

熊本県立第二高校出前講義 2008年7月22日

恒星の一生

今井 裕 (いまい ひろし)
鹿児島大学理学部物理科学科
宇宙情報講座 (宇宙コース)

[http://astro.sci.kagoshima-u.ac.jp/
omodaka-nishio/member/imai](http://astro.sci.kagoshima-u.ac.jp/omodaka-nishio/member/imai)

講義内容

- ◆ 自己紹介：
 - 天文学者として
 - 大学教員として (鹿児島大学理学部物理科学科)
- ◆ 「星」とは? (恒星・惑星・etc.)
- ◆ 恒星の一生と宇宙の歴史
 - 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できる
- ◆ 恒星進化の研究の実際
 - 研究対象天体を探せ!
 - 世界を股に掛ける: さまざまなアプローチ方法
- ◆ メッセージ: 人間の一生・恒星の一生

自己紹介：研究者として

- 愛知県出身
- 東北大学理学部 卒業
- 東北大学大学院理学研究科天文学専攻 博士課程修了
- 国立天文台で武者修行
- オランダで武者修行
- 2003年より鹿児島大学に着任

2007年3月

国際天文学連合シンポジウム
科学組織委員会メンバー

• イチローの野球チームと一緒に
20カ国を訪問
(新婚旅行以外は出張旅行)

サッカーは意外と重要

- 野球：アメリカ・東アジアでのみ盛ん
ルールを知らない欧州人
- 世界の一線で活躍する天文学者と知り合える
- 世界中の観測装置を使って研究ができる
チャンスへとつながる



国際研究会におけるサッカー親善試合

自己紹介：大学教員として

- ◆ 助手→助教（4月より）
大学教員として5年目
- ◆ 天文学・物理学の講義・
実験・実習を担当
- ◆ 広報も担当
今日は広報はしません
- ◆ もちろん研究も進めます
 - 恒星の誕生・恒星末期の進化
 - 銀河系立体地図作成（測量）
 - 弟子が欲しい.....

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

「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・小惑星・彗星

問題1

小惑星イトカワ
(25143 Itokawa)

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？

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)からヘリウム原子核(^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

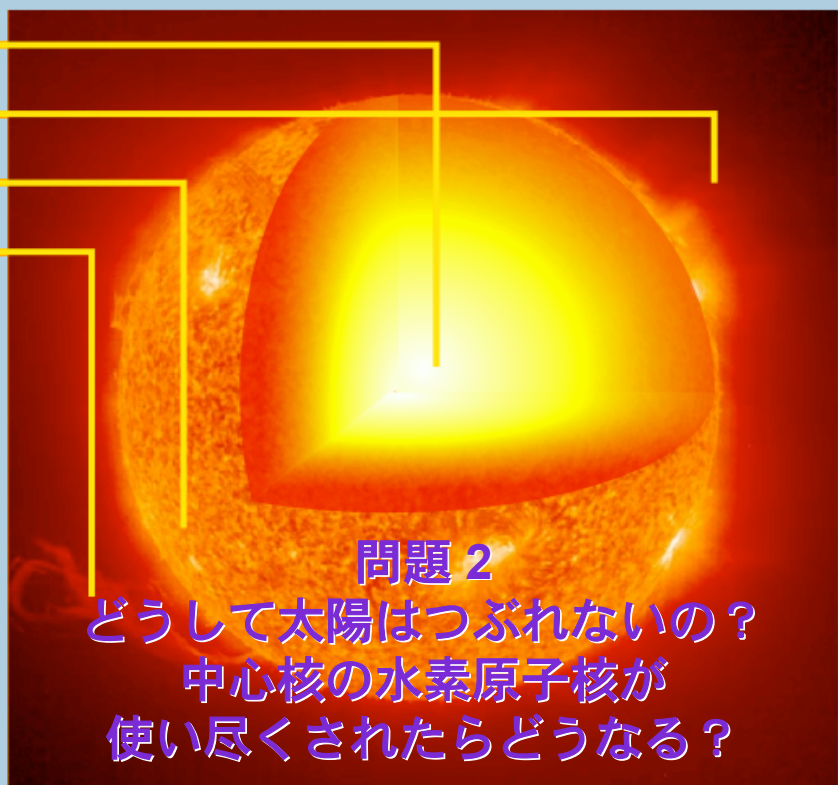
背景の図：オリオン大星雲中の多数の恒星集団
(鹿児島大学1m光赤外線望遠鏡による撮影)

