

高エネルギーと天文研究

杉山 直

名古屋大学・IPMU

参考：S.D.M.White

“Fundamental physics: why Dark Energy is bad for Astronomy”
arXiv:0704.2291

科研費細目

- 系 理工系

- 分野 数物系科学

- 分科 天文学

素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

学術会議

- 部 第三部

- 委員会 物理学委員会

- 分科会 天文学宇宙物理学

素粒子原子核物理

杉山は、宇宙物理で科研費をもらっているが、今回は、天文学者の立場で、高エネルギー実験の天文学への参入について、考えてみる

2つの異なった文化

- ある日の名古屋Global COE Social Gathering (Wine & Science)



杉山さん、30
m望遠鏡って何
のためにつくる
の？

素粒子・宇宙線実験屋

2つの異なった文化

- ある日の名古屋GCOE Social Gathering (Wine & Science)

暗い天体を見る
ために決まっ
てるだろ！

宇宙論研究者（天文学会副理
事長）、ただし素粒子崩れ



2つの異なった文化

- ある日の名古屋GCOE Social Gathering (Wine & Science)



でも、遠くの銀河には限りがあるよね。

宇宙の始まりに迫ることしか考えていない！

素粒子・宇宙線実験屋

2つの異なった文化

- ある日の名古屋GCOE Social Gathering (Wine & Science)

宇宙には、近くに
だって暗い天
体はいくらでも
あるんだ。惑星
だってそうだ
ろ！

宇宙論研究者（天文学会副理
事長）、ただし素粒子崩れ



2つの異なった文化

- ある日の名古屋GCOE Social Gathering (Wine & Science)



~~ただ暗い天体を見てもなにがおもしろいの...~~

素粒子・宇宙線実験屋

2つの異なった文化

- ある日の名古屋GCOE Social Gathering (Wine & Science)



その通りでござ
います。参りま
した。

素粒子・宇宙線実験屋

2つの異なった文化

- ある日の名古屋GCOE Social Gathering (Wine & Science)



素粒子・宇宙線実験屋
伊藤好孝さん：惑星探査MOA
実験の責任者

2つの異なった文化が衝突

● 高エネルギー

- Fundamentalist physics
- 基礎原理の追求を目指す: Theory of Everything
- 少ない数の基本的かつ「重要な」問い
 - Origin of mass, grand unification, quantum gravity...
- Specialists

● 天文

- Universalist (Interdisciplinary)
- 多様性を受け入れ、複雑な系に存在する多くの真理を探求
- 多様性に基づく多くの問い
 - Formation, Evolution, and Fete of planets, stars, galaxies, cluster of galaxies...
- Generalists

素粒子実験

- 明確なテーマを持っている
- エネルギーフロンティアをやみくもに目指しても、成果が出ないことが往々にしてある

LHC



Fundamental research

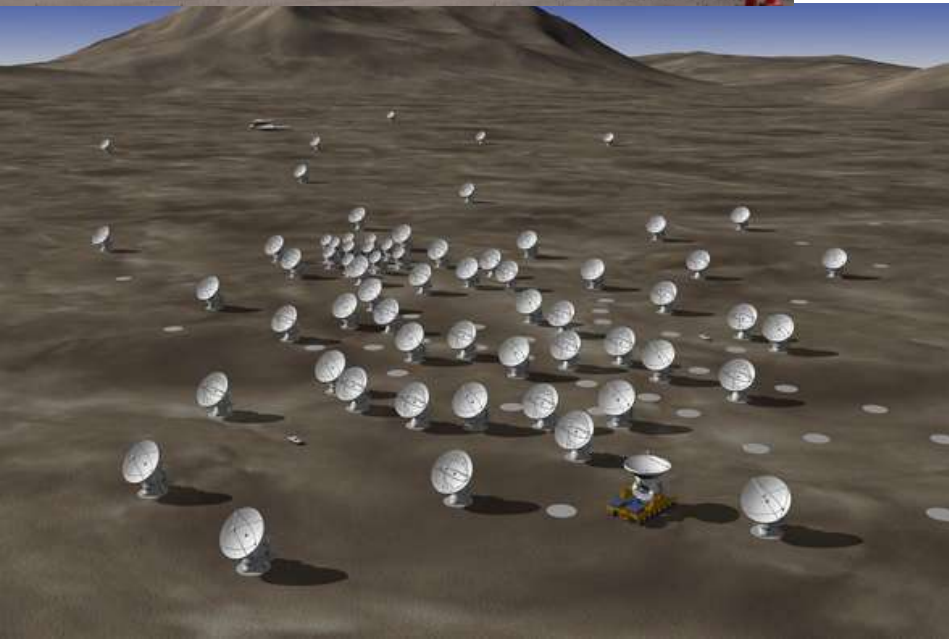
This is CERN's core business. With the LHC the aim is to continue to push our understanding of the fundamental structure of the universe. The results from the LHC might shed light on:

