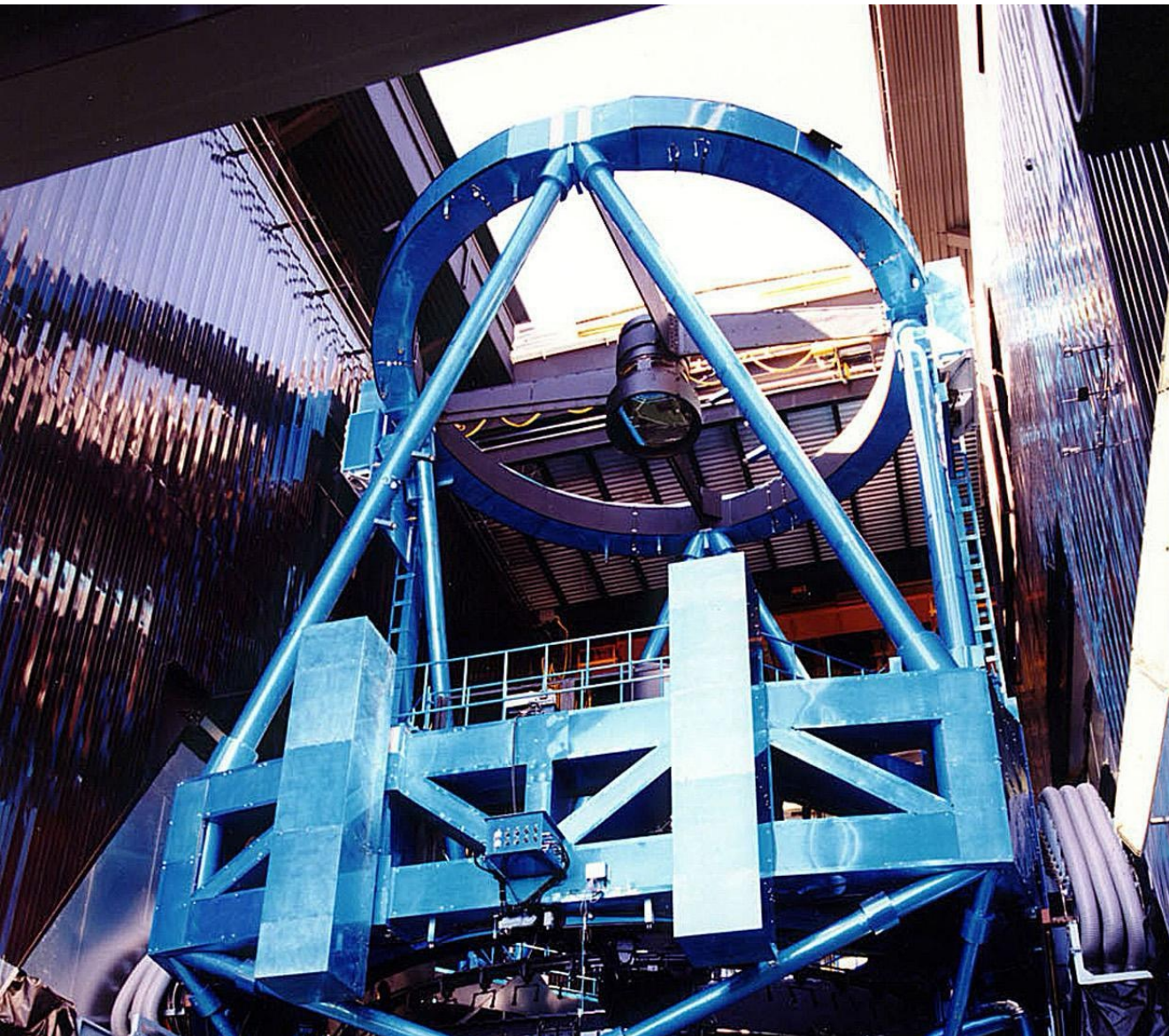
太陽の見かけの等級は -26.7 等級だが、
絶対等級は 4.8 等級

本日の内容

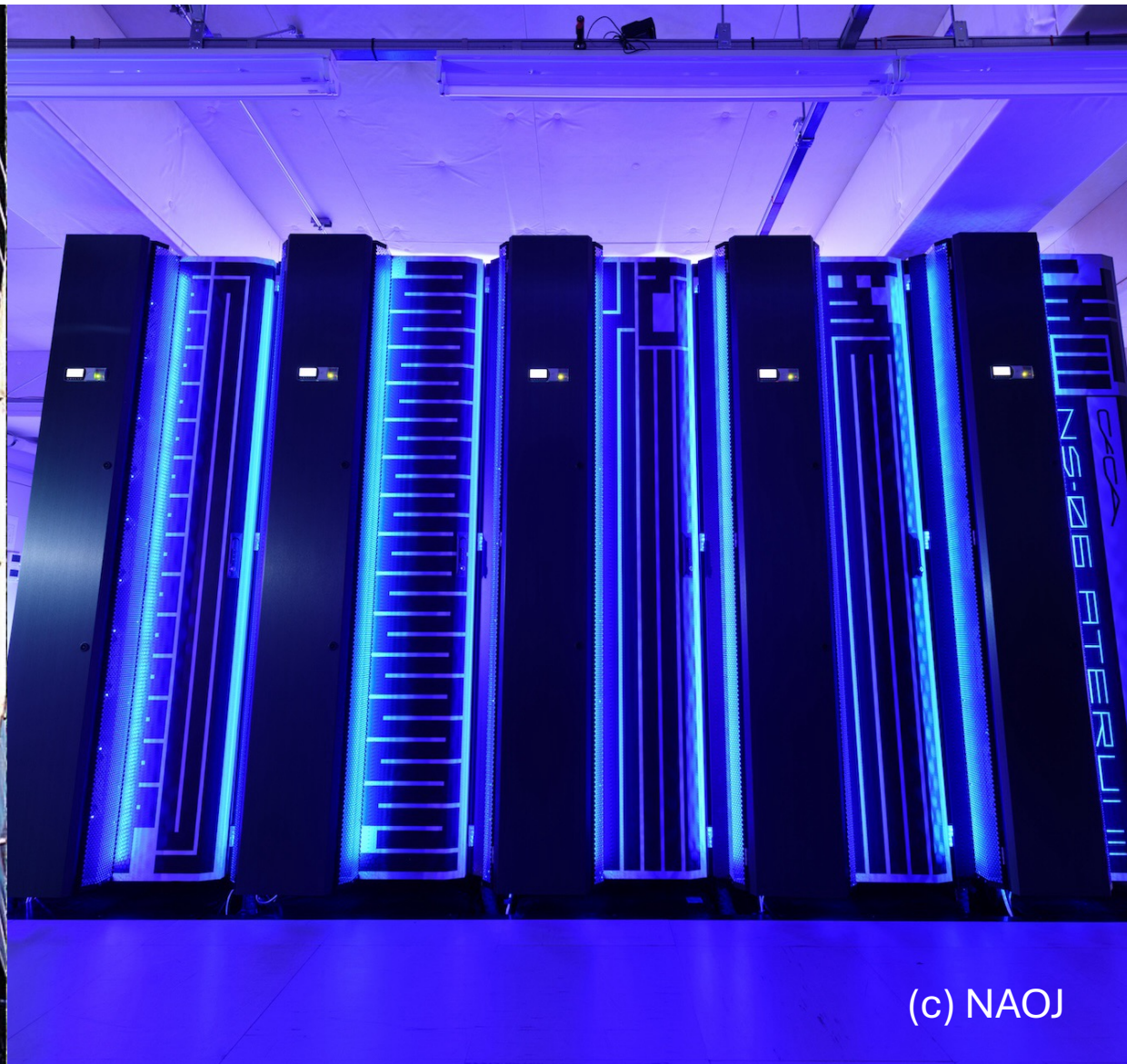
- 天文学とは
- 天体の明るさと等級
- **光赤外天文学**
- シミュレーション天文学