太陽：宇宙で最も典型的な恒星

核
コロナ
光球
プロミネンス

直径 139万km
質量 $2 \times 10^{30} \text{kg}$
水素が主成分の
ガス球

図
ウィキペディア
(Wikipedia)より



宇宙の中の恒星

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%**
暗黒（真空）エネルギー73%・暗黒物質23%
- 宇宙にある質量の**20%**
暗黒物質80%

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

NASA, ESA, and R. Massey (California Institute of Technology)

STScI-PRC07-01b

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（=恒星大集団）は「点」にはしか見えない

◆ 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

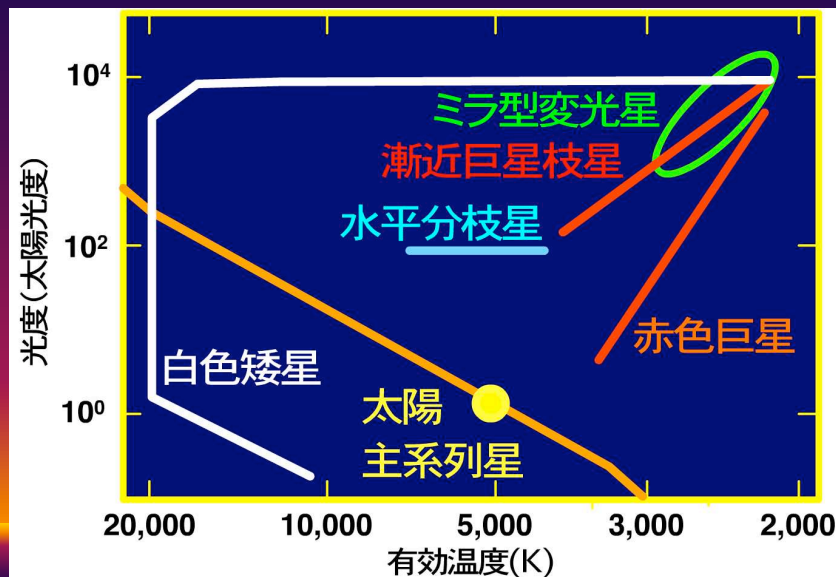
PRC99-30 • STScI OPO • D. Figer (STScI) and NASA

「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」⇔「退化」
- ◆ 単身進化：単体内での変化
 - 人間の成長をあげさに表現：「お前は進化したなあ〜」
 - 恒星の進化：「進化」＝星の誕生→死までの一連の変化
星によっては数10億年掛けて光度が 10^4 倍アップする
- ◆ 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：元素組成の進化

恒星の一生

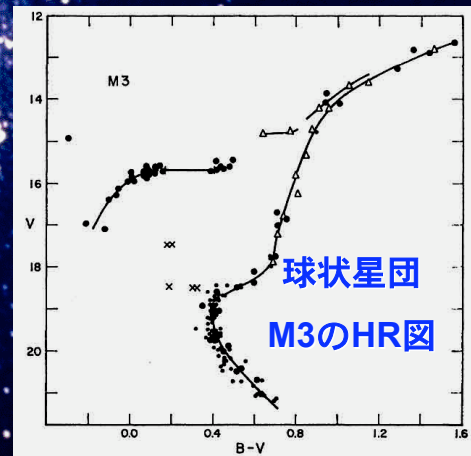
- ◆ ヘルツシュプルング＝ラッセル(HR)図：
単一恒星の進化段階の指標
- ◆ 恒星自身の質量によって
進化経路がほぼ決まっているはず……



