

樟南高校出前授業 2026年6月6日

恒星の一生

今井 裕

(いまい ひろし)

鹿児島大学 総合教育機構共通教育センター
理工学研究科附属天の川銀河センター

<https://agarc.sci.kagoshima-u.ac.jp/~imai/lab/>

講義内容

◆自己紹介

- 略歴、天文学者+大学教員として

◆「星」とは？（恒星・惑星・etc.）

◆恒星の一生と宇宙の歴史

- 類似点： 人間の生態や人生を知ること
⇒人間社会の仕組みとその歴史を理解できる

◆恒星進化研究の実際

- 研究対象天体を探せ！
- 国際共同研究の時代へ（国際化／グローバル化）

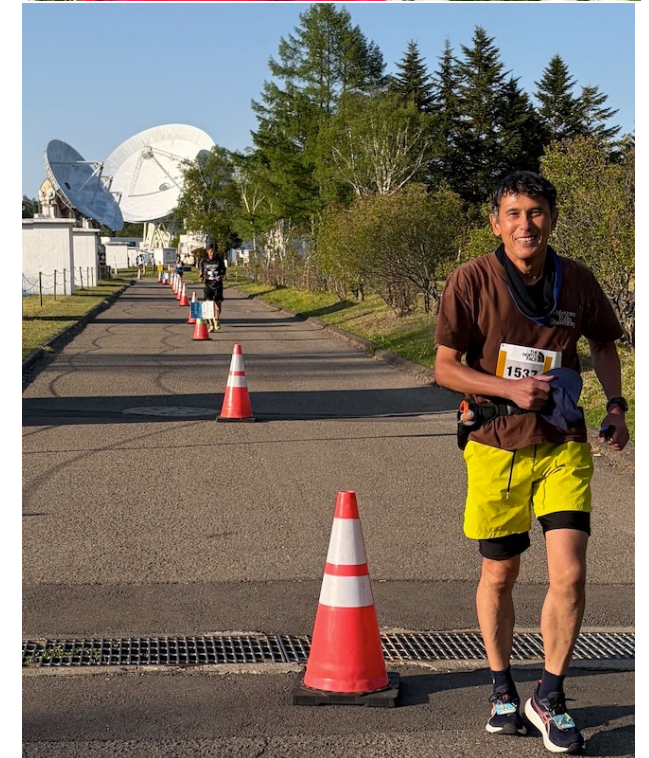
◆人間の一生・恒星の一生

- 未来を見据える高校生のみなさんへ

自己紹介 (今井 裕)

- 愛知県出身
- 東北大学大学院 博士課程修了
- 国立天文台とオランダ研究機関にて博士研究員
- 2003年より鹿児島大学に着任
- 2023年より現職
- 海外大学客員研究者 (豪州)
- 海外研究機関へ一時出向 (英国)

- イチローの少年野球チームと一緒にだった
- 22カ国を訪問
- ランニングにハマる



2026年5月17日

星の郷八ヶ岳野辺山高原100kmウルトラマラソン完走直前の風景

大学教員+天文学者



◆講義

◆初年次大学生・社会人教育(公開授業)科目

◆天文学 (教養科目・大学院生向け)

◆広報・科学普及：大学紹介、出前授業

研究室集合写真 (2026年5月撮影)



大学教員+天文学者

◆天文学研究（国内・国際共同研究プロジェクト）

- 恒星の誕生・恒星末期の進化
- 天の川銀河立体地図作成（測量）
- 次世代大型電波天文観測装置の検討、
新観測装置立ち上げ
- 大学院生（留学生・海外学生含む）研究指導：
英語を使います

国立天文台VERA入来20m電波望遠鏡

鹿児島大学1m光赤外線望遠鏡

現地見学日中歓迎(VERA)・団体見学(VERA・1m鏡)随時受付

天文学研究 × 持続可能な開発目標？

問題1：

この授業はどの目標と主に関係があるの？



「星」とは？

- はっきりした形がある天体にはすべて「星」がつく (例外：ブラックホール)
- 恒星：自ら光る (エネルギーを放射する)
 - 主系列星・赤色巨星・白色矮星
- 恒星以外の「星」：
加熱され放射する or 恒星に照らされている
 - 惑星・準惑星 (冥王星型天体)
 - 衛星(惑星の月)・小惑星・彗星

問題2

太陽や地球は何故まん丸い？
イトカワは何故複雑な形をしてる？

小惑星イトカワ
(25143 Itokawa)

恒星：自ら光るガス球

• 太陽：中心部で核融合反応

- 水素原子核（プラスの電荷を持った粒子）同士の合体
- 超高温（超高エネルギー）でしか合体は実現しない：
太陽の中心は $1.5 \times 10^7 \text{K}$ （絶対温度）
- 水素原子核(^1H)同士の合体 \Rightarrow ヘリウム原子核(^4He)を合成
- 相対性理論 $E=mc^2$:（ごく一部の）質量が
エネルギーに変換される
- 大量の水素：水爆(核兵器)10億発／秒で燃えて寿命100億年

