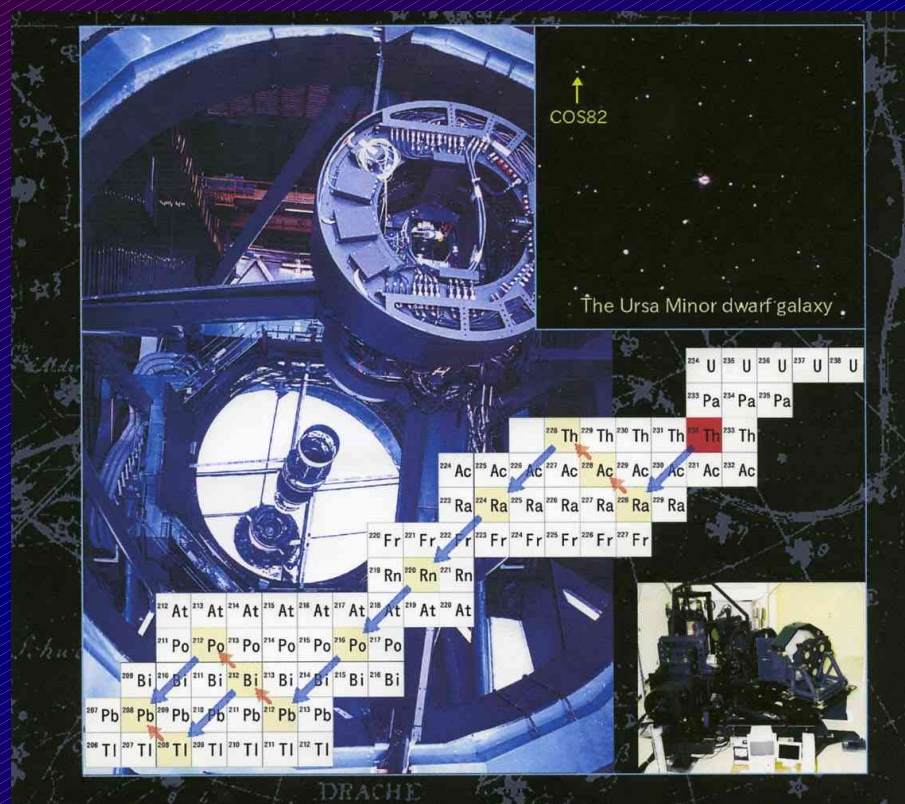


すばる望遠鏡の観測成果(星)



青木和光
国立天文台

星の観測研究の概観とすばるによる観測

- 星の進化段階でいうと、
 - 星形成、惑星系 (→田村さん)
 - 星の構造、進化
 - 星の「最期」
(惑星状星雲など、超新星爆発・ガンマ線バースト)
 - コンパクト天体 (中性子星など)
 - 連星の進化
- カバーする範囲は銀河系内および局所銀河群内
 - 星団
 - 銀河系形成、矮小銀河の構造・進化
- 時間としては、ビッグバン後数億年から現在まで
 - 宇宙初代の星

星(恒星)観測で活躍するのは、主に可視光装置 (もちろん、他の波長も重要だが)

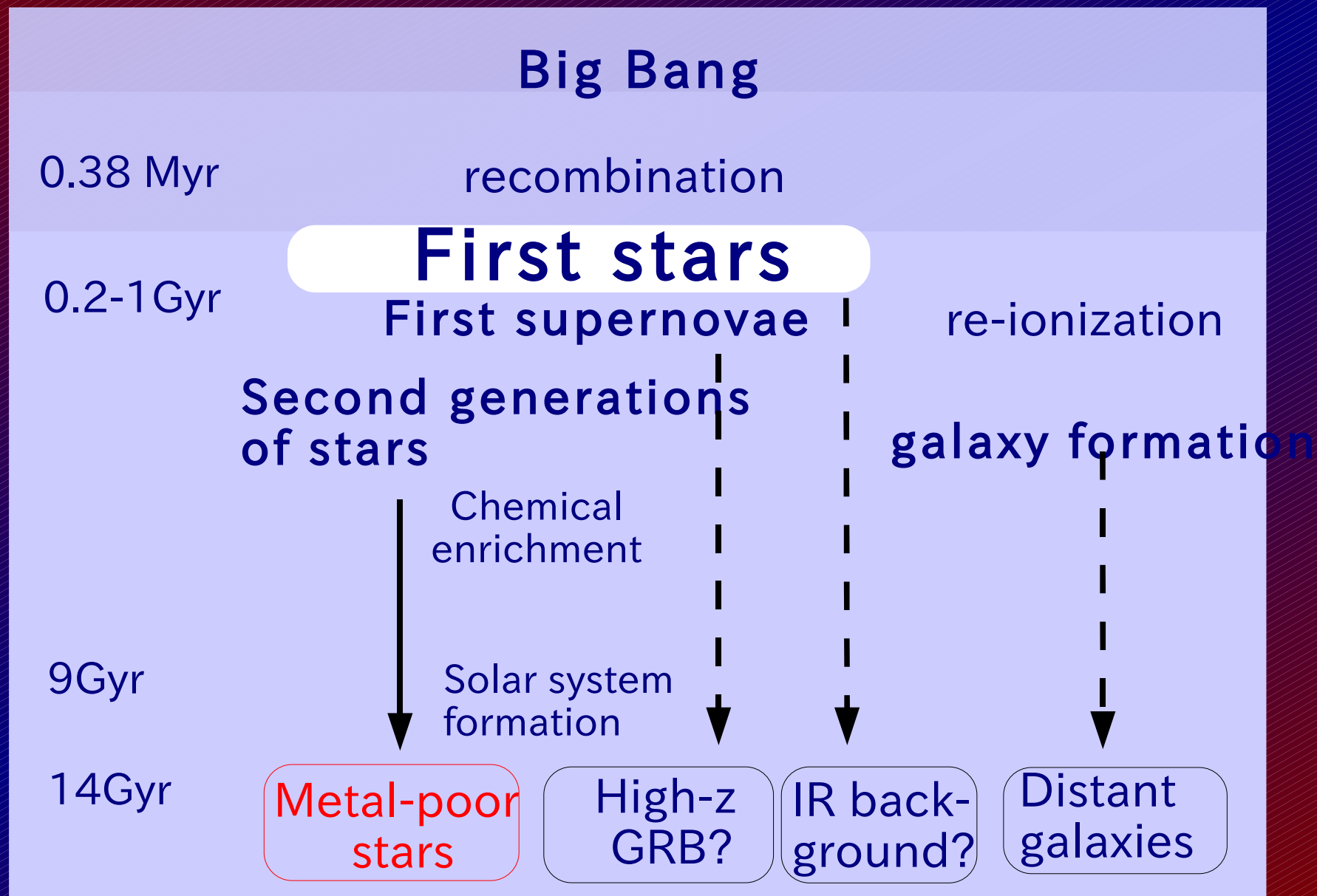
- 広視野撮像能力
 - Subaru Prime Focus Camera (Suprime-Cam)
- 集光力を生かした分光
 - Faint Object Camera And Spectrograph (FOCAS)
 - High Dispersion Spectrograph (HDS)



すばる望遠鏡の観測成果(星)

- 1.宇宙の初代星の形成と元素合成
- 2.ガンマ線バースト天体と超新星
- 3.近傍矮小銀河の構造と進化

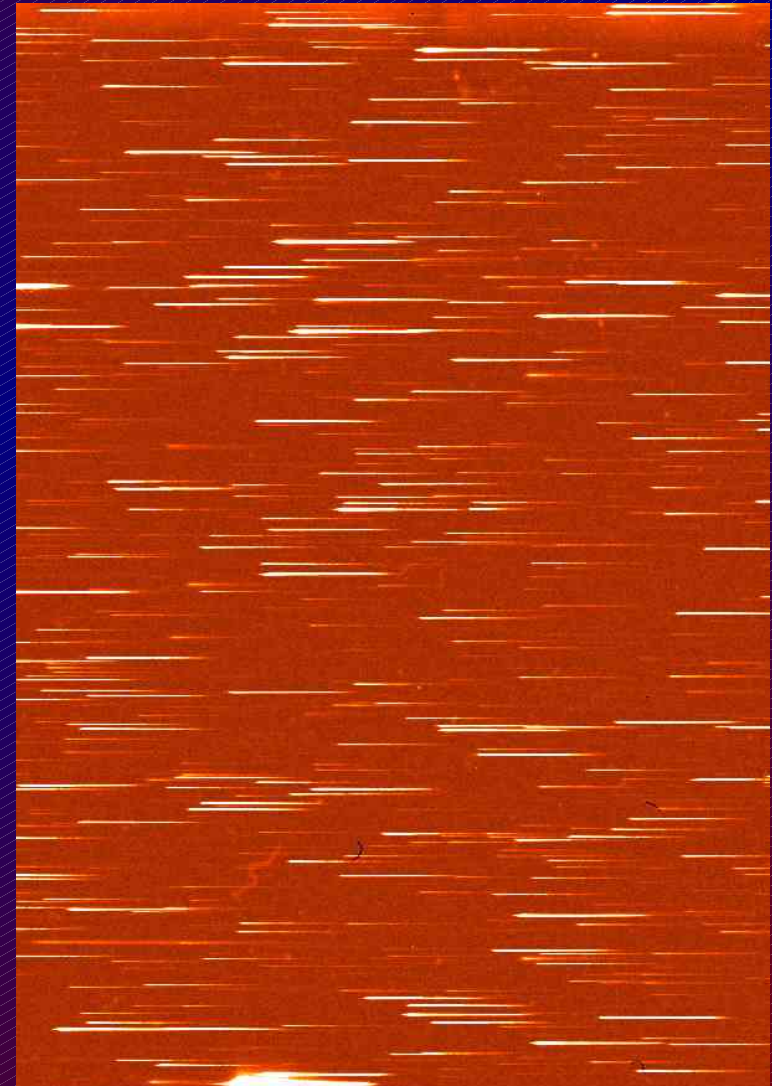
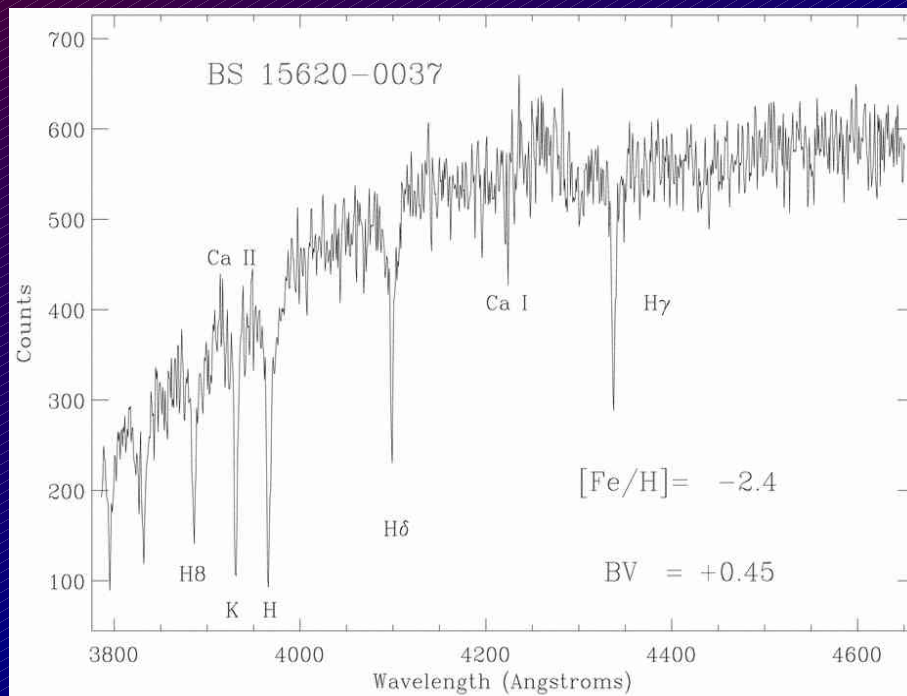
宇宙の初代星に迫る観測