宇宙を理解するには

観測



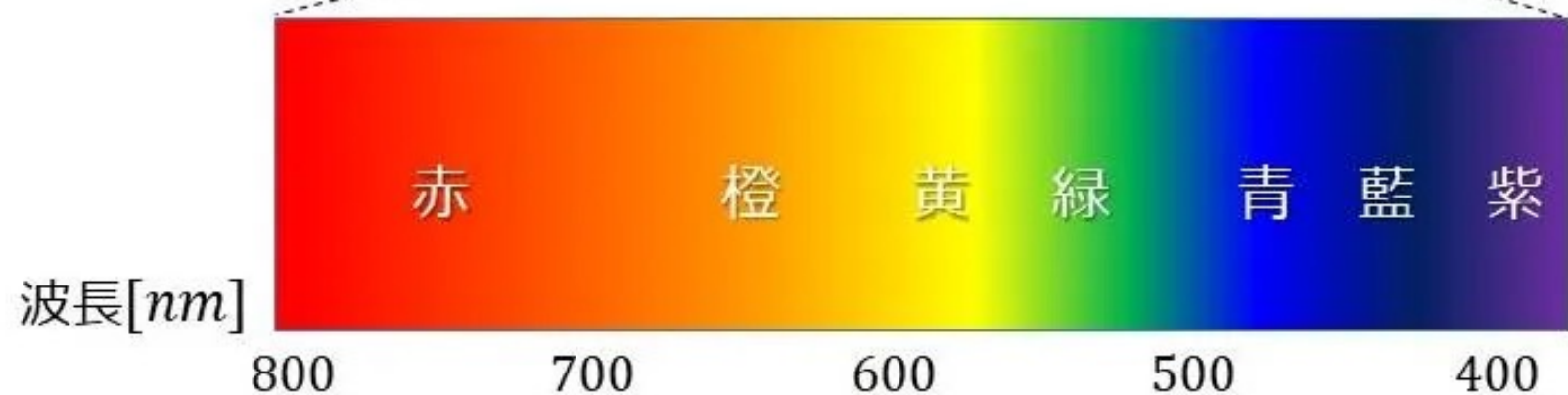
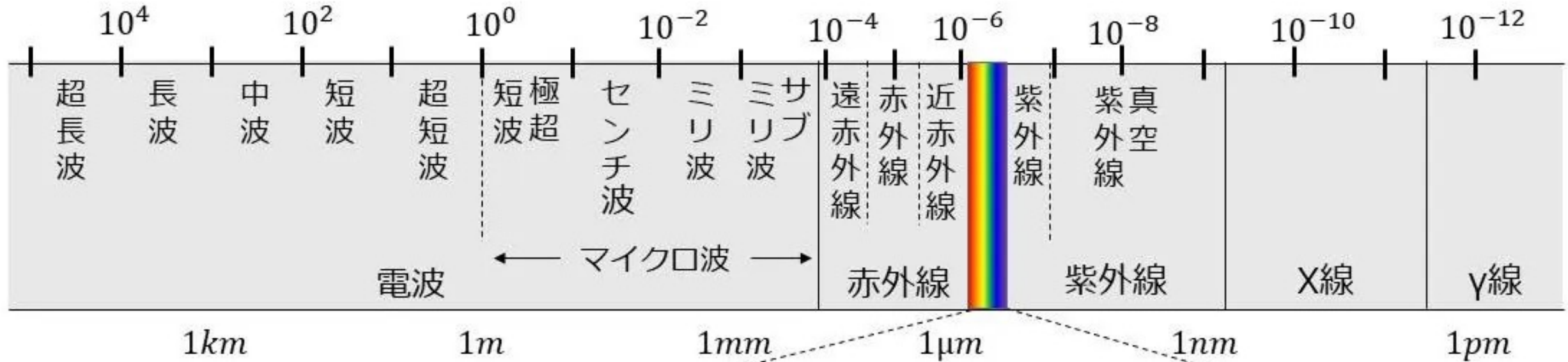
シミュレーション



(c) NAOJ

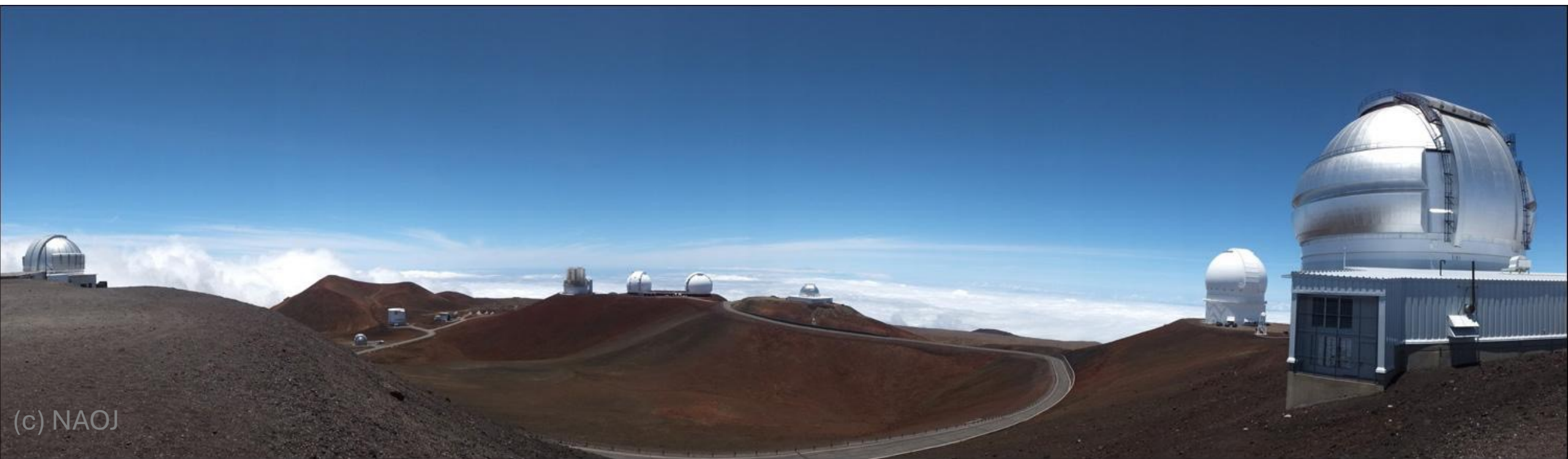
電磁波の波長

波長[m]



