

岡山ユーズーズミーティング

2016年9月7日 - 8日

国立天文台三鷹キャンパス すばる棟大セミナー室

KOOLSを用いたM型星の特性決定 ~地球型惑星探査に向けたサンプル選定~

東工大 佐藤研究室 修士1年 小泉陽平

佐藤文衛 (東工大)

葛原昌幸 (アストロバイオロジーセンター)

大宮正士 (国立天文台)

IRDチーム

目次

- 背景
- M型星とそれを観測する利点
- Subaru/IRD project
- IRDサーベイターゲットの選定
- 本研究の目的
- 観測
- スペクトル型決定
- 金属量の推定
- まとめと今後

背景

- 近年、観測精度が向上したことによって、地球サイズの惑星を検出できるようになり、ハビタブルゾーン（HZ）での地球型惑星の検出が期待されている
- ケプラー衛星のターゲットは暗く、遠い
 - ドップラー法等による地上からの追観測を行うのが難しい

今後、太陽近傍での地球型惑星の検出が重要になる

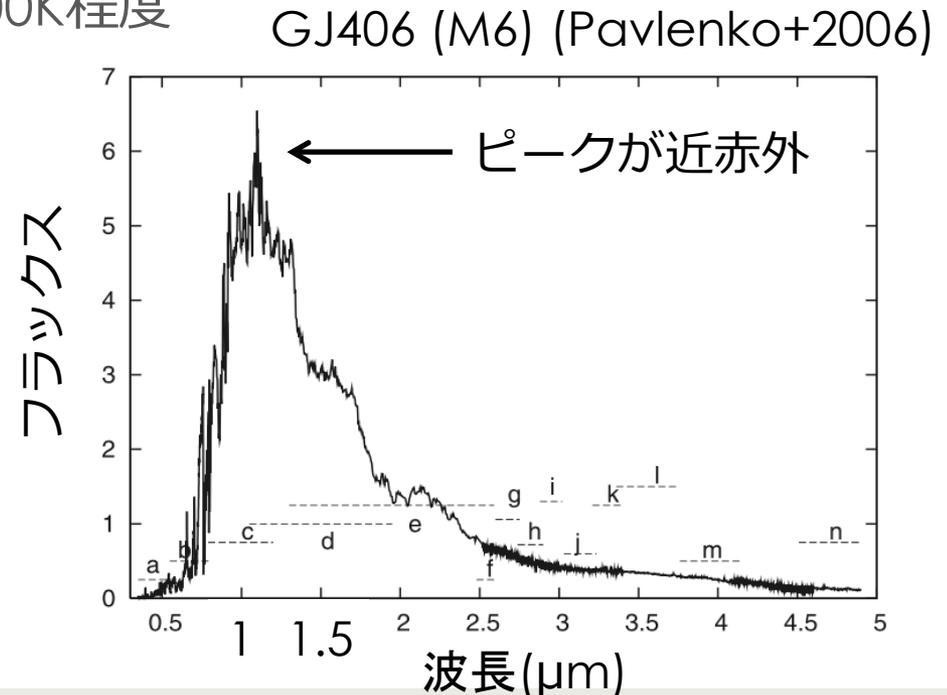


M型星が有利

M型星とそれを観測する利点

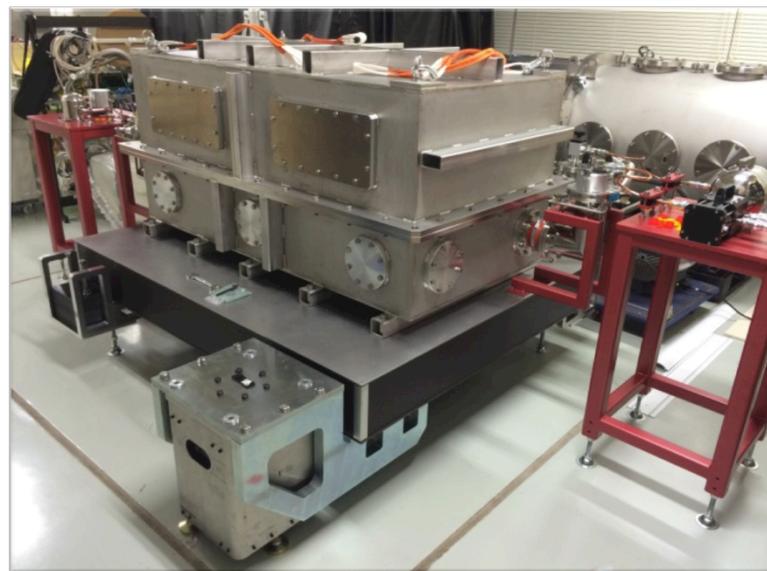
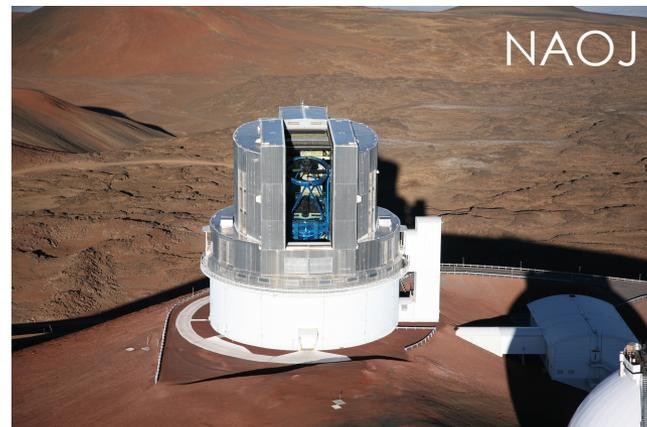
- M型星：主系列星の中で最も低温の分類。M0～M9までである。
- M型星は軽い
 - 0.2太陽質量の恒星のHZ (0.07～0.1AU) に地球質量の惑星
→ 視線速度変化 ~ 1 m/s ←観測可能
- ex). 地球が太陽に及ぼす視線速度変化 ~ 10 cm/s
- M型星の有効温度は2400～3700K程度
 - 近赤外で明るくなる
- M型星は太陽近傍に豊富に存在する。

