

# TMT向け 可視高分散分光器の検討

青木和光（国立天文台）

# はじめに：地上大型望遠鏡における 可視高分散分光器の必然性

- 高分散分光観測には一般に大集光力 = 大口径望遠鏡が必要である
- 可視光域は大気の透過率が非常によい

8m 級望遠鏡の10倍以上の集光力をもつ  
ELTにより、 $V=20$ までの天体の観測が期待  
される

# TMT高分散分光器サイエンスケース

- ▶ **太陽系外惑星**：ハビタブルゾーンでの地球型惑星検出、トランジット惑星の詳細観測
- ▶ **第一世代星の生き残り／痕跡**：銀河系バルジ・外部ハローや矮小銀河における探査
- ▶ **局所銀河群の銀河の星**：銀河進化モデルへの制限、銀河系ハローの起源の解明
- ▶ **QSO/GRB吸収線系**：GRB親星の解明、微細構造定数の時間変化の測定
- ▶ **激変星降着円盤**：高時間分解能観測による降着円盤の詳細構造の解明

# 「TMT向け可視高分散分光器の検討会」を開催

- 日時:2008年8月8日(金)10:00-17:30
- 場所:国立天文台三鷹キャンパス
- 参加者:17名  
(青木、秋田谷、安藤、泉浦、伊藤、大宮、岡本、  
神戸、佐藤、竹田、富永、成田、野上、野口、  
比田井、本田、山下)

## サイエンスケース

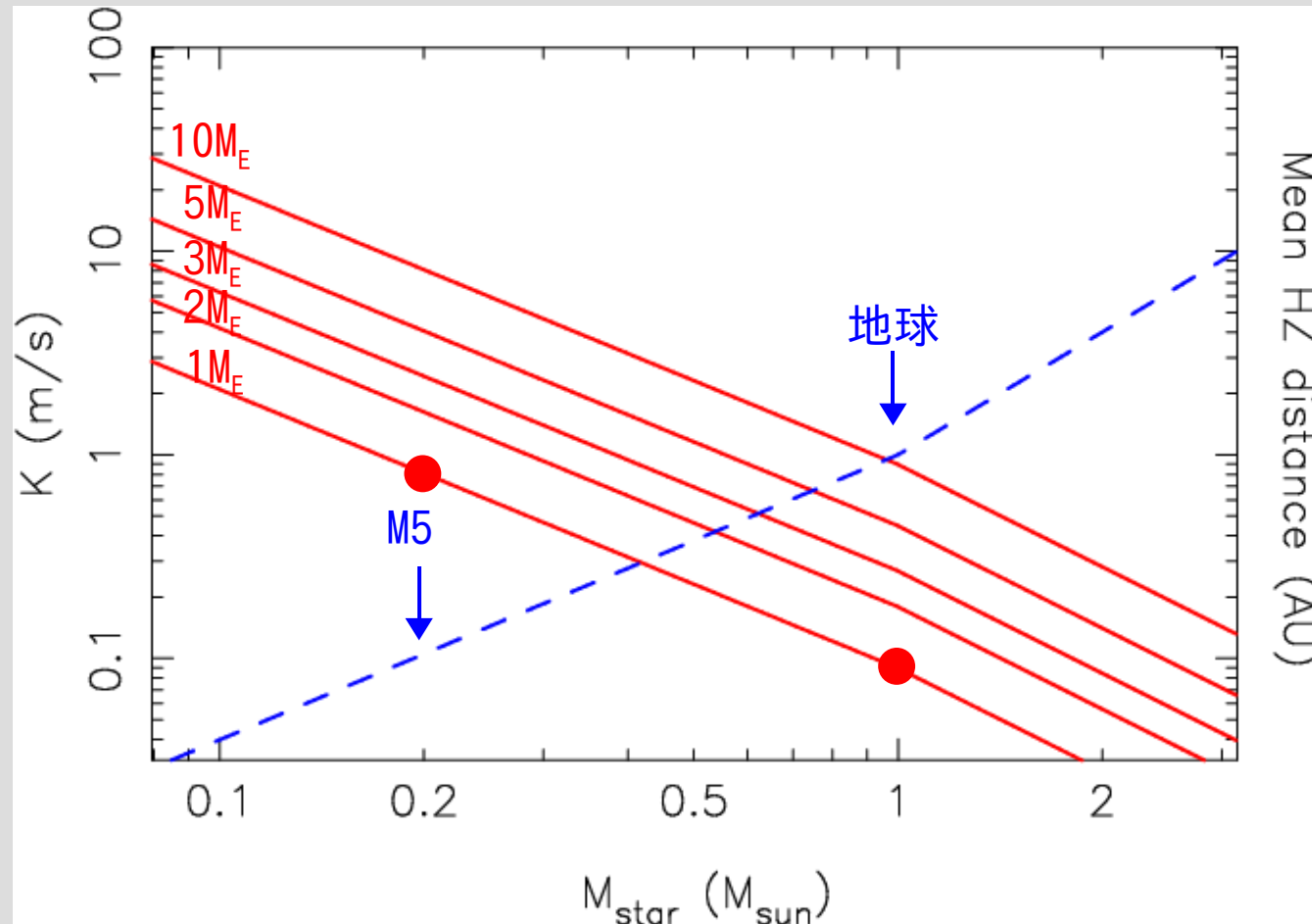
# 1. 太陽系外惑星

- ▶ 生命誕生の可能性のある「**ハビタブルゾーン**」での**地球型惑星**の検出：ドップラー法による小質量星（M型星など）まわりでの地球型惑星の検出およびその統計が期待される。

