

光赤天連シンポ 2008/8/21

# TMT 近赤外高分散分光器の提案 —可視レベルの高精度分光に向けて—

**Near-infrared  
High-Resolution Spectroscopy  
for Ground-based Astronomy**

東大天文センター  
小林 尚人  
フォトコーディング  
池田 優二

# 内容

1. 赤外線天文学の次のテーマ・・・ **高分散**
2. デバイスの開発から **immersion grating**
3. 現在先行中のプロトタイプ開発
  - Short NIR (0.9–1.4 $\mu$ m) **WINERED タイプ**
  - Long NIR (1.4–5.5 $\mu$ m) **IRCS-HRU タイプ**
4. TMT 装置へ **まずはそのままスケールアップ**
5. タイムフレーム・予算 **アウトライン**

# 1. 赤外線天文学の次のテーマ...

## 「赤外線高分散分光」(1)意義

### ✓最も高度な物理化学情報をもたらす手法

高空間分解能 ・ A0ですでに0.1"の世界に

高時間分解能 ・ 特殊な天体に限られる

高波長分解能(高分散)

### ✓可視高分散分光の大きな発展 —過去10年—

#### • 天文学全体への大きなインパクト

➤系外惑星ドップラーサーチ 系外惑星の発見

➤星 zero 金属量星

➤星の化学組成、運動 銀河化学動力学 chemodynamics

➤星間物質、銀河間物質 クエーサー吸収線系

1. 赤外線天文学の次のテーマ…

# 「赤外線高分散分光」(2)意義

## ✓赤外線は高分散では未開拓

- 近赤外線( 1–5.5 $\mu\text{m}$  )、中間赤外線( 5–30 $\mu\text{m}$  )
- 星、星間物質ともに多数のライン
- 可視高分散クラス、それ以上の大きなインパクトが
- しかし、可視レベルの感度や安定度の向上が必要

# NIR HR Spectrograph at Present

**Optical 300-900 nm**

$$(\lambda/\Delta\lambda)_{\max} > 80,000$$

already working as workhorse  
at 8m-class telescopes

e.g., Keck/HIRES, VLT/UVES, Subaru/HDS



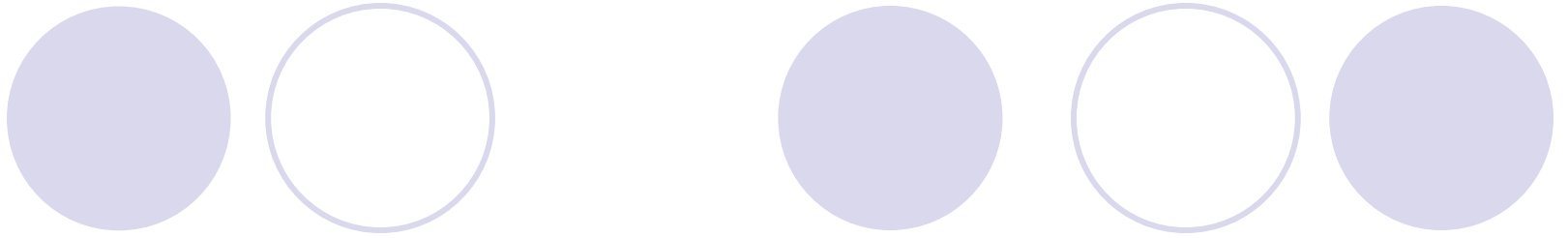
**Near-infrared 900nm~5.5um**

KeckII/NIRSPEC	R= 23,000
SUBARU/IRCS	R= 20,000
Gemini-S/GNIRS	R= 18,000
Gemini-S/Phoenix	R= 75,000 @ 0.18" slit
CRIRES/VLT	R=100,000 @ 0.30" slit (2006-)

