

系外惑星探査用近赤外線高分散 分光器について

小谷隆行、田村元秀(太陽系外惑星探査プロジェクト室)、
IRDチーム、SEITチーム

概要

- 系外惑星探査用近赤外線高分散分光器の提案
 - IRD(Infrared Doppler)のHeritageを生かした視線速度測定装置
 - 惑星光の高コントラスト分光を目指した高分散分光器

Infrared Doppler (IRD) for the Subaru telescope

What is IRD?

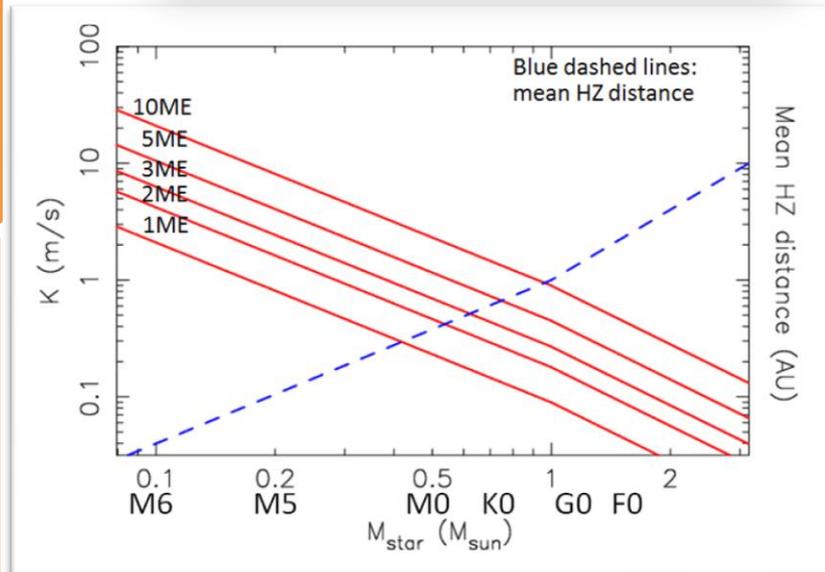
- 視線速度法による地球型惑星探査を行うためのすばる用近赤外高分散分光器
- Y, J, H-band, 波長分解能70000
- レーザー周波数コムによる波長較正
- 2015年初頭にファーストライト予定

Goal of IRD

- 100個程度の近傍M型星を観測し、地球質量惑星(ハビタブルゾーンにあるものを含む)を数十個程度検出する
- 低質量星まわりの低質量惑星形成理解

Why M dwarf search in NIR?