近赤外でのM型星の
視線速度観測が地球型惑星
の検出に有利



Subaru/IRD project (PI 田村, Co-PI 小谷)

- IRD : InfraRed Doppler @すばる望遠鏡
 - 2018年サーベイ開始予定
 - 波長域 : 0.97 - 1.75 μm
 - 波長分解能 : 70,000
 - 視線速度観測精度 $\sim 1 \text{ m/s}$
- すばるの大口徑を生かすため
晩期M型星 ($0.1 \sim 0.3 M_{\text{Sun}}$)
がターゲット
- 岩石-氷-ガス惑星を
包括的にサーベイ



HZでの地球型惑星の発見と統計的理解を目指す

IRDサーベイターゲットの選定 (PI 大宮)

- ターゲット候補選定 (既存のカatalogから)
 - J~7-11.5mag, 質量~0.1-0.3 M_{Sun} , 距離<30pc
 - 下記条件にあてはまる天体を除く
 - 実視連星、活動度が高い天体、 $V_{\text{sini}} > 4\text{km/s}$ の天体
 - 他のサーベイグループ (CARMENES、SPIRou、HPF) と重複しない
- 事前観測による特徴づけによって150星を選定
 - IRDサーベイターゲットの条件
 - 自転速度が遅い晩期M型の天体
 - 表面活動による固有の視線速度ジッターが小さい天体
 - 情報がない天体に対して事前観測による見積もり
 - Ha線 (→ 自転速度の見積もり、制限) 、スペクトル型
 - 惑星分布と理論シミュレーションを比較 → 100個のサンプルが必要
 - シミュレーションとの比較に50個以上の発見が必要 (Hori+ submitted)
 - コア集積モデルの種族合成とサーベイ観測のシミュレーションによると、5年で、50個以上の地球型から木星型までの惑星を発見できる (大宮他)
 - 他の観測との重複天体や分光連星、活動度が高い星がIRD観測でサンプル中に見つかった時に置き換える予備天体を50星用意する
- 現在、IRDターゲットの条件にあう天体は**80星程度**

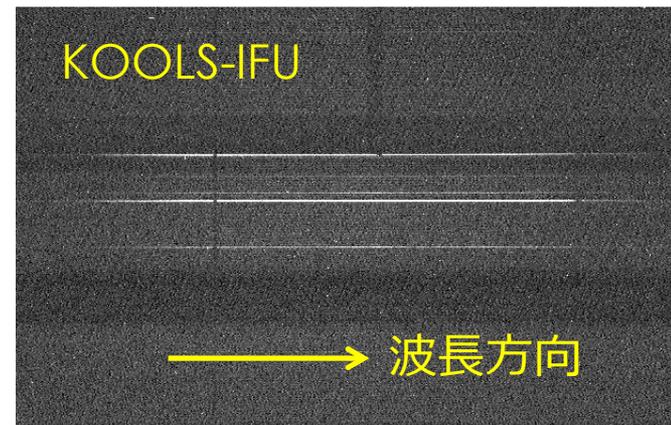
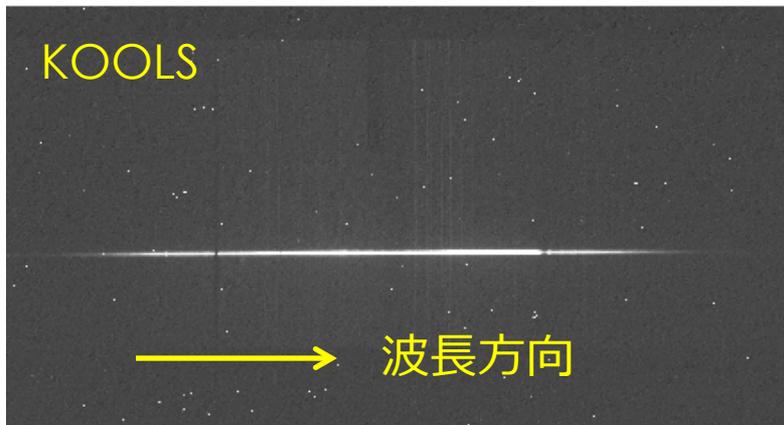
本研究の目的

- ターゲットの特性を前もって決定する
 - 効率的な観測の遂行、惑星検出後の本質的な議論を可能
 - 競合する計画に先んじて成果をあげることに役立つ
- 重要な特性 → 温度、金属量[Fe/H]
 - 中心星のハビタブルゾーンや質量の決定に必須