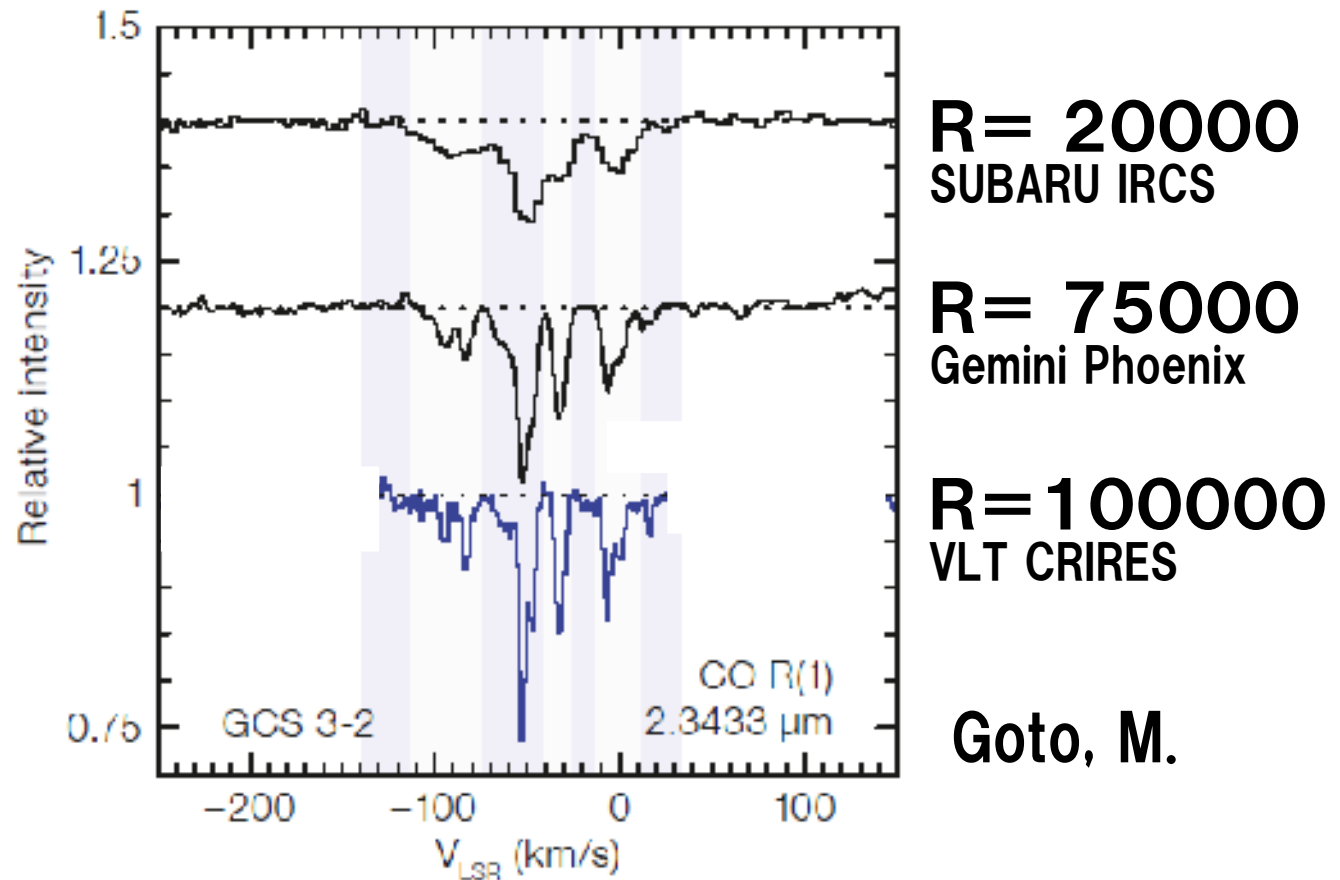


Limited to  $\lambda/\Delta\lambda < 20,000-50,000$

because "large" cryogenic optics are required//

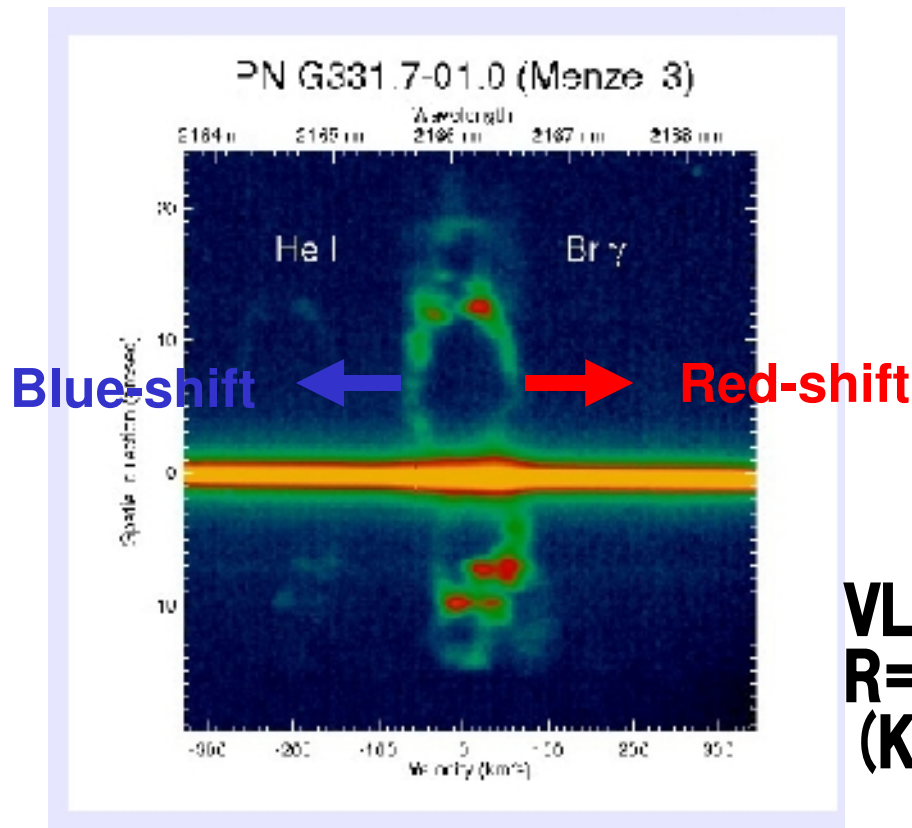


## 分解能 5 万が速度コンポーネントの分解に重要



# Kinematics w/ NIR High-resolution Spectroscopy

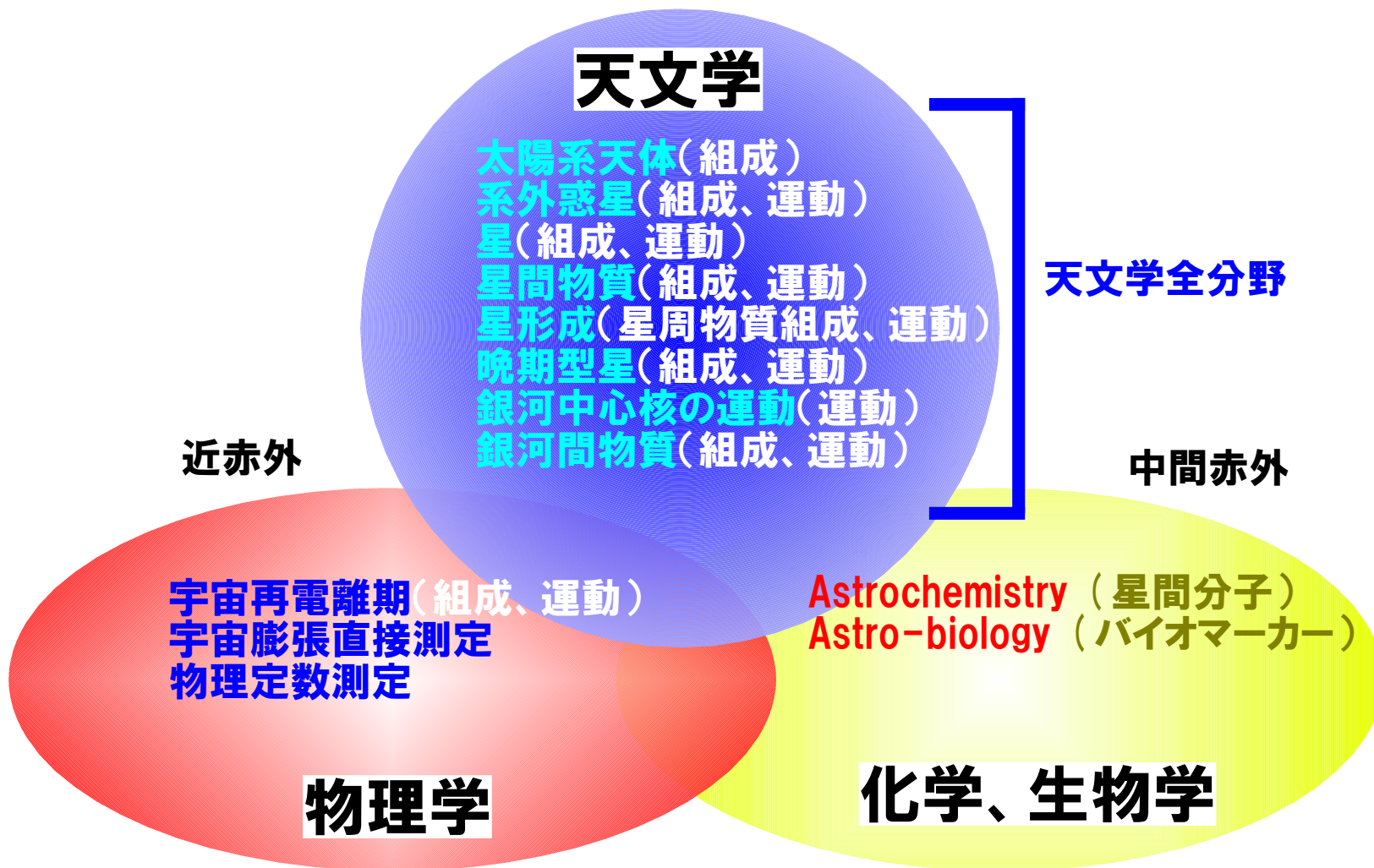
Ex. Echelle Spectrum of a dying star (planetary nebulae)