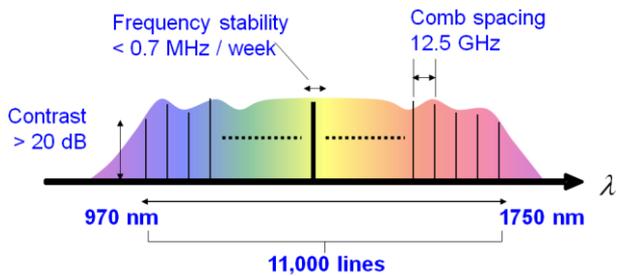
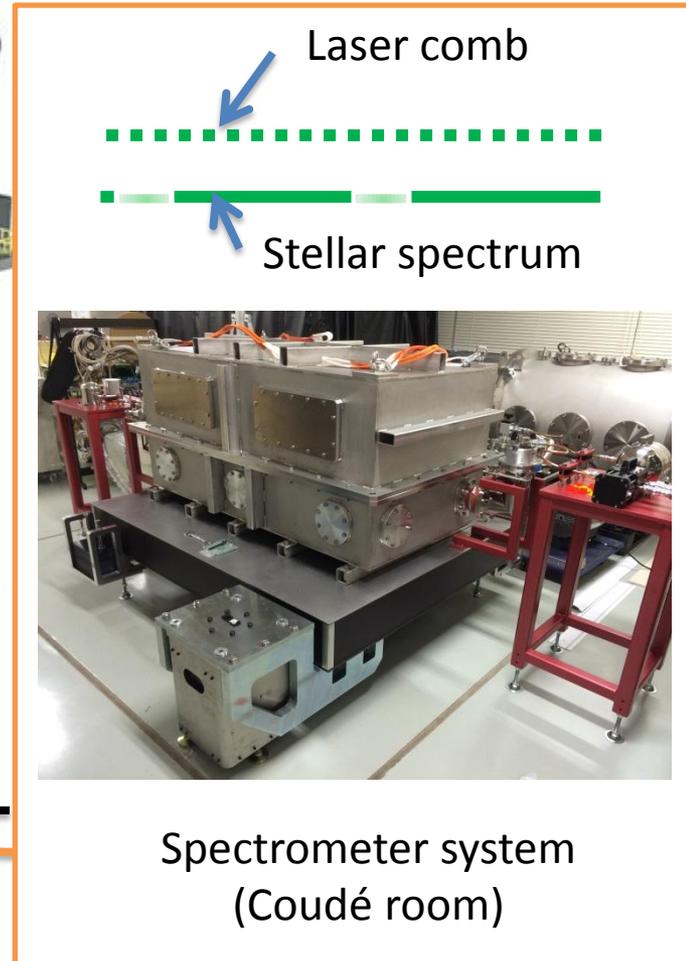
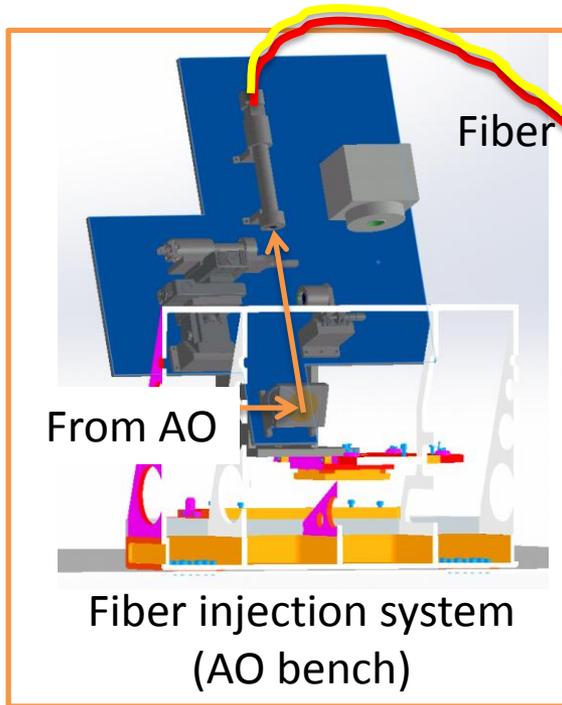
- ハビタブルゾーンにある1地球質量惑星が1m/sの視線速度測定精度で検出可能(太陽型星の場合0.1m/sが必要)
- M型星は可視で暗く近赤外で明るい
- 将来の直接撮像計画へターゲット供給