金属欠乏星 (metal-poor stars) の探査

1) Low-resolution spectroscopy
with objective prism →

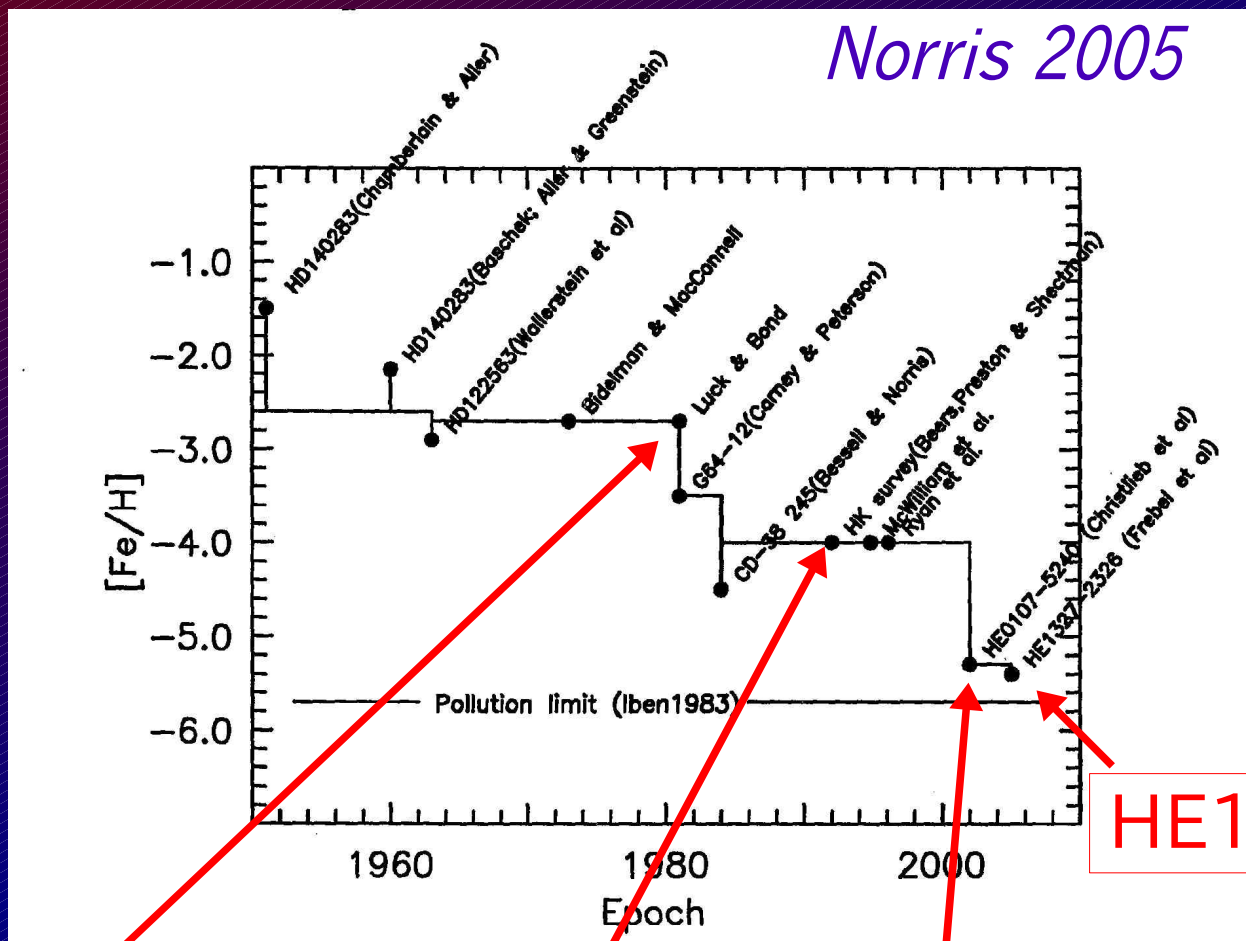
1) Medium resolution
spectroscopy for candidates ↓



e.g., Beers et al. 1992

金属欠乏星の探査・発見の歴史

$$[\text{Fe}/\text{H}] = \log(n[\text{Fe}]/n[\text{H}]) - \log(n[\text{Fe}]/n[\text{H}])_{\text{sun}}$$



HE1327-2326

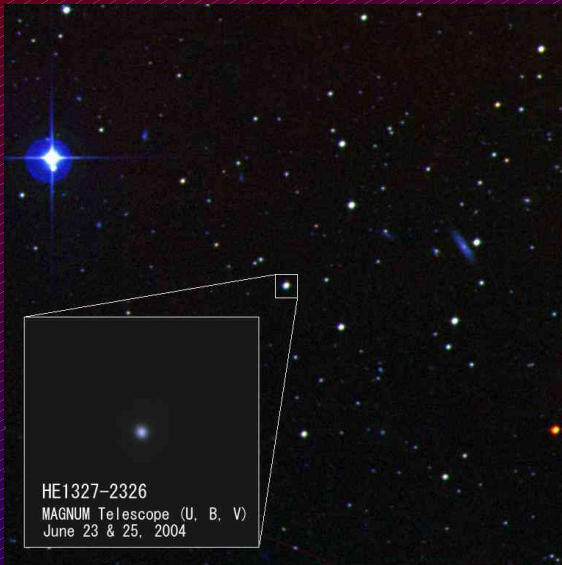
Bond (1981)
“Where is Population III”

HK survey

Discovery of HE0107-5240
([Fe/H]=-5.3)