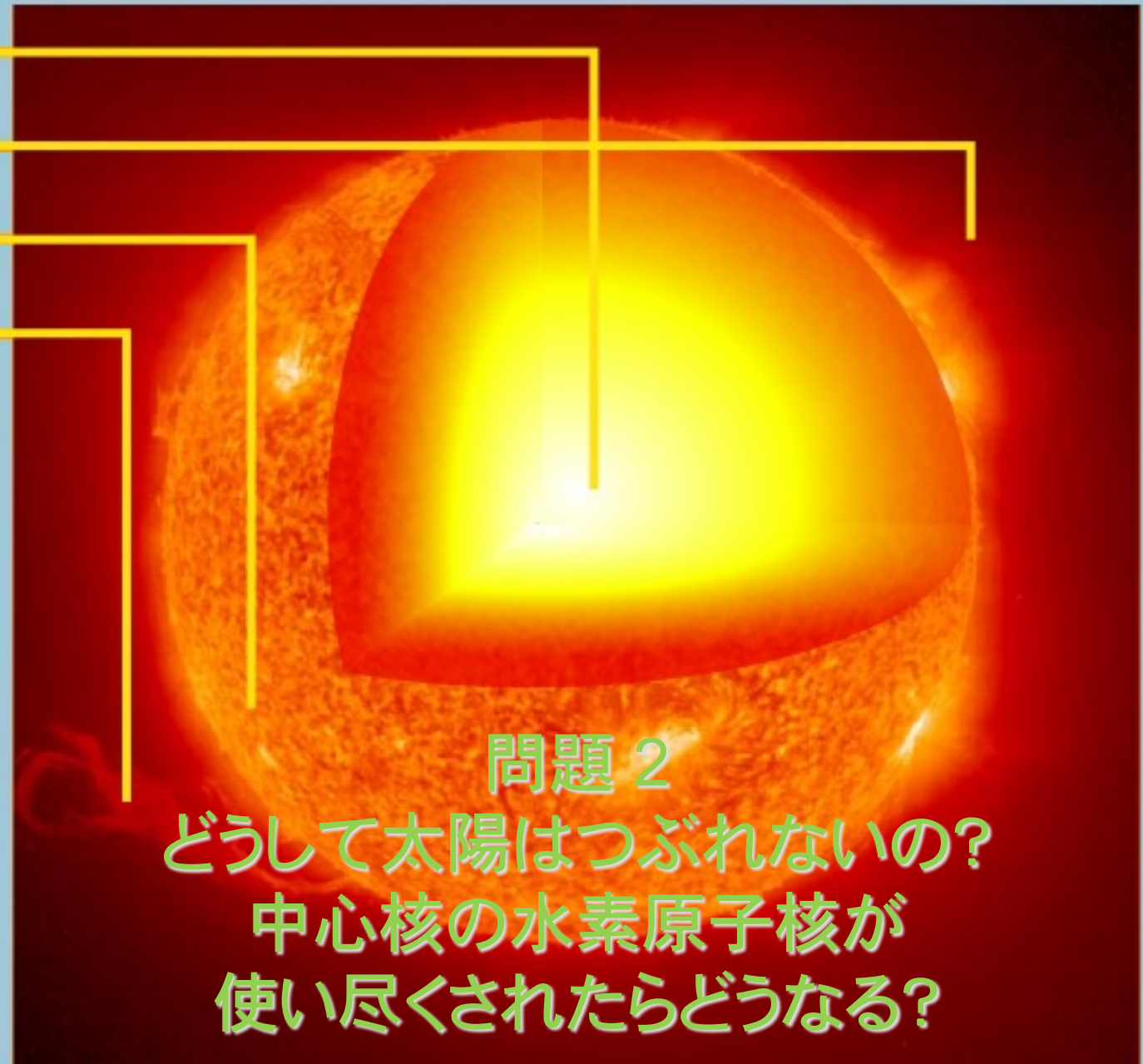
背景の図:オリオン大星雲中の多数の恒星集団
(鹿児島大学1m光赤外線望遠鏡による撮影)

太陽：宇宙で多数見られる典型的な恒星

核
コロナ
光球
プロミネンス

直径 139万km
質量 2×10^{30} kg
水素が主成分の
ガス球

図
ウィキペディア
(Wikipedia)より



問題 2

どうして太陽はつぶれないの？
中心核の水素原子核が
使い尽くされたらどうなる？

天の川銀河の辺境にある 太陽系

← 天の川銀河中心
最も賑やかな場所

→ 大マゼラン銀河
天の川銀河を
周回する矮小銀河

宇宙の中の銀河と恒星



アンドロメダ銀河

• 私たちが直接存在を見ることができるもの：
星やガス・塵⇒バリオン（素粒子、電磁波を出す）

- 宇宙を満たす全エネルギーの4%
比較: 暗黒（真空）エネルギー73%・暗黒物質23%
- 宇宙にある質量の20%
比較: 暗黒物質80%

Distribution of Visible and Dark Matter
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