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(137億年前)に生まれた恒星や
旧石器時代(1万年前)に生まれた恒星が混在。

- ◆ 球状星団 (=宇宙の化石) を観測した場合
 - 恒星はほぼ同時に誕生
 - 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, He, Li のみ
 - 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
- ◆ C, Oなど：多数の太陽程度質量の恒星中で合成
- ◆ Ni, Feなど：少数の大質量(>10太陽質量) 星中で合成
- ◆ 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
- ◆ 次世代の恒星が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

恒星の一生と宇宙の歴史

- ◆ 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できる
- ◆ 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 (銀河の活発なエネルギー放出)
 - 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「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！

僕の大発見！

◆ 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

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

letters to nature

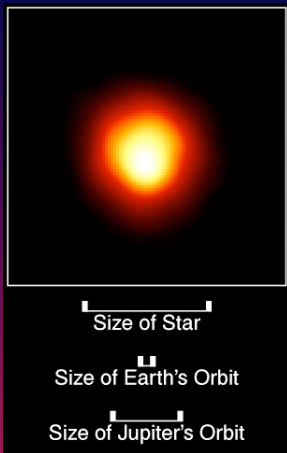
complexes (around 0.5 arcsec or 1,300 AU) is twice as large as that of the OH and much larger than those typically observed in the circumstellar envelopes of many evolved stars (10–100 AU)^{16,18}.

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”^{9,3,19,20}. 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！

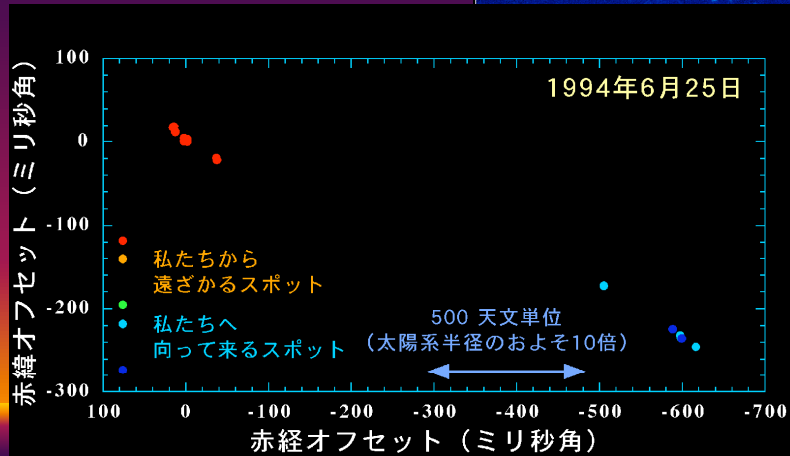
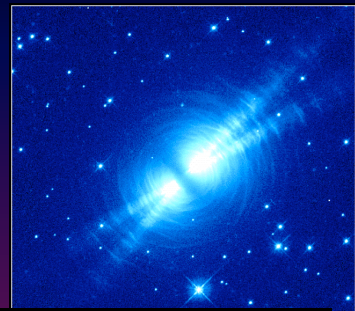
- ◆ 恒星進化最終段階における「ジェット」発射の直後を補足