→主星が小質量なら、地球程度の質量の星でもドップラー法で検出しやすい。

→主星が低温のため、短周期（＝主星に近い）の惑星でも、生命誕生の可能性がある。

# ハビタブルゾーンの惑星と 視線速度変化の振幅



ハビタブルゾーン (主星からの距離)

Figure by B. Sato

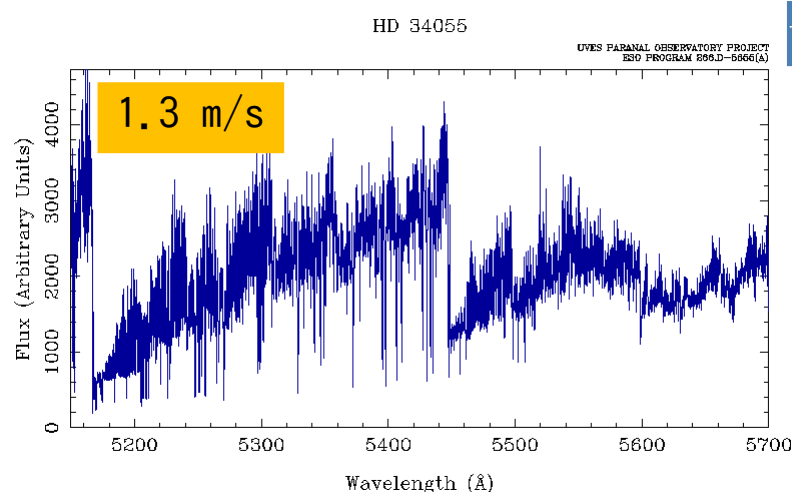
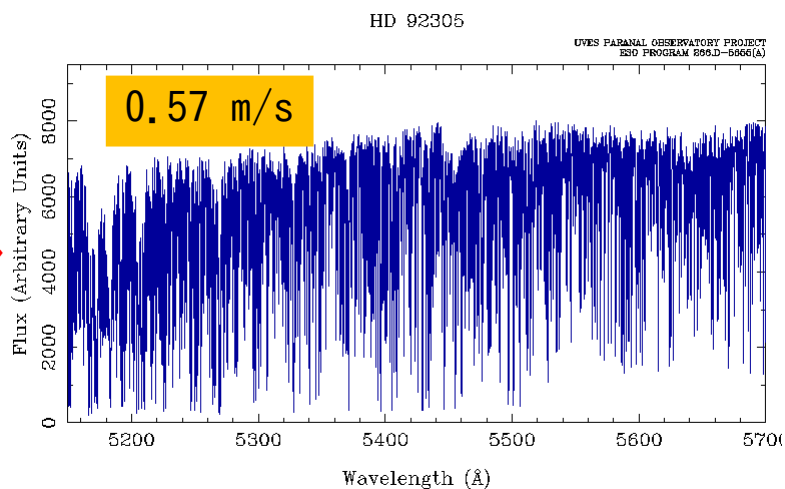
# スペクトルの形で決まる視線速度測定精度

Slide by B. Sato

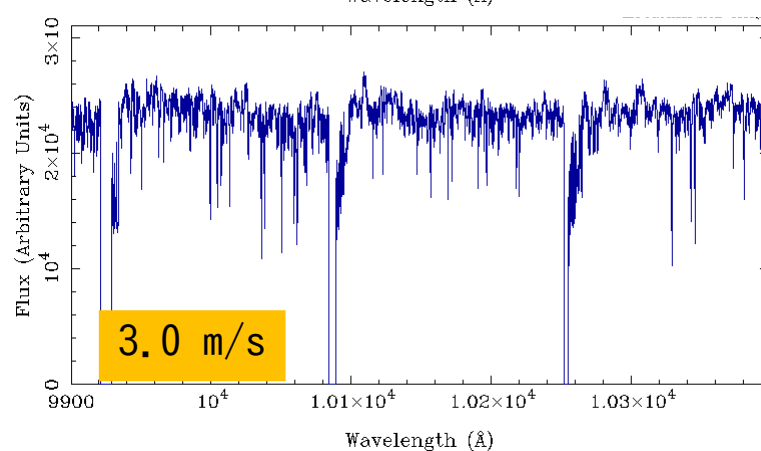
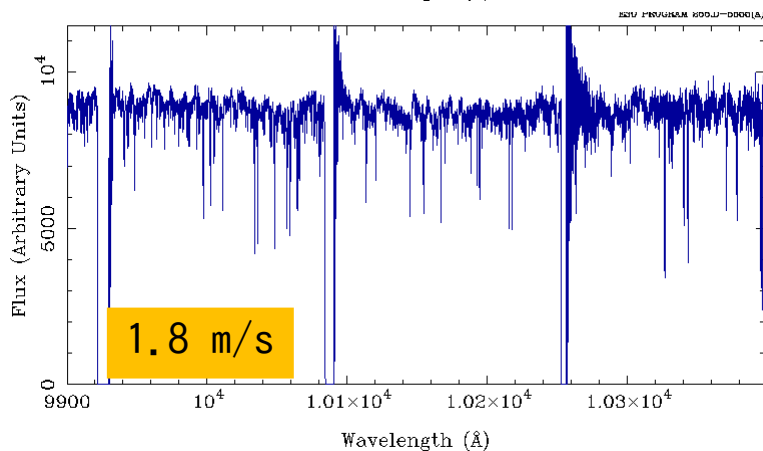
HD92305 (M0III)