RV variation of M dwarfs due to a planet in habitable zone

IRDのHeritage

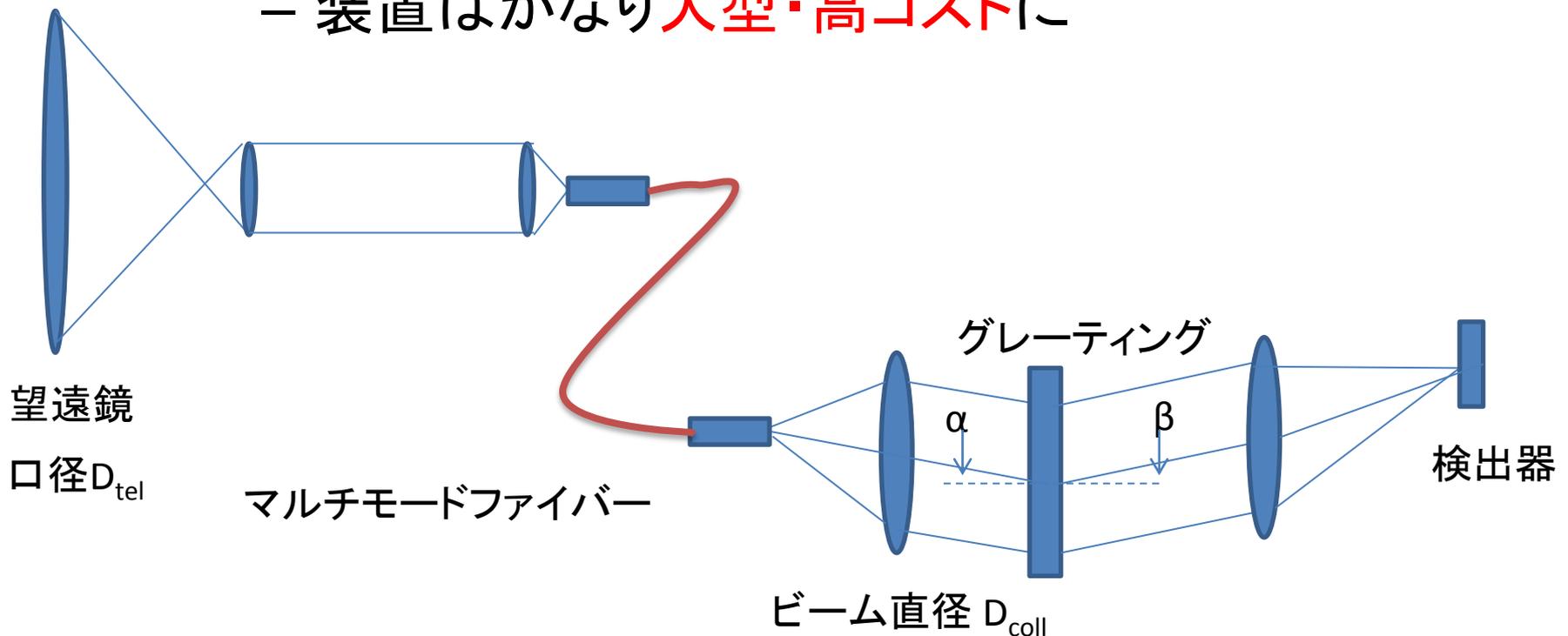
- エシェルグレーティング (1/4サイズ試作品だが高品質、ブレード角80.7度、100x100mm)
- レーザー周波数コム
- ファイバー(マルチモード・シングルモード)特性の理解



Laser frequency comb (IR Observing floor)

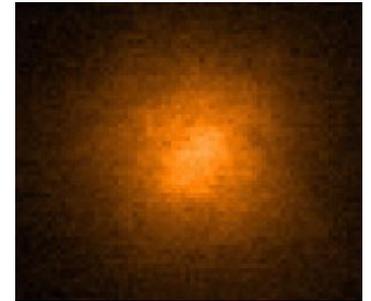
シーイングリミット近赤外高分散分光器

- マルチモードファイバー＋高分散分光器
 - IRDと同じタイプ (Y, J, H)
 - 惑星探査をするには波長分解能 >50000 が必要
 - 装置はかなり**大型・高コスト**に