宇宙の中の恒星

Arches Cluster

Quintuplet Cluster

◆ビッグバン⇒密度ゆらぎ⇒大規模構造（泡状銀河分布）

- 単純から複雑へ
- 宇宙の骨格は重力と真空エネルギーによって形成
銀河が「点」としか見えないスケール

◆銀河中の階層構造

- 銀河／恒星・惑星・小天体・ガス・塵／生命／人類
- 物質が相（天体の種類）の間を循環する
 - 各天体は進化する

1 light year

2 light years

Star Clusters Near the Center of the Galaxy
Hubble Space Telescope • NICMOS

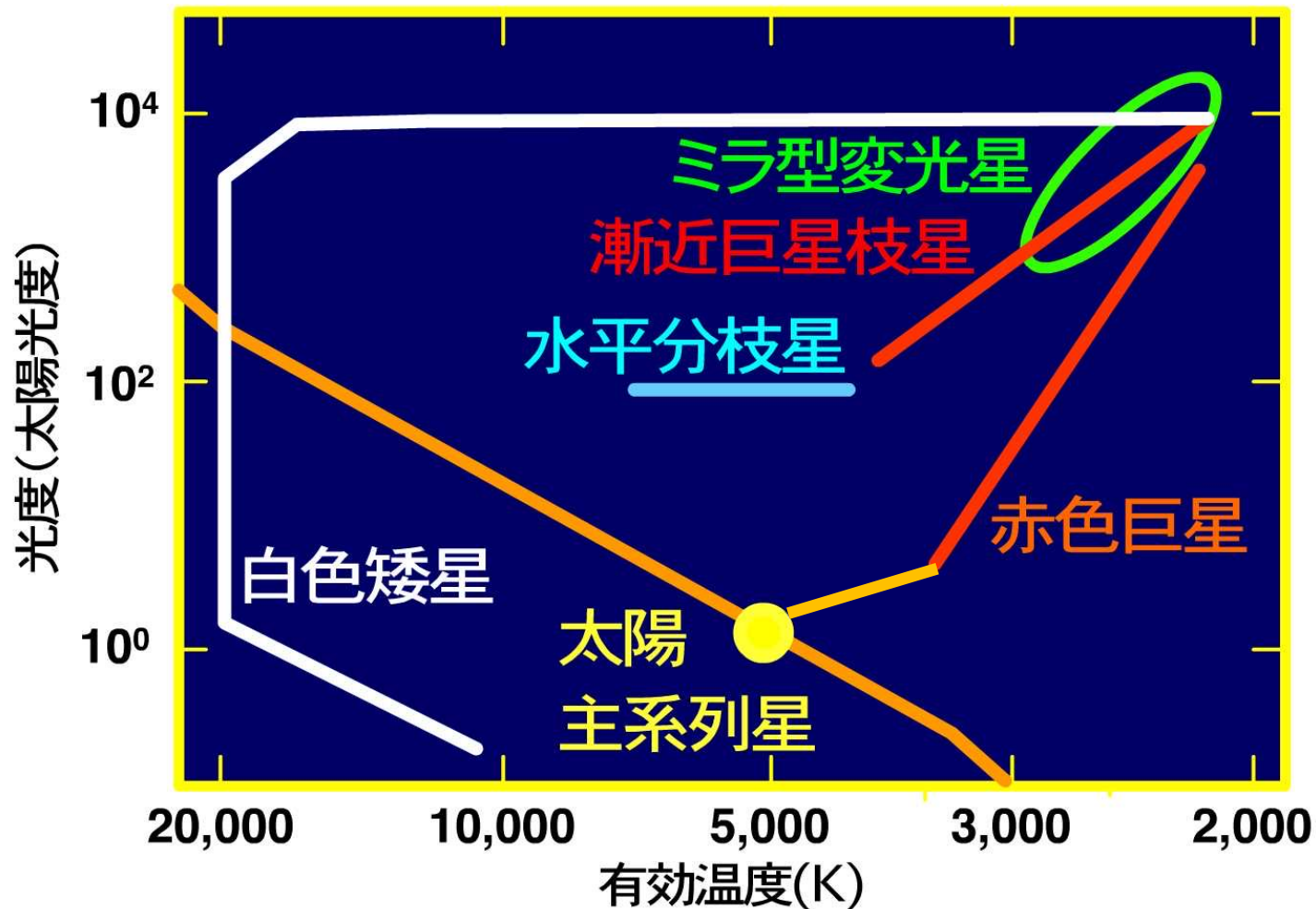
「進化」という概念

• 「進化」とは
基本的な形態・能力が著しく変化していくこと
「進化」 \Leftrightarrow 「退化」

- 単身進化：単体内での桁違いの変化
 - 恒星の単身進化：星の誕生 \Rightarrow 死までの一連の変化
 - 太陽の場合：誕生と終末で光度が**10⁴倍**増減する
- 世代進化：何世代も経てなし得る変化
 - 生命の進化：単細胞生物から知的生命体（人間）へ
 - 恒星の世代進化：元素組成(H, He, Li, C, O...)の進化