HD34055 (M6V)

可視  
(0.515-  
0.57 $\mu$ m)  
ヨードセル  
の波長域



近赤外  
(0.99-  
1.04 $\mu$ m)



R=80000, N=10<sup>5</sup>, 3 pixel sampling

UVESのライブラリより

# トランジット惑星(系)の詳細観測

*Proposed by N. Narita*

## •惑星の色

→**惑星の反射光**を分光によってとらえることにより、アルベドの波長依存性を調べる。

## •惑星の気象

→トランジット中に**惑星が起こす吸収線スペクトル**の時間変化を測ることにより、惑星大気中の雲の動きを探る。

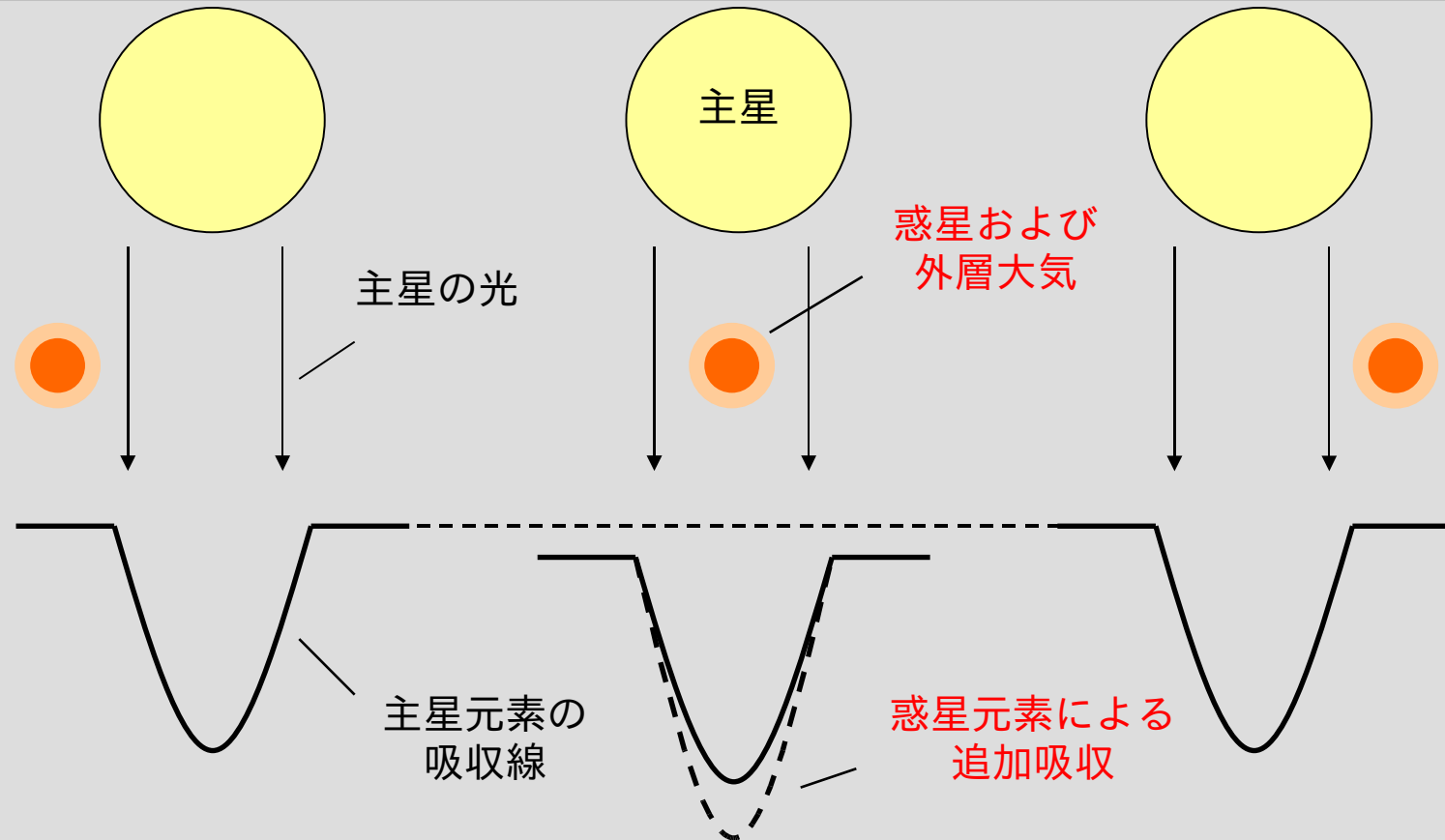
## •衛星とリング

→トランジット中にみられる見掛け上の星の視線速度変化（自転する主星を部分的に隠すことによる**ロシター効果**）の詳細観測により、惑星のまわりの衛星やリングの存在を調べる。



# Transmission Spectroscopy

*Proposed by N. Narita*



まずは惑星の大気吸収を検出することが目標

# 装置への要求

- **高い安定性**: 最低でも1m/s 以下の測定精度を可能にするレベルは必要
- 高精度の**波長キャリブレーション**機能が必要  
ヨードセル適用範囲以外の波長域への対応も必要
  - 多数の分子を含んだガスフィルター
  - laser comb の利用