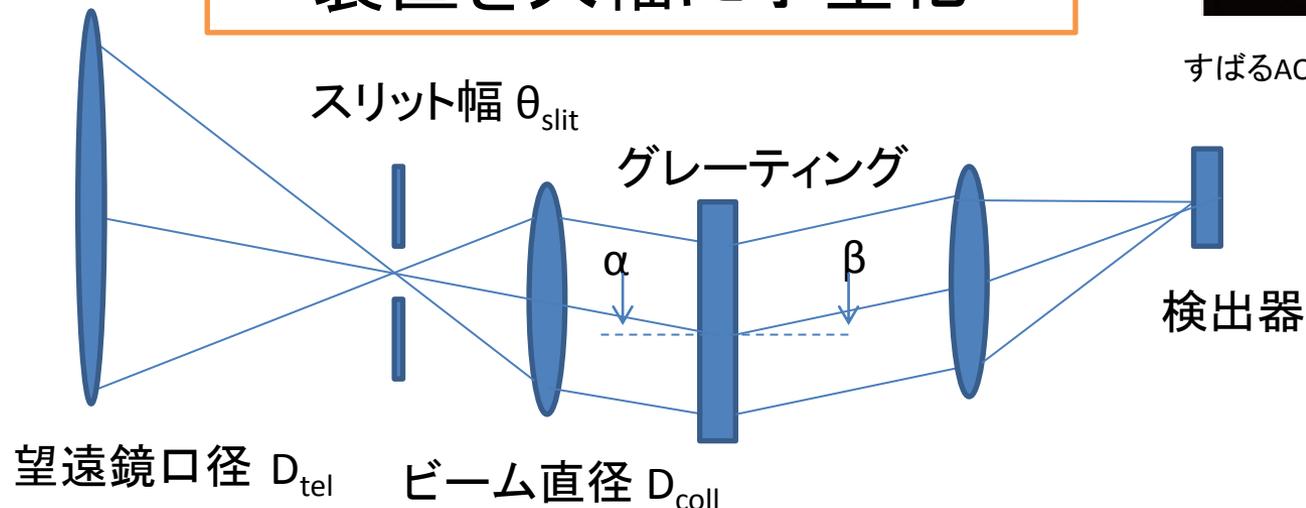
回折限界高分散分光器の提案

- スリットリミット(シーイングリミット)の場合
 - $R = \lambda / \Delta\lambda = 2 D_{\text{coll}} \tan\beta / (D_{\text{tel}} \theta_{\text{slit}})$
 - 高い分解能を達成するには、装置の大型化が避けられない
 - $R=10^5$ の場合、 $D_{\text{coll}}=100\text{mm}$ ($D_{\text{tel}}=8\text{m}$, $\theta_{\text{slit}}=0.3$ 秒角, $\beta=80.7$ 度)
- 回折限界の場合
 - $R = \lambda / \Delta\lambda = 2 D_{\text{coll}} \tan\beta / (1.22\lambda)$
 - ビームサイズとグレーティングのブレイズ角に依存
 - $R=10^5$ の場合、 $D_{\text{coll}}=10\text{mm}$ ($\lambda=1\mu\text{m}$, $\beta=80.7$ 度)