- Dark energy
- Dark matter
- Extra dimensions
- Higgs
- Supersymmetry



天文観測

- とにかくこれまでに無いものを作れば、新しい、また大きな成果が得られる
 - 集光面積
 - 感度
 - 波長空間での広がり
 - 空間分解能
 - 周波数（エネルギー）分解能



ALMA

アルマ望遠鏡が完成し観測が始まると、宇宙ができて間もない頃の生まれたての銀河や、星の誕生や太陽系のような惑星系の誕生、有機分子などの生命に関連した物質など、光（可視光）では見えない暗黒の宇宙が見えてきます。

私達の地球がある太陽系がどうやってできたのか、その太陽系がある銀河系がどうやってできてきたのか、そして我々の素となる生命の材料はどこからやってきたのか、アルマがいざなう、これらの謎を解き明かす旅は、私達のルーツを見出す旅でもあるのです

Astronomers expect ALMA to make extremely important contributions in a variety of scientific specialties.

ALMA will be a premier tool for studying **the first stars and galaxies** that emerged from the cosmic "dark ages" billions of years ago. These objects now are seen at great cosmic distances, with most of their light stretched out to millimeter and submillimeter wavelengths by the expansion of the Universe. See [ALMA Deep Field](#). In the more nearby Universe, ALMA will provide an unprecedented ability to study **the processes of star and planet formation**. Unimpeded by the dust that obscures visible-light observations, ALMA will be able to reveal the details of young, still-forming stars, and is expected to show young planets still in the process of developing. [Link to Wolf simulation](#).

In addition, ALMA will allow scientists to learn in detail about the **complex chemistry of the giant clouds of gas and dust that spawn stars and planetary systems**. [Ready for more thorough info? Click here](#).

Many other astronomical specialties also will benefit from the new capabilities of ALMA, such as:

Map gas and dust in the Milky Way and other galaxies.

Investigate ordinary [stars](#).

Analyze gas from an erupting volcano on Jupiter's moon, Io.

Study the origin of the [solar wind](#).

宇宙観測にも2つのアプローチ

ハッブル宇宙望遠鏡

- An observatory
- 一般的な目的
- 広範なコミュニティのため
- プロポーザルに基づくプログラム
- 大小、多くのチーム
- 予想外の多くの結果
- 天文学の先端技術を育てる
- 望遠鏡として一般のサポートを得ている

WMAP衛星

- An experiment
- 一つの目的
- 一つのまとまったコミュニティのため
- 最初から決まったプログラム
- 一つのチーム
- 予定されていた結果
- データプロセス、統計解析の技術を育てる
- 結果を通じて、一般のサポートを得る