VLT CRIRES  
R=100,000  
(Kaufl et al. 2006)

# 1. 赤外線天文学の次のテーマ...

## 「赤外線高分散分光」 幅広い分野への波及効果





1. 赤外線天文学の次のテーマ...

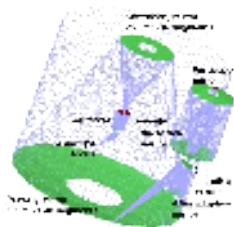
# 「赤外線高分散分光」

## (3) 次世代の近赤外高分散分光器の開発

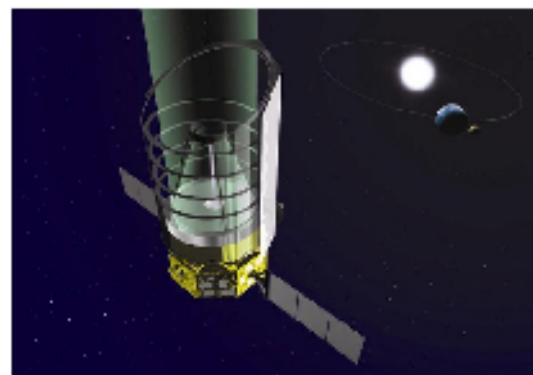
- ✓ 次世代の facility で最も大きな「質的」飛躍が
  - 巨大望遠鏡の時代・必要な大集光力が得られるチャンス
  - 非常に大きなインパクトが今後10年で期待できる
  - 経験と実績による大きな advantage あり  
→ 今後 10 年をリードできる
- 課題は“サイズ”と(集光力まかせではない)“高感度”



「地上大型」



TMT 30 m (US, Can, JPN) 国立天文台



「上空大型」



SPICA 3.5m (JPN, EU, US) 宇宙研 / JAXA

## 2. デバイスの開発から

# イマージョングレーティング

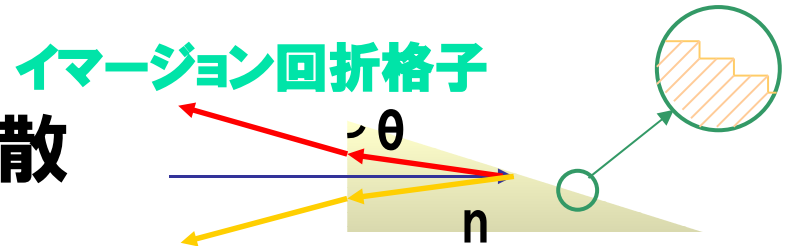
Spectral resolution of Echelle Spectrograph