最も重元素の少ない星 HE1327-2326の発見

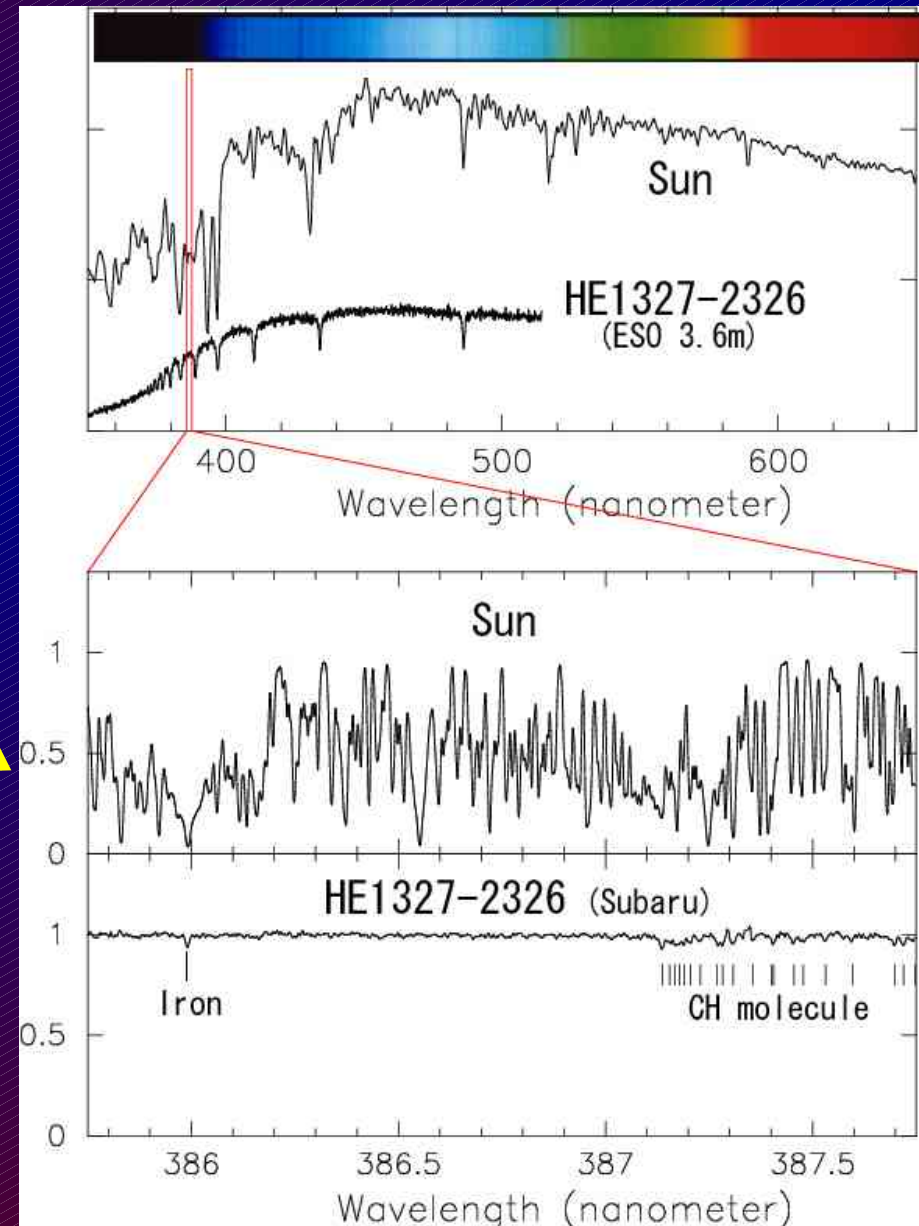
First stars



Medium resolution spectra

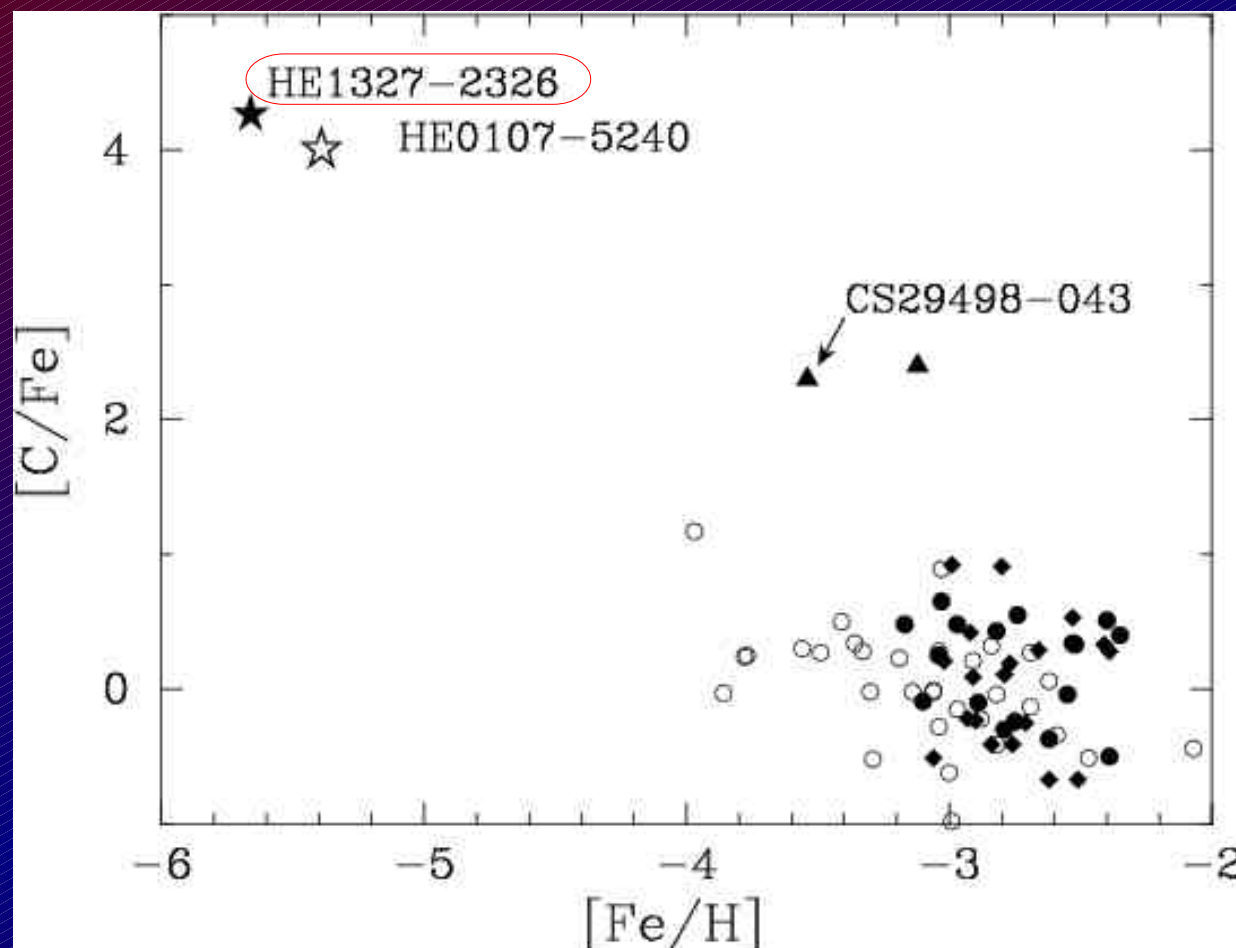
High resolution spectra

- very weak Fe lines
→ $[\text{Fe}/\text{H}] = -5.4$
- detection of CH
molecular bands
→ excess of carbon



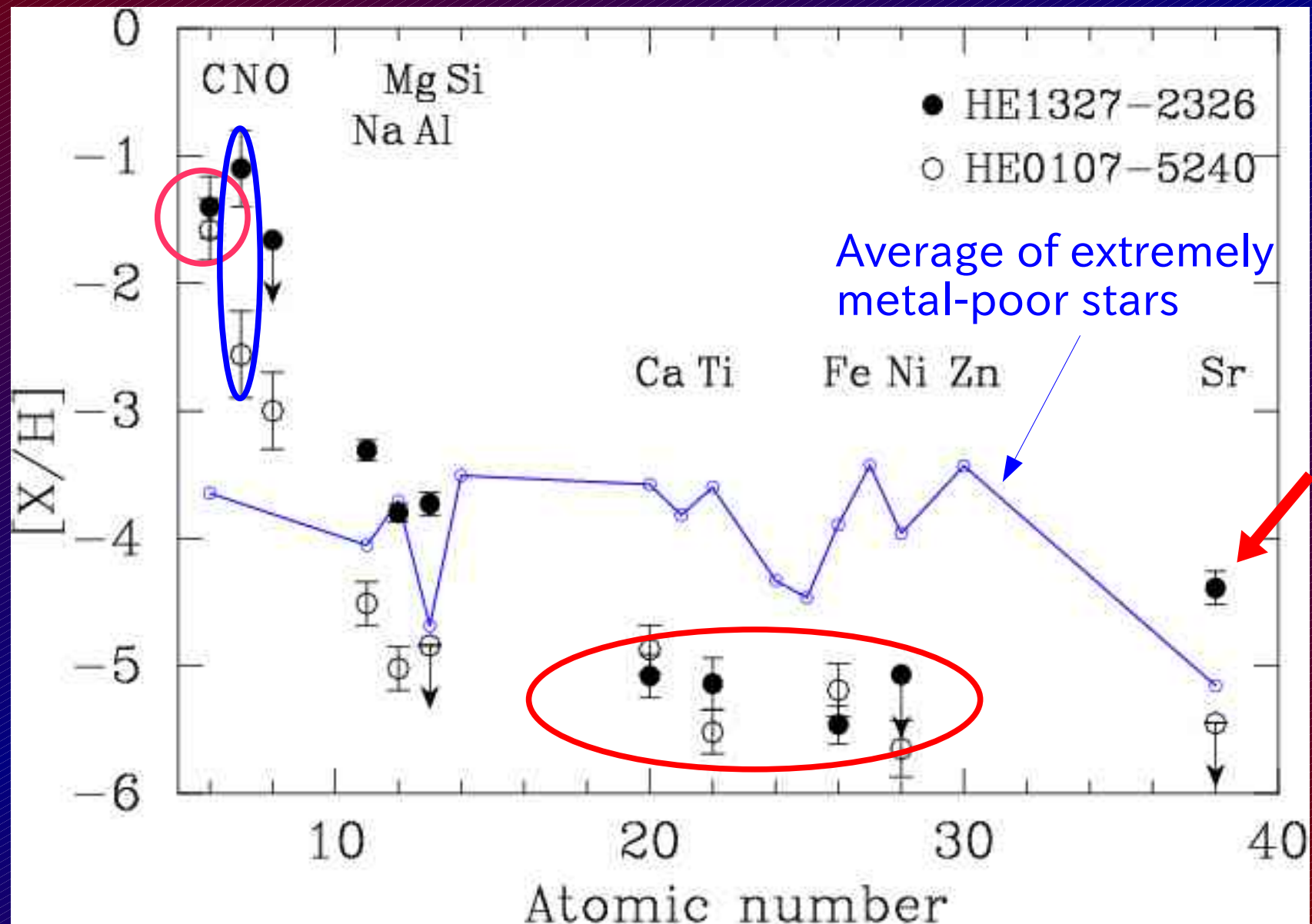
最も重元素(鉄)の少ない星は炭素過剰

HE1327 and HE0107 have very high C/Fe ($[C/Fe] \sim +4$)
→ A common origin of the peculiar abundance pattern



- ★ This work
- Cayrel et al. 2004
- ◆ Honda et al. 2004
- Aoki et al. 2005
- ▲ Aoki et al. 2004

最も重元素(鉄)の少ない星の化学組成



最も重元素の少ない星 HE1327-2326は何を物語るか？

- 極めて低い鉄組成($[\text{Fe}/\text{H}] < -5$) → 初代星による元素合成の結果を直接反映していると期待される。
- 初代星はどのような天体だったか？
 - 高い炭素/鉄比をつくるような天体：
 - 特殊な超新星？
 - 大質量星からの質量放出？
 - 中質量星と連星だった？
- 金属量ゼロのガス雲から小質量星はできるか？
 - 炭素も含めると、小質量星形成には一定の金属量が必要、か？

2. ガンマ線バースト天体と超新星

- ガンマ線バーストの発見 (1970s)
- ガンマ線バーストの分類
 - long duration
 - short duration (< 2sec)
- long GRB は極超新星(hypernova)が起源か？

discovery of SN1998bw within the error box of GRB980425

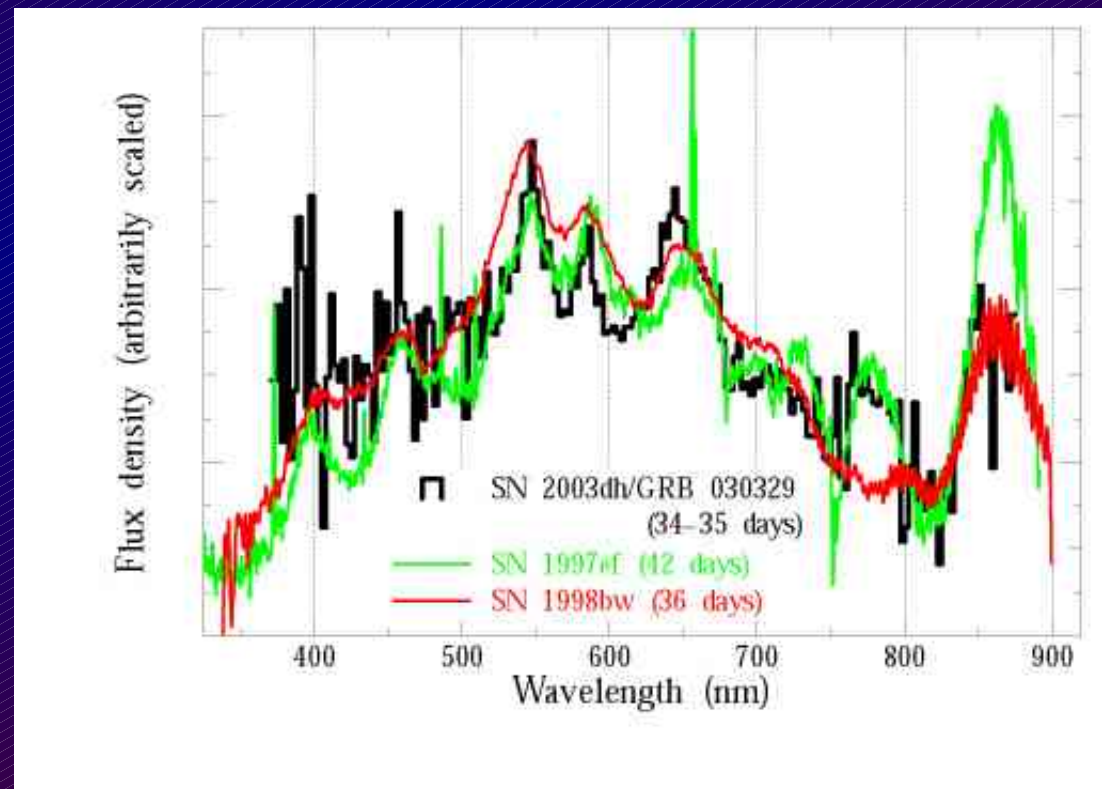
→ connection with “hypernova” = energetic explosion

ガンマ線バーストと極超新星(hypernova)との関連

GRB030329/SN2003dh によって関連性がはっきりした

Kawabata et al. 2003, Mazzali et al. 2003, etc.