WMAPの成功

- たまたま、線形密度揺らぎの範囲で、物理がpureな形で現れている
- 銀河系の影響や大気の揺らぎなどのSystematicsがそれほど大きく影響しなかった

天文学の観測では、例外的な状況
いつもこんなにうまくはいかない！

天文観測と高エネ実験の違い

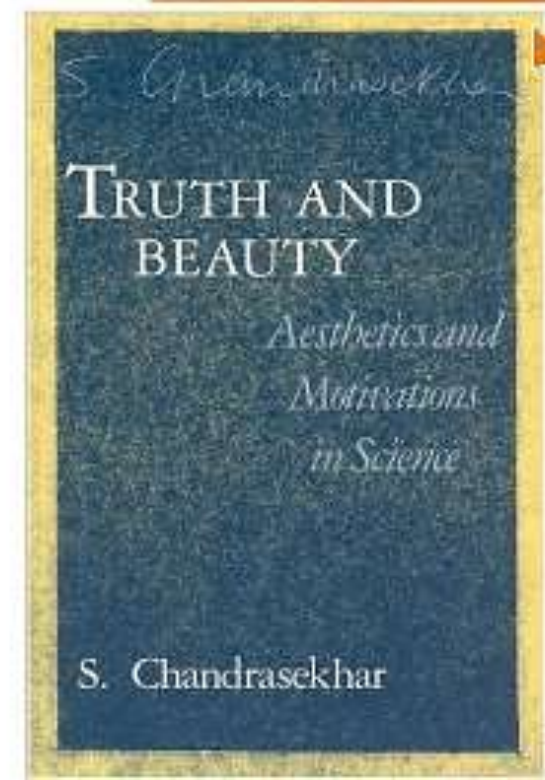
- 再現性がない
- その場ではなく、遠方での大スケールの観測なので、initial condition, boundary condition をコントロールできない
- Systematics を評価することが非常に難しい
- 多様性の中に、基礎法則が隠れてしまっている

天文観測の魅力

- 宇宙は物理の実験場
 - 高エネルギー、高密度、低温、高真空など地上では実現不可能な条件
- 宇宙には自然の美がある



Click to **LOOK INSIDE!**



天文観測の魅力

- アイデアさえあれば、おもしろいプロジェクトをいくらかでも考えられる
 - 若いひとでもPIとして活躍できる
- アマチュアが活躍している
 - 天文学会会員3000人のうちの1000人ほどはアマチュア
 - Natureに論文を出版するアマチュアがいる業界が他にありますか？

LETTERS

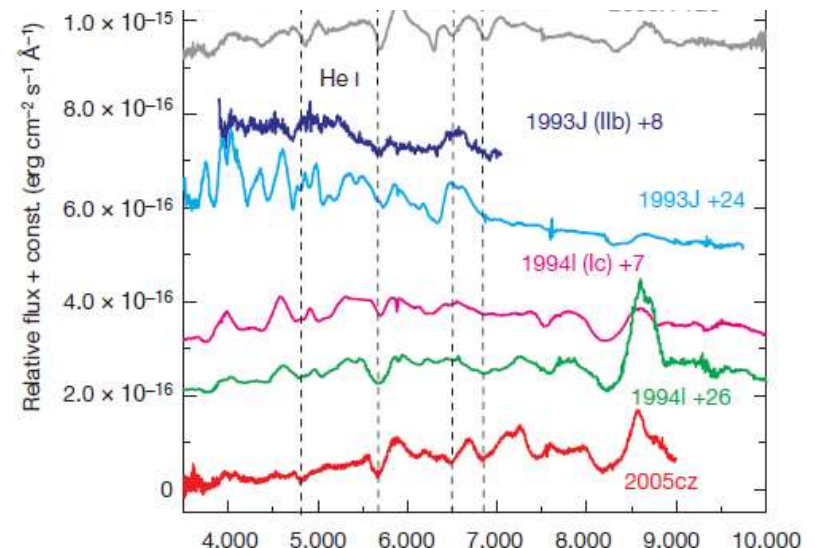
A massive star origin for an unusual helium-rich supernova in an elliptical galaxy