本研究でターゲットの**スペクトル型（温度）**と**金属量**
を決定する

観測

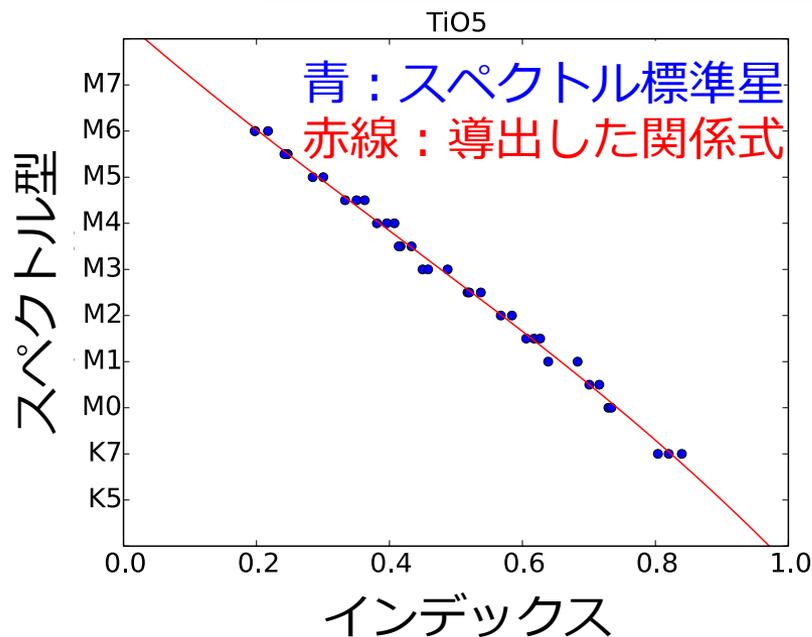
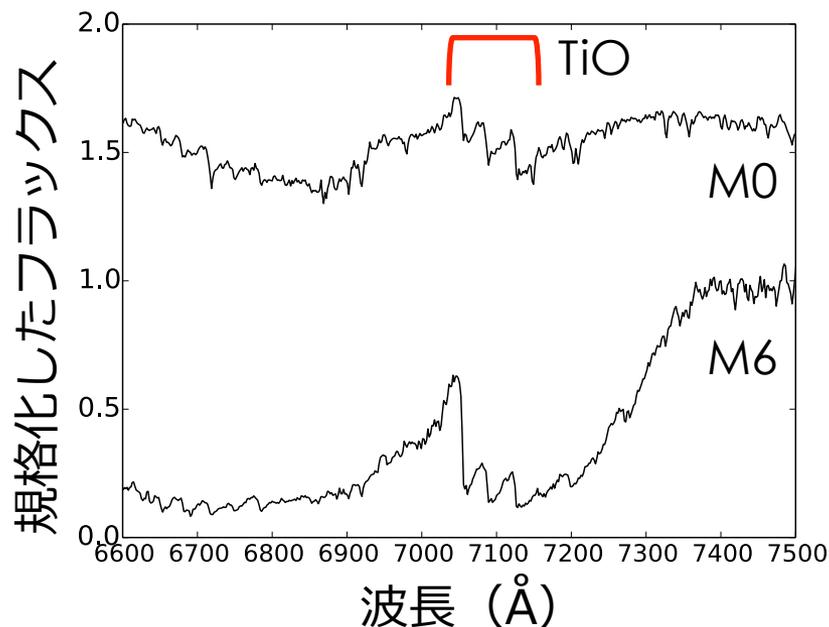
- 岡山天体物理観測所188cm望遠鏡
- 可視低分散分光器KOOLS (2014/08/26 ~ 2015/05/20)
KOOLS-IFU (2016/02/26 ~ 2016/04/17)
- 波長分解能 : $\lambda/\Delta\lambda \sim 2000$
- 波長域 : 5800~8000Å
- 2014/8/26~2016/4/17 (計23夜) 、 のべ162天体



スペクトル型決定① インデックスを用いる方法

- ある波長間のフラックス比として定義
吸収線の深さを見る→温度の指標

$$\text{インデックス} : i = \frac{F_1}{F_2}$$

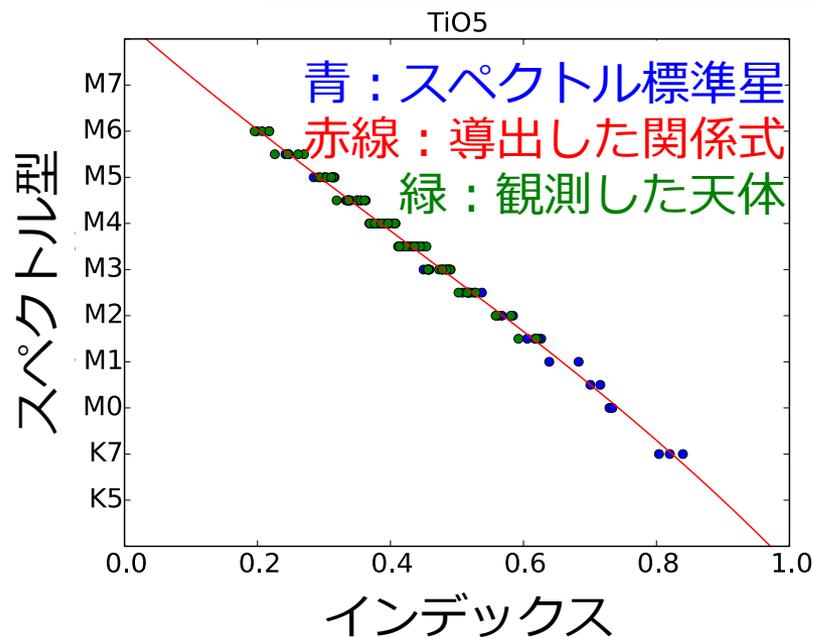
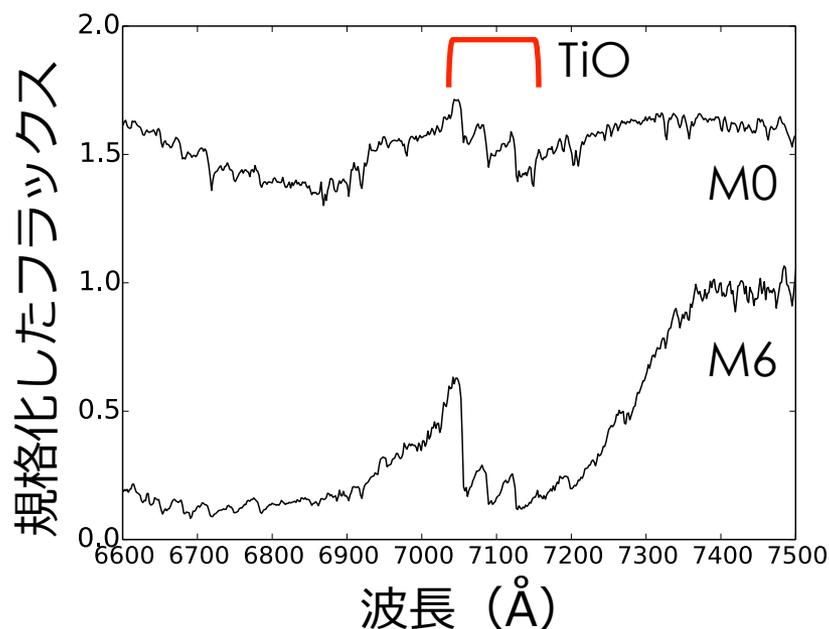