すばるAO188 Off/OnのPSF

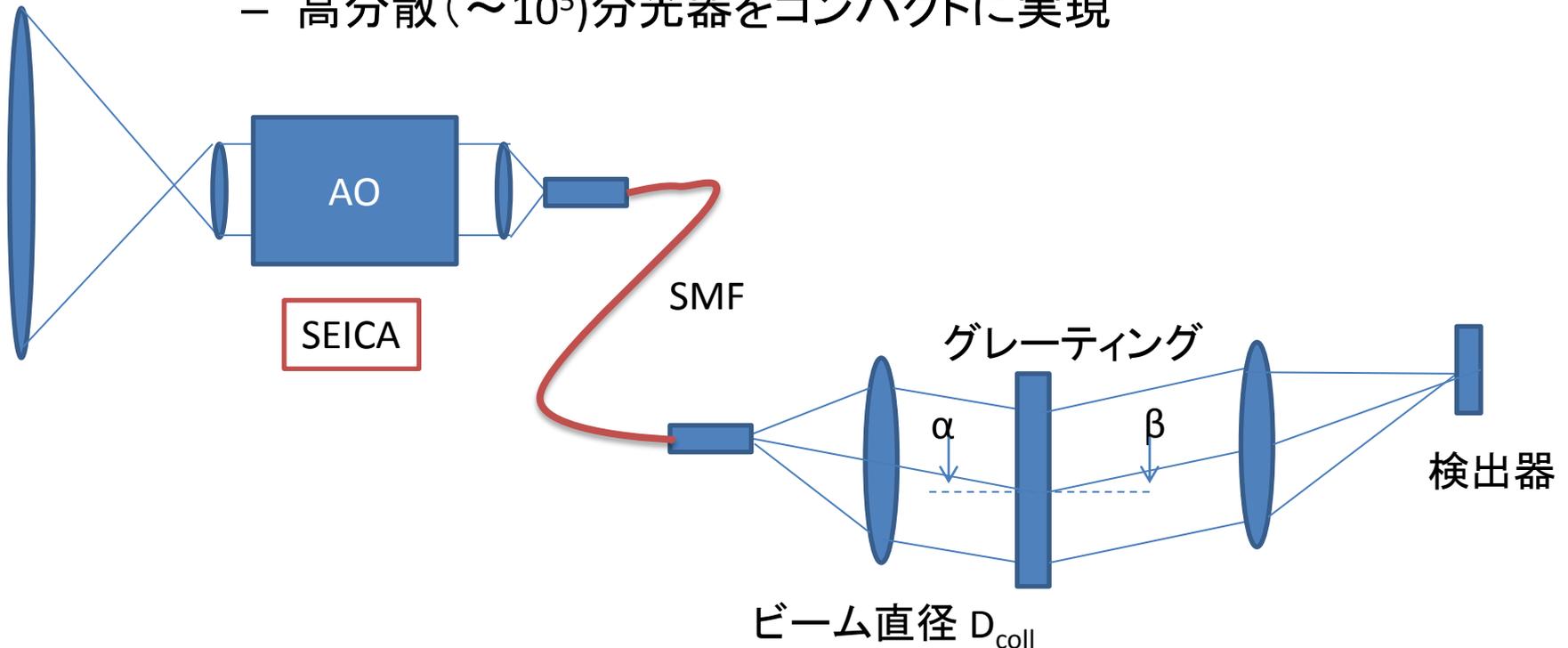
装置を大幅に小型化



回折限界分光器の提案

極限補償光学+シングルモードファイバー(SMF)

- **補償光学**と**SMF**の組み合わせにより、高効率・高精度高分散分光器を実現
 - 極限補償光学によってSMFに高効率で光を入射(>50%)
 - 回折限界像をSMFで分光器まで伝送
 - 分光器を安定な環境に設置(クーデ?)
 - モーダルノイズフリー(視線速度測定にとって重要)
 - 高分散($\sim 10^5$)分光器をコンパクトに実現



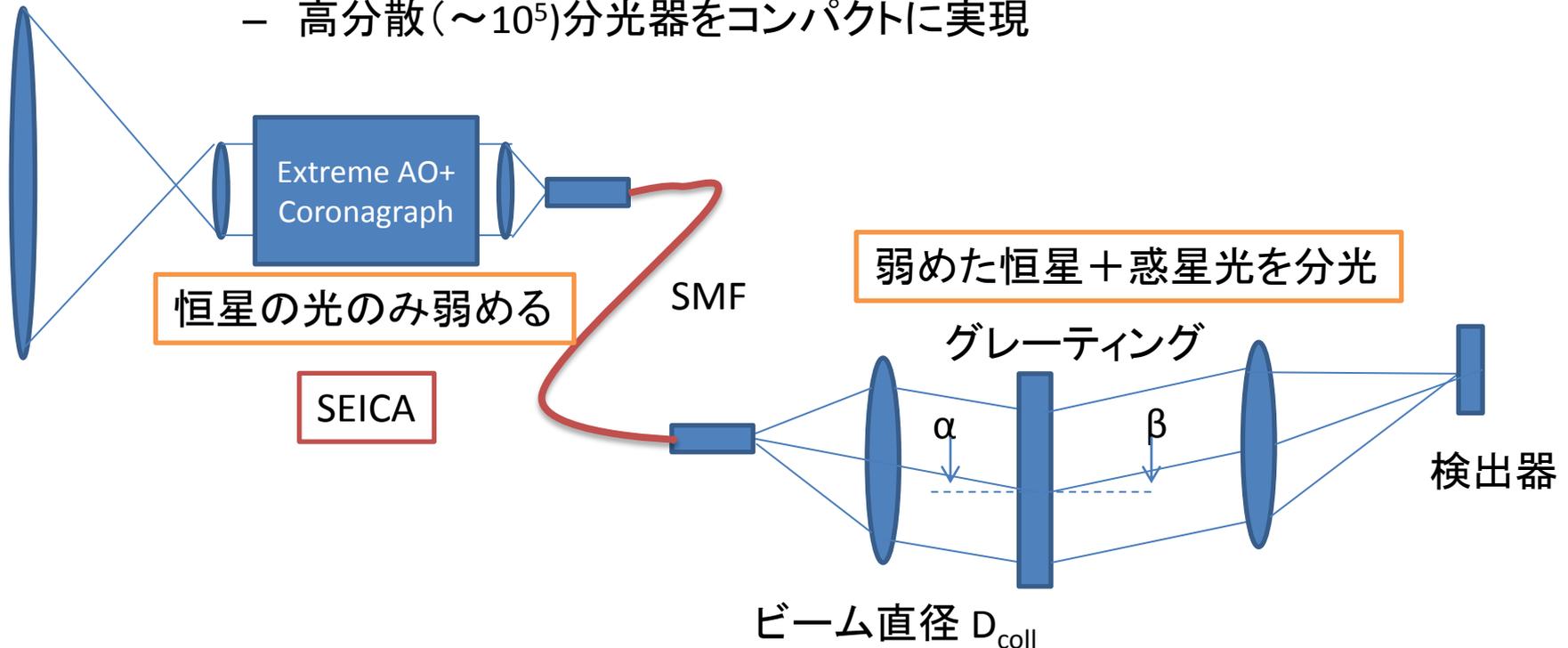
安く早くできる高性能高分散分光器の提案1: 惑星探査用ドップラー測定器(Y-band特化)