K. S. Kawabata¹, K. Maeda², K. Nomoto², S. Taubenberger³, M. Tanaka^{2,4}, J. Deng⁵, E. Pian⁶, T. Hattori⁷ & K. Itagaki⁸

¹Chaoyang District, Beijing 100012, China. ²INAF Osservatorio Astronomico di Trieste, Via Tiepolo 11, I-3413 Trieste, Italy. ³Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan, Hilo, Hawaii 96720, USA. ⁴Itagaki Astronomical Observatory, Teppo-cho, Yamagata 990-2492, Japan.

dwarf. Here we report that the observed properties of SN 2005cz, which appeared in an elliptical galaxy, resemble those of SN 2005E. We argue that these properties are best explained by a core-collapse supernova at the low-mass end (8–12 solar masses) of the range of massive stars that explode². Such a low-mass progenitor lost its hydrogen-rich envelope through binary interaction, had very thin oxygen-rich and silicon-rich layers above the collapsing core, and accordingly ejected a very small amount of radioactive ⁵⁶Ni and oxygen. Although the host galaxy NGC 4589 is an elliptical, some studies have revealed evidence of recent star-formation activity³, consistent with the core-collapse model.

We discovered SN 2005cz on 2005 July 17.5 UT in the elliptical galaxy NGC 4589. The spectrum of SN 2005cz taken on July 28 is consistent with post-maximum spectra of type Ib supernovae⁴. Thus, SN 2005cz would have originated from a core-collapse of an envelope-stripped massive star. We tentatively assume that the epoch of our first



天文の将来計画

- 学術会議、「マスタープラン」
 - LCGT 大型冷却重力波望遠鏡
 - 時空の動的性質解明、重力波天文学の創始
 - TMT 30m望遠鏡
 - 初期宇宙史解明、系外地球型惑星探査:人類の宇宙観の変革
 - SPICA 3m口径赤外線スペース望遠鏡
 - 銀河誕生のドラマ、惑星系形成のレシピ、物質の輪廻の解明
 - SKA I平方キロ電波干渉計
 - 生命起源、パルサーによる背景重力波測定、宇宙再電離と初期天体形成解明、宇宙磁場の起源と進化
 - Astro-H X線スペース望遠鏡
 - 銀河団中の高温ガスの速度測定、巨大ブラックホールの進化と銀河形成に果たす役割解明

天文の将来計画

- 学術会議、「マスタープラン」
 - LCGT 大型冷却重力波望遠鏡
 - 時空の動的性質解明、重力波天文学の創始
 - TMT 30m望遠鏡
 - 初期宇宙史解明、系外地球型惑星探査:人類の宇宙観の
変革
 - SPICA 3m口径赤外線スペース望遠鏡
 - 銀河誕生のドラマ、惑星系形成のレシピ、物質の輪廻の
解明
 - SKA I平方キロ電波干渉計
 - 生命起源、パルサーによる背景重力波測定、宇宙再電離
と初期天体形成解明、宇宙磁場の起源と進化
 - Astro-H X線スペース望遠鏡
 - 銀河団中の高温ガスの速度測定、巨大ブラックホールの
進化と銀河形成に果たす役割解明

天文学・宇宙物理学の展望と長期計画

- 学術会議物理学委員会天文宇宙物理学分科会編集（3年がかり）
- 2度のシンポジウムを経てまとめる
- 158ページ、サイエンスの動機付け、重要プロジェクト、National Flagshipプロジェクトについて記述
- <http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/kiroku/3-0319.pdf>
- 158ページ

目次

第1章 はじめに：天文学・宇宙物理学の展望	8
1.1 この報告がめざすもの	8
1.2 21世紀の天文学・宇宙物理学	10
1.3 日本の天文学・宇宙物理学の歴史的概観と現状	12
1.4 天文学・宇宙物理学の展望と長期計画の推進における留意点	14
第2章 21世紀の天文学・宇宙物理学の展望	18
2.1 宇宙論	18
2.2 銀河	21
2.3 活動銀河核とブラックホール	23
2.4 星・高密度星・元素合成	25
2.5 星形成	27
2.6 太陽系外惑星	29
2.7 太陽	31
2.8 新たな天文学の窓1：粒子線・ニュートリノ・ダークマター	33
2.9 新たな天文学の窓2：重力波	35
2.10 コンピュータシミュレーション	37