- スペクトル標準星をアーカイブから取得し、インデックスの値とスペクトル型の関係式を導出する
- 計5個のインデックスを考慮、範囲はK7~M6/6.5

スペクトル型決定① インデックスを用いる方法

- ある波長間のフラックス比として定義
吸収線の深さを見る→温度の指標

$$\text{インデックス} : i = \frac{F_1}{F_2}$$



- スペクトル標準星をアーカイブから取得し、インデックスの値とスペクトル型の関係式を導出する
- 計5個のインデックスを考慮、範囲はK7~M6/6.5

スペクトル型決定② スペクトル標準星とのカイ二乗による方法

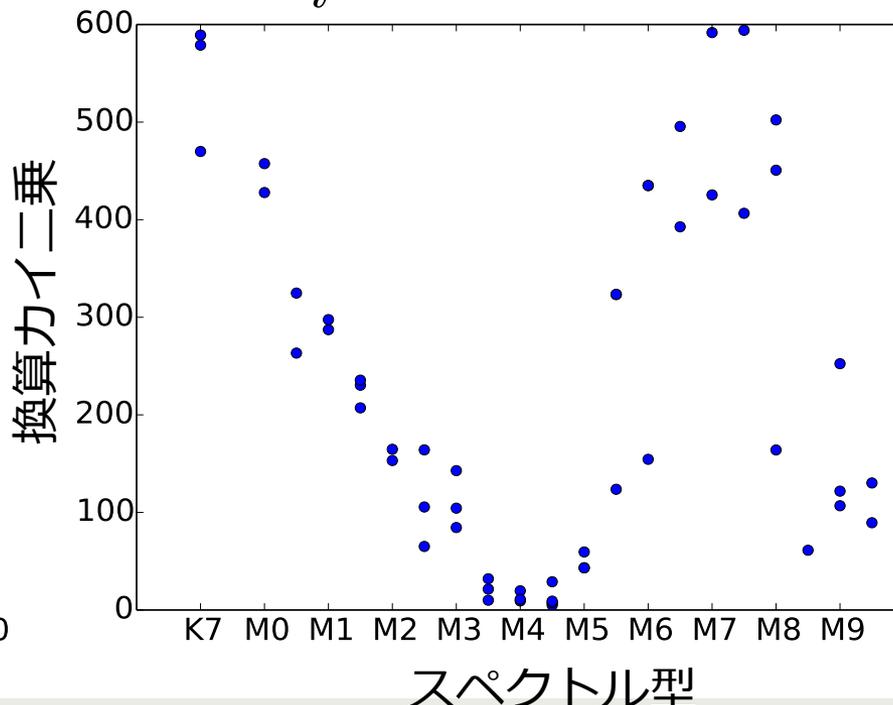
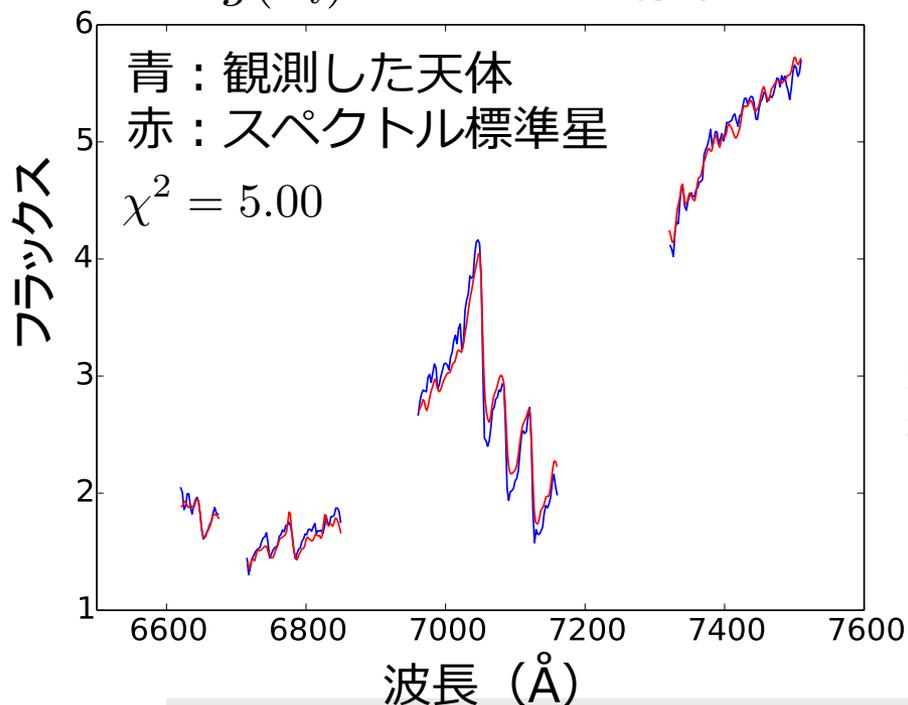
□ 以下の式を最小にするスペクトル標準星を決定

$$\chi^2 = \frac{1}{N-1} \sum_i \left\{ \frac{f(\lambda_i) - ng(\lambda_i)}{\sigma_i} \right\}^2$$