光赤外線観測

多様な恒星や星間ガスを観測できる。



(c) NAOJ

ハワイ・マウナケア天文台群

撮像と分光

- 撮像観測

- 天体の写真を撮る。

- 分光観測

- 天体の光を波長毎に分ける。

撮像

- 測光観測

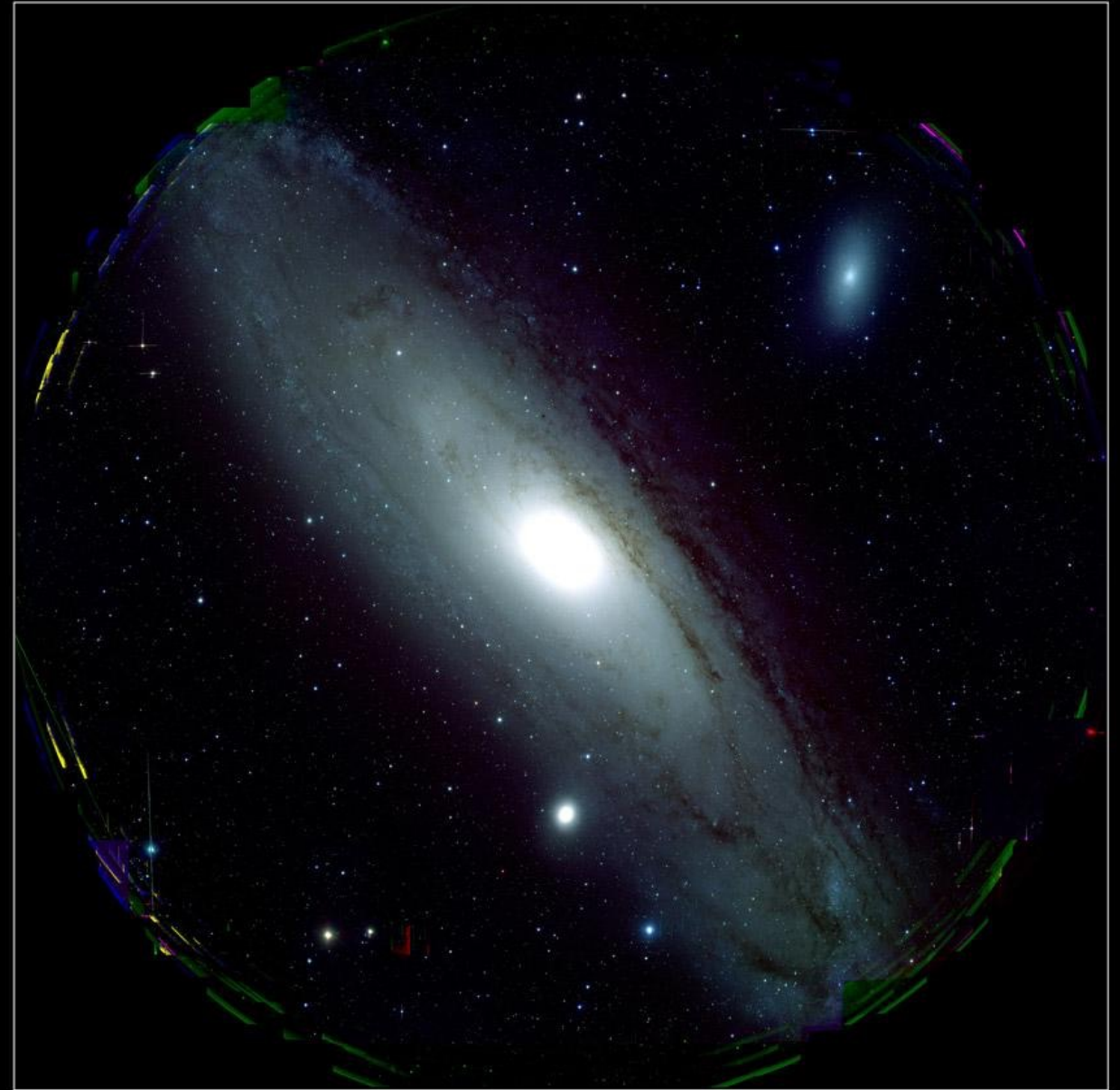
天体の明るさの情報を得る。

- 撮像観測

測光に加え、天体の形状まで調べる。

撮像観測の例

すばる望遠鏡超広視野
主焦点カメラ
HSC(Hyper Suprime-
Cam)



Hyper Suprime-Cam (g, r, i)



The Andromeda Galaxy (M31)

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan
Copyright © 2013. National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) and HSC Project. All Rights Reserved

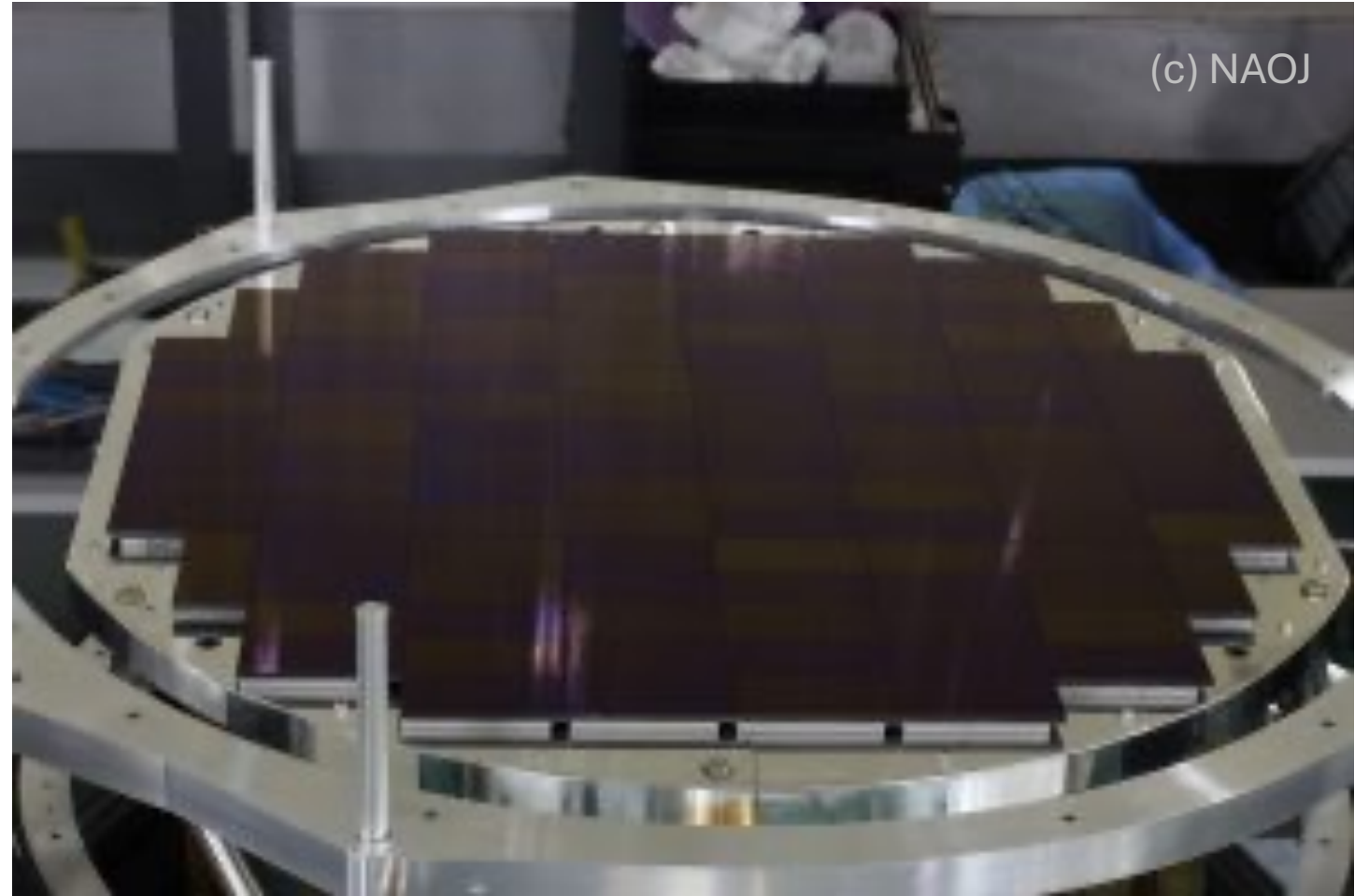
すばる望遠鏡超広視野主 焦点カメラ HSC(Hyper Suprime-Cam)