※近赤外装置との役割分担は要検討

## サイエンスケース

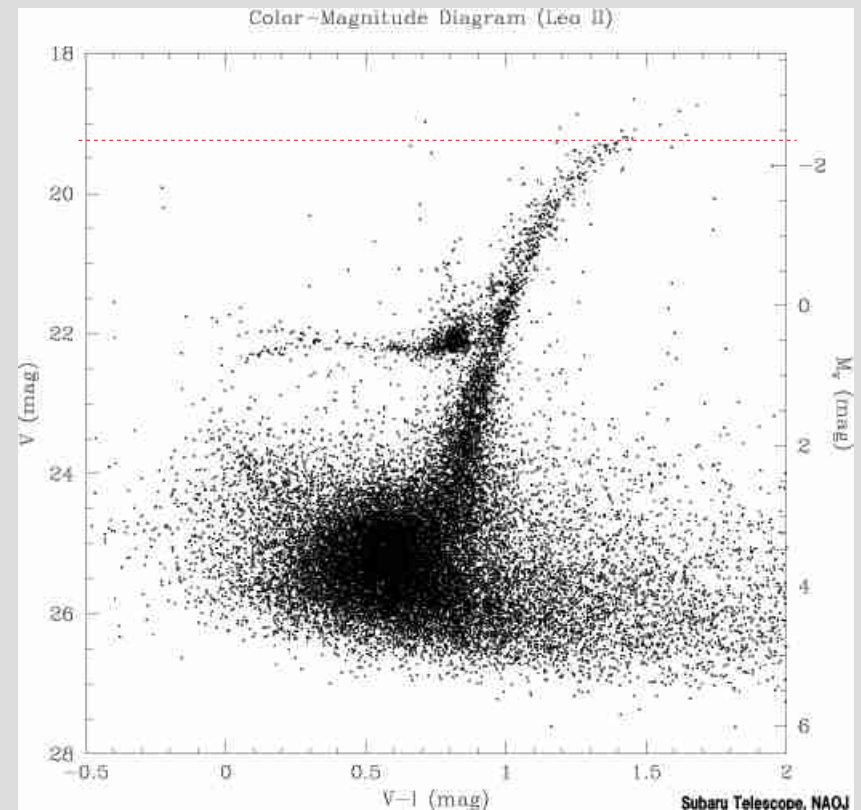
# 3. 局所銀河群・近傍銀河

▶ 近傍の矮小銀河を個々の恒星に分離し、その化学組成と運動を調べることにより、銀河構造の形成史を解明する。

- 銀河系とは異なる環境での銀河形成史を調べる、あるいは銀河系形成への影響を調べる。

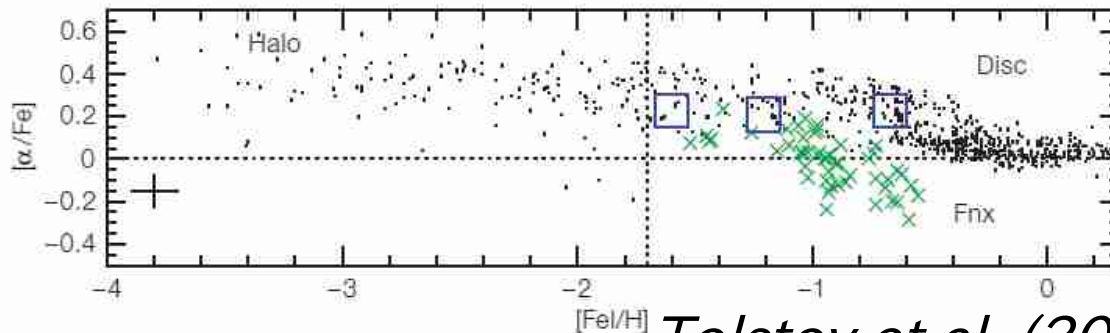
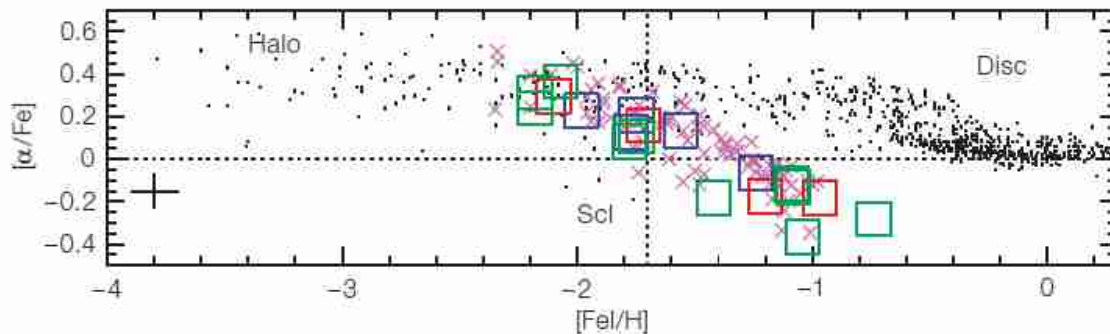
- 矮小銀河には銀河系にはみられないような組成をもつ星が存在する。元素合成の研究にも新たな知見が期待できる。

矮小銀河 Leo II の色等級図  
(Komiyama et al. 2007)。Vで20等級程度の星がターゲットとなり、ELTが必要となる。



# 矮小銀河の星と銀河系ハロー星の比較

現在生き残っている矮小銀河は、銀河系ハローの種となった星の集団とはかなり違う(金属量分布、元素組成比)  
(→矮小銀河自身も独自の進化を遂げている)



*Tolstoy et al. (2006, ESO messenger)*

# 銀河系ハローの種は何か？

最近発見が相次いでいる暗い矮小銀河は、銀河系ハローと似た性質をもっているかも？ (金属量分布)

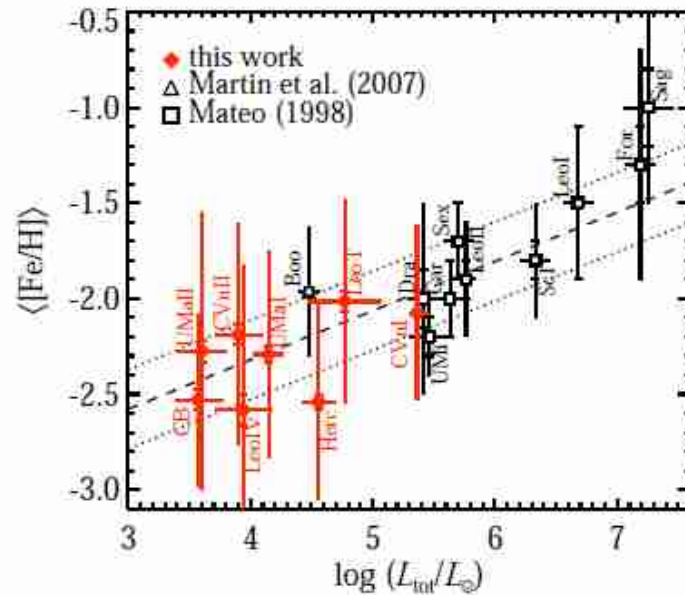


