

鹿児島大学理学部出張講義
(2004年9月28日 鹿児島実業高校にて)

天文学の世界 — 学習・研究・社会との交わり —

今井 裕 (いまい ひろし)
鹿児島大学理学部物理科学科 助手
(愛知県立千種高校 普通科 1990 年卒業)

今日の講義内容

背景：アンドロメダ銀河

- ◆ 講演者略歴：高校生～博士研究員 (ポスドク)
 - 職業選びから夢が実現する (天文学者になる) まで
- ◆ 大学教員としての活動
 - 天文学の勧め
 - 天文学修得から就職まで
 - 鹿児島大学理学部物理科学科の紹介
- ◆ 高校生のみなさんへのメッセージ
 - 進路決めのために3年間でどう過ごす？

プロの研究者になるのかな？

プロの研究者を志した動機：自己分析

- ◆ イチローみたいなスポーツ選手にはなれそうもない
(小・中学校時の2年後輩)
- ◆ 弁護士になるのも諦めた(并論大会で熱弁したが)
(六法全書覚えきれん！)
- ◆ 誰よりも先に新発見をしてみたい！
(趣味ではなく集中してやらないとできない)
- ◆ 奨学金をもらって世界旅行がしたい！
(バイトはしたくない、それなりに運と実力がある)
- ◆ 人生時間の30%を掛ける仕事
できるだけ好きなことにこだわりたい

天文学者をめざそう！

天文学者を志した理由

- ◆ どうせ研究するならばスケールのでかい仕事を
- ◆ 宇宙空間を駆け巡る空想
 - 宇宙戦艦ヤマトの世界
 - 宇宙を詳しく知りたい
- ◆ ロマンチックな学問だ
>>> 好きな女性と空を見ながら
宇宙の話を語りたい！

「夢を持って」持った途端に「現実を見る」

(高校生川柳より)

- ◆ プロ野球一軍選手になるくらい難しい
(常勤研究職への就職：年間30人程度)
- ◆ 高校からの道程
高校 (3年間) ⇒ 大学 (4年間) ⇒ 大学院 (2+3年間)
⇒ 博士研究員 (ポスドク、任期あり) (0--7年間)
⇒ 常勤職 (任期なし、助手・講師 >> 助教授 >> 教授)
- ◆ 天文学者になることだけがすべてではない
 - 博物館・プラネタリウムなどの学芸員
 - 高校・中学校の教員 (理科・数学)
 - 民間企業の研究所、全く分野の異なる仕事
 - 理系・文系はあまり関係がなさそう
- ◆ **だから、できるところまで好きなことにこだわろう**

夢が膨らむ／廃れる 大学生生活

- ◆ 東北大学理学部地学系に入学 (第2希望)
⇒ 1年半後に物理系へ転系
- ◆ 殆どの学生が転系を諦めた
 - 目前の自由、新しい方向の模索
- ◆ 忙しい大学生生活：夢の膨らみに比例
 - 実家から離れての一人生活
 - 家事・勉学
 - サークル (サッカー)
 - アルバイト (家庭教師)
- ◆ 天文学／仲間との出会い
 - 全国からの個性豊かな仲間たち
 - 研究を始めるための準備
 - 研究仲間との苦楽

東北大学理学部屋上
(デートスポット)



オリジナル研究テーマの模索

◆ 大学院修士課程時代

- 2 研究機関をまたぐ活動
 - 東北大学大学院天文学専攻 (天文学講義・情報収集)
 - 国立天文台 (受託) 特別研究員 (観測・研究)
- 日本学術振興会特別研究員 (給料+研究費支給)
- 自力で研究分野を開拓

- ✦ 世界でまだ解明されていない課題は?
- ✦ 教官指導ほとんどなし
- ✦ 論文読みまくり
- ✦ 同学年の連中が全国で50人程度 (博士課程修了後)

国立天文台水沢観測センター
1.0 m 電波望遠鏡
(岩手県水沢市)