恒星の一生

- ヘルツシュプルング=ラッセル(HR)図:
恒星の特徴とその維持期間の指標
- 恒星自身の質量によって進化経路がほぼ決っているはず……



大多数の恒星
が「主系列」
上に並ぶ



恒星寿命の
大半の時期を
「主系列星」
として過ごす

様々な恒星の一生

- 30倍の質量（燃料20倍）の主系列星

⇒ 90,000倍の明るさ ⇒ 1/10,000の寿命

宇宙初期(138億年前) に生まれた恒星や地球上の旧石器時代

(1万年前) に

生まれた恒星が混在

- 恒星集団の年齢を
推定できる場合:

球状星団(宇宙の化石)

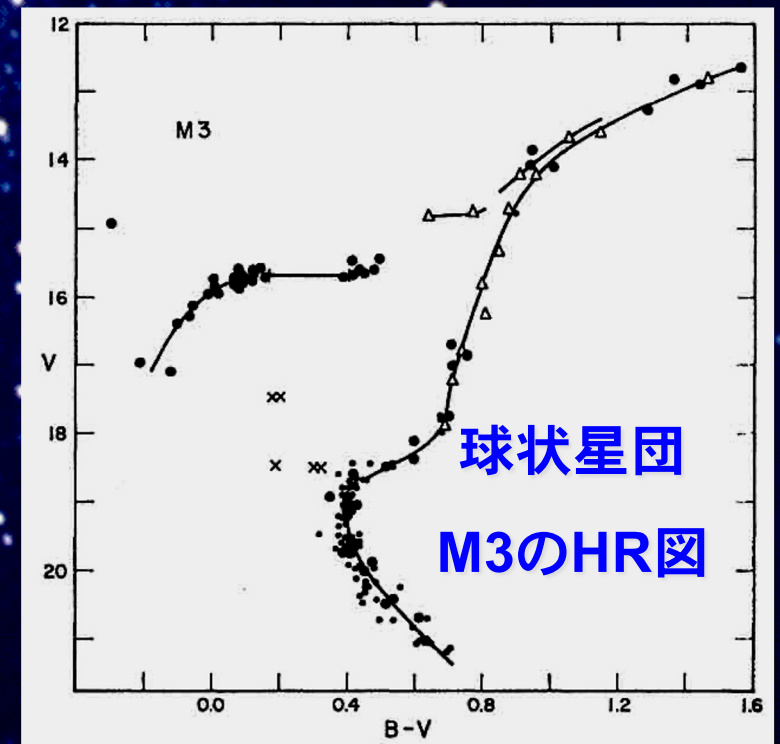
- 恒星集団はほぼ同時に誕生

⇒ 主系列上に並ぶ

- 明るい(=重い星) から
主系列を離れて進化する

- HR図上の経路の途切れ

⇒ あっという間にそこを通過する



恒星の世代進化=元素組成の進化

◆宇宙初期の元素組成：

H(水素), He(ヘリウム), Li(リチウム) のみ生成される

- 太陽のような「軽い」恒星は作られない
- Be以降の「重元素」：恒星内部でのみ合成される

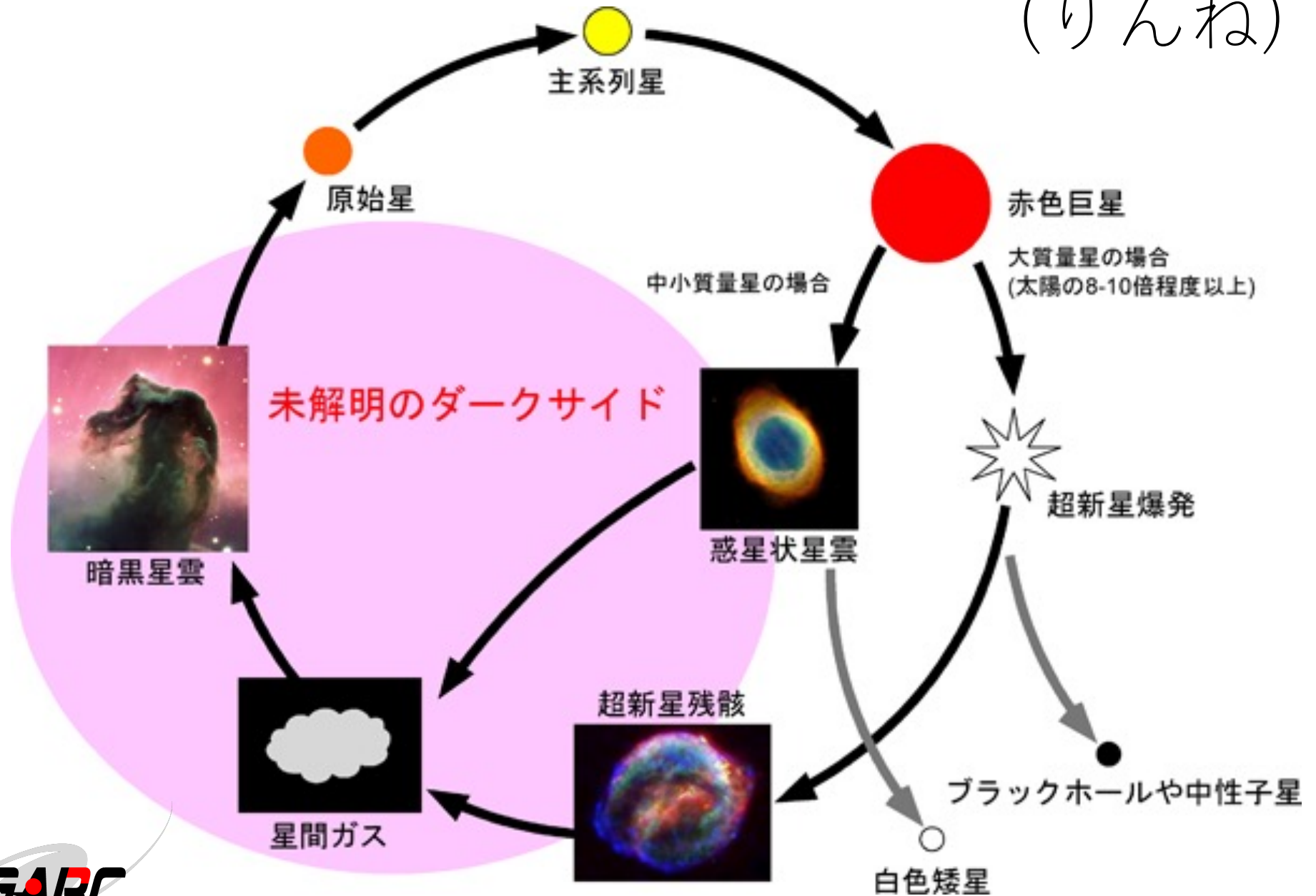
鹿児島1m光赤外線望遠鏡が撮影した
惑星状星雲:あれい星雲

恒星の世代進化=元素組成の進化

- ◆C(炭素), O(酸素)など：多数の太陽程度質量の恒星中で合成
- ◆Fe(鉄)など：少数の大質量(>10太陽質量) 星中で合成
- ◆Au(金)など：天体(中性子星など) 同士の合体中に合成
- ◆恒星進化末期に宇宙空間へまき散らさる
 - 惑星状星雲： まき散らされたガスのイルミネーション
 - 超新星爆発： 大爆発+さらに重い元素を合成
- ◆次世代の恒星は
重元素が混じったガスから形成される

鹿児島1m光赤外線望遠鏡が撮影した
惑星状星雲:あれい星雲

恒星の進化と宇宙における物質の輪廻 (りんね)



恒星の一生から宇宙の歴史を推測する

◆個々の人間の生態や人生を知る

⇒人間社会の仕組みとその歴史を理解につながる

◆恒星の生態や一生を知る

⇒宇宙の仕組みとその歴史を理解できる

- (無数の恒星からなる) 宇宙における元素組成進化
- 明るい星々 (太陽光度の1000倍以上) が
周辺に及ぼす多大な影響
- 天の川銀河の構造と進化