FIG. 5.— The mean  $[Fe/H]$  of MW dSphs vs. total luminosity. The dashed line is the weighted, least-squares straight line fit in  $\log(L)$ - $[Fe/H]$  space, accounting for the errors in both  $L$  and  $[Fe/H]$  (Akritas & Bershadly 1996). The dotted lines are the rms dispersion of the residuals. The full vertical error bars are the rms dispersions of  $[Fe/H]$  within a single galaxy, and the hash marks are the errors on  $\langle [Fe/H] \rangle$ . The MW satellite luminosity-metallicity relation is well-defined for 4 dex in luminosity.

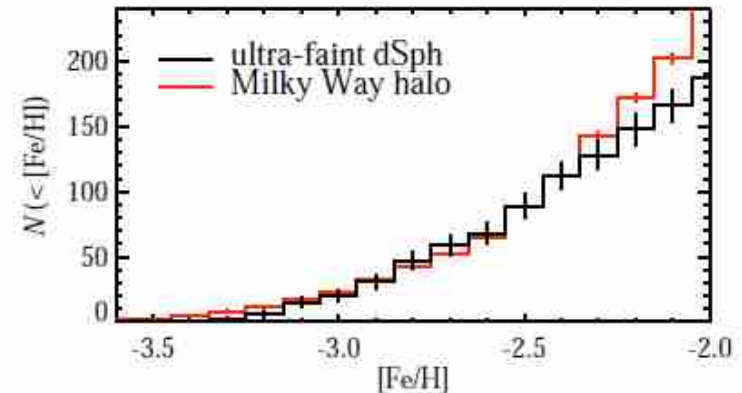


FIG. 3.— Cumulative MDFs for the metal-poor tails of the eight ultra-faint dSphs (*black*) and the MW halo (*red*, Beers et al. 2005). The red histogram is normalized to contain the same number of stars with  $[Fe/H] < -2.45$  as the black histogram. The error bars are Poissonian.