8億7000万画素の巨大
なデジカメ



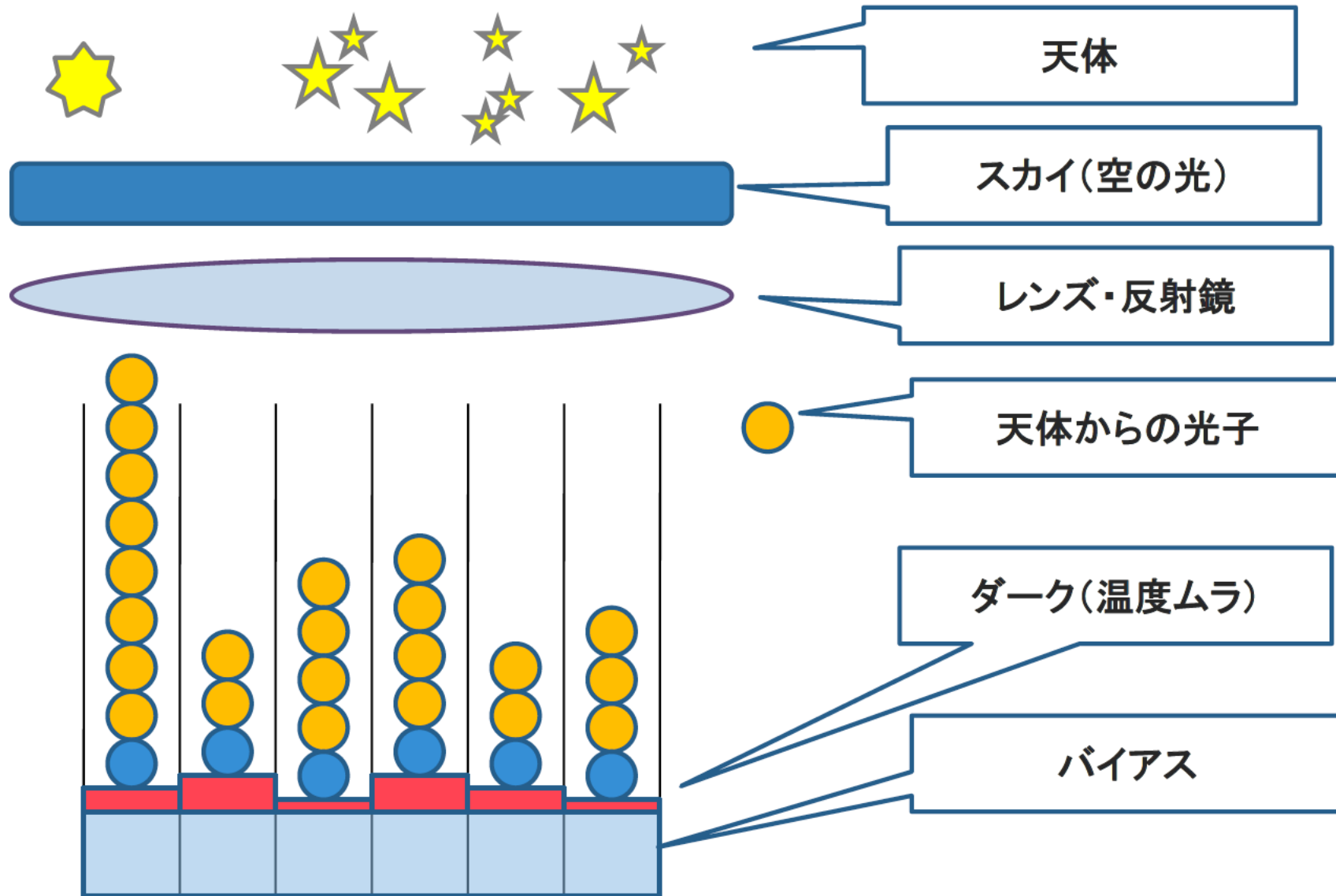
CCD（電荷結合素子）

光の量に比例
した電子画像
を得る



HSCのCCD

CCDによる画像取得のイメージ



もし天2011年度観測班「天文データ解析概論」
<https://www.astr.tohoku.ac.jp/~mawatari/data/Senten40cm/moshiten2012/anapractice20120707/lecture.pdf>(2026-6-4参照)

測光標準星

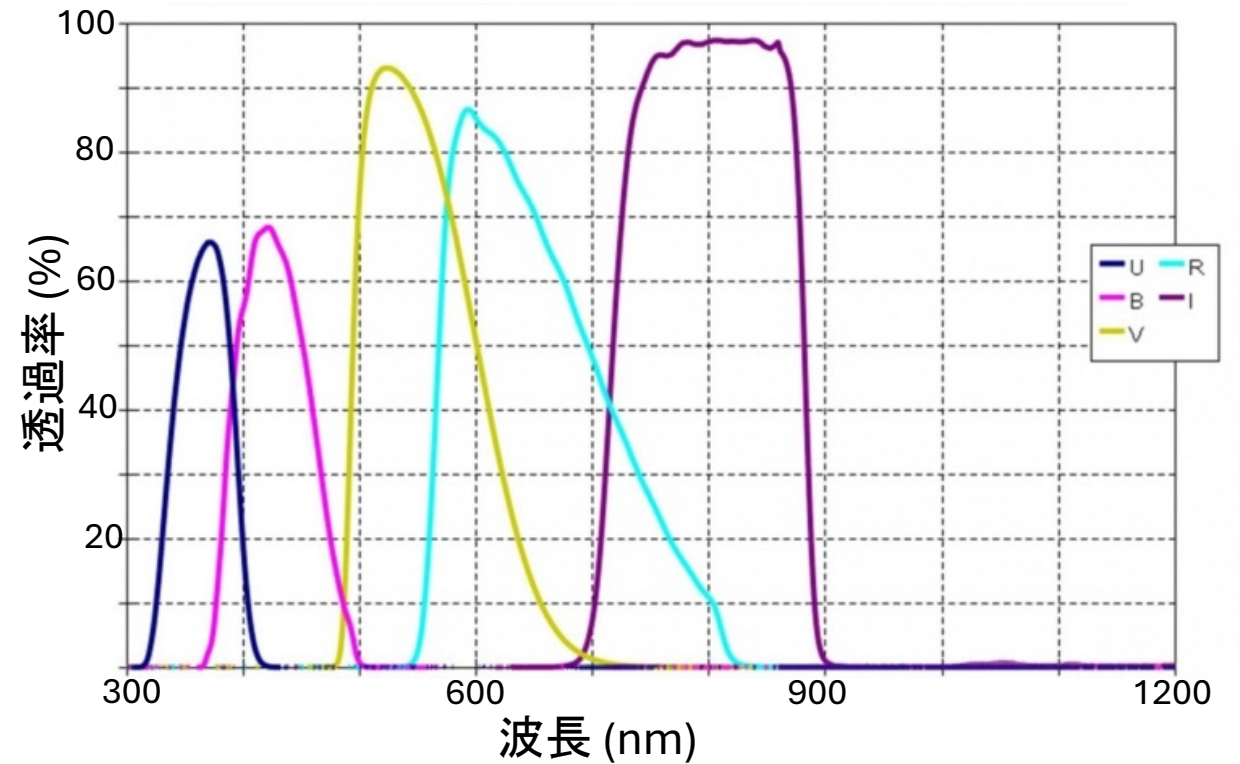
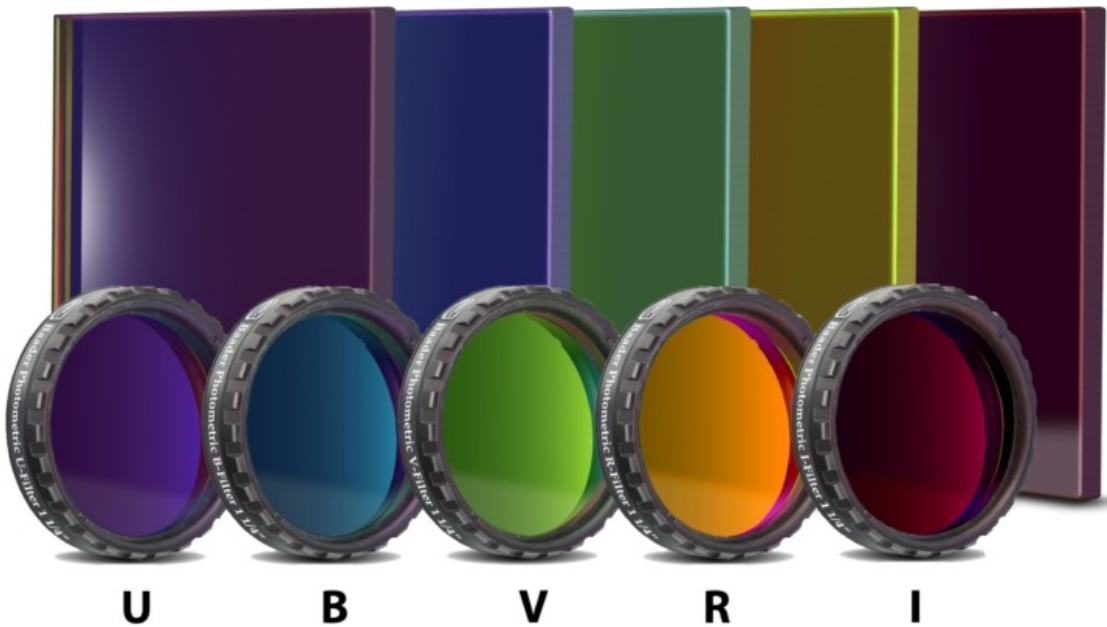
高い精度で明るさが測定されている星。測光観測の際、明るさの基準となる。