- $z=0.1685$
- **Type Ic** supernova
(core-collapse,
no H/He envelope)
- high explosion energy
- **asymmetric** explosion



ガンマ線バーストと超新星の関連性

ジェット方向からみるとガンマ線バーストとして観測される。
ではジェット方向から外れた向きの場合は？

Energetic supernova

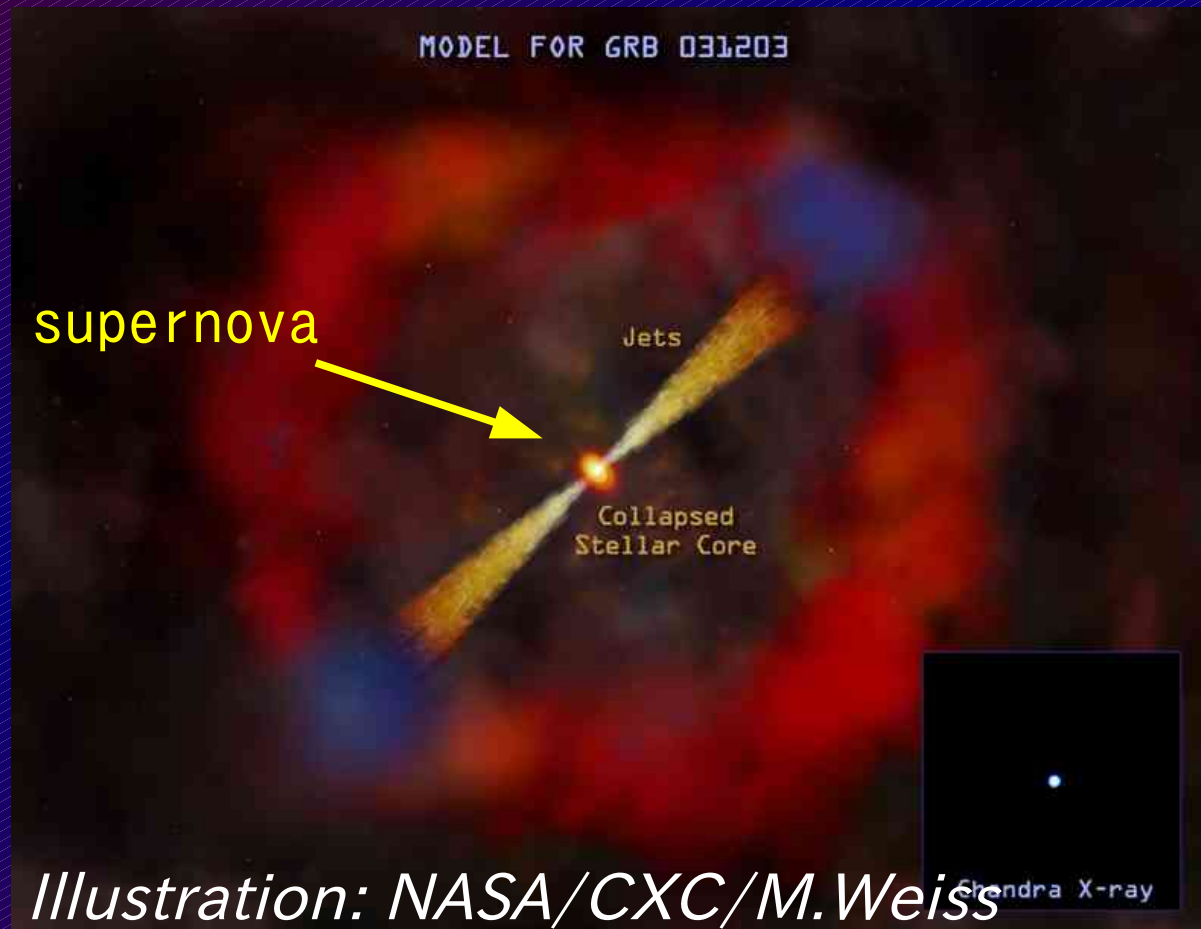
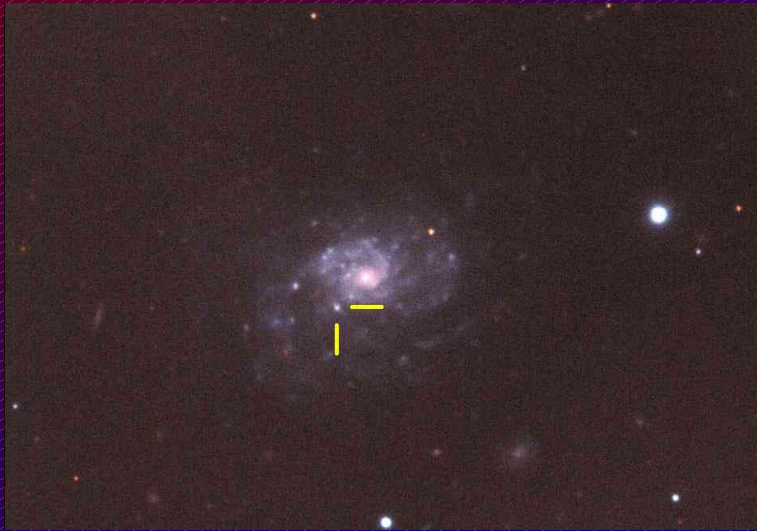


Illustration: NASA/CXC/M.Weiss

ガンマ線バーストと超新星の関連性： ジェットからはずれた向きから見ると...

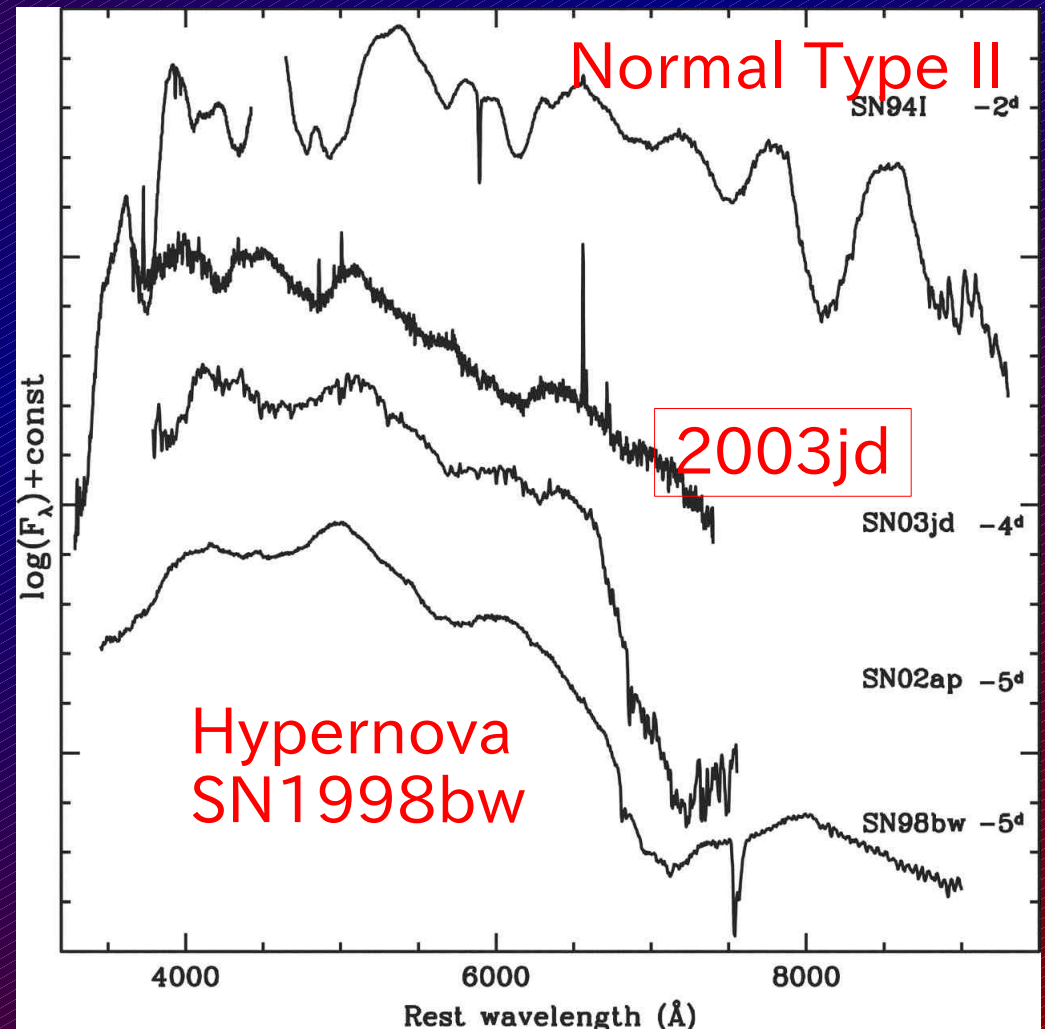
Mazzali et al. (2005)



ガンマ線バーストにならなかった
Ic型超新星

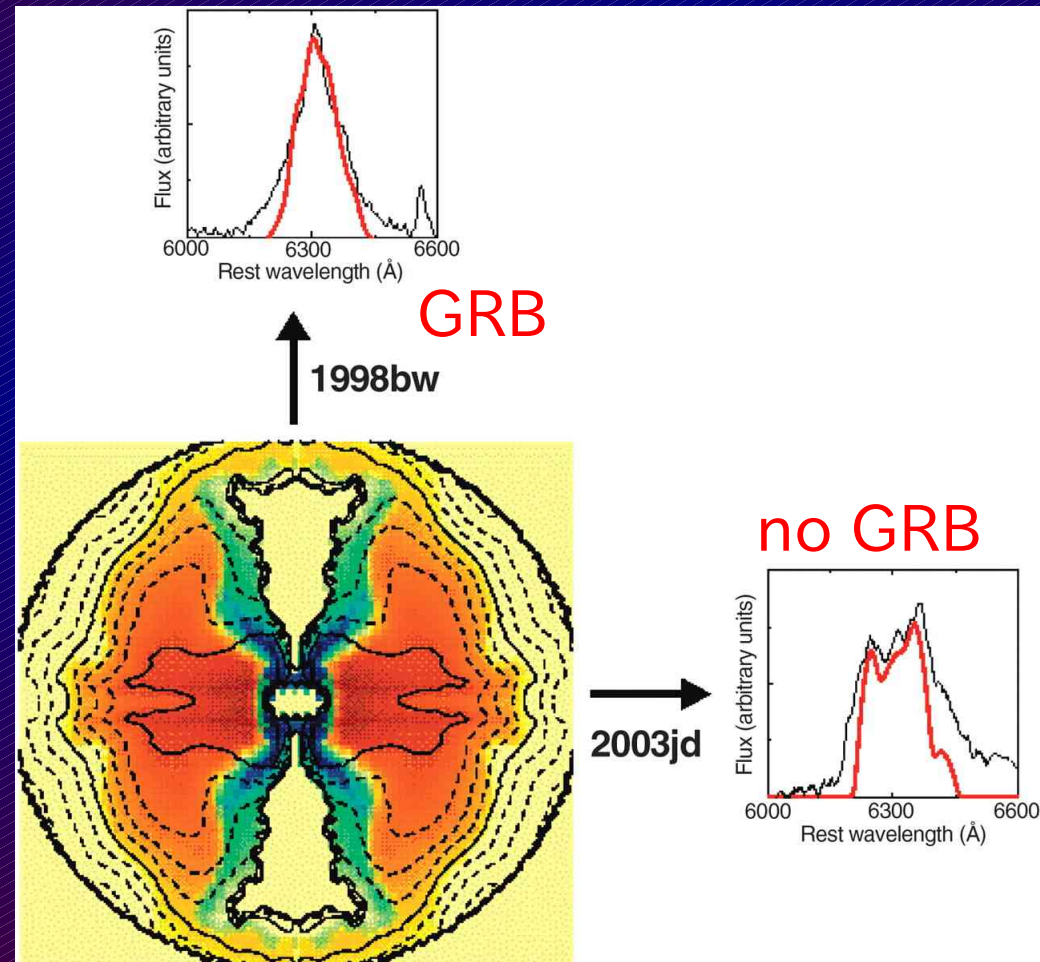
SN2003jd:

幅広いスペクトル線は、極超新星
だったことを意味する。



ガンマ線バーストと超新星の関連性： ジェットからはずれた向きから見ると...