$f(\lambda_i)$: 観測されたスペクトル
 $g(\lambda_i)$: スペクトル標準星

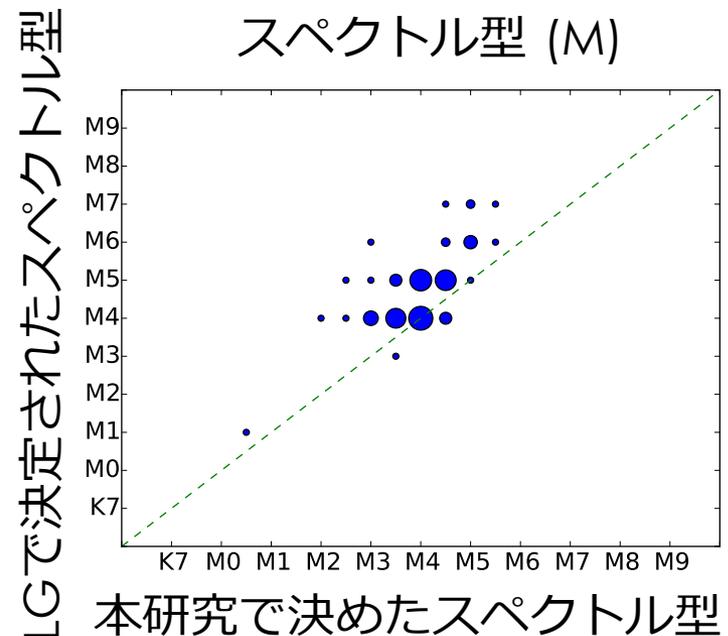
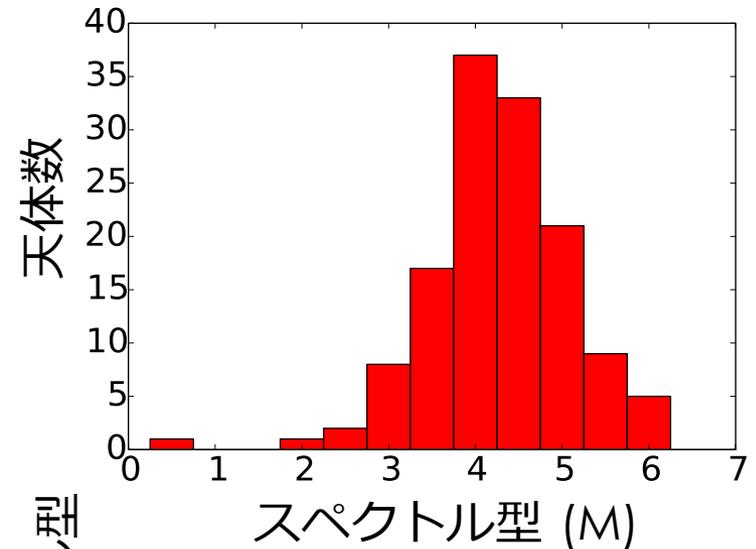
$$n = \frac{\sum f(\lambda_i)g(\lambda_i)/\sigma_i^2}{\sum \{g(\lambda_i)/\sigma_i\}^2}$$

n : 規格化定数
 σ_i : フォトンノイズ



スペクトル型決定の結果

- 130天体のスペクトル型を分光観測から決定。その内、29天体は初めて決定
- ほとんどが中期M型星
- 色指数を用いたスペクトル型決定との比較 (LG, Lepine & Gaidos 2011)
 - 色指数を用いた方が晩期型に見積もってしまう
(Alonso-Floriano+ 2015)
→**分光観測の必要性**
- 晩期型星のスペクトル型決定には改善の余地あり



本研究で決めたスペクトル型

金属量の制限

- インデックスを用いた制限 (Lepine+ 2007, Mann+2013)

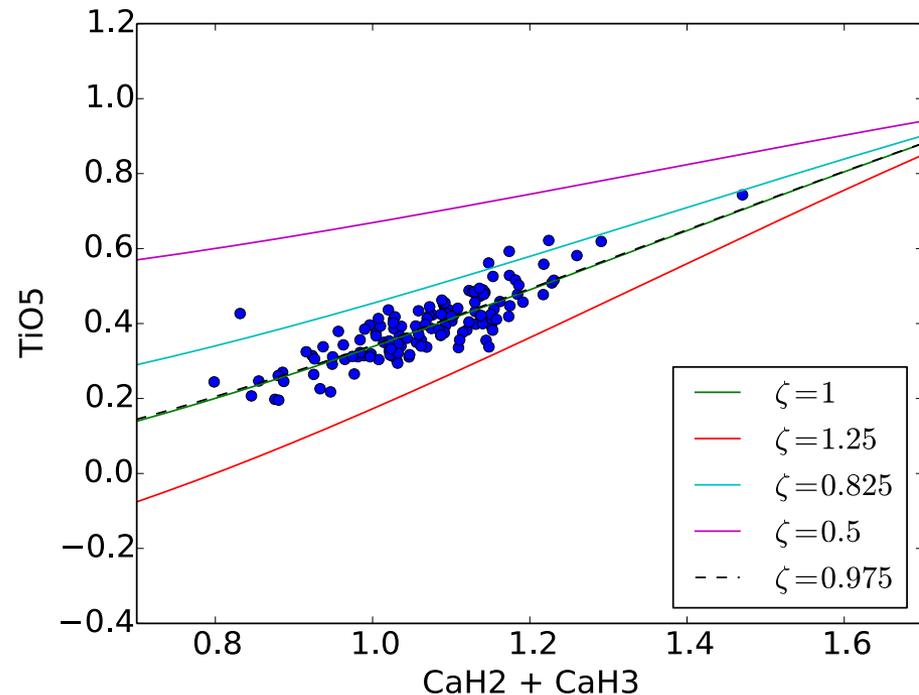
$$\zeta = \frac{1 - \text{TiO5}}{1 - [\text{TiO5}]_{z_{\odot}}} \quad [\text{TiO5}]_{z_{\odot}} = -0.164(\text{CaH2} + \text{CaH3})^3 + 0.670(\text{CaH2} + \text{CaH3})^2 - 0.118(\text{CaH2} + \text{CaH3}) - 0.050 \quad (\text{Lepine+ 2007})$$