測光標準星の例：こと座ベガ

フィルター

撮像観測では、多くの場合、ある波長域の光だけを通すフィルターを通して観測を行う。



天体の色

色指数：異なる波長帯間の天体の等級の差

例：

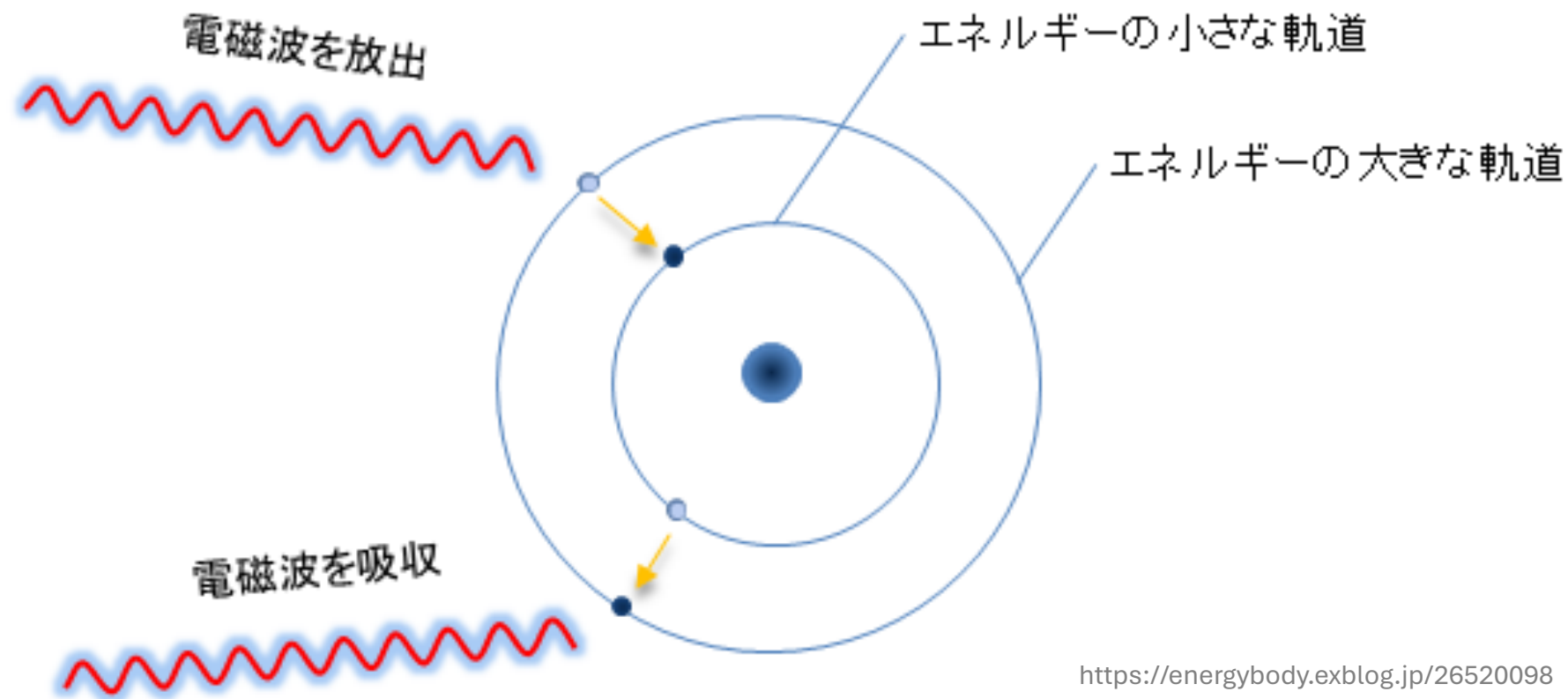
Bバンド（中心波長 $0.44\mu\text{m}$ ）とVバンド（中心波長 $0.55\mu\text{m}$ ）の見かけの等級それぞれ m_B , m_V の時、天体の色は、 $B-V = m_B - m_V$ と表される。