$$R = \lambda / \Delta\lambda = 2 n \phi \tan\theta / sD$$

### ✓ 装置サイズを $1/n$ へ

#### ● 超巨大望遠鏡の赤外高分散

- ・(冷却するには)巨大すぎる
- ・赤外線結晶  $n=2-4$



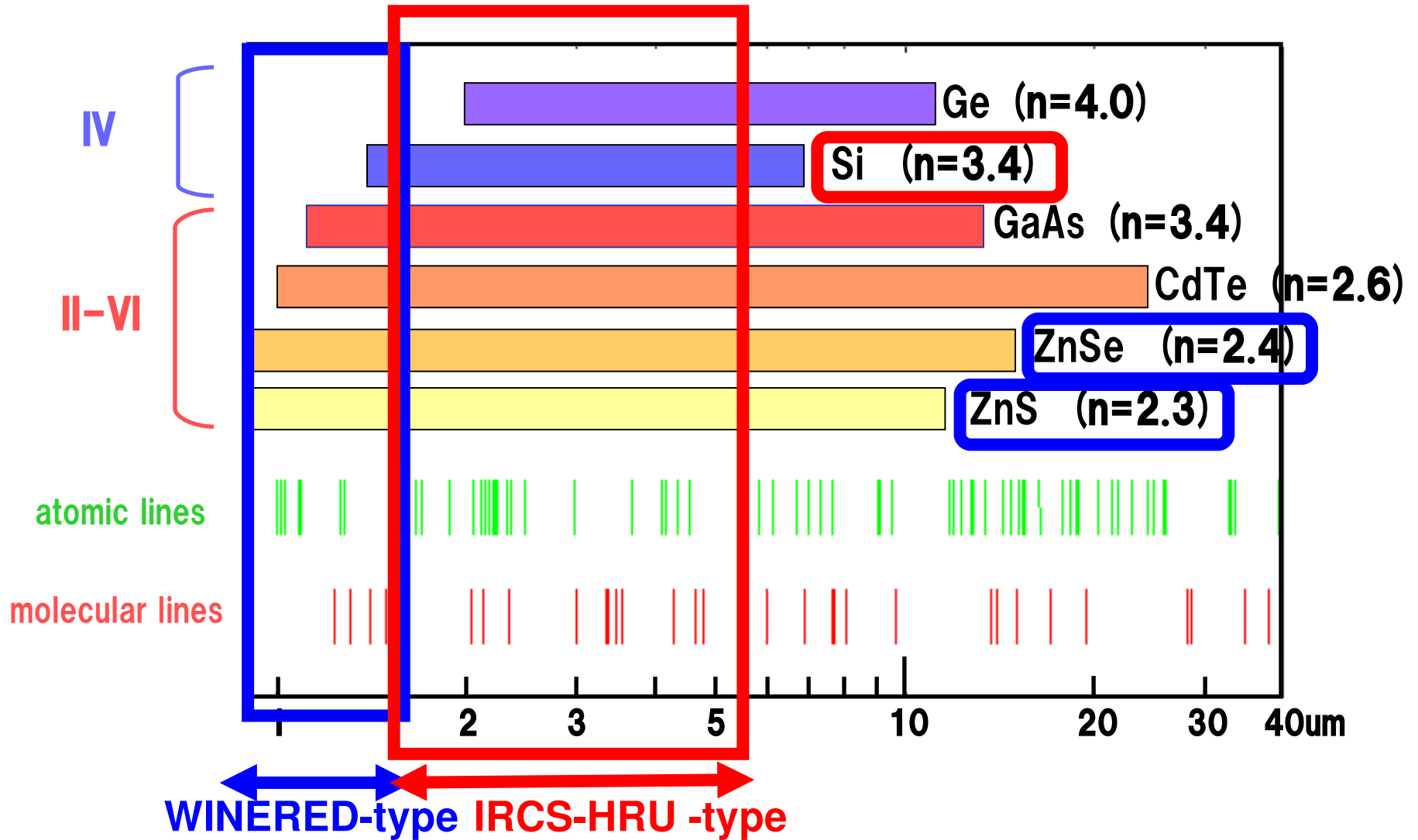
### ✓ 高効率グレーティング

#### ● 高効率で天文のフロンティアへ

- ・高分散分光器の一般的効率: 10% → 目標 20%
- ・口径で2倍のゲイン(8 m は 16m 望遠鏡に  
4 m が 8m 望遠鏡に)

# だらしなく望遠鏡の口径にだけ頼る必要はない

# Material Candidates for NIR Immersion



2. デバイスの開発から

# 近赤外線高分散デバイスの開発

(2003- 東京大学)

## (1) 実績 その1

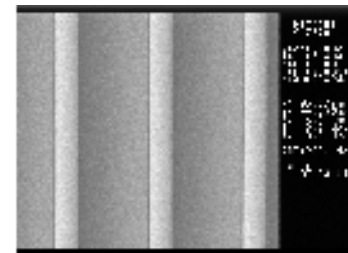
### ✓高精度 Si イマージョングレーティング

●波長 1.4-5.5 $\mu\text{m}$ 、 $n=3.4$

●相対回折効率 90% を達成(世界記録) Ikeda+2008

— Ion-beam etching w/NTT-AT N

— 世界の他グループ (Texas/Florida/Italy/...) 70% max



プロトタイプ装置

●すばる IRCS 高分散アップグレード Terada+2008

波長:長波長近赤外 (1.4 $\mu\text{m}$ -) 分解能 2万→7万

目的:地球型惑星ドップラー探査(赤外で明るい低質量星対象)

— 将来の 30m 望遠鏡用のプロトタイプとして現在進行中

2. デバイスの開発から

# 近赤外線高分散デバイスの開発

(2003- 東京大学)

## (2) 実績 その2

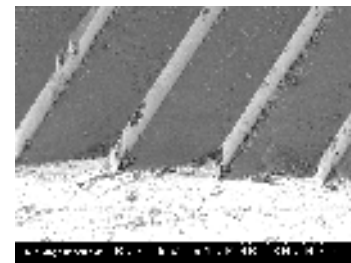
### ✓高精度 ZnSe イメージングレーティング

●0.9-12 $\mu\text{m}$  用(近赤外から中間赤外)、 $n=2.4$

●精密切削による初の高効率デバイス製作 Ikeda+2008

— 精密切削 w/LLNL

— 効率75%達成(初の切削実用化イメージジョン)



プロトタイプ装置

●近赤外高分散分光器 WINERED Ikeda+2006, Yasui+2008

波長: 短波長近赤外 (0.9-1.3 $\mu\text{m}$ )

目的: high- $z$  クェーサ / GRB 吸収線系 (宇宙再電離期分光)