全国デビュー

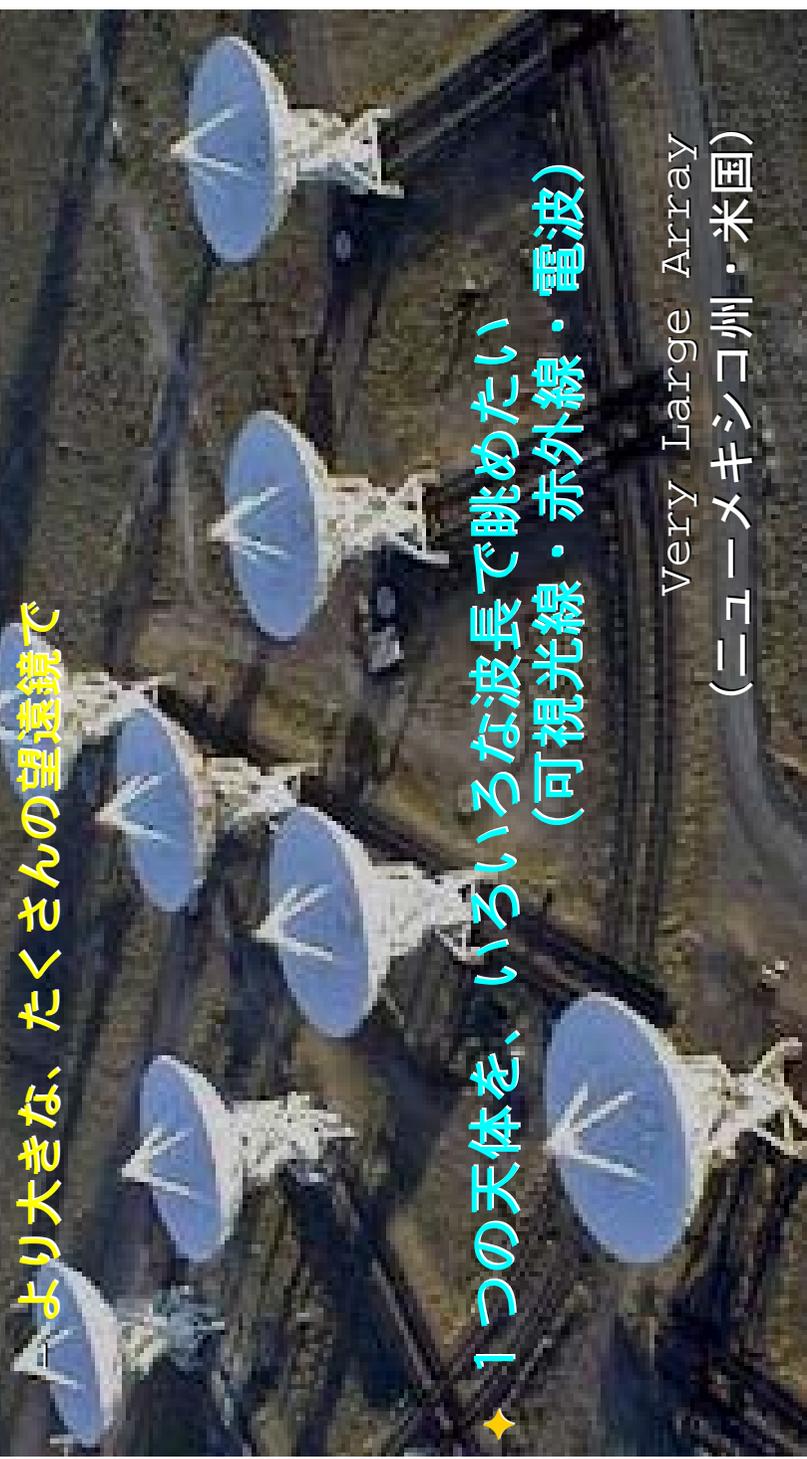
◆ 大学院修士／博士課程時代

- 日本天文学会正会員 (学会発表・若手代表評議員)
 - ✦ 半数以上が大学院生、~400名程度の参加者
- 国内での研究成果発表
 - ✦ 日本天文学会年会 (2回/年)
 - 北海道から鹿児島のどっか (沖繩は?)
 - ✦ 各種研究会での研究成果発表
 - ✦ 旅費補助を受けての国内旅行実現
 - ✦ 懇親会 (パーティー) での交流

- 研究会発表で最初にもらったコメント
「座長、今の発表、無視してよいでしょうか？」

世界への挑戦：望遠鏡時間の獲得

- ◆ よりはっきりと、より細かく天体を観測したい
より大きな、たくさんの望遠鏡で

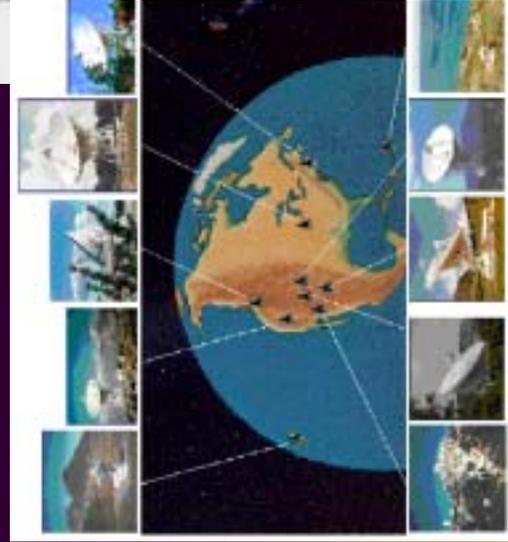


- ◆ 1つの天体を、いろいろな波長で眺めたい
(可視光線・赤外線・電波)

Very Large Array
(ニューメキシコ州・米国)

世界への挑戦：望遠鏡時間の獲得

- ◆ 世界に向けて公表できる研究に対して観測時間が与えられる
- ◆ 経験・実績ある研究者達と対等に観測時間獲得競争
- ◆ 英語で観測提案書・論文をまとめる



今まで観測で使用してきた電波望遠鏡群

世界への挑戦

- ◆ 研究成果＝世界に公開されるべき人類共有の知的財産
- ◆ 世界的研究評価なくして研究者として生きていけない
- ◆ 年数回海外で研究発表会に参加（＝旅費補助付き海外旅行）
- ◆ 夢の広がり＝活動範囲の広がり＝海外へ出かけることになる
- ◆ 日本人は英会話で孤立しがち



1997年4月 アメリカニューメキシコ州ソコロにて

海外で生活する：オランダでの17カ月



Nijntje (Miffy) ちゃんのふるさと

海外で生活する：オランダでの17ヵ月

- ◆ 留学ではなく就職： 生活・研究資金支給
 - 期限（3年）付き博士研究員
 - 研究に専念・仕事仲間（多国籍）との深い付き合い

◆ 英語（+オランダ語）漬けの生活

- 話し言葉を全然知らなかった
- 様々な国からの研究者、独特のなまり
- うわべだけの付き合いでは身に付かない

オランダの大堤防（全長35 km）

海外で生活する：オランダでの17ヵ月

- ◆ 異なる研究手法・異なる生活習慣
 - 日本人はやっぱり勤勉だ（仕事に熱心、一見そう見える）
 - 欧州研究機関はより合理的（work shari等）
 - 日本帰国後に実践したいことが見つかった



研究会中に行われた

欧州・豪州 v.s. 北米対抗親善サッカー

鹿児島大学理学部へ(2003年9月)

- ◆ もう少し海外にいたかった
 - もっと研究に集中したい (日本ではできない)
 - 海外研究者との交流が難しくなる
 - 欧州旅行にあまり行っていない
- ◆ 恩がある、仕事仲間・後継者がいる
 - オランダで得た研究のノウハウを伝えたい
 - 後継者 (学生) を育てたい
- ◆ より大きな研究プロジェクトを起こしたい
 - 一人ではやりきれない、研究資金も必要
 - 研究チームを作る所からやらならないといけない
 - 本格的に天文学教育に取り組み必要がある
- ◆ 大きな夢が一つ叶い、次の夢へと歩き出した