- 低質量星周りの低質量惑星＋若い星の巨大惑星探索→ 大宮さんの発表
- 波長範囲: Y-band (970-1070nm)
- 波長分解能 ~ 70000
- ファイバーフィード(シングルモード)
- エシェルグレーティング(ブレード角80.7deg、100x100mm)
- VPH クロスディスパーザー
- Y-bandで高量子効率(>70%)のCCD (例えば浜フォトS10747-0909)
- 波長基準: レーザー周波数コム(IRD用として開発中) or Ur-Trランプ
- 開発に必要なリソース
 - ポスドクx1 and/or 学生x1
 - 開発期間: 2年程度
 - 科研費+ α

回折限界分光コロナグラフ分光器の提案

極限補償光学+コロナグラフ+シングルモードファイバー(SMF)

- 極限補償光学とコロナグラフ、SMFの組み合わせにより、**高コントラスト**・高効率・高精度高分散分光器を実現 (Kawahara+2014, accepted in ApJS, arXiv:1404.5712)
 - コロナグラフで弱めた恒星光+惑星光を高分散分光
 - 惑星光の検出が容易に
 - 回折限界像をSMFで分光器まで伝送
 - 分光器を安定な環境に設置(クーデ?)
 - 高分散($\sim 10^5$)分光器をコンパクトに実現



安く早くできる高性能高分散分光器の提案2: 惑星光高分散分光(J,H,K?)

- 惑星光の高コントラスト高分散分光 → 河原さんの発表
 - 惑星・褐色矮星の公転、自転測定、表面撮像など
- 波長範囲: J, H (難しいができればKも)
- 波長分解能 > 100000
- ファイバーフィード(シングルモード)
- エシェルグレーティング
- VPH クロスディスパーザー
- 検出器: Hawaii2 ?
 - 同時に測定できる波長範囲を狭める必要あり
- 開発に必要なリソース
 - ポスドクx1 + 学生x1
 - 開発期間: ~ 3年程度
 - 科研費 + α

まとめ

- 近赤外高分散分光器の提案
 - シーイングリミット分光器
 - 回折限界高分散分光器
 - 補償光学と組み合わせることで、低コストで高分散分光器を実現
 - 晩期型星まわりの惑星探査
 - 明るい惑星の高分散分光
 - 回折限界高コントラスト高分散分光器
 - コロナグラフとの組み合わせでより低質量惑星の高分散分光を狙う

終