(銀河における活発な星形成とエネルギー放出)
- 地球・生命誕生への道筋

すばる望遠鏡が撮影した
銀河M82中心部

恒星の一生はまだ理解されていない！

恒星には人間と異なり「感情」や「個性」がない分
理解が容易のはずだが...

- 生まれてくる恒星の質量を決定するメカニズム
- 特に太陽の数10倍以上の質量を持つ大質量星を
産み出すメカニズム
- 恒星が退化（質量放出）するメカニズム
- 宇宙初期における恒星の形成と進化

恒星進化の研究の実際

◆無数の星々から研究対象になる星を見つけること自体が難しい

• 人間の場合：

- 自分自身を徹底的に調べる（各種診断・日記）
- 身近に色々な成長段階にある人がいっぱい存在する
- 赤ちゃんを産んで経過・成長を観察できる

• 恒星の場合：

- より昔の姿を調べる：より遠方へ⇒暗くなっていく
- あっという間の進化ステップの場合
（例）1億個探してたった1個見つかる
正確な予測なくして発見不可能！

私の大発見！

◆惑星状星雲形成直前の最初の40年間の姿を目撃

NATURE 321—1/5/2002—VBICKNELL—46985

letters to nature

A collimated jet of molecular gas from a star on the asymptotic-giant branch

Hiroshi Imai*†‡, Kumiko Obara†§, Philip J. Diamond||, Toshihiro Omodaka§ & Tetsuo Sasao*

* VERA Project Office, National Astronomical Observatory, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

† Mizusawa Astrodynamics Observatory, Mizusawa, Iwate 023-0861, Japan

§ Department of Physics, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan

|| Jodrell Bank Observatory, University of Manchester, Macclesfield, Cheshire SK11 9DL, UK