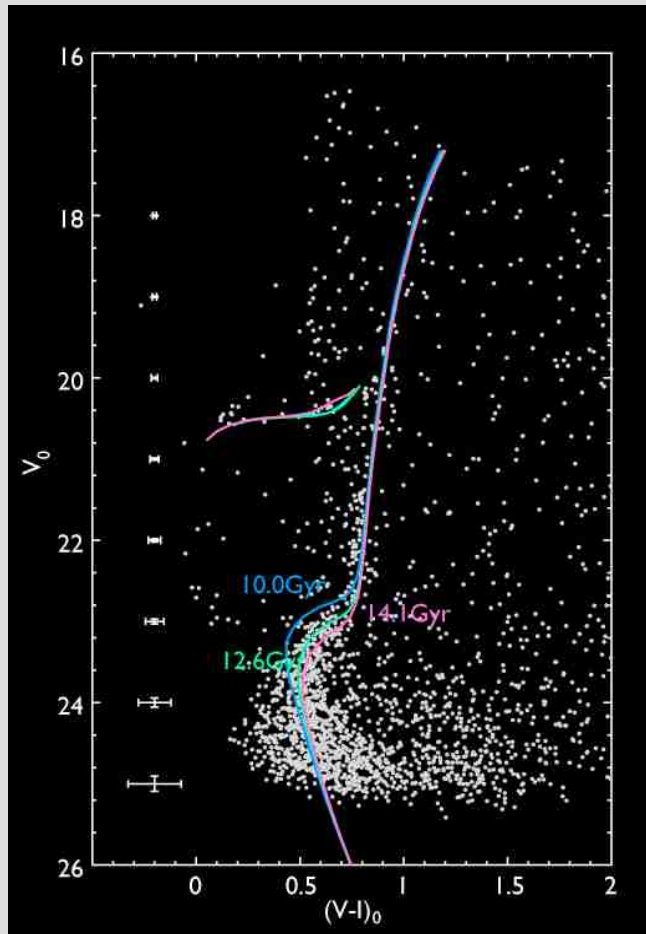
# TMT可視高分散分光器の課題

- ひとつの銀河ごとに星のサンプルを大きくする必要がある。  
→個々の銀河の金属量分布、進化の特徴
- 比較的暗い赤色巨星も観測しないといけない。

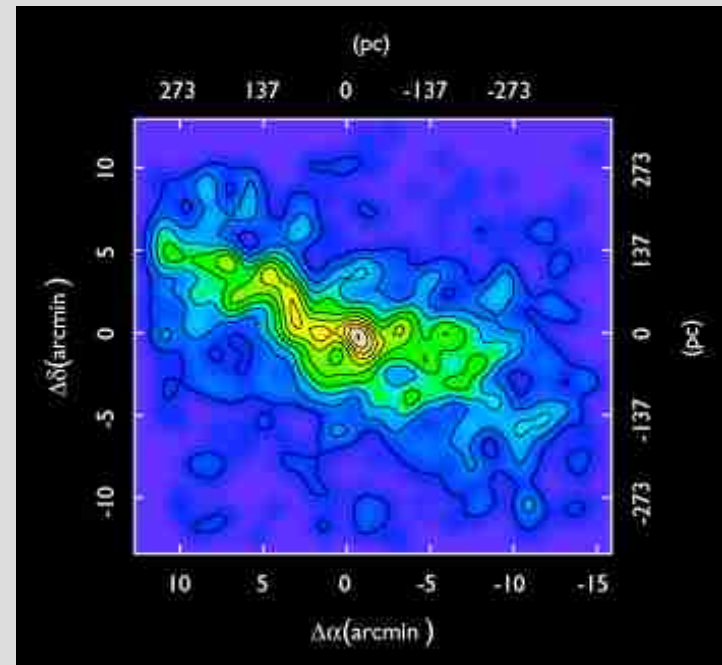
→多天体分光機能が有効

# 暗い矮小銀河 Ursa Major I

- 明るい( $V < 18$ ) 赤色巨星はごく少数→TMTで $V \sim 20$ まで拡張
- 見かけのサイズは約20分角→TMTの視野には適切な大きさ



Distance:  $\sim 96.8$  kpc  
metallicity:  $\langle [Fe/H] \rangle \sim -2.0$   
age:  $\sim 13$  Gyr  
size:  $r_h \sim 300$  pc