$$[\text{Fe}/\text{H}] = 0.98\zeta - 1.04 \quad (\text{Mann+ 2013})$$

- $\zeta=1$ のとき太陽金属量

- ζ の平均値は0.975

- $[\text{Fe}/\text{H}]$ にすると-0.0845

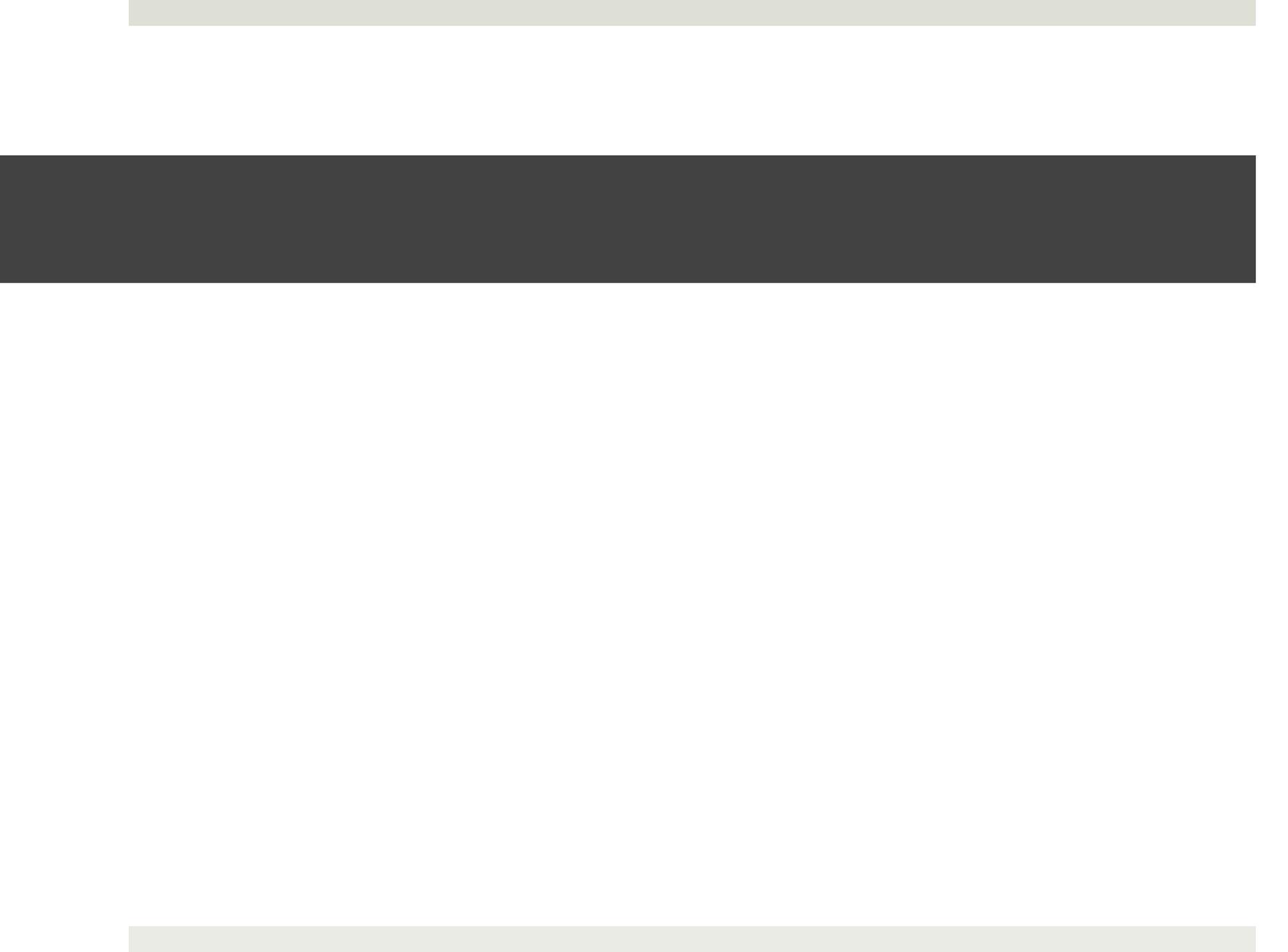


まとめ

- IRDのターゲットとして選定してある天体のスペクトル型を決定し、金属量に対する制限を与えた
- 130天体のスペクトル型を分光観測から決定、その内、29天体を初めて決定。ほとんどが中期M型星であることを示唆
 - 色指数からのスペクトル型決定との食い違い

事前観測における分光観測の必要性

- 場合によっては、晩期型星のスペクトル型決定に関して、他の方法を考慮する必要あり
- 金属量に関しても再考の余地あり
- IRD事前観測の今後の観測予定：~140星程度（R=14~16等）
 - 西はりま天文台、WIYN3.5m望遠鏡@KPNO（2016年11月観測予定）、3.5m望遠鏡/APO、FOCAS/すばるでの観測を提案している