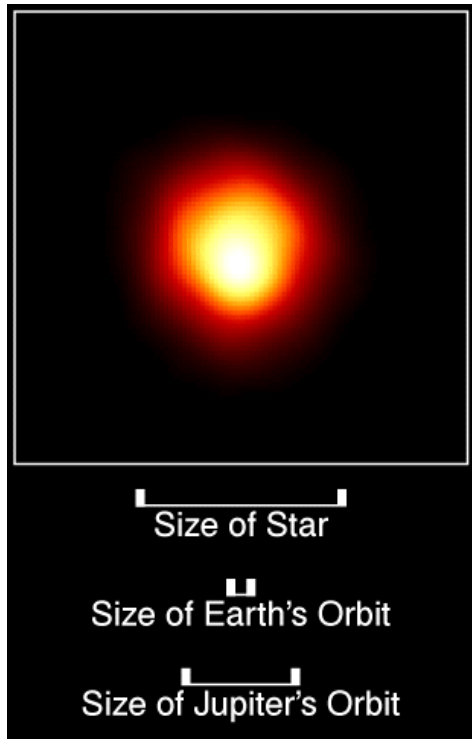
complexes (around 0.5 arcsec or 1,300 AU) is twice as large as that of the OH and much larger than those typically observed in the circumstellar envelopes of many evolved stars (10–100 AU)^{16,18}.

Our new observations using the Very Long Baseline Array (VLBA) of the National Radio Astronomy Observatory revealed that the structure of the H₂O masers in W43A is highly collimated, both spatially and kinematically (Figs 1 and 2). Most of the maser spots are concentrated in the receding (northeast side) and approaching (southwest side) clusters. Both clusters have lengths of 250–350 AU but widths of only around 20 AU. The two clusters are separated by about 1,700 AU. The width of the aligned masers is only about 1/85 of the total length. The ratio is much smaller than any of those observed in “molecular outflows”^{3,19,20}. Measured proper motions with line-of-sight velocities of the masers indicate the presence of a bipolar jet with a three-dimensional space speed of $145 \pm 20 \text{ km s}^{-1}$. Our analysis on the basis of diagonalization of the

「ネイチャー」誌に
論文掲載(2002年)