大学教員としての活動

- ◆ 天文学研究を進める
 - 天文学者とは？
 - 自分の研究内容の紹介
- ◆ 天文学を勧める — 大学生・大学院生教育
 - 天文学 (数学・物理・化学・英語、等) を勉強する
 - 天文学研究の手法を実践する (観測・データ解析・考察)
 - 天文学を通して就職に必要なスキルを身に付ける (プログラミング・プレゼンテーション・モラル、等)
- ◆ 天文学を勧める — 市民への啓蒙活動
 - 科学への興味・天文学への理解・支持
- ◆ その他雑務

天文学の世界

(時間・空間スケール)

- ◆ 60億人が住む地球・太陽系
(直径 10^{10} km)
- ◆ 数千億個の星々が集まる
天の川銀河 (銀河系)
— 直径 10^{23} km = 1万光年
- ◆ 数千億個の銀河があると
言われている全宇宙
- ◆ 137億年間で1点から膨張
(ビッグバン膨張宇宙)



Close-up View of Andromeda Galaxy (M31)

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan
Suprime-Cam (B, V, H α)
September 7, 2001
Copyright © 2001 National Astronomical Observatory of Japan. All rights reserved.

天文学の世界

(歴史・物質輪廻)

- ◆ 人・星・銀河には
共通の特徴がある
- ◆ 人・星・銀河
それぞれには
個性がある
- ◆ 人・星には
一生があり、
銀河は進化する
- ◆ 人も星も
宇宙で命ある限り
輝き続ける



Star-forming Region S106 IRS4

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan
February 13, 2001
Copyright © 2001 National Astronomical Observatory of Japan. All rights reserved.



CISCO (J, H, K)

天文学者とは？

- ◆ 地球外の世界について、調べて、理解する学問
- ◆ 宇宙を鑑賞するだけでは天文学ではない
 - 芸術とはかなり異なる

生まれたばかりの星から吹き出すガスの流れ「宇宙ジェット」
形成される仕組みは未解明



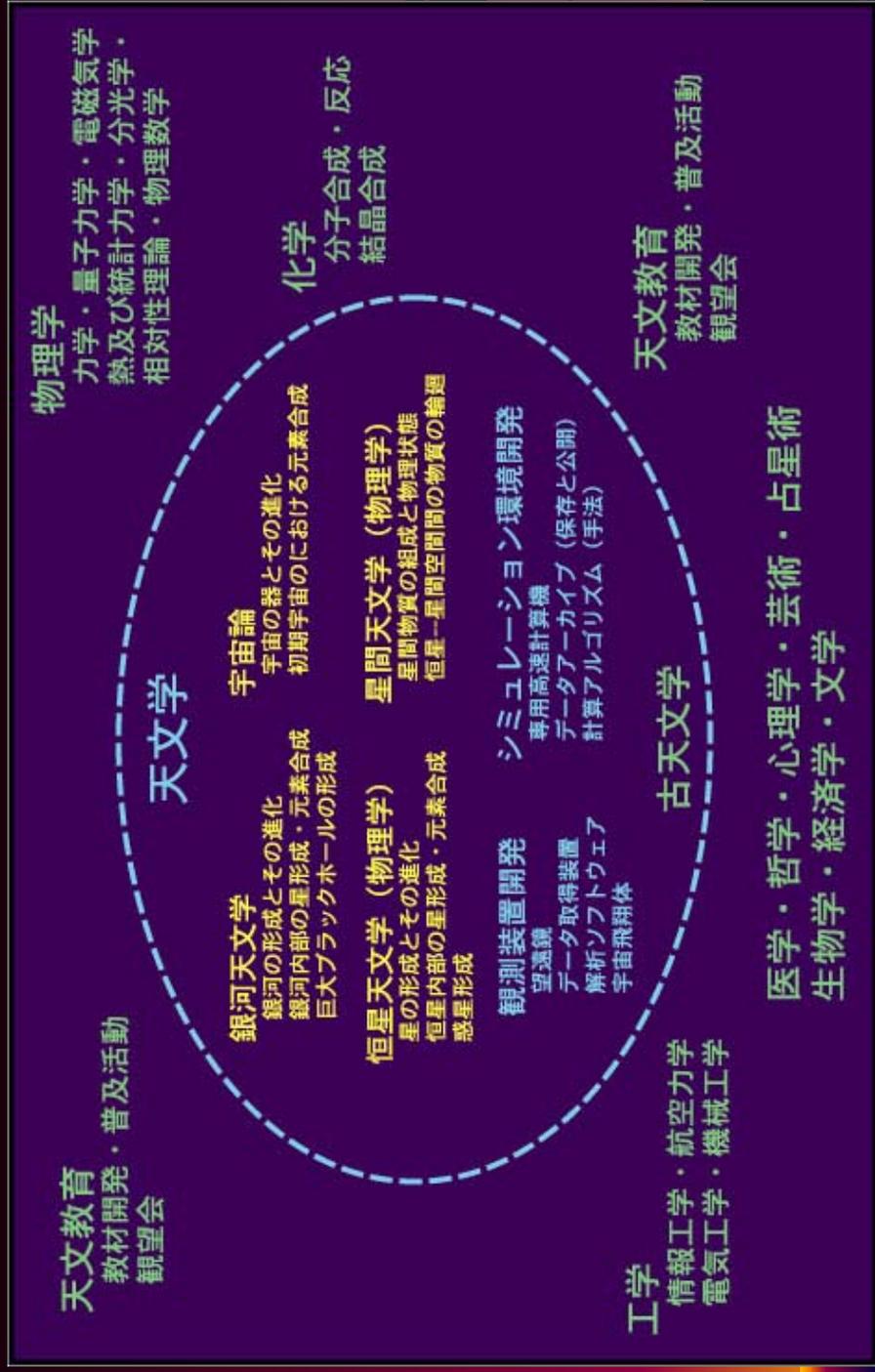
10^4 天文単位= 1.5×10^2 km

天文学の勧め

◆ 天文学の大切さ

- 宇宙は興味の対象である
 - 大きさは？ 何があるの？ 昔はどんな風だった？
 - これからどうなるの？ 宇宙へ行ってみたい！
 - 地球や人間はどうしてできたの？
- 物事を思い込み・迷信に頼らず
 - 論理的・客観的に眺めることができる
- 諸現象を理解し、それらの推移を予測できる
 - ☞ 天文学で駆使する教科：
 - 数学+多くの教科（限定できない）
- 人生を豊かなものにする（文化と技術の発展）
 - ☞ 教養、技能、判断力、感受性、これらが育まれる