第3章 現代の宇宙観測と未来を目指す長期計画.....	39
3.1 宇宙観測の発展と現状.....	39
3.2 日本における長期計画の基盤と方向性.....	42
3.3 電波観測装置の長期計画.....	59
3.4 光・赤外線観測装置の長期計画.....	67
3.5 X線・ガンマ線観測計画.....	75
3.6 宇宙線・ニュートリノ観測計画.....	84
3.7 ダークマター探査計画.....	91
3.8 重力波観測計画.....	95
3.9 太陽観測計画.....	100
3.10 太陽系探査計画.....	104
3.11 理論シミュレーション計画.....	112

第4章 国家レベルで推進すべき特に重要な大型計画.....	116
4.1 天文学・宇宙物理学分野で早急に実現すべき特に重要な大型計画の検討.....	116
4.2 大型低温重力波望遠鏡計画	118
(LCGT: Large scale Cryogenic Gravitational wave Telescope)	118
4.3 30m 大型光学赤外線望遠鏡計画 (TMT: Thirty Meter Telescope)	122
4.4 次世代赤外線天文衛星計画	126
(SPICA: Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics)	126
第5章 天文学・宇宙物理学の長期的発展のために	130
5.1 大学における天文学・宇宙物理学.....	130
5.2 人材育成の現状と展望.....	136
5.3 宇宙研究の広がりとは分野との連携	139
5.4 宇宙研究と社会	145

高エネルギーの将来計画

- 学術会議、「マスタープラン」赤字 Fundamental
 - Bファクトリー高度化
 - 未知の粒子や力の性質を明らかにし、反物質が消えた謎に迫る
 - J-PARC高度化
 - 物質の起源や形成過程の詳細を解き明かす
 - ILC国際拠点形成
 - SUSYや余剰次元など標準理論を越えるより基本的な物理法則を決定、新粒子や新現象の発見
 - Hyper-K
 - 核子崩壊を発見し素粒子の統一描像を確立、レプトンの粒子反粒子対称性の破れを発見する
 - RIBFのRIビーム高度化
 - 陽子・中性子過剰不安定核の研究の展開、元素合成や中性子星など宇宙天文分野への波及効果

なぜ、高エネルギーが天文に接近しているのか

- **高エネルギー側の事情**
 - 地上での実験に限界がきている
 - fundamentalistとして宇宙を利用
 - 3000人のうちの一人では満足できない
- **天文側の事情**
 - 予算規模が従来と桁で違ってきている。ノーベル賞のような「売り」が必要になってきた。
 - 二つのコミュニティからの提案の方が、金をとりやすい！
 - プロジェクトの規模も桁で違ってきている。高エネ実験のやり方を学ぶ必要がでてきた。

吳越同舟

高エネルギーが天文とうまくつきあっていくためには

- 天文学を豊かにする実験・観測計画が求められている
 - 単一目的、単一のデータではなく、主たる目的以外にも、サブプロジェクトを設定、若手にも機会を与える。

Kamiokandeがよい例

- Fundamentalistとしては、陽子崩壊が目的
- 太陽から、そして超新星からのニュートリノを捉えることに成功した。大気ニュートリノは予想外の大きな成果

高エネルギーが天文とうまくつきあっていくためには

- 天文学の持つ多様性、複雑性、学際性を理解し、受け入れる
 - ICEP 山下さん：「なぜ望遠鏡がたくさん必要なの？大きいのが一個あればいいじゃん」
- 何も、「統一理論」「Theory of Everything」だけが偉いわけではない

己の価値観だけを振りかざして突進しない
相手の文化・歴史を理解、尊重する

天文学は人類の歴史と同じくらい、物理学はたかだか330年

**宇宙という巨大な実験場で、
多様性の裏に潜む基礎法則を
明らかにする！**

**名古屋のGlobal COE
「宇宙基礎原理の探求」**