分光

光を波長ごとに分けること

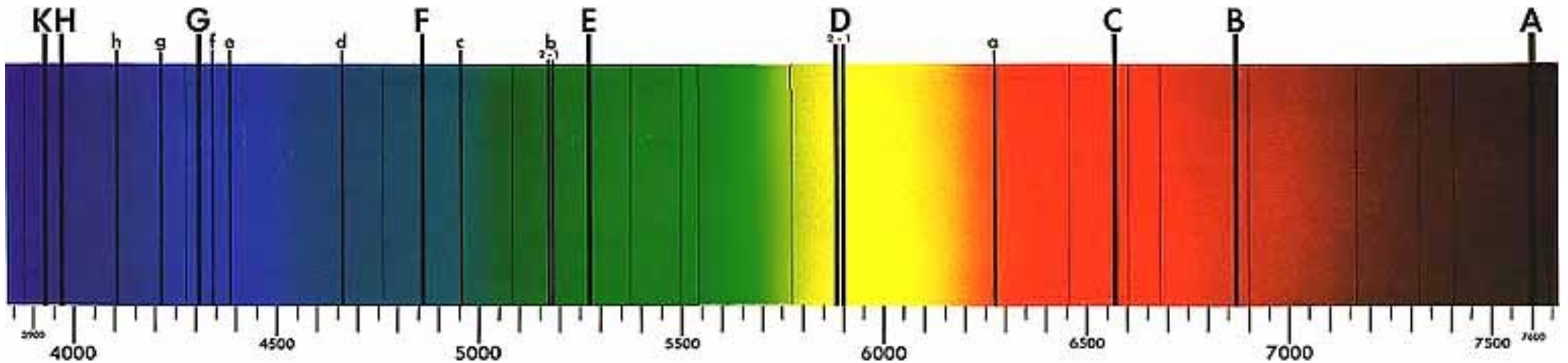
線スペクトル

原子、イオン、分子のエネルギー準位間の電子遷移により生じる。



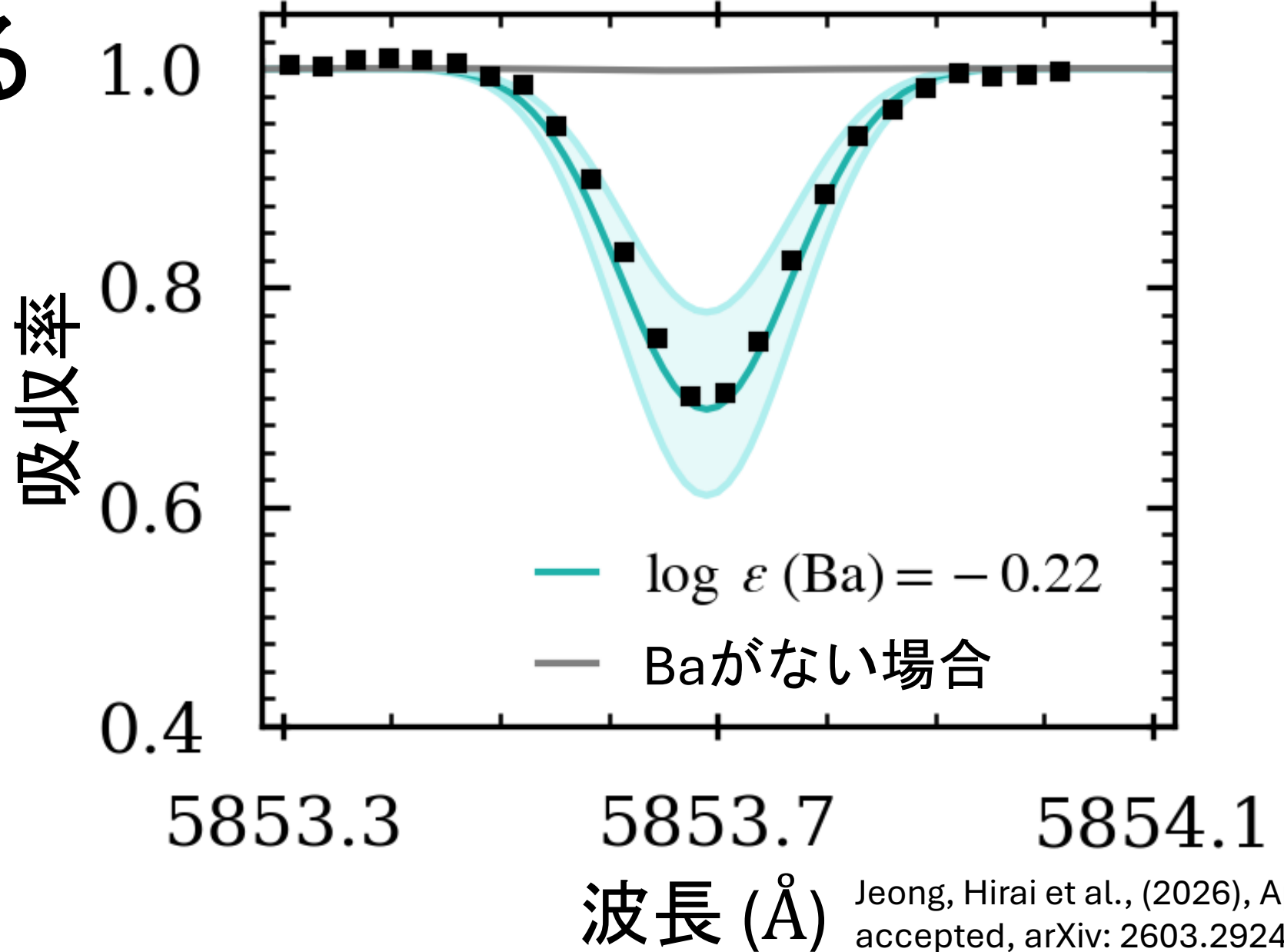
吸収線（フラウンホーファー線）

恒星表面のガスに存在する元素が特定の波長の光を吸収して生じる。



吸収線による 元素量測定

恒星J1222のバリウム (Ba) 量測定



Jeong, Hirai et al., (2026), ApJ
accepted, arXiv: 2603.29246

輝線

特定の波長で強度が強い部分。高温ガスの観測などでみられる。



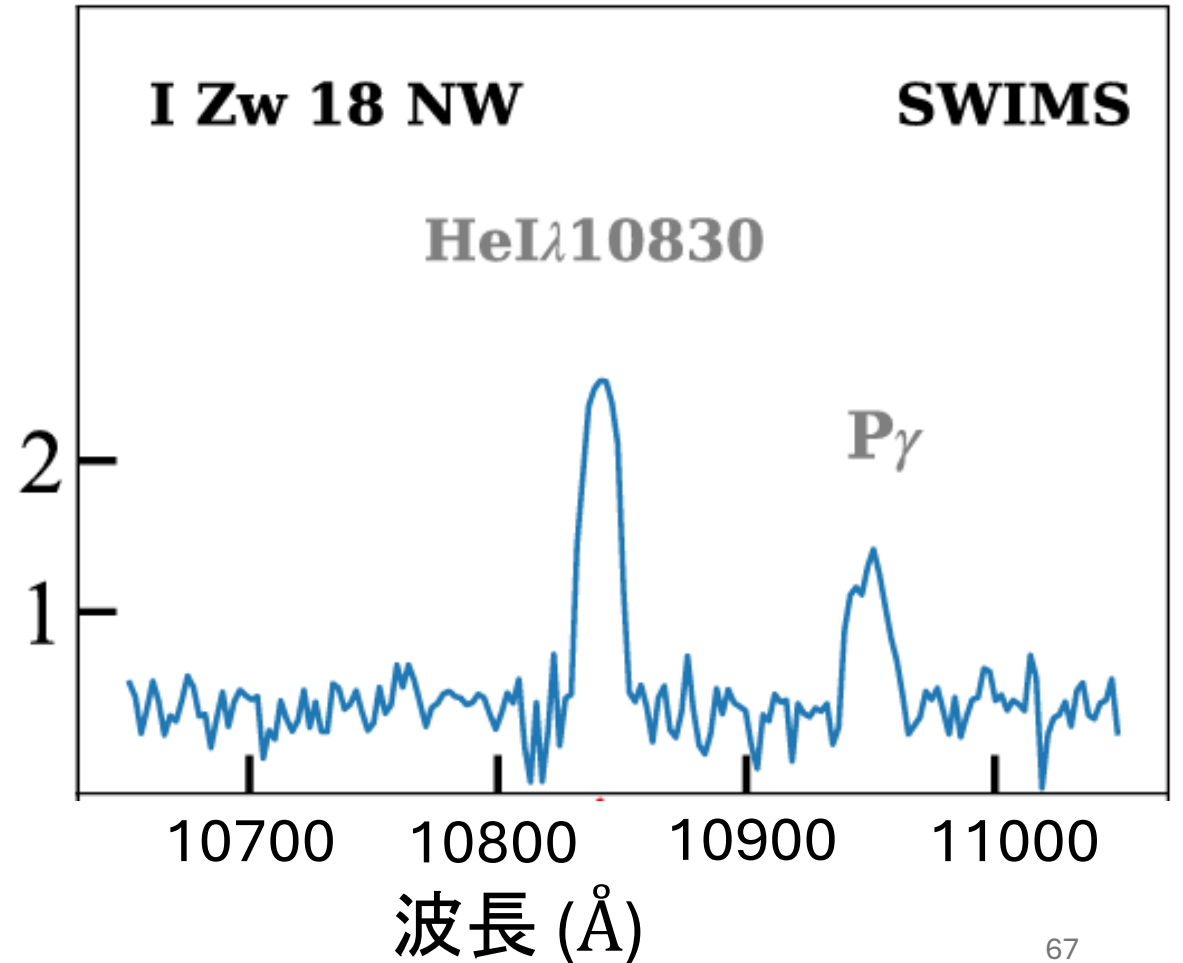
(c) Justinc

銀河ガスからの輝線



フラックス ($10^{-16} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$)