どうやって天文学をやるの？



どうやって天文学をやるの？

具体例 (高校での授業との対応)

- ◆ 恒星の誕生と生命の誕生
 - ガスは重力で収縮+回転が生じる ⇒力学
 - 収縮すると、温度と圧力が上がる ⇒熱力学
 - ガスを冷却しないと収縮できない：電磁波放射 ⇒熱力学・分光学
 - 冷却しやすい分子・塵の合成 ⇒化学
 - 熱が逃げられず星の中心部で温度が急上昇 ⇒熱力学
 - 核融合反応 (4つの水素原子核⇒ヘリウム原子核) ⇒原子核物理学・相対性理論
- 様々な質量が誕生し、様々な元素を作り出す ⇒原子核物理学・統計学
- 宇宙空間のさまざまな元素から地球・生物が作られる ⇒統計学・生物学

「太陽」になれなかった星： 褐色矮星 ITG45B (右側、1995年発見)

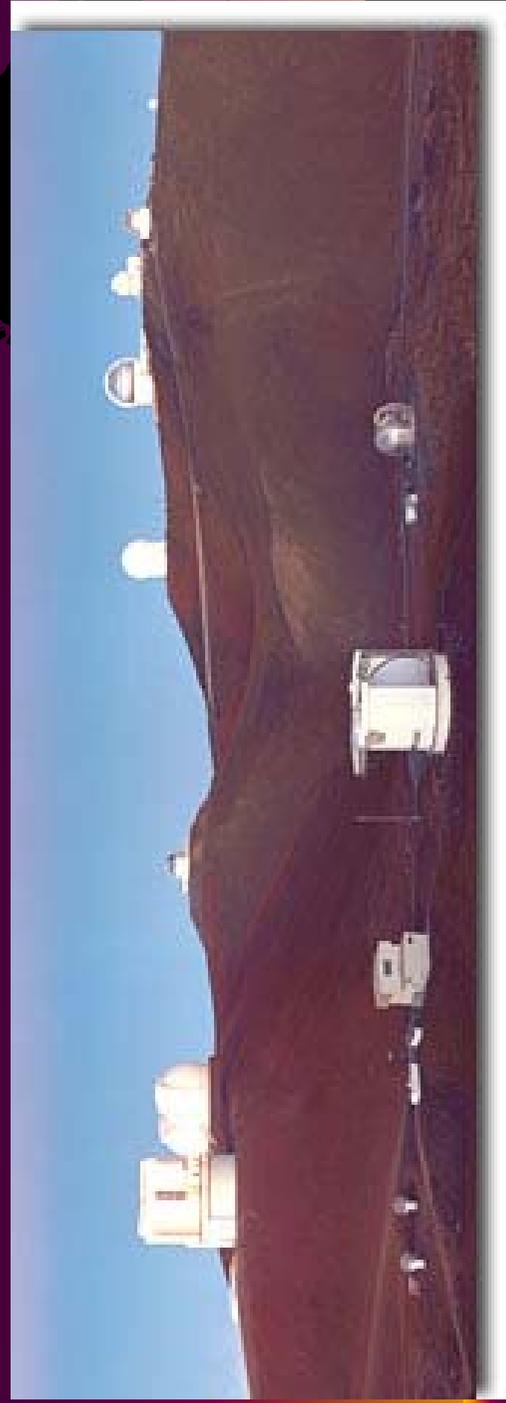
職業・専門職 (profession) としての天文学

◆ どうして「天文学者」という職業があるの？

- 数100年前まで：私財を投げ打って
自分の趣味として研究を行っていた
⇒自己満足で済んだ、他人に教えなくても良い
- 航海術・農業などに必須：現在でもそうである
- 現在：税金を使って
大きな観測装置・高速計算機をこしらえて研究に臨む
⇒ 専門家が専念して行う研究スタイルの発生
(研究機関・大学)
- ⇒ 納税者に研究成果から知識と夢を与える必要がある
- 優れた研究能力と関連技能が求められる
- 広く支持を得るための教育・啓蒙活動も必要となる

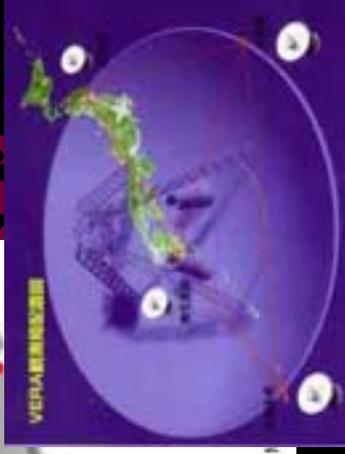
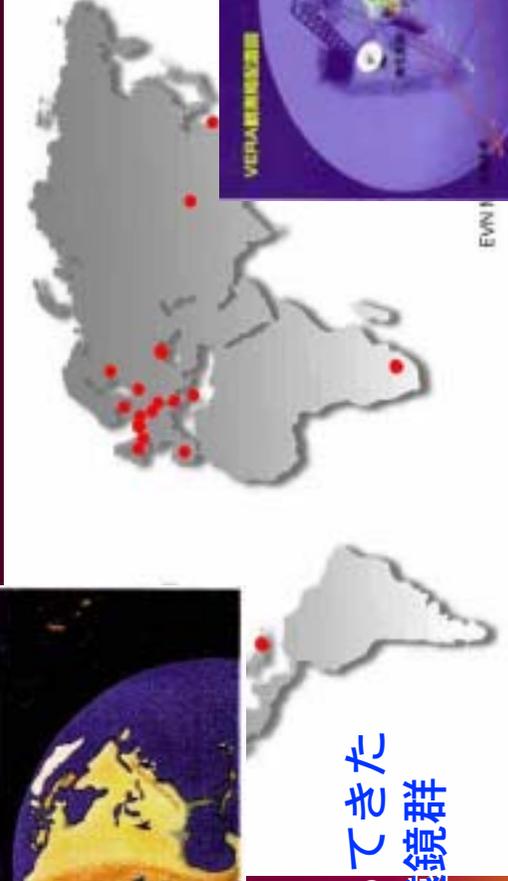
世界最先端の研究を行う 天文学観測装置群