— 将来の30m望遠鏡用のプロトタイプとして現在進行中

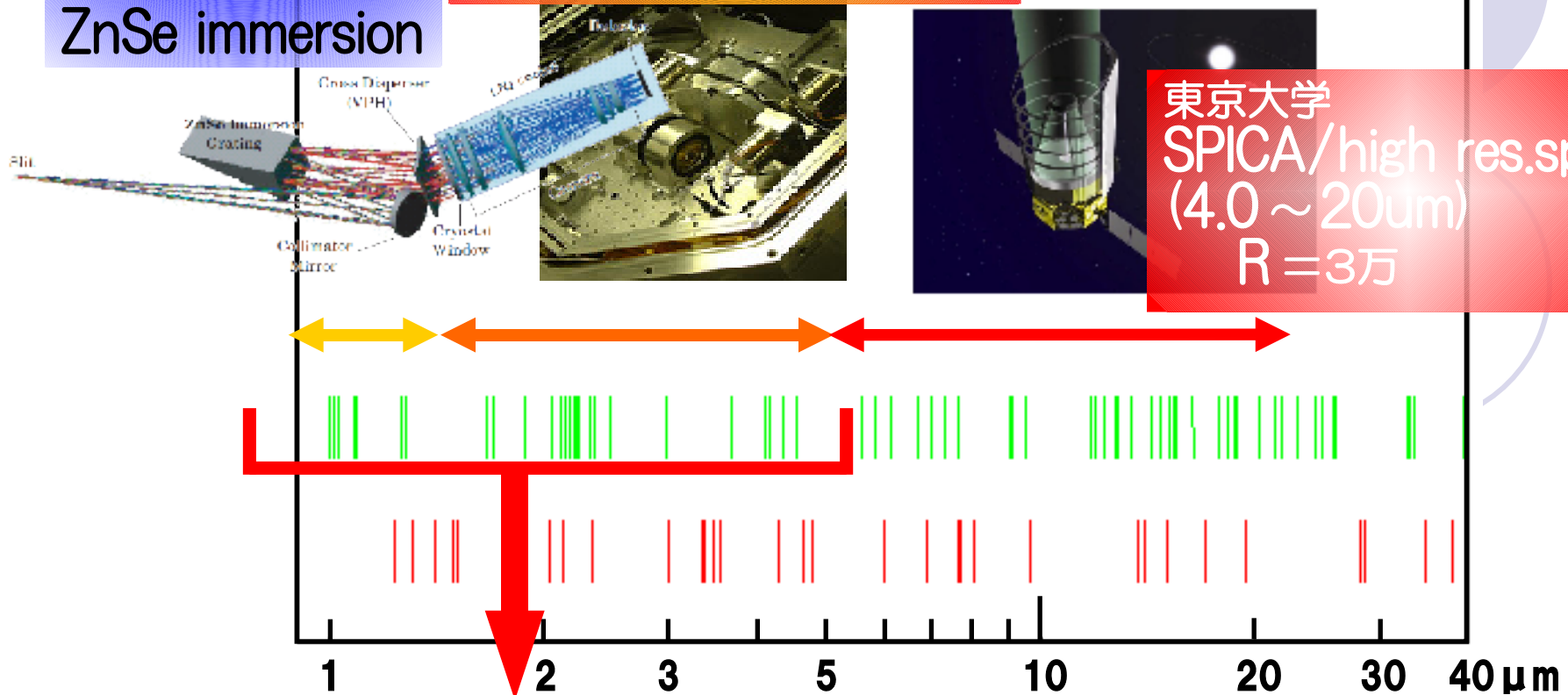
●SPICA 中間赤外高分散分光器 Kobayashi+2008

## 2. 現在先行中のプロトタイプ開発 (2005-)

東京大学  
WINERED  
(0.9 ~ 1.4 $\mu\text{m}$ )  
R = 3-10万  
ZnSe immersion

国立天文台 / 東大  
Subaru IRCS upgrade  
(1.4 ~ 5.5 $\mu\text{m}$ )  
R = 7万  
Si immersion

相補的に近中間赤外全波長を  
高分散で観測可能なシステム  
を目指す



東京大学  
SPICA/high res.spec  
(4.0 ~ 20 $\mu\text{m}$ )  
R = 3万

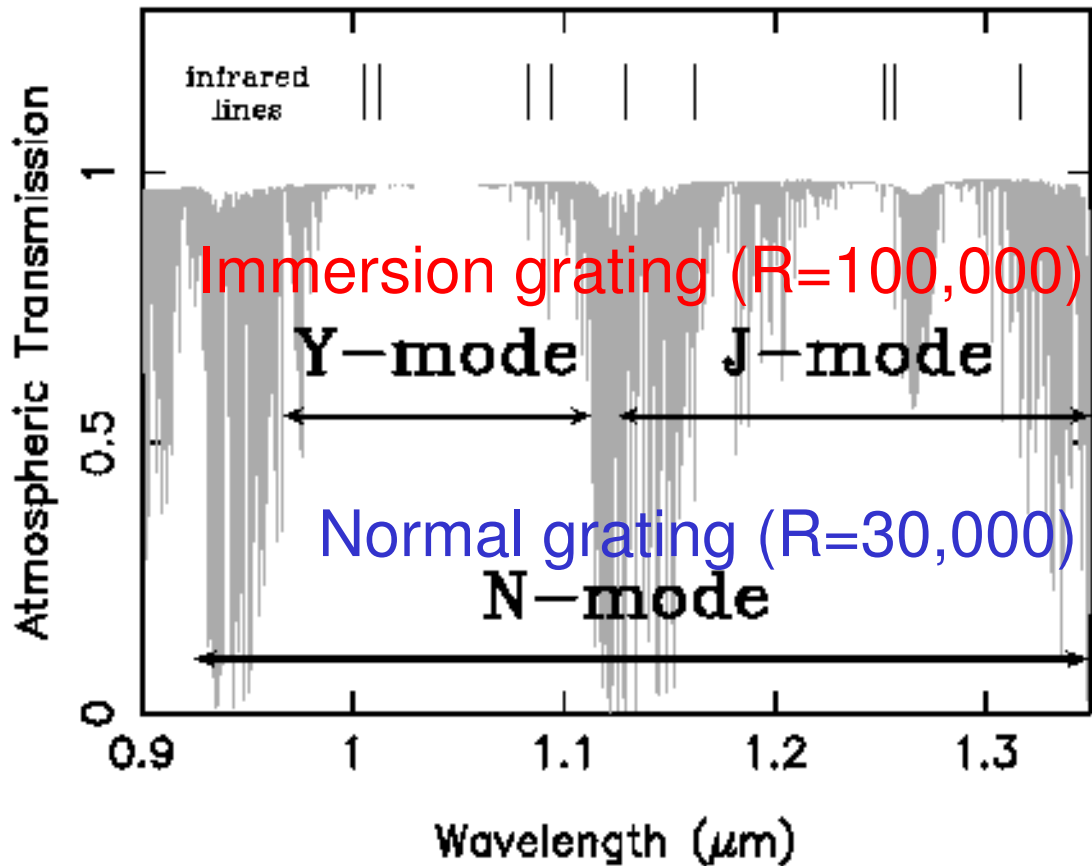
TMT 装置へ

ShortNIR (0.9–1.4 $\mu\text{m}$ )

WINERED @東京大学

# Warm Infrared Echelle spectrograph

with high Resolution and high Efficiency Devices



- 文字通り「ニッチ」な波長域で高感度、かつ、未開拓
- サイエнтиフィックに極めて“Sweet Spot”
  - ☆ 地球型惑星探査
  - ☆ 星吸収線
  - ☆ QSO/GRB 吸収線系