赤道方向（ジェットからはずれた方向）には酸素が多く放出される。
→ ガンマ線バーストにならなかった極超新星の酸素スペクトルをよく説明する。



Mazzali et al. (2005)
Subaru/FOCAS
& Keck/LRIS

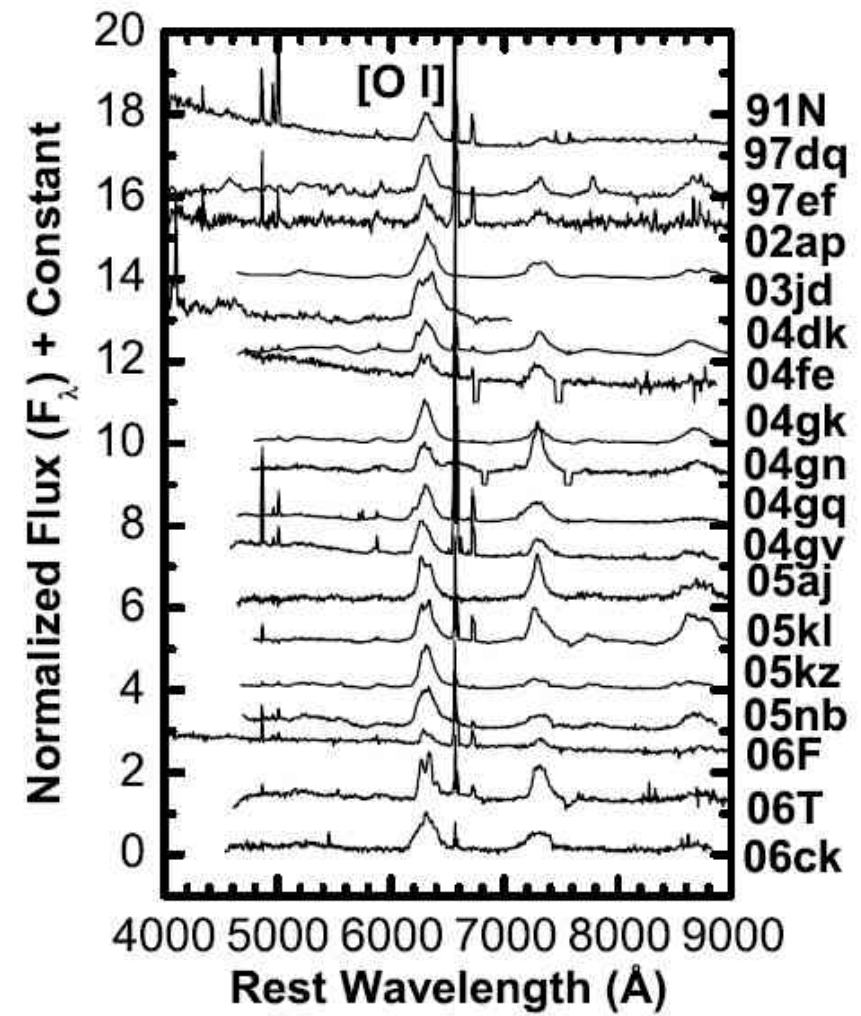
超新星爆発は一般に非球対称であることを確認

Maeda et al. (2008)

超新星(星雲段階)のスペクトル
を系統的に調査

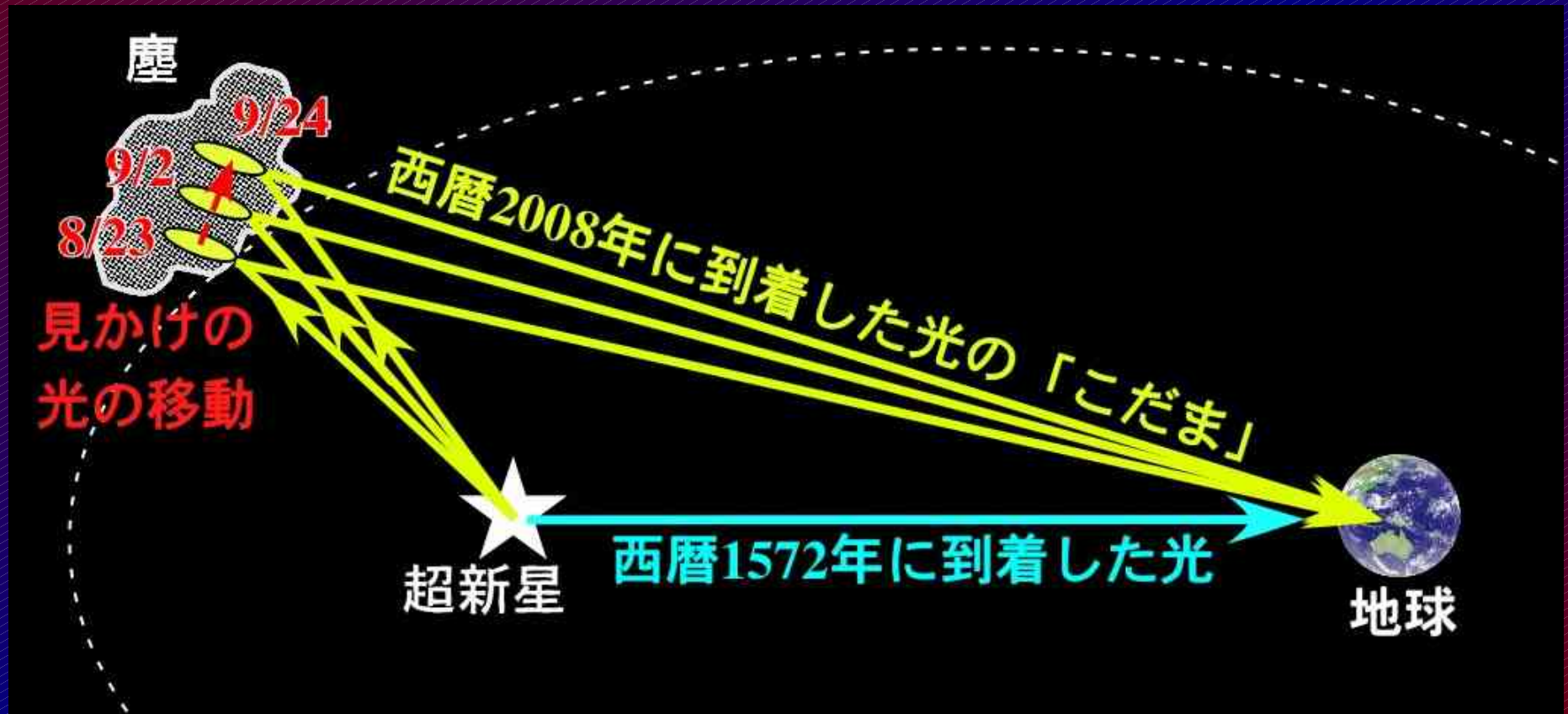
→酸素スペクトル線の形(ダブル
ピーク)は爆発が非球対称であっ
たことを意味する。

→非球対称爆発は一般的に存在
する。しかし、ガンマ線バーストの
場合ほど顕著ではない。



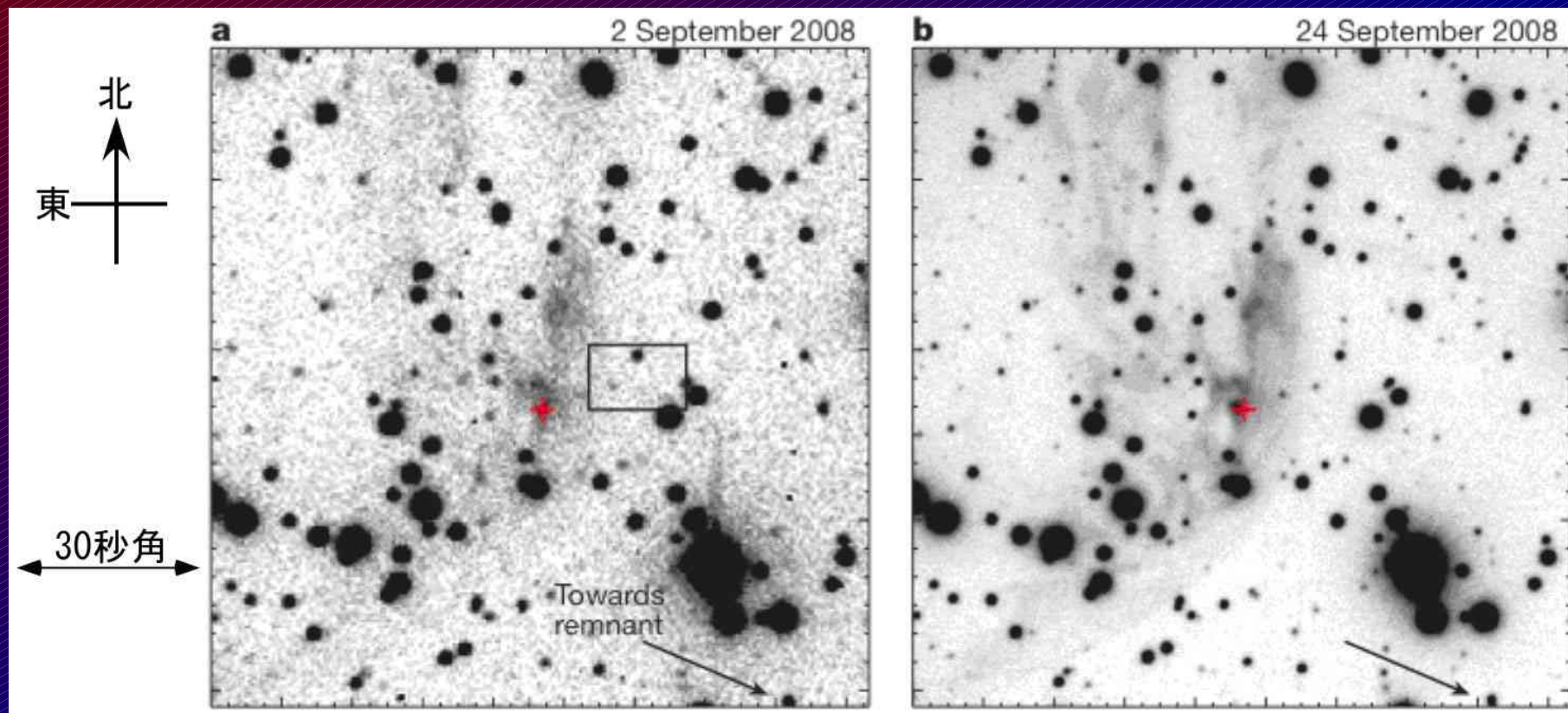
超新星エコーの観測

ティコの超新星（1572年）の光のエコーを現在とらえる
(Krause et al. 2008)