ハワイ島マヌア・ケア山山頂付近の光学・赤外線望遠鏡群



望遠鏡を使うことに対する代償

- ◆ 1 天体の観測で多数電波望遠鏡を使う
- ◆ 望遠鏡駆動・運用に掛かる経費は払わなくて良い
- ◆ 望遠鏡運用経費に見合った努力が求められている
- ◆ 1 日の望遠鏡運用経費 ~ 国立大学生・大学院生の年間授業料



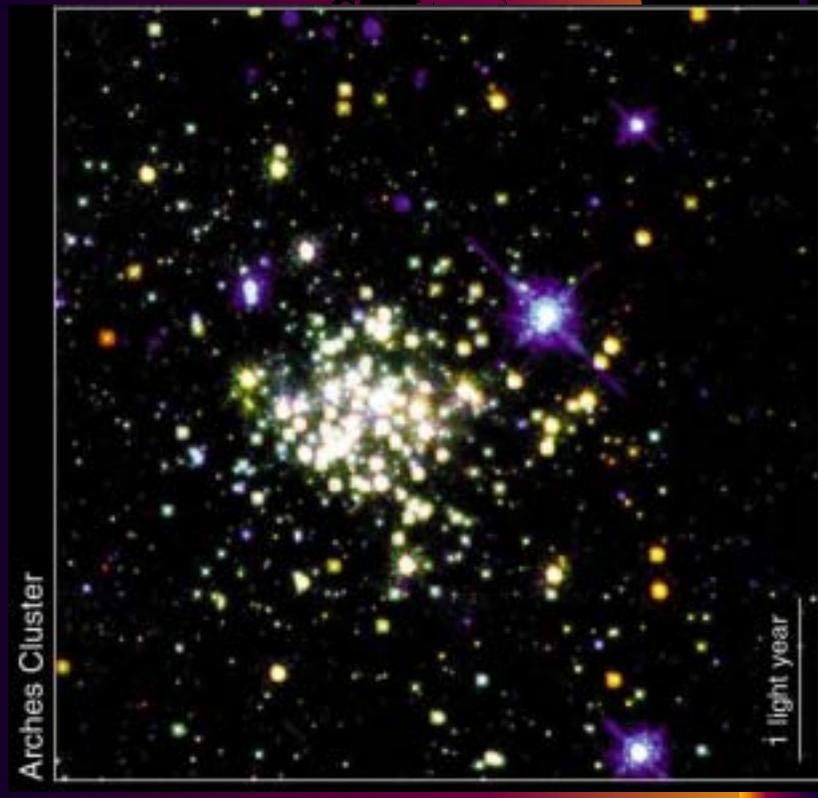
今まで使ってきた
電波望遠鏡群

- ◆ 全くオリジナルな研究：自分で研究費を獲得するしかない

私が行っている研究

- ◆ 恒星誕生の仕組みと恒星が宇宙空間へ溶けて行く仕組みについて研究しています

天の川銀河中心付近にある
生まれたばかりの星団
「アーチェス星団」

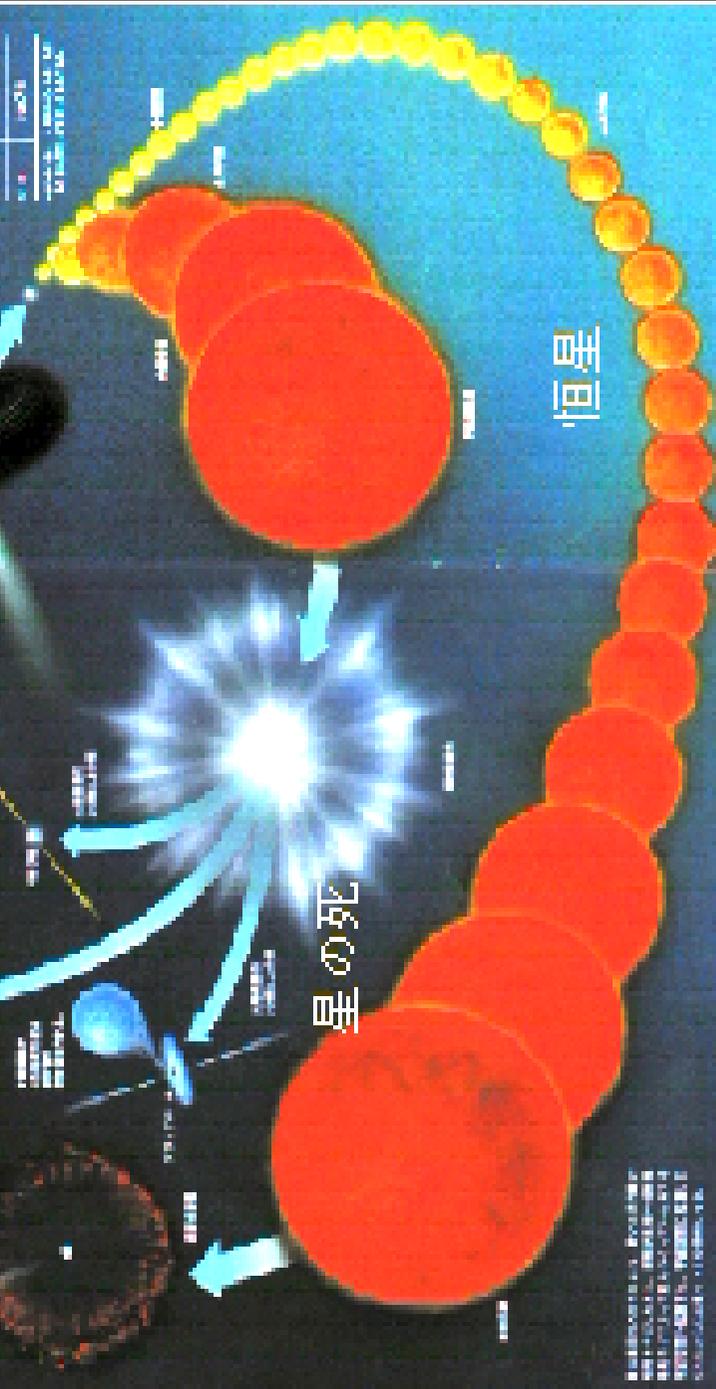


星間化学

星と惑星系の形成

星間物質の進化

物質	割合
水素	75%
ヘリウム	25%
炭素	0.1%
酸素	0.1%
窒素	0.1%
ケイ素	0.1%
鉄	0.1%
その他	0.1%

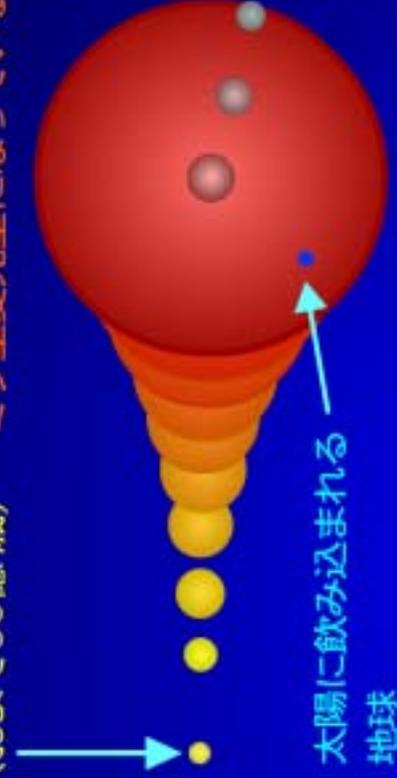


太陽の老後

現在 (G型の恒星) (およそ50億歳)

およそ50億年後 (M型の巨星) ミラ型変光星になっているはず

さらに数100万年後 (白色わい星と惑星状星雲)



太陽が年をとると……

- ◎ 今以上に燃料 (水素) を一気に使って明るく光る
- ◎ 星からの強烈な光がガスを押し出し星のサイズが大きくなる
- ◎ 星の表面温度が低くなり赤く見える、明るさが一定でなくなる (変光する)
- ◎ ガスがある時期から一気に星からはがされて、高温の芯 (白色わい星) が残る

星の死直前で一瞬だけ見られる現象を発見

- ◆ 惑星状星雲形成直前100年間のみで見られるガス噴出流の発見 (2002年、ネイチャー誌)

20-06-2002 0:43 AM

あなたに最適な自動車保険情報をお届けいたします!

letters to nature

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