*Yasui+ 2006, SPIE*





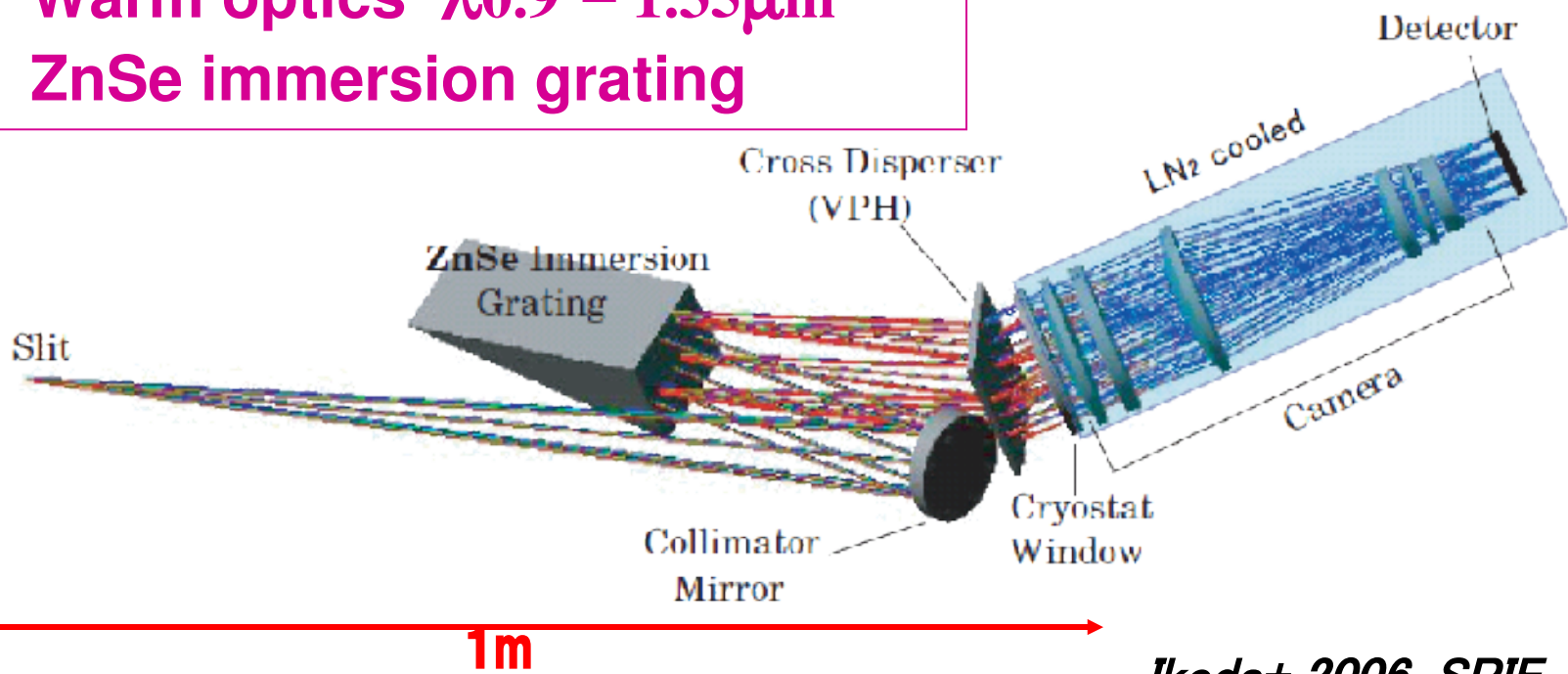
# WINERED Outline

**Spec.**

- ✓  $R_{\max} = 100,000$
- ✓ **Throughput > 25 %**
- ✓ **Portable PI instrument**