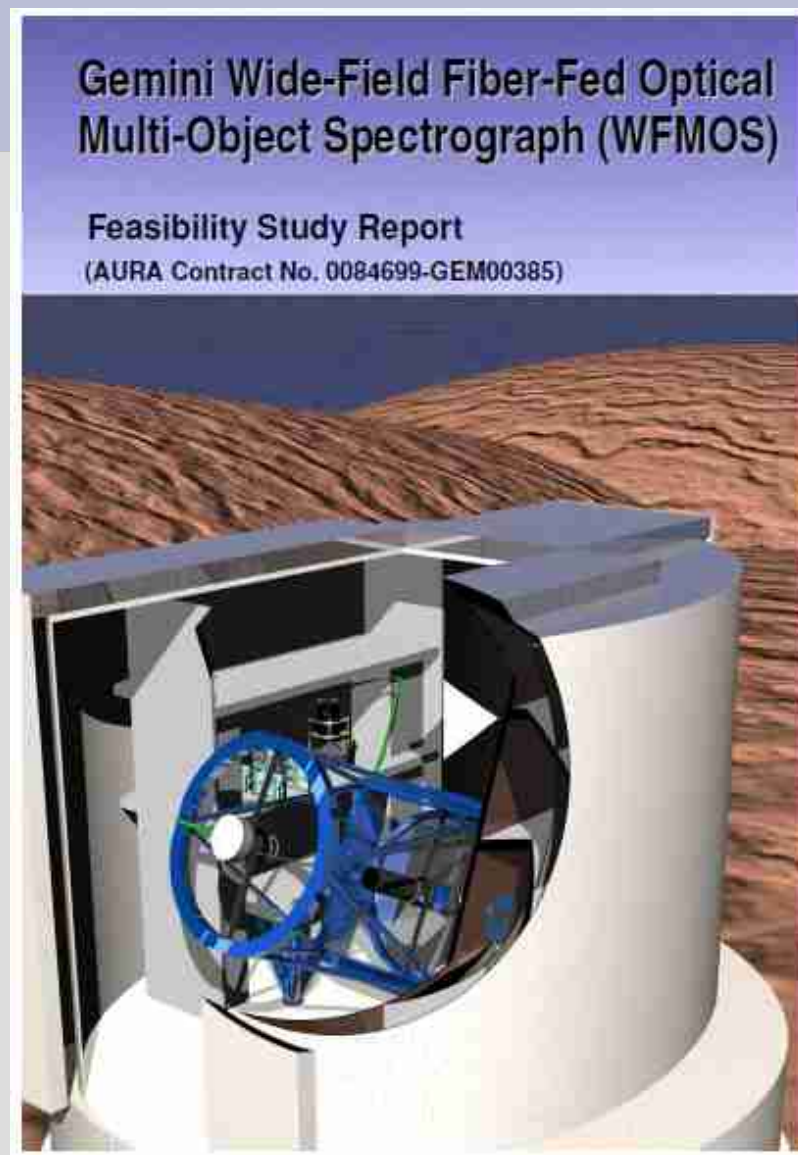


*Figures by S. Okamoto*

# すばる / WFMOSとの連携

WFMOSによる低分散分光で個々の銀河の多数の赤色巨星を調査 ( $V < 22$ )  
(高分散モードができればそれも有効:  $V < 19$ )

→ 選択したサンプルをTMTで詳細分光





# TMT高分散分光器への要請 (1)

1. **波長分解能** : 標準で  $R = \lambda / \delta \lambda = 50,000$ 程度  
最高で 100,000程度
2. **観測可能波長域/効率** 0.3-1.0 $\mu\text{m}$  で15%程度  
紫外域(←星)、赤外域(←高赤方偏移天体)ともに必要
3. **波長カバレッジ** :
  - 1 露出でとれる波長帯は広いほどよい
  - エシエルの1干渉次数でとれる波長帯も広く  
←星のブロードな吸収線、QSO吸収帯→波長分解能を上げることとは対立するので考慮が必要
4. **スリット長** (> 5秒角、あるいは >10秒角)  
←スカイバックグラウンド差引や多天体分光に必要

# TMT高分散分光器への要請（2）

## 5. 多天体観測機能

視野（最大20分角）内で数天体（全波長）  
あるいは数十天体(エシェル1干渉次数分)