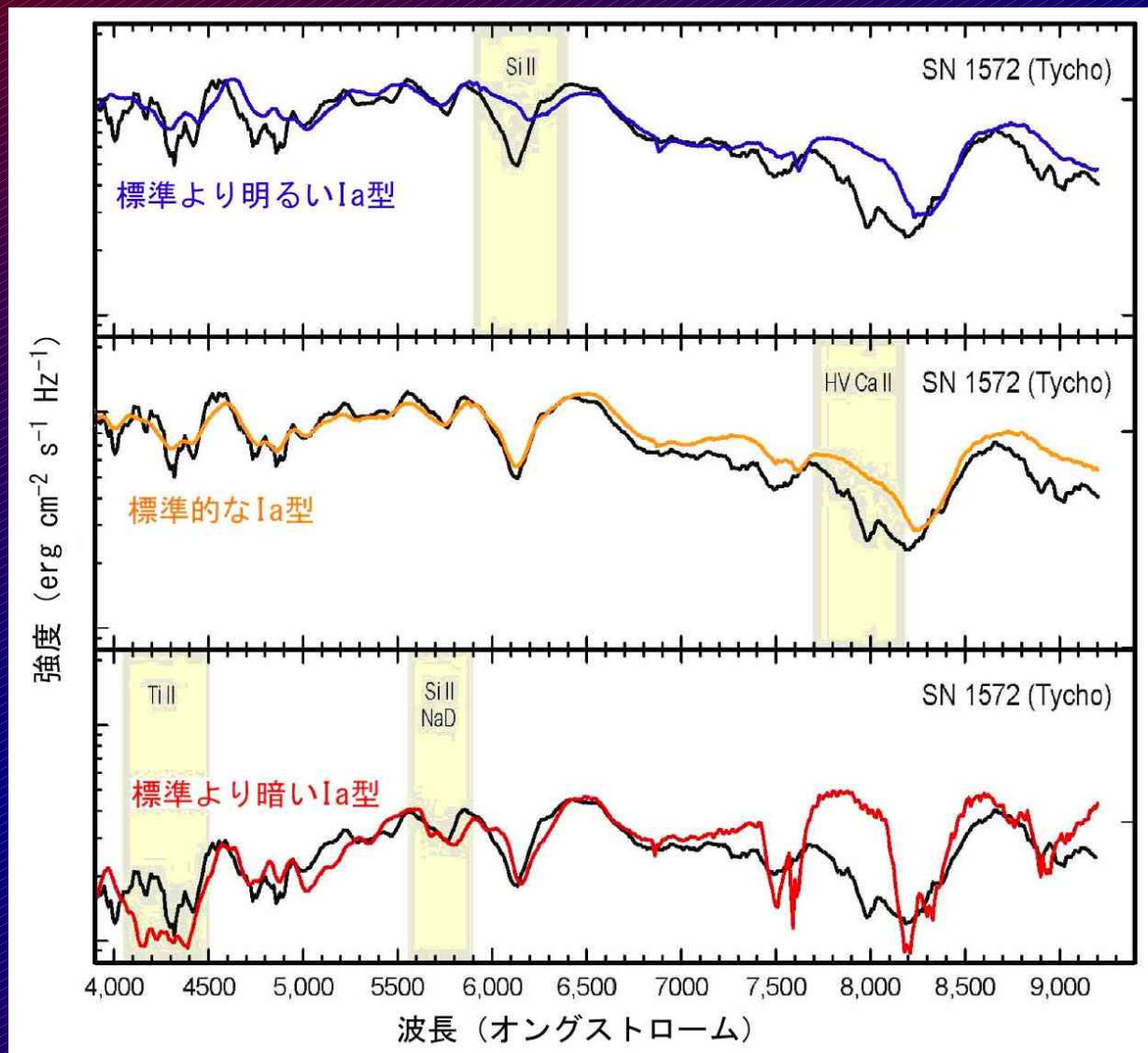
他にも超新星残骸Cas Aのエコーの検出にも成功
(Krause et al. 2008)

ティコの超新星の光のエコー



超新星残骸はこちらの方向に3.15度離れている

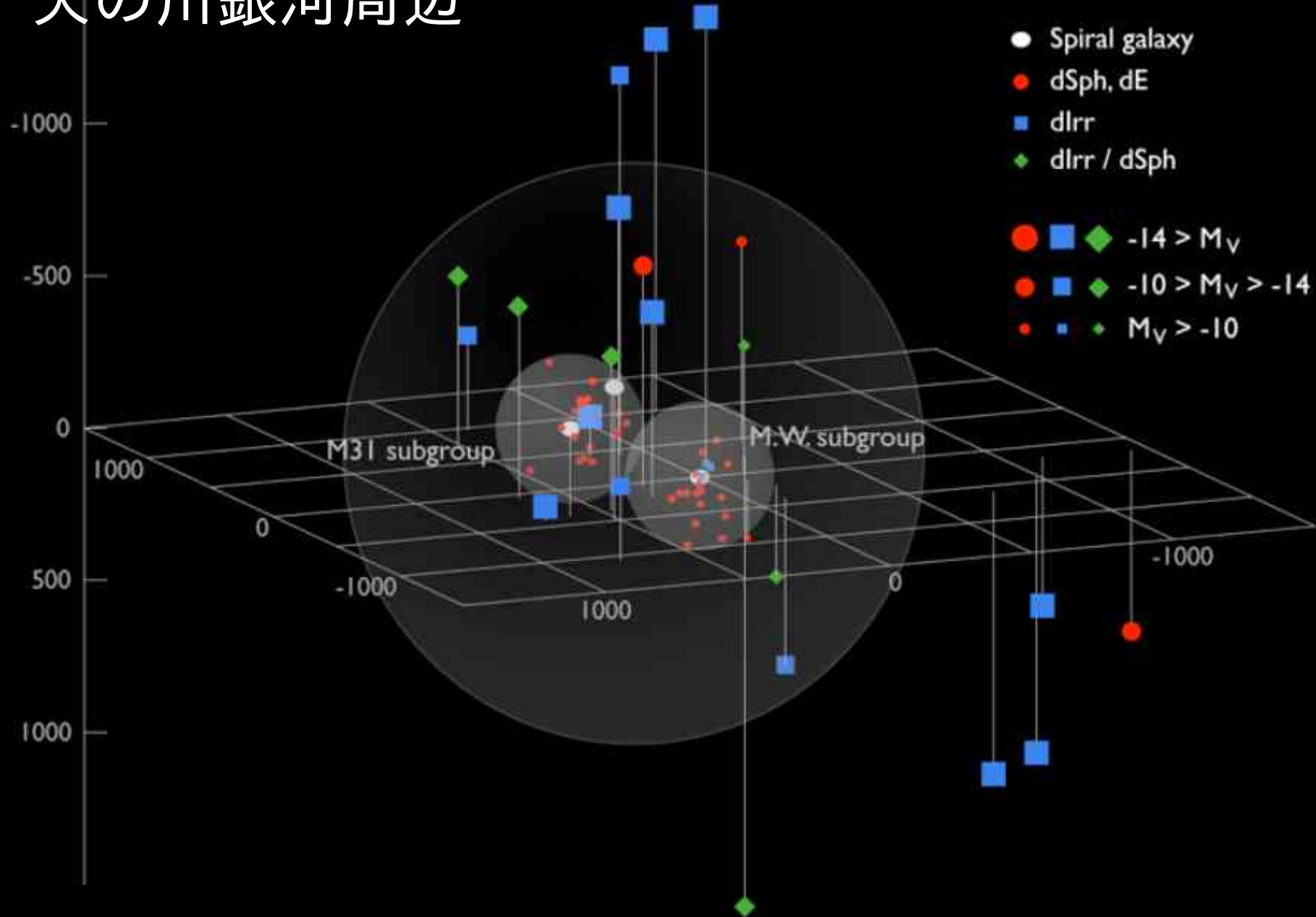
ティコの超新星は標準的なIa型だったことを確認



3. 天の川銀河周辺の矮小銀河（の星）の観測

- 矮小銀河の分布と種類
 - 矮小楕円体銀河(dwarf spheroidal) ガスがない。
天の川銀河やM31に近い
 - 矮小不規則銀河(dwarf irregular) ガスが豊富。
 - 大小マゼラン雲は不規則銀河（ハワイからは見えない）
- 測光観測による星の年齢・金属量の測定
古い星が多く金属量も低い、単一種族でないことも。
- 分光観測による速度構造・化学組成の測定

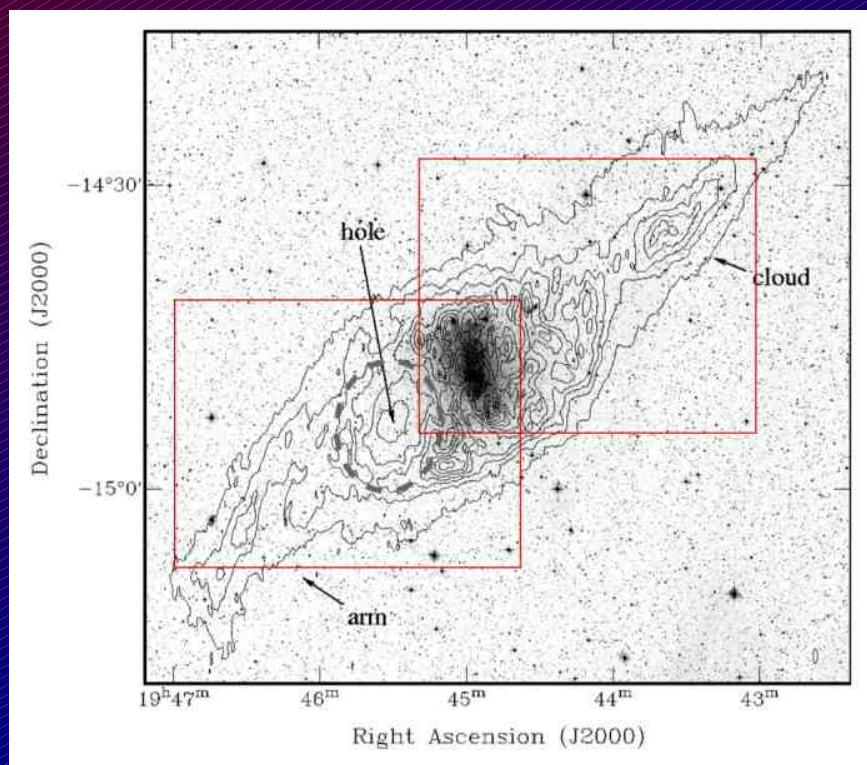
天の川銀河周辺



(courtesy of S. Okamoto)