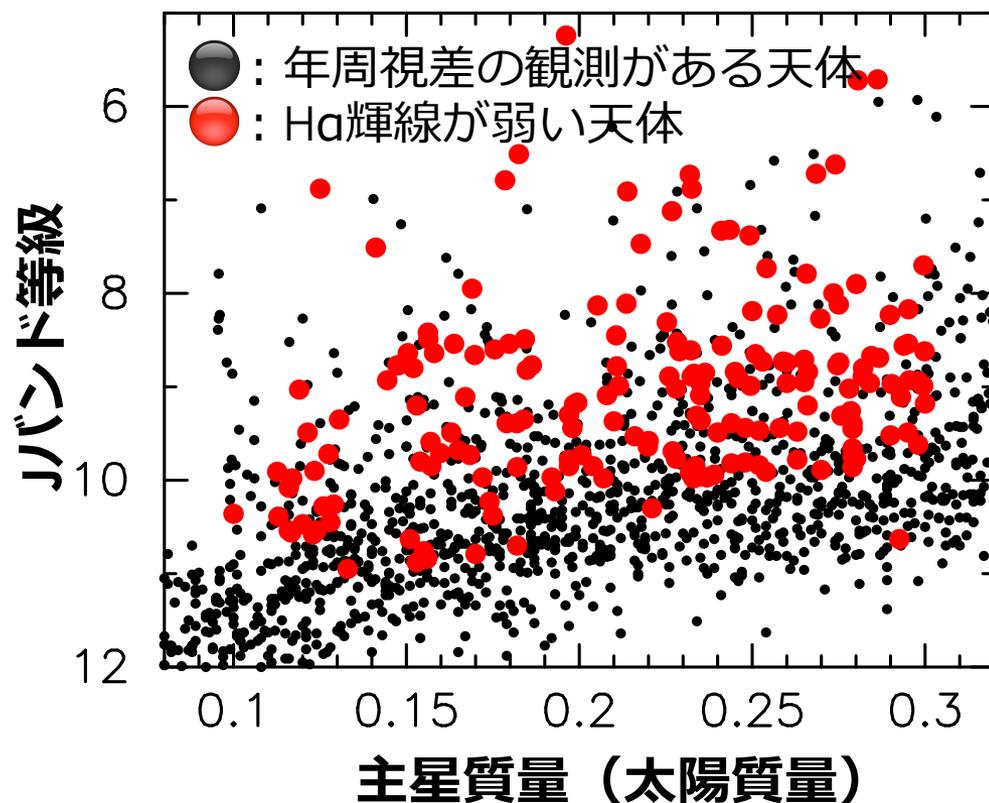


ターゲット選定の現状

文献	星数	$0.3M_{\text{Sun}}$ 以下の星数
Lepine + 13	1564	164 (109)
Alonso-Floriano + 15	753	149 (82)
West + 15	238	156 (52)
Our work	113	103 (68)

()内はEWHAが小さい天体の数

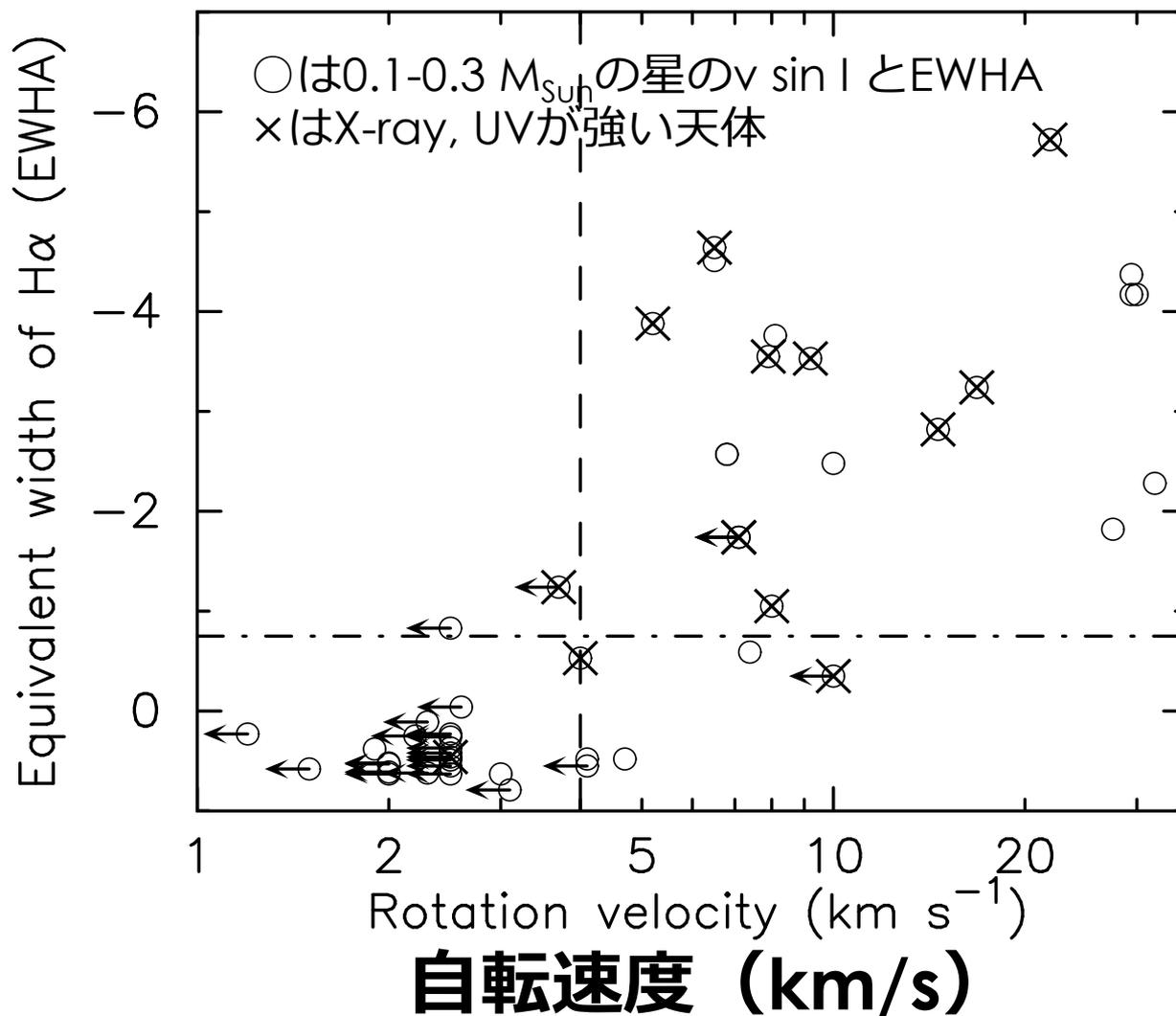
- $0.1 \sim 0.3M_{\text{Sun}}$ の活動度が低い星 ~236星
 - $0.1 \sim 0.2M_{\text{Sun}}$ の星 ~95個
 - ターゲット重複 ~120個
 - Quirrenbach et al. 2016, SPIE
- IRDターゲットの条件にあう天体
 - 80星 (70星足りない)
 - 特に $0.1 \sim 0.2M_{\text{Sun}}$ の星が足りない