10億年 v.s. 40年
人生100年 v.s. 8秒

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



新発見のエピソードその1

フィリップ・ダイヤモンド氏



イギリス・マンチェスター大学
1997年に知り合う
新発見天体のデータを
1994年に取得

2000年に偶然
そのデータを見つけて
解析に着手する

偶然の発見だった。

新発見のエピソードその2

小原久美子さん

細長く伸びたジェットの放出天体が
生まれたての星か終末の星かすら
分からなかった

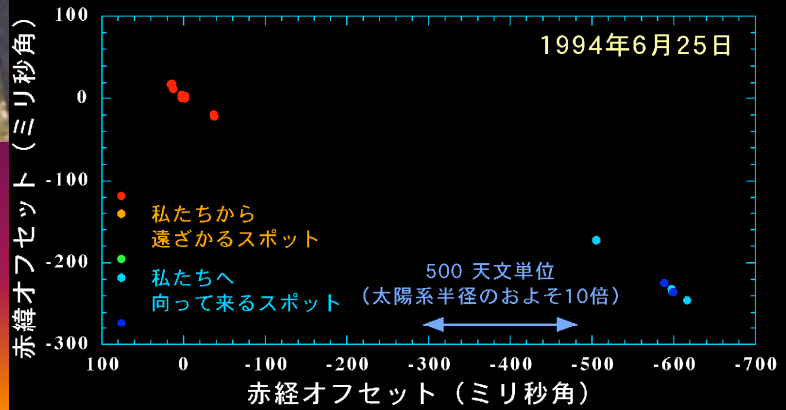


判明するまでまる1年!

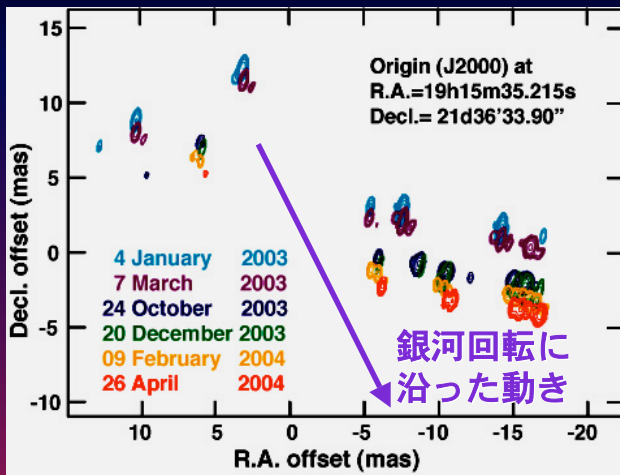
当時
鹿児島大学修士課程学生
子持ちにして研究者!

小原さん
「これっ、何ですか？」

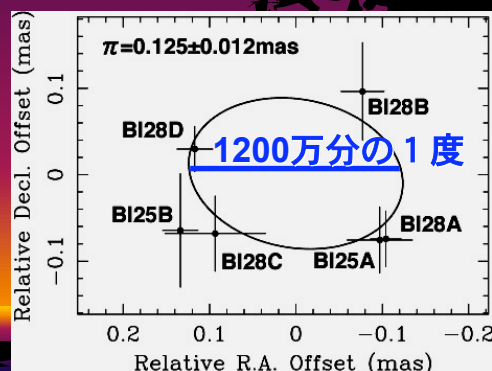
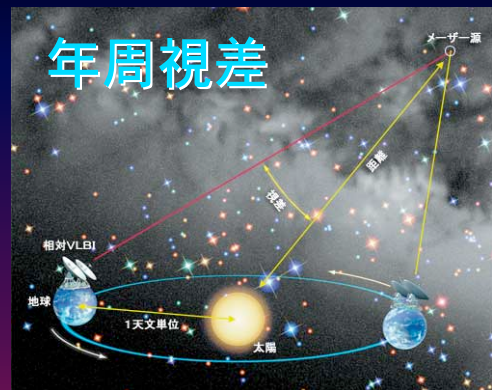
今井
「..... 何だろうねえ？」



新テーマ「天の川銀河の測量」



人類が手にした最も正確な
「宇宙の物差し」：
8,000 pc (25,000光年) 先に
ある天体の年周視差計測に成功!
(2007年11月論文出版)