3.1 矮小不規則銀河 NGC 6822 のまわりの広がったHIガスと星形成

Komiyama et al. 2003, ApJ, 590, L17



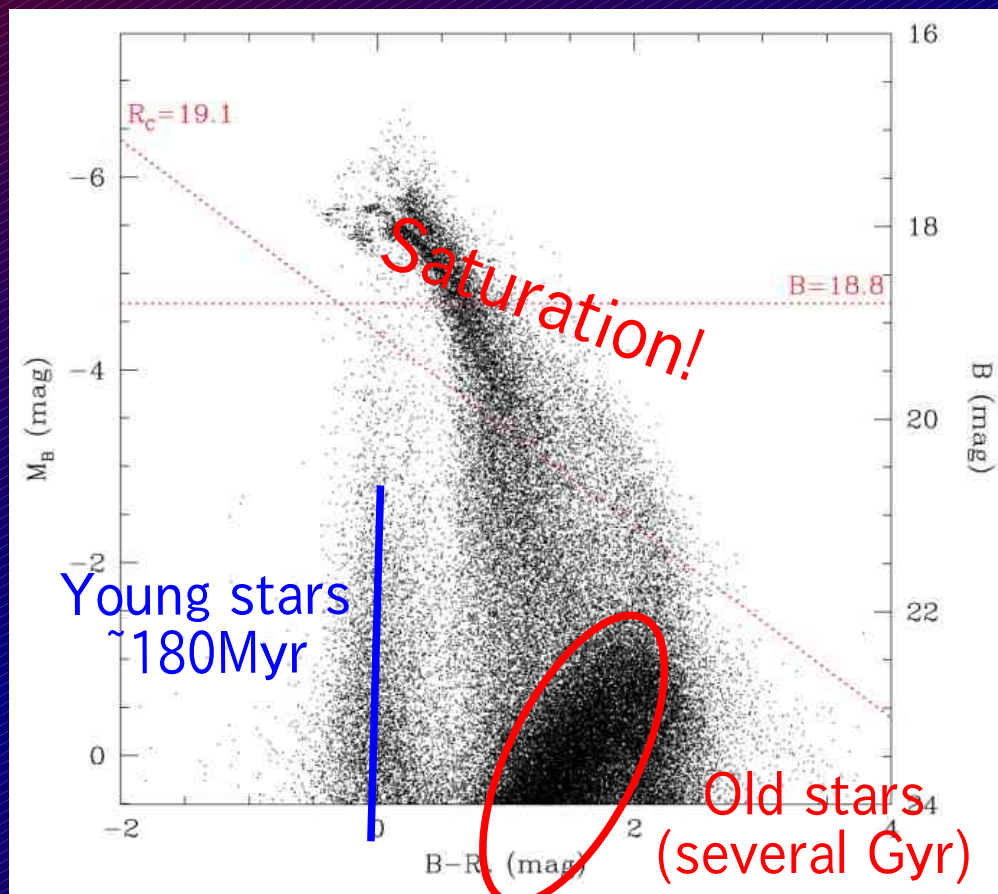
70 arcmin



14.1 arcmin

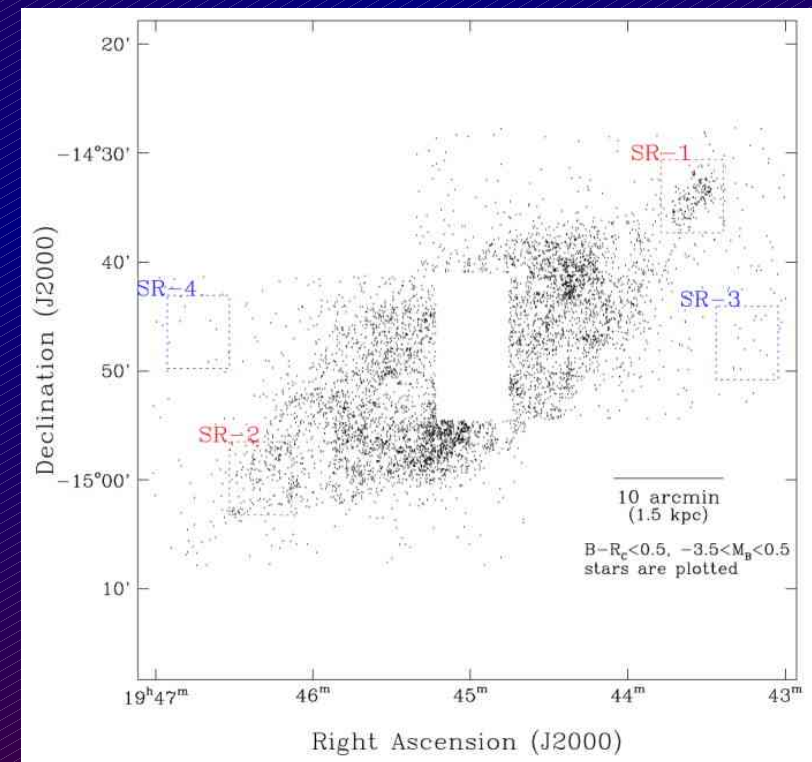
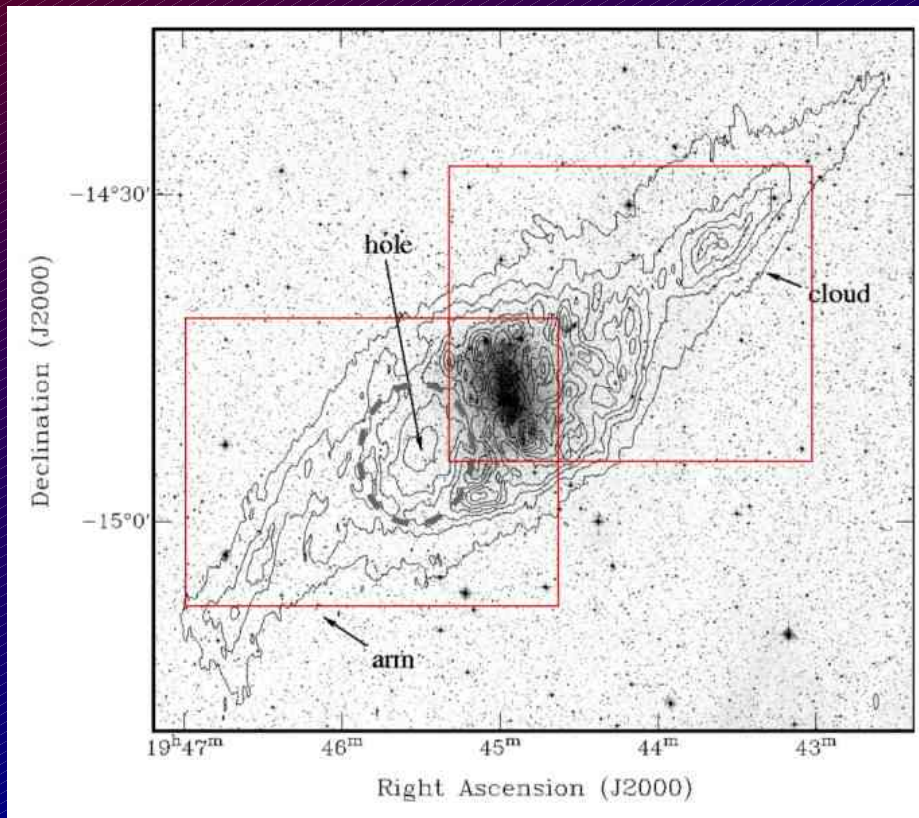
NGC6822 の星の色等級図

→ 若い世代の星の存在を発見



Komiyama et al. 2003

青い(若い)星はHIガスの広がりに対応
→HIガス雲と銀河の相互作用で、最近星形成が起こった？



Komiyama et al. 2003

3.2 矮小不規則銀河Leo Aのハロー一構造

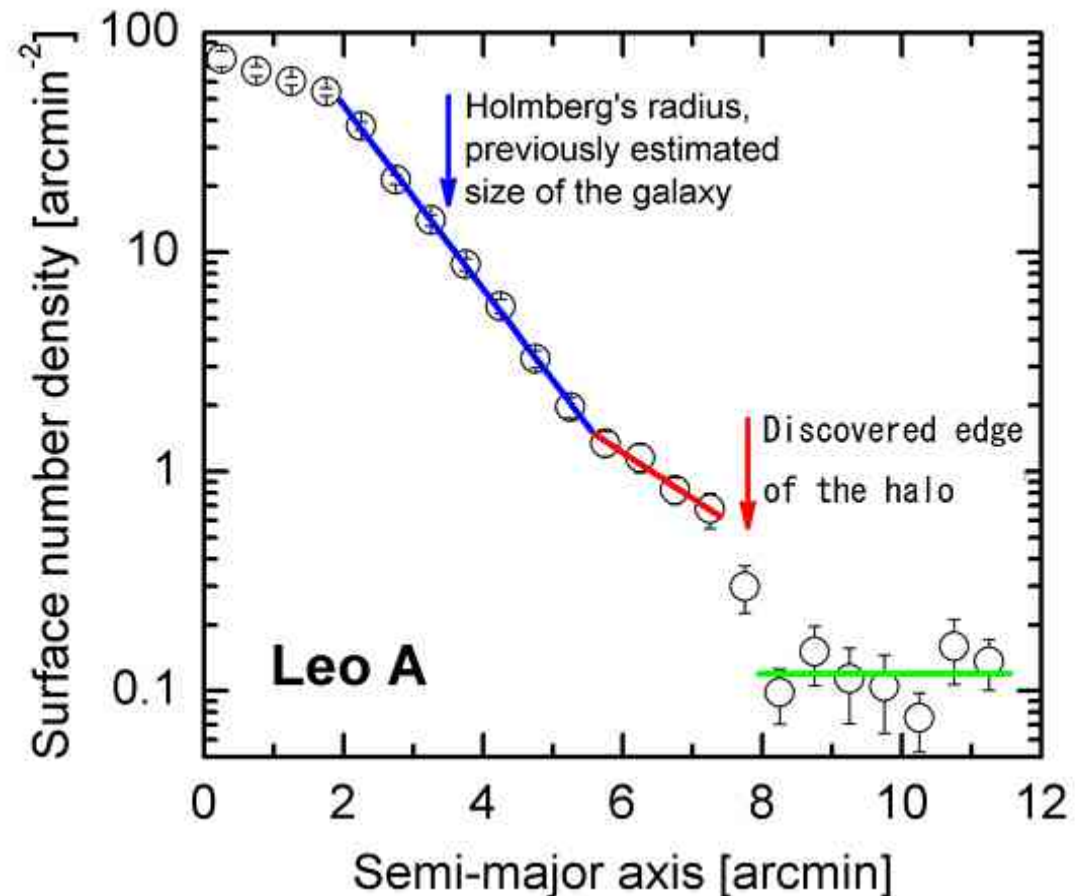
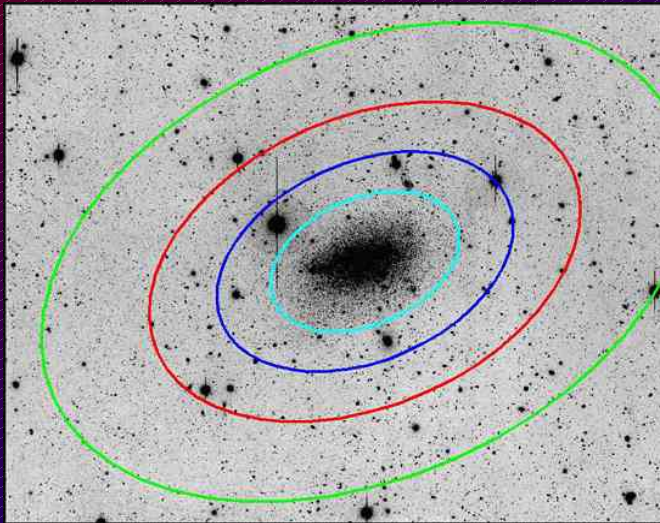
Vansevicius et al. 2004, ApJ, 611, L93