## 6. 安定性、高精度の較正

←1m/sを切る精度が必要。様々な波長域に対応した  
高精度の波長較正が必要

## 7. 時間分解能

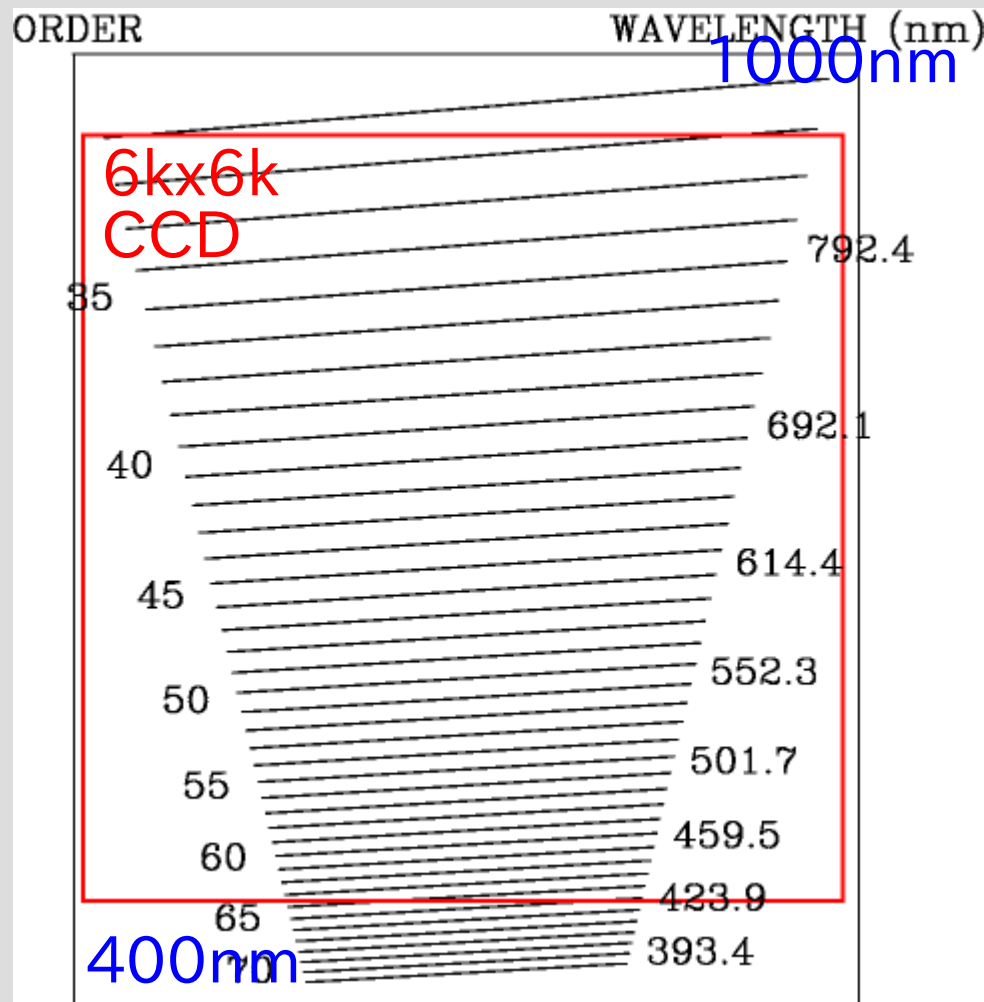
←5秒程度の分解能が必要。読み出し時間は1秒程度

# ELT可視高分散分光器の試案（1）

- すばる望遠鏡HDS型のエシエル分光器
- 標準波長分解能:  $R=60,000$  （0.2秒角スリット）  
最大で  $R=100,000$  （0.12秒角スリット）  
最小で  $R=20,000$  （0.6秒角スリット）
- 高波長分解能( $R>40,000$ )ではイメージライサを使用
- 多天体分光機能
- 高い安定性と波長較正精度
- 高速な検出器読み出し（オプション）

# ELT可視高分散分光器の試案 (2)

## スペクトルフォーマット



- Camera F=1.55  
↓  
3 pix sampling  
for R=60,000
- free spectral range  
170A @7000A
- max. slit length  
15 arcsec @7000A

# 開発・検討項目

- 分光器光学系
- イメージスライサ  
岡山で開発中  
来年度からすばる／HDS向けを開発予定
- 多天体(ファイバー)分光機能  
岡山でファイバーフィード化を実施中
- 高精度波長較正機能
- 検出器高速読み出し

# TMT向け可視高分散分光器の検討

- ▶ 可視領域の高分散分光は地上大型望遠鏡の特色を最もよく活かす観測手段のひとつである。
- ▶ 次世代地上超大型望遠鏡（ELT）によって、系外惑星系の詳細研究、恒星観測にもとづく局所銀河群の理解、ガンマ線バースト残光の観測などが飛躍的に進展すると期待される。
- ▶ 30 m級望遠鏡（TMT）を想定し、イメージスライサを用いた比較的コンパクトな分光器を検討中である。観測ターゲット、装置仕様などに関して意見を求めたい。

(質疑応答 — Q:質問, A:回答, C:コメント — 氏名無しは発表者の発言, 敬称略)

(Q) 温度コントロールに関して、真空にするなどの工夫はするのか？ (菅井)

(A) 温度変化によるゆらぎを抑えるには有効と思う。E-ELTでは検討に入っているが詳細は不明。

(C) 対流のゆらぎを抑えるのであれば、真空にする替りにHeを詰めるのが良いという話を聞いたことがある。(高見)

(Q) 真空にするよりは簡単にできる？ (青木わ)

(A) 詰めるだけなので楽にできる。(高見)

(Q) 系外惑星について... ??? (???)

(A) 絶対的な精度はいらないと思う。(???)