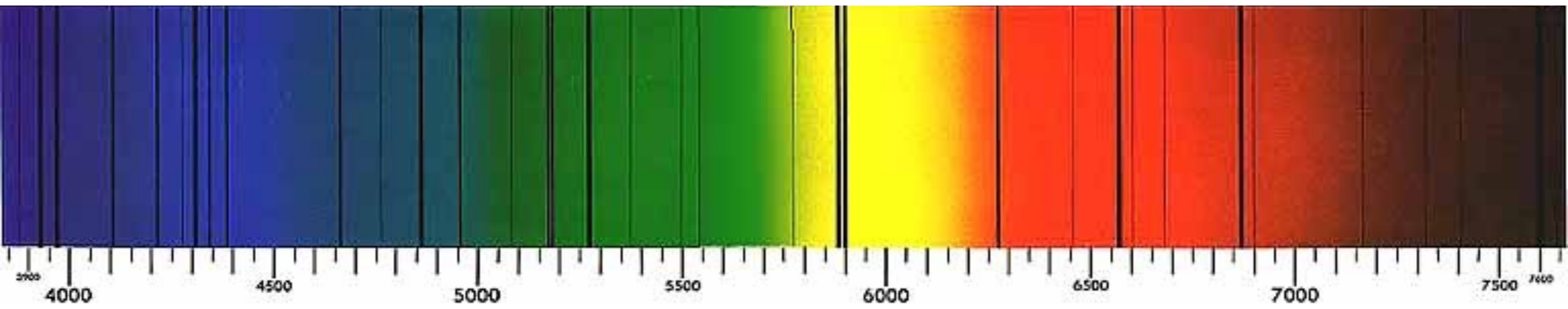
Matsumoto, Hirai et al. (2022), ApJ, 941, 167



演習

右の表は主なフラウンホーファー線の元素と波長である。次ページの太陽のスペクトルのフラウンホーファー線に対応する元素を書き込もう。

元素	波長 (Å)
O2 (酸素)	7593.70
O2 (酸素)	6867.19
H α (水素)	6562.81
Na (ナトリウム)	5895.94
Fe (鉄)	5270.39
H β (水素)	4861.34
Fe (鉄)	4307.90
Ca+ (カルシウム)	3968.47 3933.68