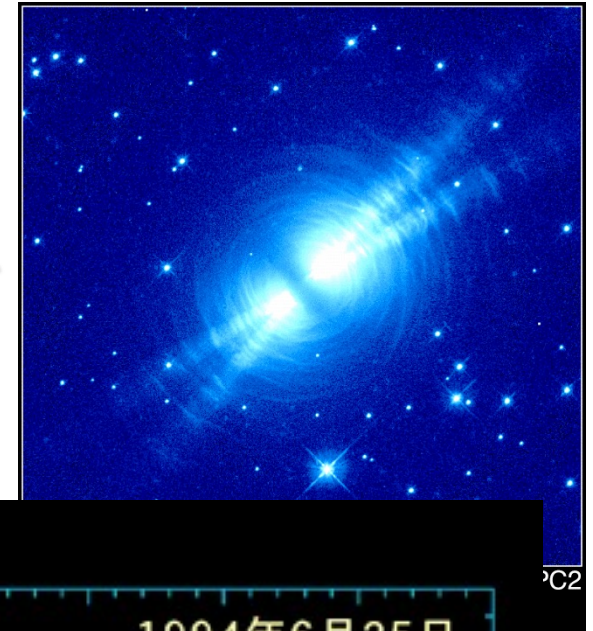
進化途上の一瞬の現象を捕捉！

◆恒星進化最終段階における
「ジェット」発射の直後を補足



ベテルギウス
ほぼ丸いガス球

たまご星雲
多様な形状を
もつガス流



新発見：宇宙の噴水

恒星の寿命
10億年 v.s. 40年
⇒人の寿命
100年 v.s. 8秒

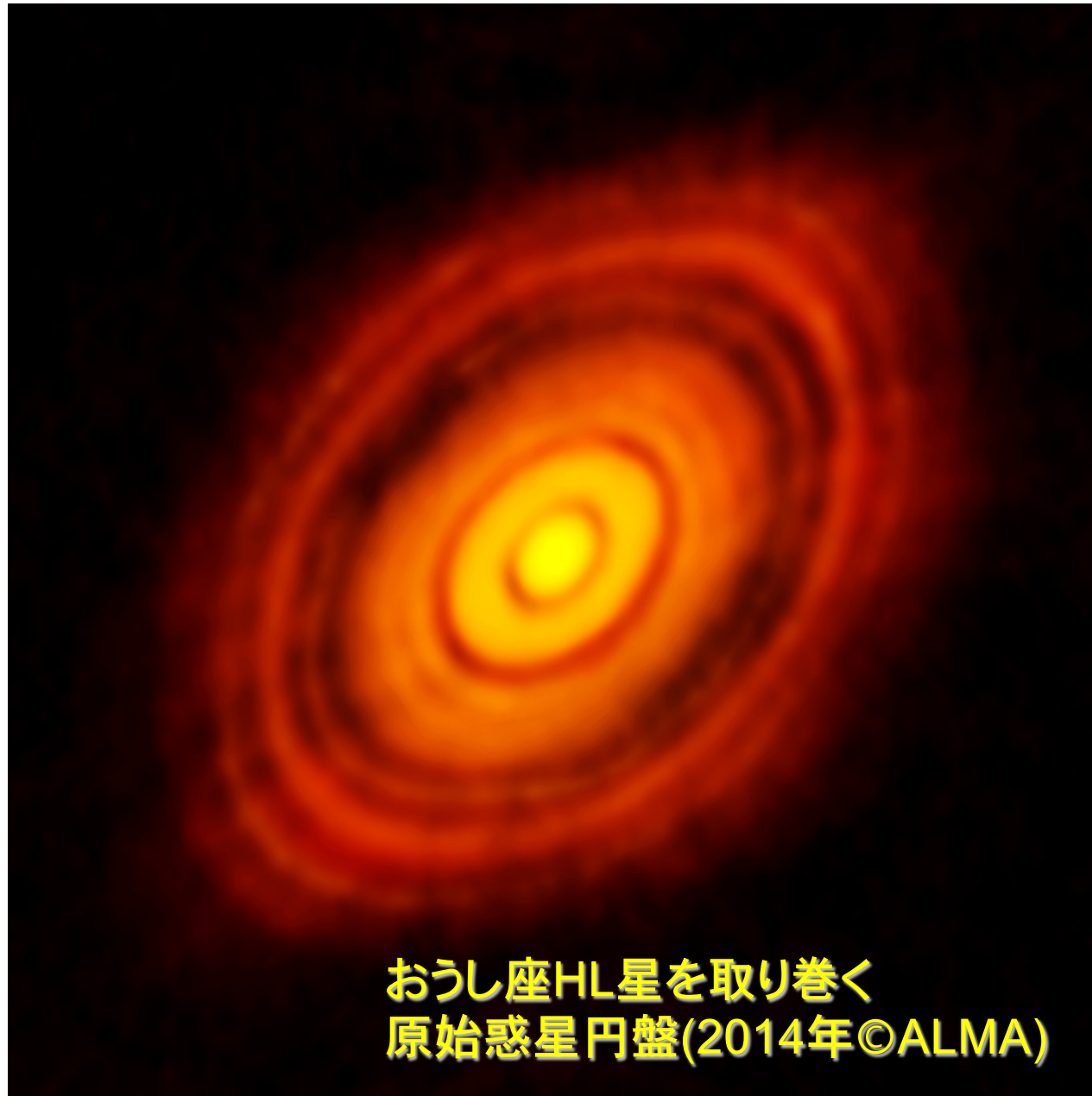


国際共同研究の時代へ

- ◆大型観測装置でしか見えない宇宙⇒国際協力で装置建設
- ◆世界各国の英知を集めて新発想から新発見⇒国際共同研究
- ◆人脈が紡ぎ出すさまざまな可能性⇒国際交流
- ◆アイデアを携えて世界に乗り込む（観測装置・研究所、等）
⇒グローバル化

Atacama Large Millimeter-submillimeter Array (ALMA)

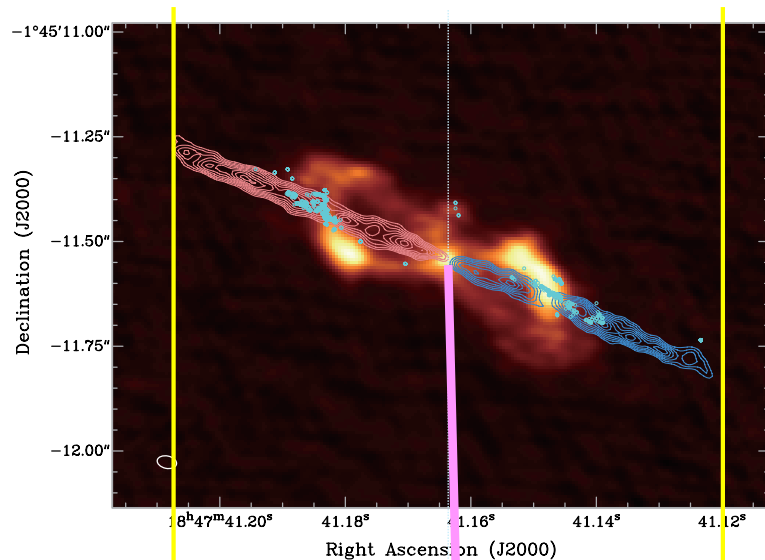
太陽系以外の恒星系に見られる惑星の 探査の時代へ



おうし座HL星を取り巻く
原始惑星円盤(2014年©ALMA)