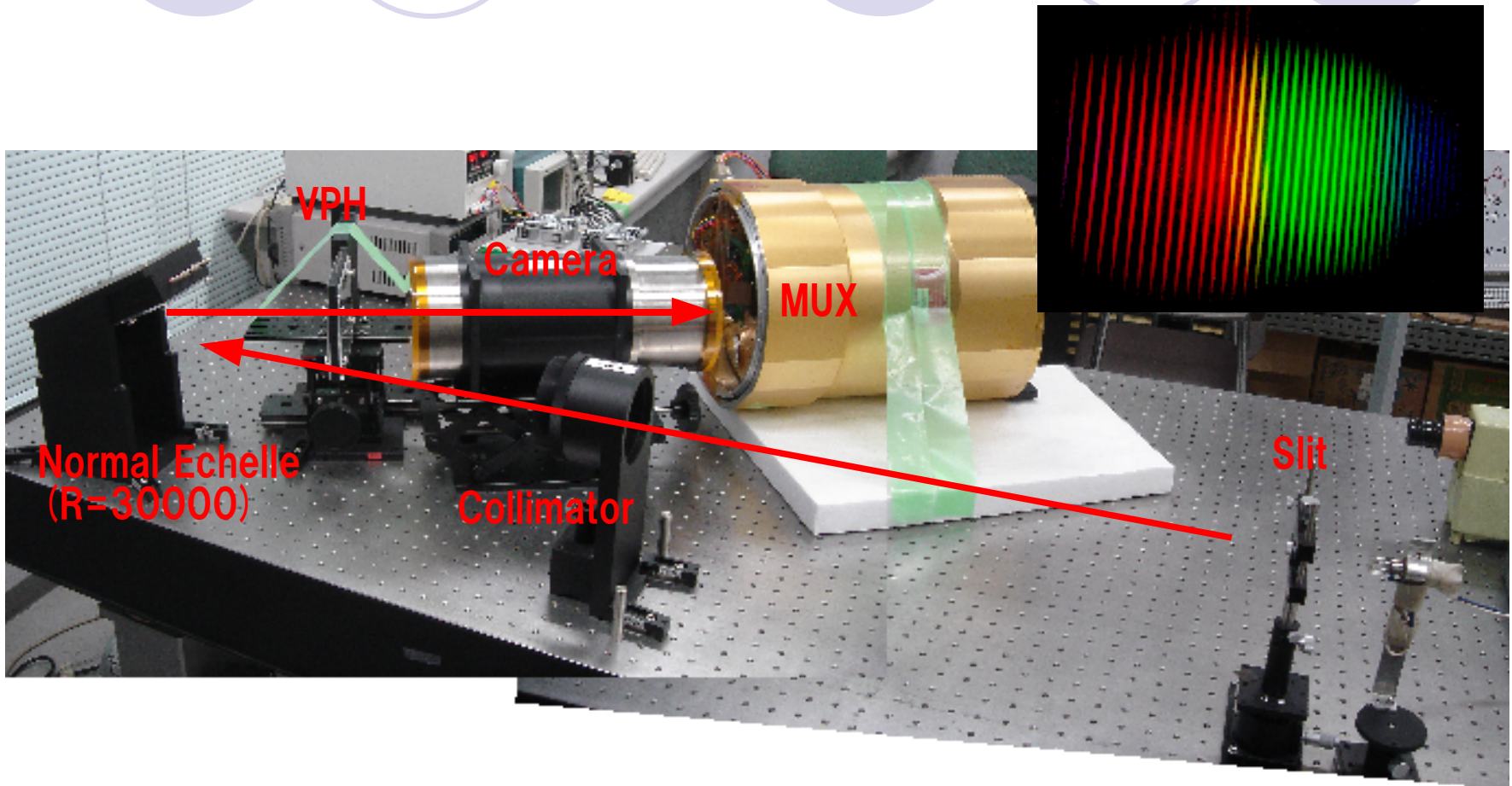
**Approach**

- **Warm optics  $\lambda 0.9 - 1.35 \mu\text{m}$**
- **ZnSe immersion grating**





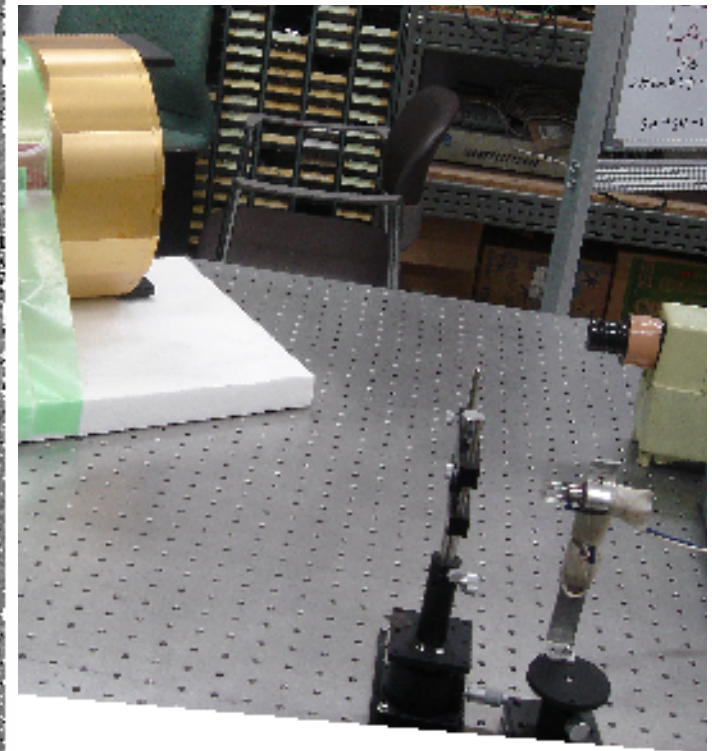
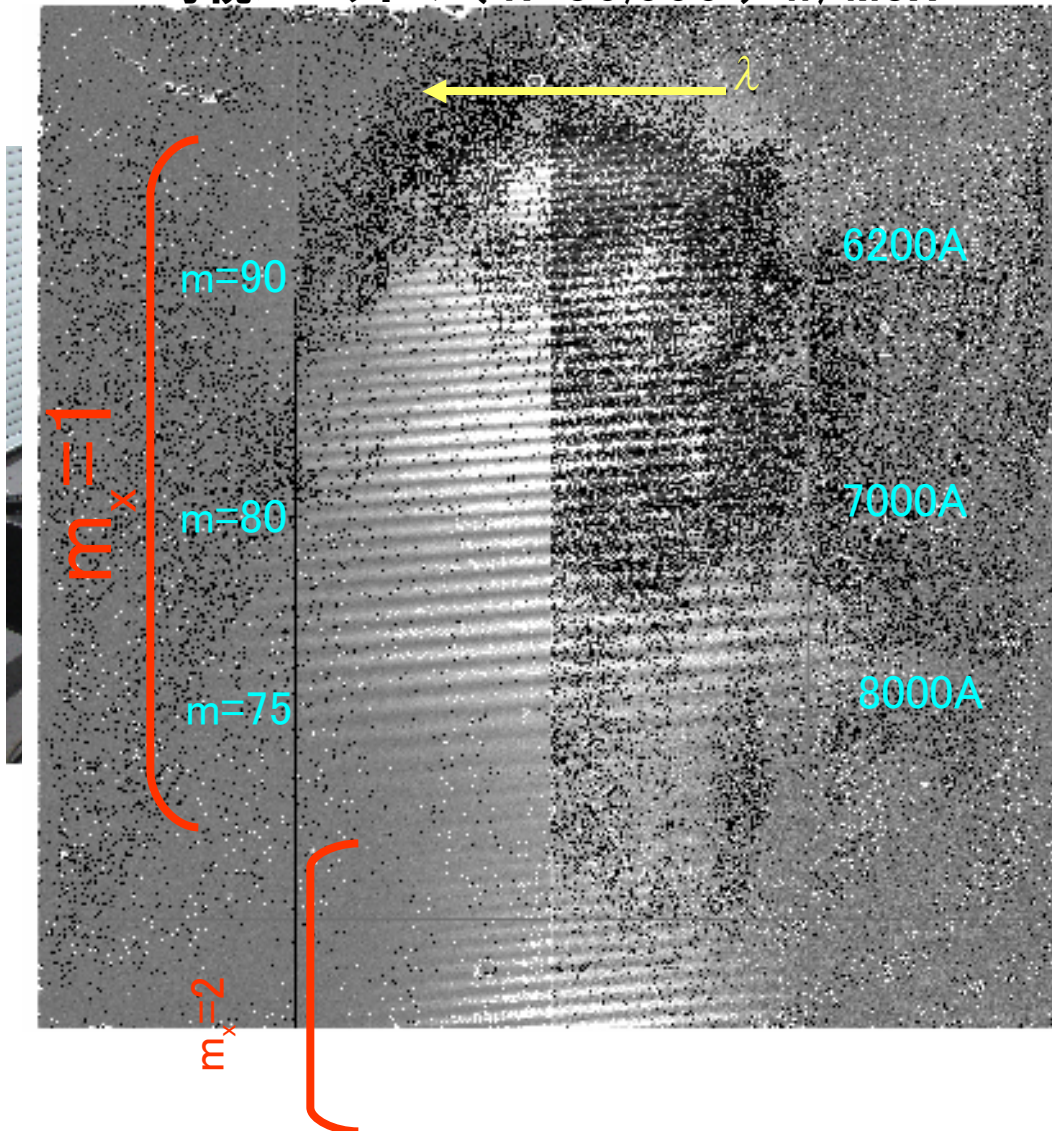
# Preliminary first light (2008.5)