青

緑

赤

本日の内容

- 天文学とは
- 天体の明るさと等級
- 光赤外天文学
- シミュレーション天文学

自然科学におけるシミュレーションとは？

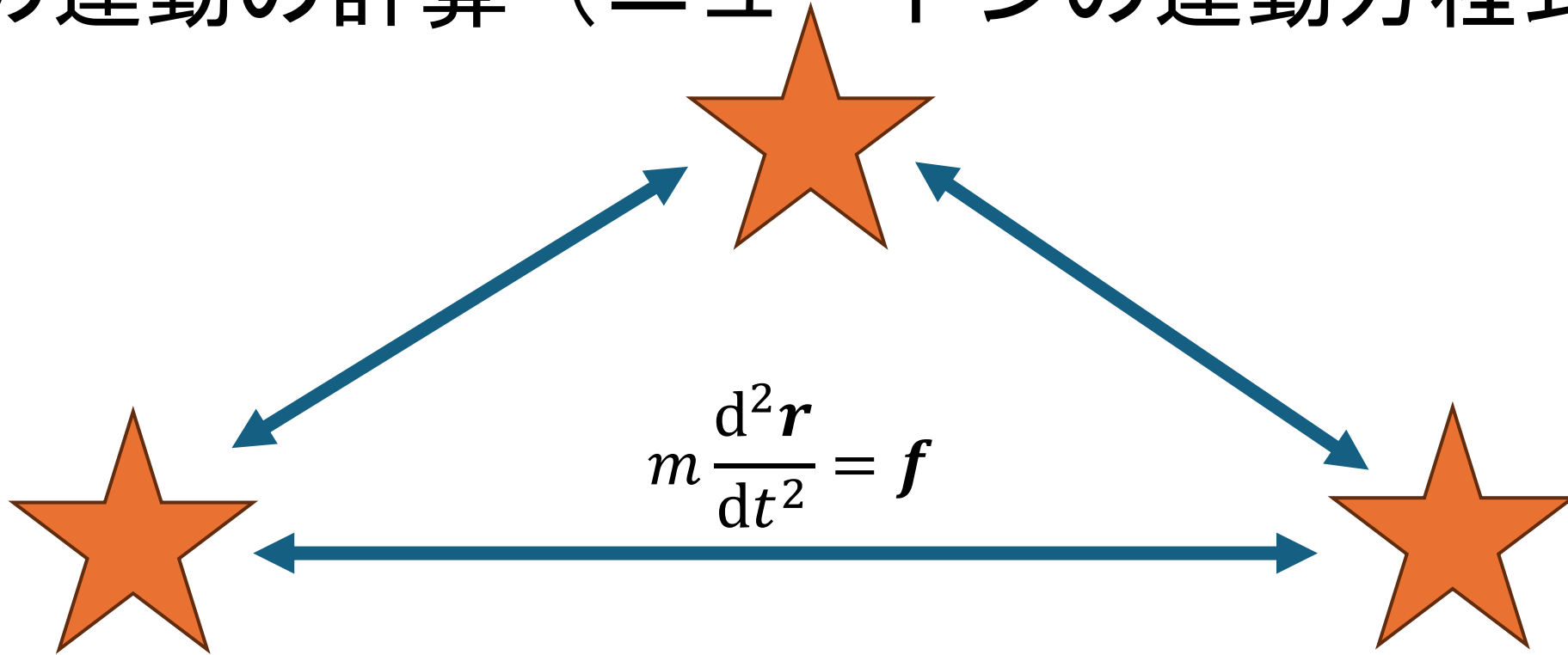
自然現象をコンピュータの中に再現すること

シミュレーションの方法

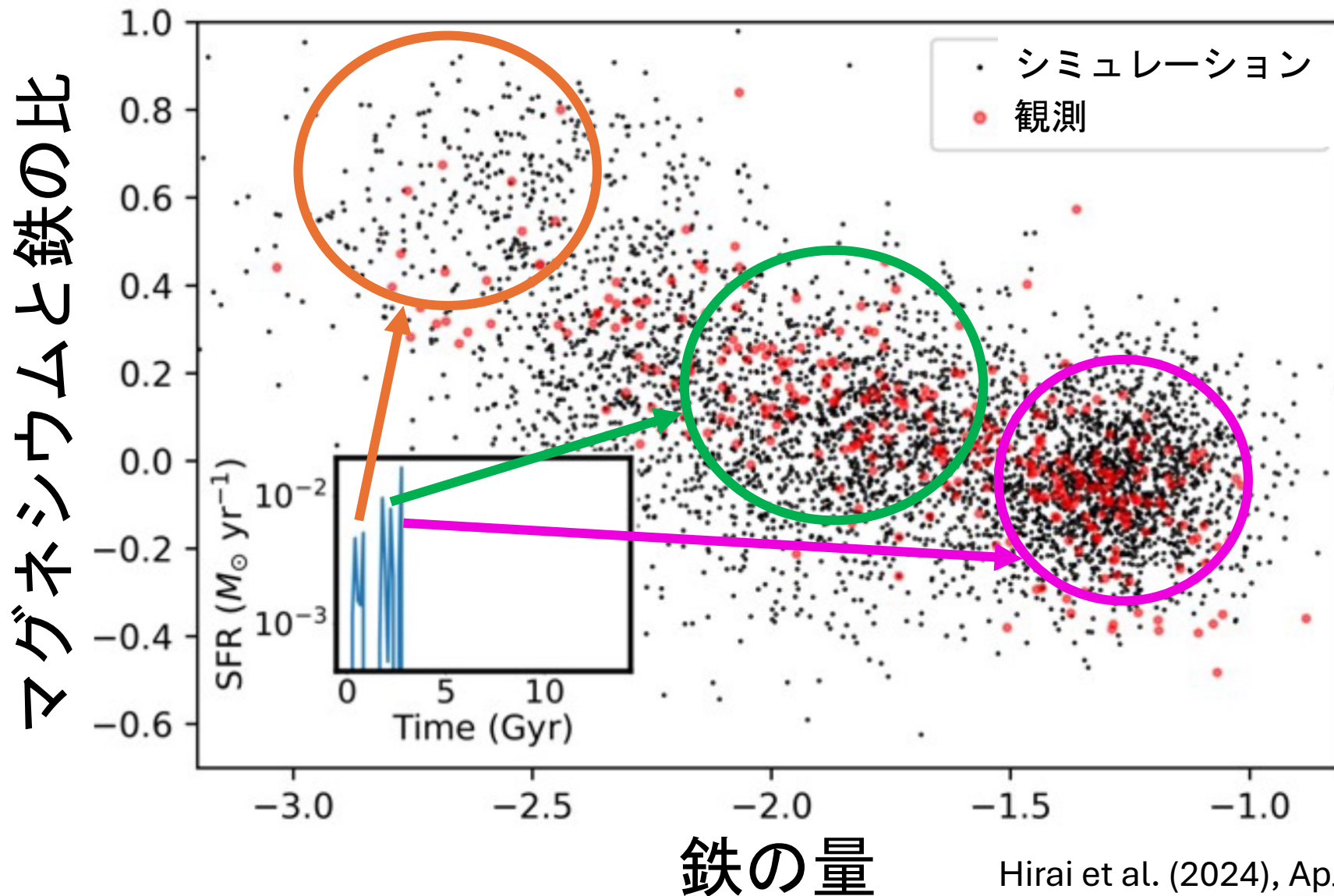
天体や現象をモデル化する

例：

星の運動の計算（ニュートンの運動方程式）



シミュレーションした銀河の元素組成



本日の目標

宇宙を理解するための観測と理論の手法について説明できる。

本日の内容

- 天文学とは
- 天体の明るさと等級
- 光赤外天文学
- シミュレーション天文学

課題

基本問題：

シリウスの見かけの等級は -1.5 等級である。シリウスは1等星と比べて何倍明るいか？ただし、シリウスの明るさと等級をそれぞれ I_m, m 、1等星の明るさと等級をそれぞれ I_n, n とすると、

$$\frac{I_m}{I_n} = 10^{\frac{2}{5}(n-m)}$$

の関係が成り立つことを用いてよい。

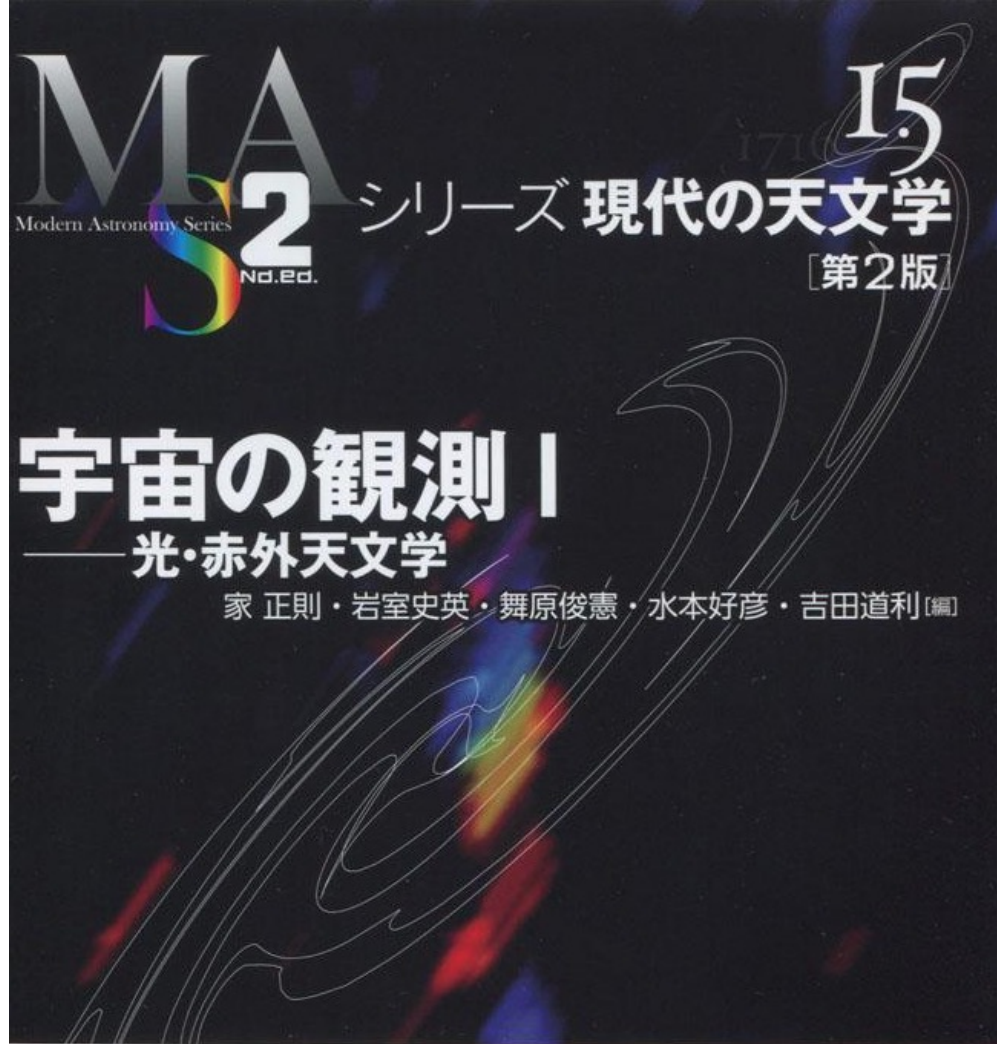
ボーナス問題：

ポグソンの式から、上記関係式を導け。

以上の解答をs4「天文学b」「#01 課題」に書き込む。ボーナス問題の解答はワープロ/LaTeXで作成したものか、手書きのノートの写真をファイル添付する。

提出期限：6月12日（金）

もっと
学びたい
方へ



日本天文学会が総力を結集した**100**周年記念出版 [第2版]
[第3回配本]
日本評論社

世界をリードする
すばる望遠鏡の技術と成果、
さらにその先を目指すTMT(30m望遠鏡)まで
光・赤外観測の現在を伝える。



日本評論社

次回

4D2U

第6回
宇宙論

第5回
銀河

第3回
恒星

第2回
太陽系外惑星

第1回
宇宙の観測と理論