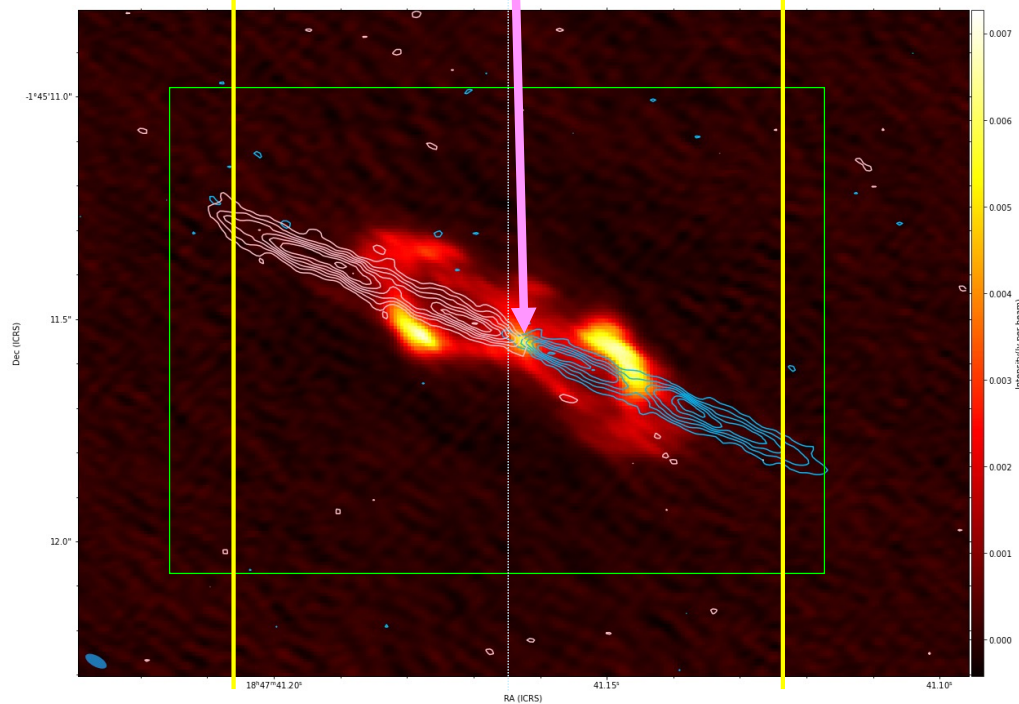
恒星に見られる瞬間進化

⇒研究者の人生をかけて追跡可能



2016年10月14日撮影

**天体の姿が少しずつ
変化して見える！**



2019年7月13日撮影

W 43A

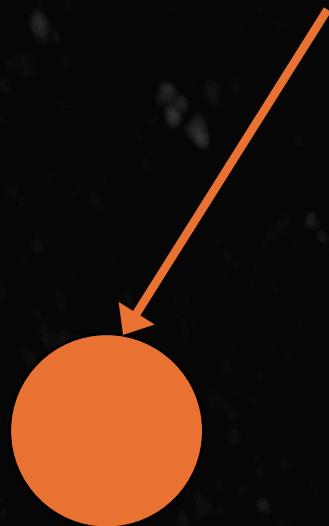
(Imai et al. 2025)

(Hoshino et al. in preparation)

星から噴き出す ガス塊の連続撮像

Star : TX Cam
Tran : J=1, v=1→0
Freq : 43.122 GHz
Date : 1997-05-24
Phase: 0.68

きりん星TX星(太陽の約300倍)



557日周期で変光
まん丸くない
激しいガス放出
(100万年間で太陽1個分)

(50億年後の太陽の姿)

きりん座TX星周りの
一酸化珪素メーザーの動画
(Gonidakis et al. 2014)

グローバル化と国際化：ユニークな海外展開

電波干渉計：1つの天体を多数電波望遠鏡を動員し同じ方式で同時に追尾観測
データ処理・分析・論文執筆(英語)も共同で



日常的な
多国間連絡

共同研究推進
のために
大学院生を
海外派遣

人間の一生・恒星の一生

◆恒星進化の研究

- 1つの恒星の一生を人類が追跡できるわけではない
- 様々な質量を持つ恒星の誕生/終末について理解する
- 宇宙を理解する=構成する基本要素としての恒星の理解

◆天文学の手法や世界観

=自分の人生を眺める、より良きものにするはず

- 様々な観察方法
- 広い視野と多彩な発想
- 目標への様々なアプローチ方法
- 国内外の多くの人達との共同作業
- 人生途上に発生する因果関係を理解し克服する
- 社会の中での自分の役割と生き甲斐を考察する

未来を見据える高校生のみなさんへ

1. 10年後の自分を想像しながら生きて行くこと
高校時代は人生を切り開く第一歩

第380回国際天文学連合
シンポジウム集合写真
(2023年3月21日、
ライカ南国ホールにて)

2. 広く関心を持ち実践していくこと
いつかきっと何かの役に立つはず、一番打ち込みたいものが見えてくるはず
3. 自立して生きて行く準備をすること
生徒（受動的・集团的）から学生へ（能動的・個性的+共同性）