Myouki Inafuku, Kazuhiko Ohsaiki, Philip A. Diamond, Toshihiro Onodera & Tetsuo Sasa*

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

1 Missouri Astrophysics Center, Missouri, box 621-0861, Japan

§ Department of Physics, Kagoshima University, Korimoto 950-0065, Japan

£ Harwell Bank Observatory, University of Manchester, Manchester, Cheshire SK10 9BL, UK

星の一生の末期? ジェット噴出直後の姿 観測 日英研究班

おすすめ最新情報

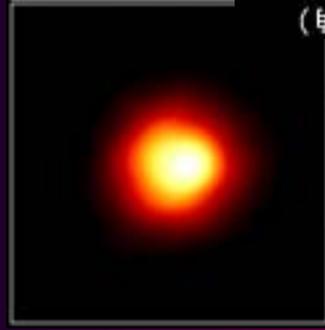
- プロ野球開幕 阪神、3連敗
- 野島カレンダー 歌の上手な日しゃれ者

星の一生の1 / 1億の期間のできごと

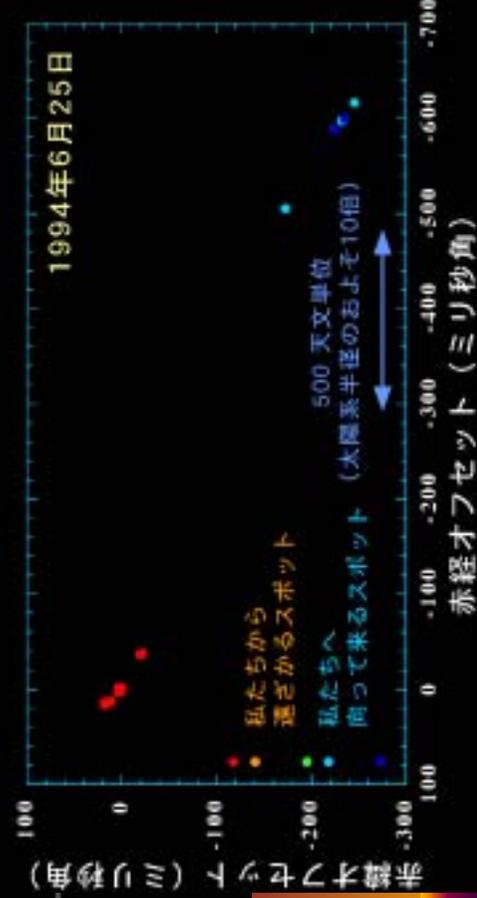
- ◆ 惑星状星雲形成直前の100年間

ベテルギウス

たまたご星雲



宇宙の噴水



鹿児島大学理学部物理学科の紹介

<http://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/newphys/index.html>

◆ 物理学を軸として比較的幅広い学問分野の研究・教育

物質の性質

- 金属・合金・化合物の電気・磁気的性質及び電子の振るまい
- レーザー物理
- 高温超電導体
- カオス・フラクタル等の複雑な現象のシミュレーション
- 環境になじむソフトエネルギー

宇宙・地球

- 超高温・高密度での素粒子振るまい、初期宇宙
- 中性子星・クォーク星
- 電波・赤外線望遠鏡を用いた天文学（星形成・変光星・銀河系）
- 空気中水蒸気と気象
- 電子を応用した計測・制御システムの開発
- 隕石・岩石の観察に基づく古地球の環境とその進化の解明
- x線回折を用いた物質の構造・固体相転位の研究