世界を股に掛ける： さまざまなアプローチ方法

アメリカ・ニューメキシコ州にある
巨大電波望遠鏡群



- ◆ いろいろな発想から新発見
- ◆ 人脈が紡ぎ出すさまざまな可能性
- ◆ アイデアを携えて世界に乗り込む
観測装置・研究所、等

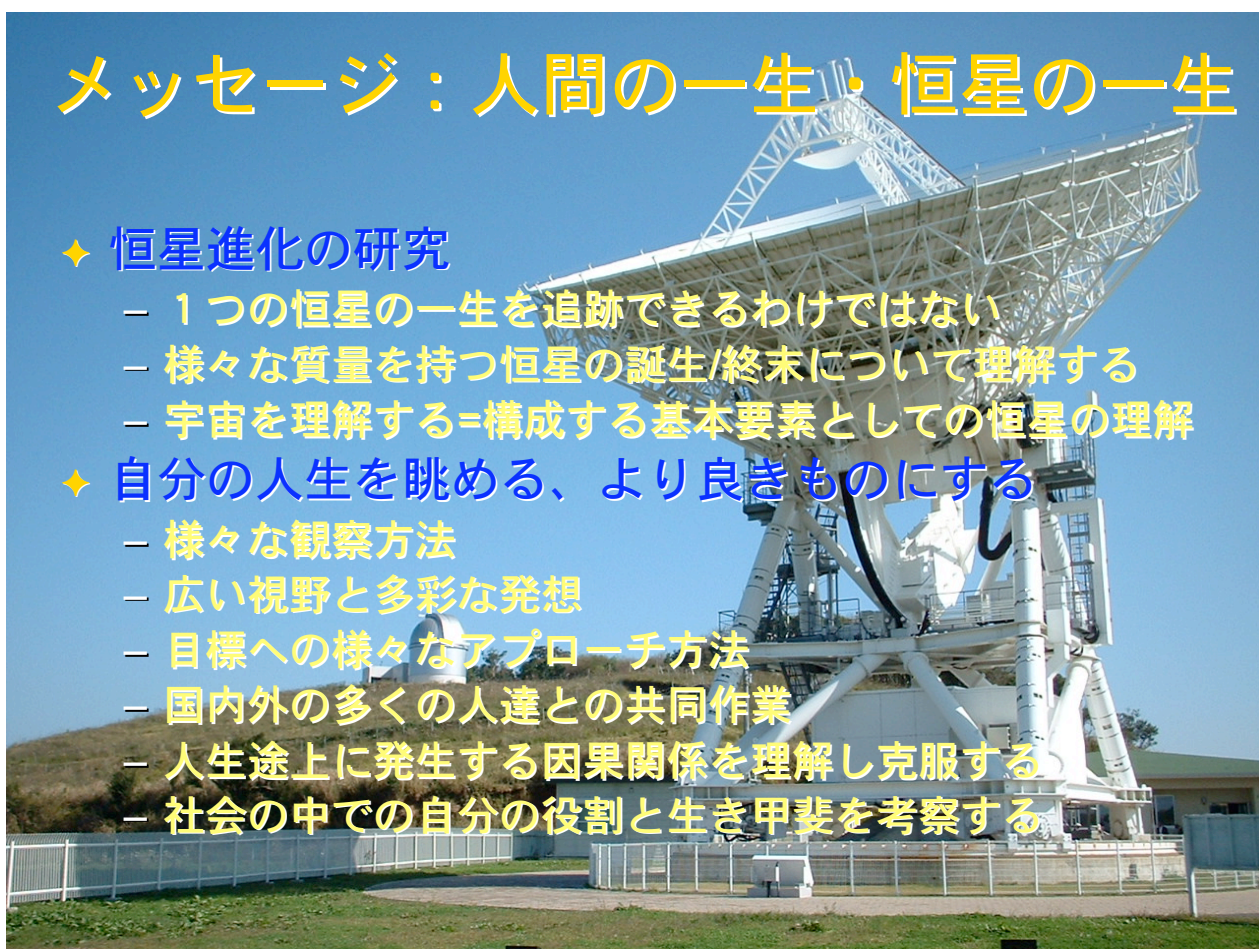
メッセージ：人間の一生・恒星の一生

◆ 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

◆ 自分の人生を眺める、より良きものにする

- 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



2009年7月22日：皆既日食@鹿児島

広大な宇宙を支配する厳密な秩序を鹿児島で体験



渡部勇人氏撮影