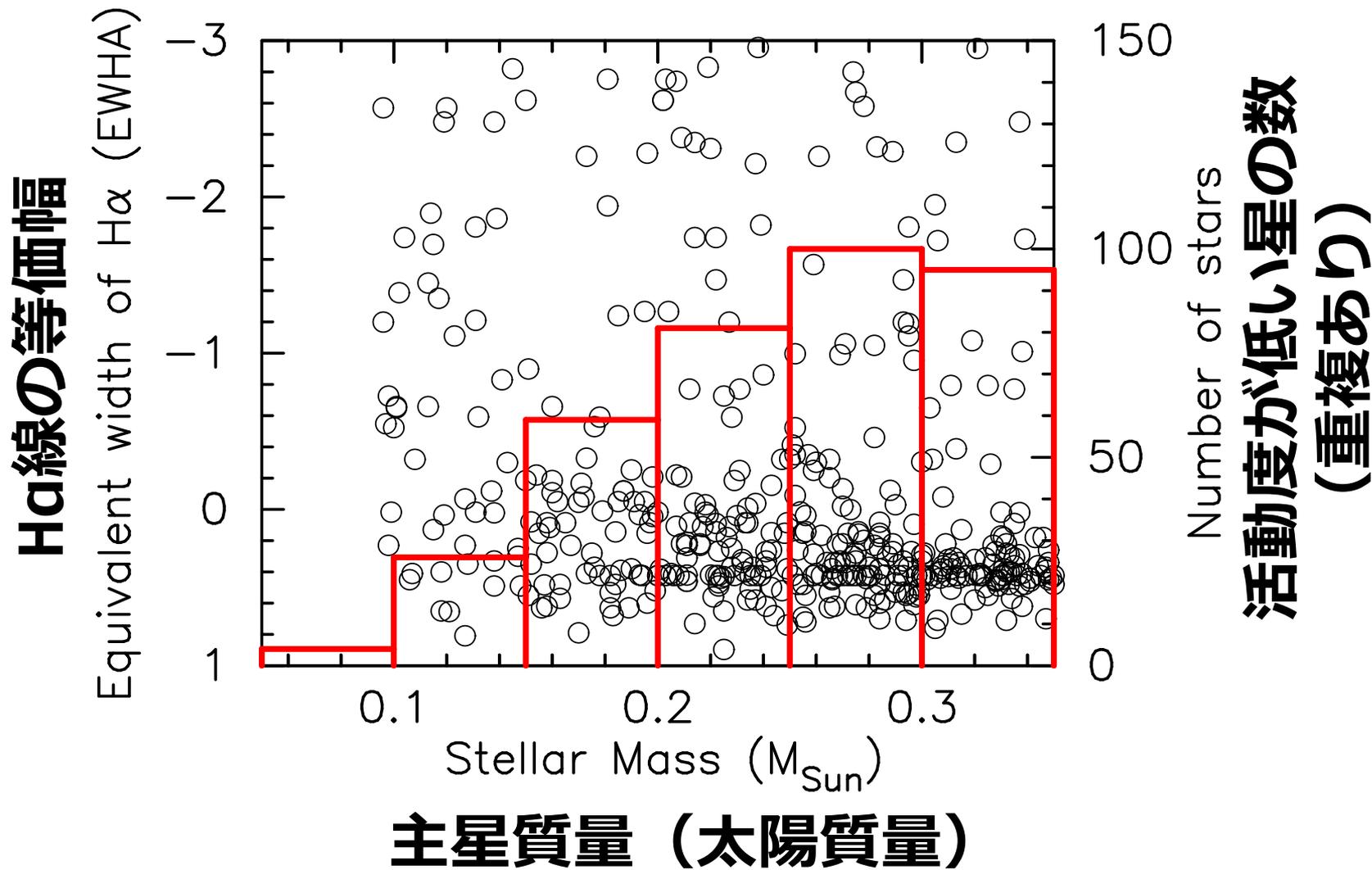
今後の観測予定： ~140星程度 (R=14~16等)
西はりま天文台、WIYN3.5m望遠鏡@KPNO (2016年11月観測予定)、3.5m望遠鏡/APO、FOCAS/すばるでの観測を提案している

H α 線観測での自転速度への制限

H α 線の等価幅



Ha線の等価幅と恒星質量の関係



一次処理

- IRAFを用いて一次処理
 - バイアス、フラット、波長較正
- 標準星（白色矮星）を用いた輻射強度補正
 - 観測されるスペクトルは $T(\lambda)S(\lambda) \rightarrow$ フラックス比から $T(\lambda)$ を計算