連携大学院・共同研究

鹿児島大学から日本全国へ・世界へ

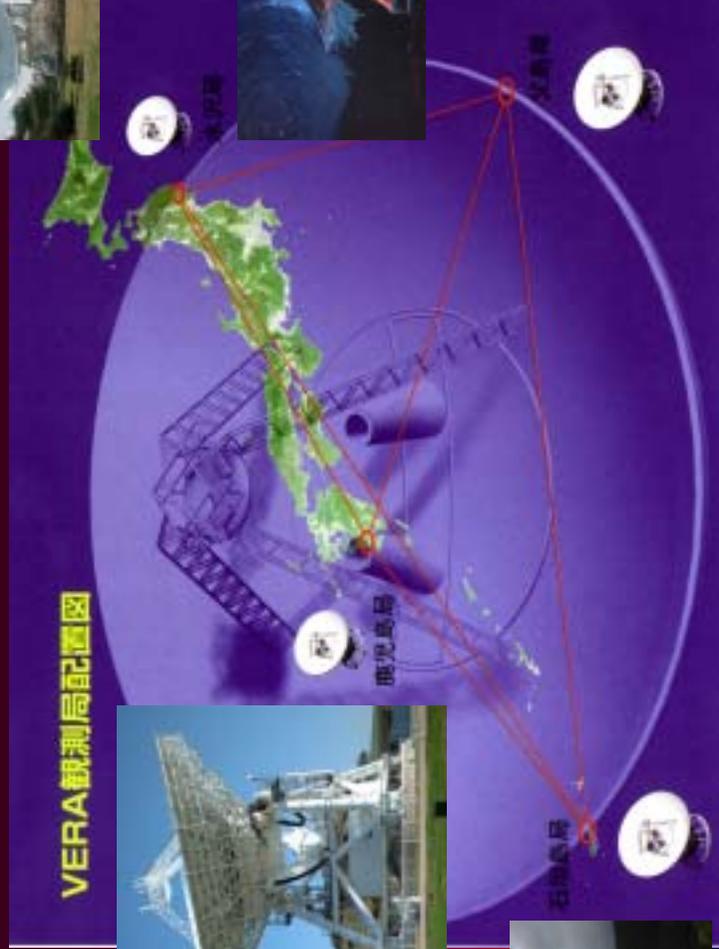
- ◆ 国立天文台（天文学）
（東京都三鷹本部・長野県野辺山・岩手県水沢）
- ◆ 宇宙航空研究開発機構（宇宙開発）
（神奈川県相模原・茨城県つくば）
- ◆ オーストラリア（古岩石掘削）
- ◆ 学部3年生～4年生まで大学で基礎訓練
- ◆ 基礎訓練後、研究機関へ移って卒業研究等を進める
- ◆ 国際研究会での発表も視野に入れている

VERA (天文広域精測望遠鏡)

- ◆ 2002年望遠鏡・観測システム完成
- ◆ 性能向上のための開発・観測
- ◆ 10年くらい掛けた大事業

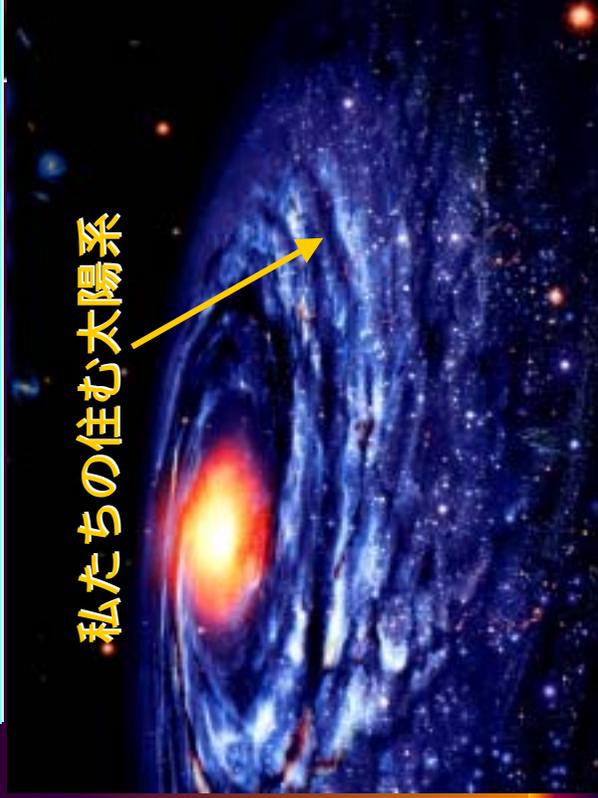


VERA観測局配置図



VERA (天文広域精測望遠鏡)

- ◆ 銀河系立体地図作成
- ◆ 星々の形成、進化の解明
- ◆ 銀河系の総質量 (暗黒物質込み) の計測
- ◆ 銀河系の生い立ち・進化の解明
- ◆ 銀河系内の明るい電波源に対する三角測量



私たちの住む太陽系



鹿児島大学理学部物理科学科 における教育: 背景

◆ 社会人養成 > 研究者養成

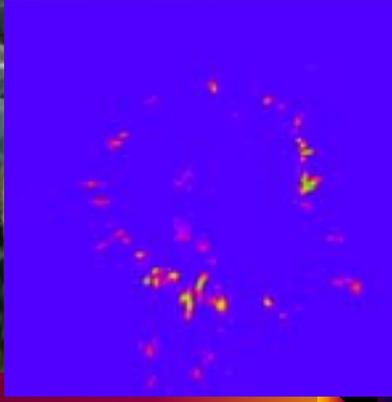
- 全体の1/1程度 (学部卒業)
専門知識を必要としない職種へ
⇒ 就職動機の高揚
⇒ 一般的知識・基本的技術・モラルの獲得
- 全体の1/1程度 (修士号修得)
専門知識・研究技術を生かした職種へ
(教員・学芸員・技術者、等)
⇒ 研究手法・開発技術の獲得
⇒ 発表・指導・交渉能力の獲得
- 全体の1/1程度? (博士号修得)
研究成果創出・研究分野を開拓する分野へ
(大学教員・民間/公立研究機関)
⇒ 専門研究分野の研究へ専念
⇒ 国際的視野を持った研究活動の展開