赤色巨星の分布（銀河構造をトレース）を測定

→ 矮小不規則銀河にも広がったハロー構造が存在

→ 小さな銀河でも複雑な形成史を経ている？



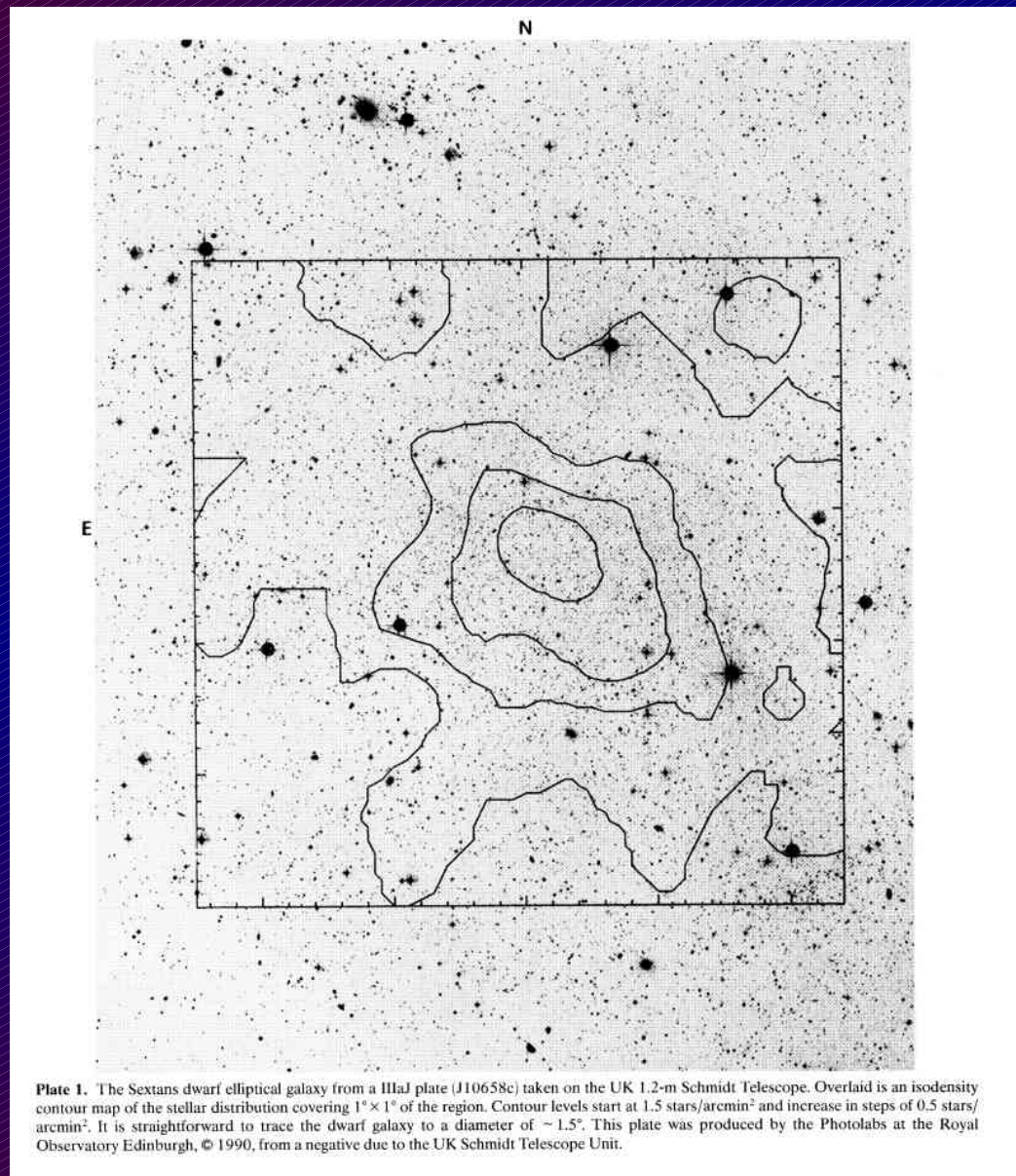
矮小銀河の星の化学組成の測定

ろくぶんぎ座
矮小楕円体銀河
(Sextans)

RA(2000) 10:13
Dec(2000) -01:36

$M_v = -9.5$ mag
矮小銀河として暗め
cf. SMC: $M_v = -17.1$
Fornax: $M_v = -13.0$

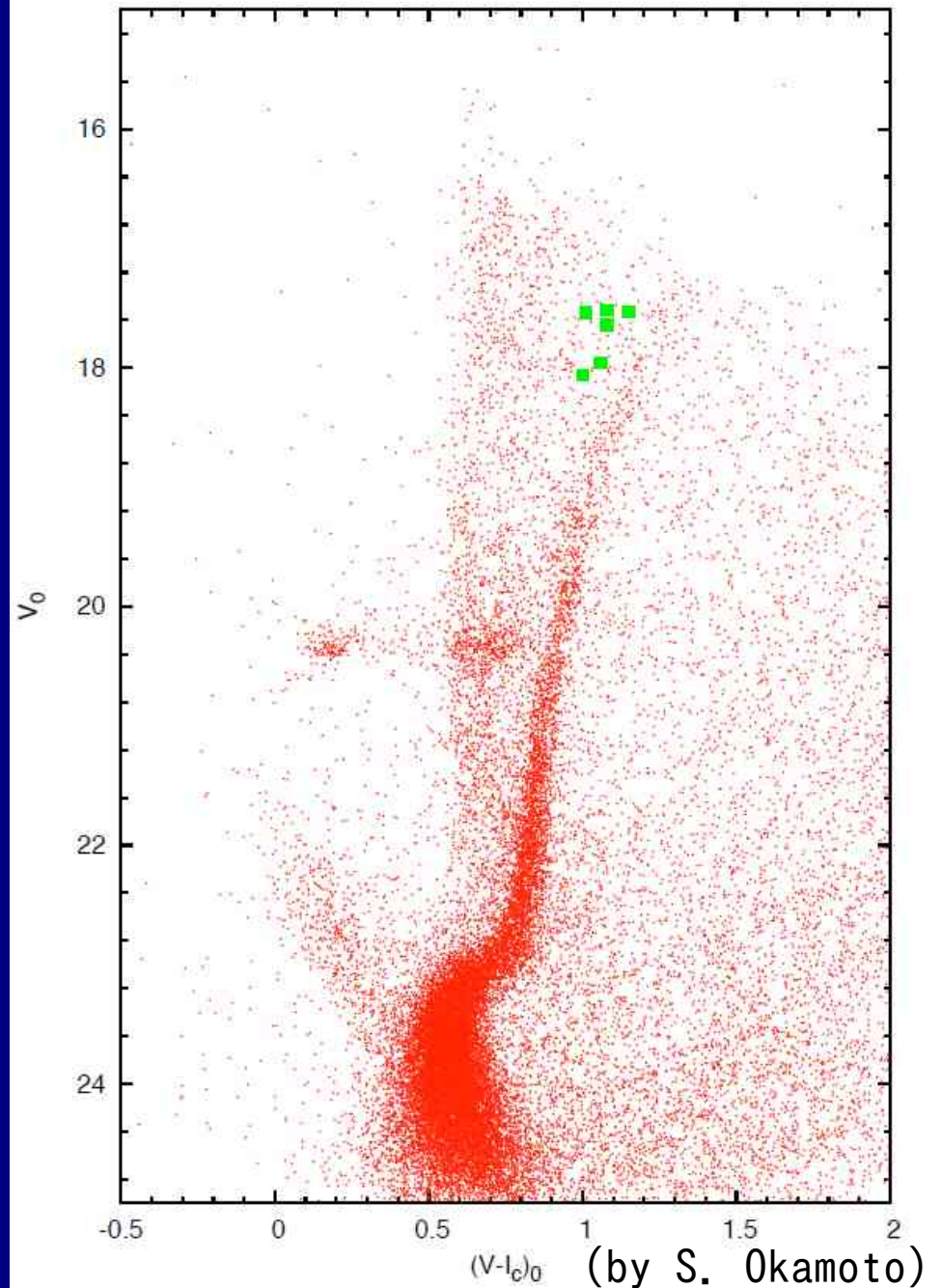
$\langle [Fe/H] \rangle = -1.6$
金属量の低い星が
比較的多い
(Helmi et al. 2006)



Irwin et al. 1990

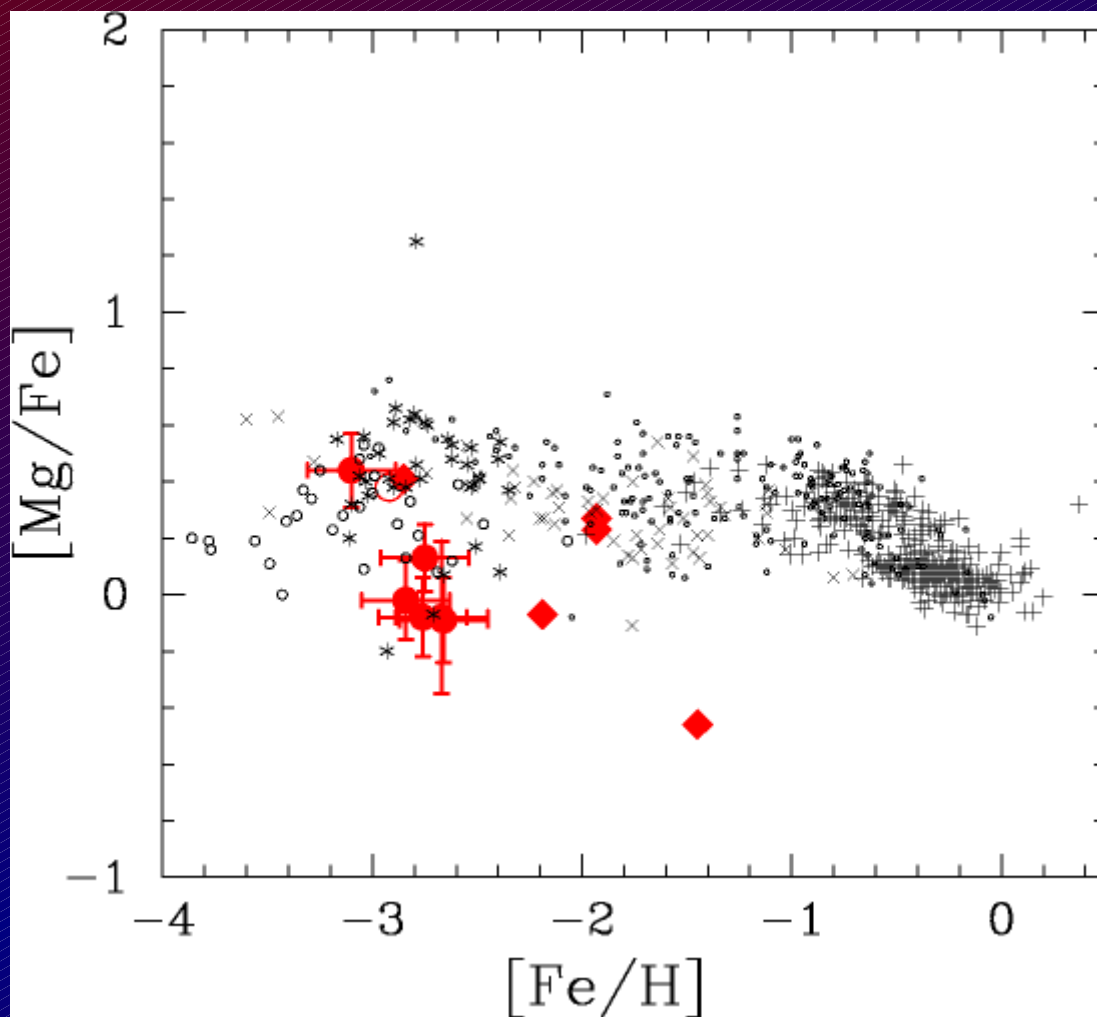
矮小銀河Sextans の観測ターゲット

高波長分解能で観測できるのは、銀河中の最も明るい星だけ・・・



矮小銀河Sextans の星の化学組成

(例) α 元素：銀河系ハロー星とは異なる組成比



● This work
◆ Shetrone
et al. (2001)

すばる望遠鏡の観測成果(星)

1.宇宙の初代星の形成と元素合成

重元素組成のきわめて低い星(太陽の10万分の1以下)が銀河系に発見され、その組成から初代星の性質(質量など)に制限がえられるようになってきている。

2.ガンマ線バースト天体と超新星

ガンマ線バーストと極超新星との関連が示されてきた。
超新星爆発の非球対称性が一般的にみつかった。
歴史上の超新星からの光のエコーがとらえられた。

3.近傍矮小銀河の構造と進化

局所銀河群の矮小銀河の進化(星形成史)が個々の星の観測から理解されつつある。