鹿児島大学理学部物理科学科 における教育: 宇宙コースの方針

- ◆ 宇宙コースでしかできない研究、
宇宙コースでしかできない体験を生かす
- 物理学・数学を軸とした自然科学/基礎科学知識の修得
- 望遠鏡・各種計測装置・工作機械を用いた
情報工学的技術の獲得
- 研究課題への取り組みによる問題発見・解決能力の獲得
- 国際的舞台上で活躍できるための英語力の向上
- 人的交流と研究/観測テーマ発案による
プレゼンテーション・交渉能力の向上

天文学は社会に貢献する！

- ◆ 世のため、人のため、**自分自身**のためになる
- ◆ **宇宙／地球を**
社会／環境／経済, etc...と
読み替えることができる

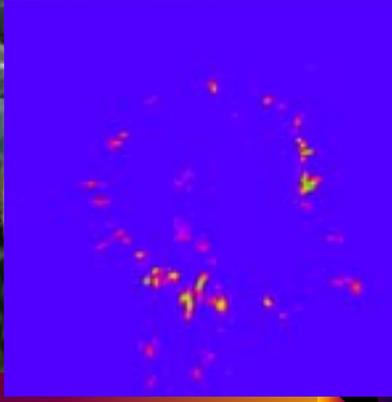


データ解析／画像処理後に得られた

星周ガス運動の様子 (Diamond & Kembal11999)

天文学は社会に貢献する！

- ◆ 自分たちの住む**宇宙／地球**の生い立ち
正しく理解する方法を取得
- ◆ **宇宙／地球**を観測する道具を
開発する技術を取得
- ◆ **宇宙／地球**を観測する手法を取得
- ◆ **宇宙／地球**を分析する技術を取得
- ◆ 分析結果から**宇宙／地球**をより正しく
理解する方法を取得
- ◆ 自分で理解した内容を
発表する能力を取得
- ◆ 自分がしたいことを説得力をもって
提案する能力を取得
- ◆ **天文学=総合学問**
専門学校等より世の中で生きるために
必要な広い素養と技術を
身に付けることができる



データ解析／画像処理後に得られた

星周ガス運動の様子 (Diamond & Kembal11999)

人前でちゃんとお話できますか？

- ◆ 話題がないとしようがない⇒ 情報収集・学習する
- ◆ 研究室・自宅で孤立しがち⇒ 実社会を体験する
(サークル・インターンシップ等)
- ◆ 話を通じない・誤解される
⇒ 接客とはまた違う
⇒ 論理的な話術を身につける
⇒ 研究課題提案・研究発表を通して訓練する
- ◆ 人を惹き付ける・理解・同意を得る
⇒ 聞き手の状況・気持ちを把握する
⇒ 聞き手の立場から自分を見つめ直す
⇒ 多くの人と接する機会を通して訓練する
じゃあ、ボランティア？ コンパ？

八重山高原星物語 (毎年旧暦7月7日)



市民向け天文・科学啓蒙活動

◆ 鹿大理学部物理科学科が企画するイベント

- 錦江湾公園七夕まつり（毎年7月上旬）
- 八重山高原星物語（毎年8月上旬）
- 鹿兒島コスモフェスタ（毎年9月上・中旬）

◆ 公開講座実習：子供・大人に理解され興味を持たせることができるか？

- 簡単な理科実験とその解説
- できるだけ難しい言葉を使わない
- できるだけ簡潔な論理を展開する
- 子供-大人で理科に対する理解度・興味度はさほど変わらない
- 子供（と交際の異性）は態度を率直にあらわにする

高校生のみなさんへのメッセージ

◆ 高校3年間にいかにお過ごしのか

- 自分の特性をじっくり見つめる
 - ¥ 長所・短所（克服できるもの、できないもの）
 - ¥ 感性（どんなことに心惹かれるか）
- 自分の将来を模索しはじめる
 - ¥ 情報収集（インターネット・読書・学習）
 - ¥ 友だち・先生との議論
- 好きなことに一生懸命打ち込む
 - ¥ 本当に好きな／自分にとって大切なことは？
 - ¥ 好きなことにどうやって打ち込む？
（例： イタリア語を勉強した中田英寿）
 - ¥ 好きなこと以外の誘惑

自分の高校時代（愛知県立千種高校）

- ◆ カルチャーショックの連続
 - － 自分よりも遥かに成績優秀な連中
 - － そももって運動能力も優れている連中
 - － さらに個性が光っている連中
 - － じゃあ、自分は？
- ◆ 親友と憧れの女性との出会い
 - － どうしたら自分が魅力ある人間になれるのか、
真剣に自分と向き合う日々
 - － 自分と異なる価値観・視野の存在
 - － いろいろな角度から
自分とその周辺を眺めるようになった
 - － 科学（天文学）に強い関心⇒この方面だったら.....

今までの人生から悟ったこと

- ◆ 「好きなことをやり続けたい！」
この気持ちがあほとんどすべて
 - － 好きなことをやり続けることはとても大変
（外部要因・個人の総合能力、諦めやすい）
 - － 何をやったらそうできるか、
より具体的に考える、行動に移すことになる
 - － 好きなことだけ選んでやる⇒好きなことすらできなくなる
- ◆ 研究者になるためには
思考技術と洞察力とが共に必要（当然体力も）
 - － 天文学者になる場合：
思考技術：物理学・数学・英語など
洞察力：上記以外のいろいろなる知識や経験及び推理能力
意外と人受けも必要（この人と一緒に仕事をしたい...）..

今までの人生から悟ったこと

- ◆ 時間はお金くらいに貴重になってくる
 - 時間の価値は年と共に増加する
 - 退屈な時間が絶対あってはならない
 - 悩んでいる時間も、無駄ではなく大事です
- ◆ 人との出会いはとても貴重である
 - 尊敬する人・憧れの人の存在が自分を磨くことになる
 - 身近な人の長所・欠点を見い出す観察力と
人と接して協調できる能力が大切
 - 自分自身を客観的に見ることができると観察力が大切

世界にはばだけ！高校生



求む、志し高き
後継者たち

オランダ研究会での集合写真(200年2月)