Yasui, Kondo, Ikeda+ 2008

# Preliminary first light (2008.5)

可視スペクトル ( R=30,000 ) w/MUX



Yasui, Kondo, Ikeda+ 2008

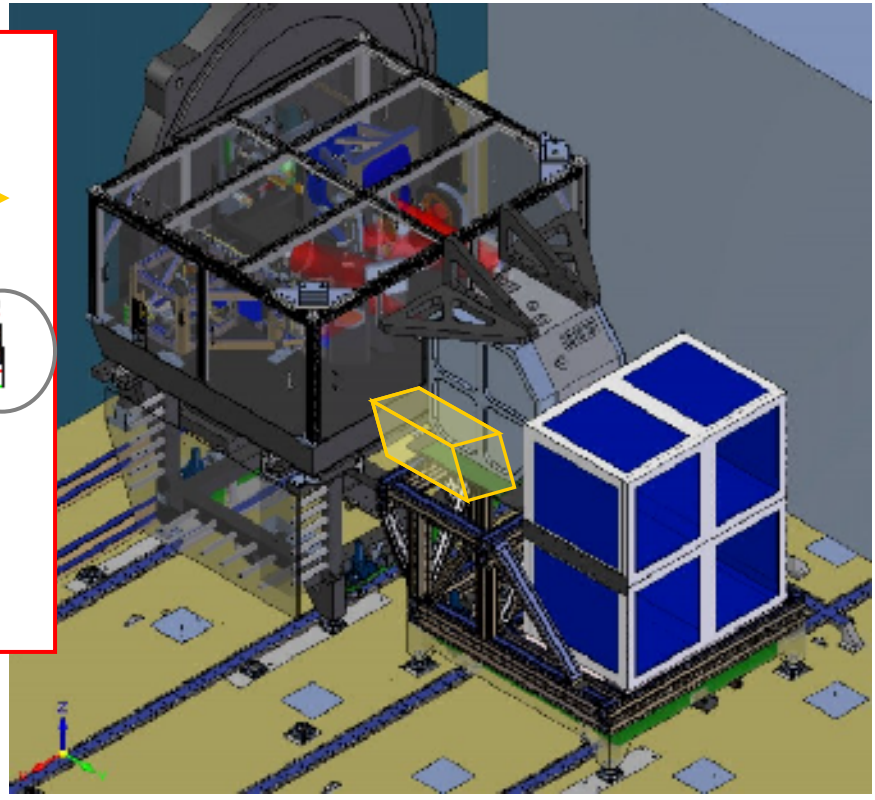
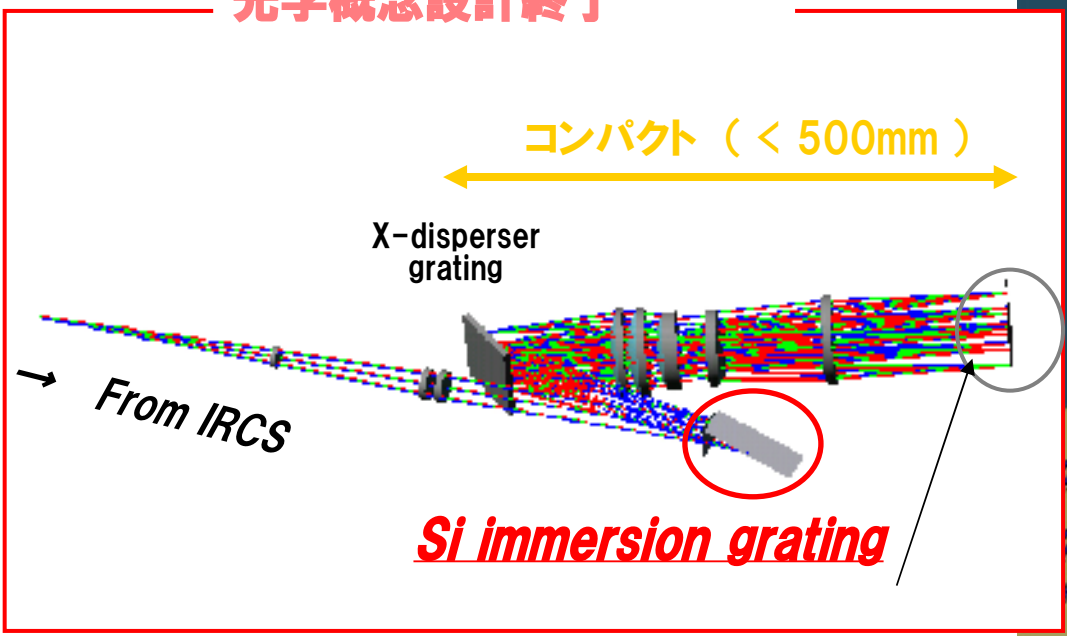




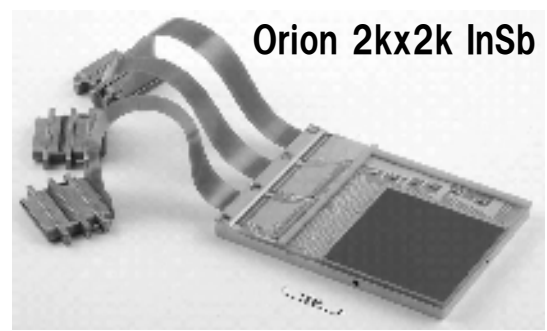
# LongNIR (1.4-5.5um) IRCS-HRU 新高分散分光ユニット @天文台、東大

波長分解能 20000 → 70000 : 地球型惑星検出に特化

光学概念設計終了



検出器  
既取得



IRCS に微小な変更  
メインデューワーへ付設  
*Terada+ 2008, SPIE*

**赤外高分散 activity やそのサイエンスに  
興味のある方はぜひ議論、共同研究、、、なんでも**

**(チームとしては開発に専念したい)**

## 波長の切り分け方

□ Short NIR (0.9–1.4 $\mu\text{m}$ ) **WINERED** タイプ  
Cosmology 対応

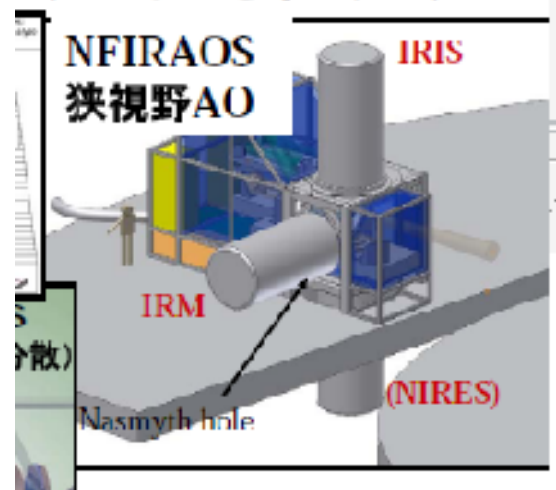
**非冷却型** (→可視と一緒にできる?)

cf. ZnSe は可視(赤)も使えそう

□ Long NIR (1.4–5.5 $\mu\text{m}$ ) **IRCS-HRU** タイプ  
Galactic 対応

**冷却型**

## 4. TMT 装置へ



### □ Short NIR (0.9–1.4 $\mu\text{m}$ )

WINERED タイプ → NIRES-B ポート

- ✓ 光学設計はそのまま踏襲できる
- ✓ F/15 D=30m スリット巾が小さく (0".1 程度) なるだけ
- ✓ AO が効くかが問題

### □ Long NIR (1.4–5.5 $\mu\text{m}$ )

HRU-IRCS タイプ → NIRES-R ポート？

- ✓ 光学設計はそのまま踏襲できる
- ✓ F/15 D=30m
- ✓ AO が必須

# 5. タイムフレーム・予算 アウトライン

## □ タイムフレーム

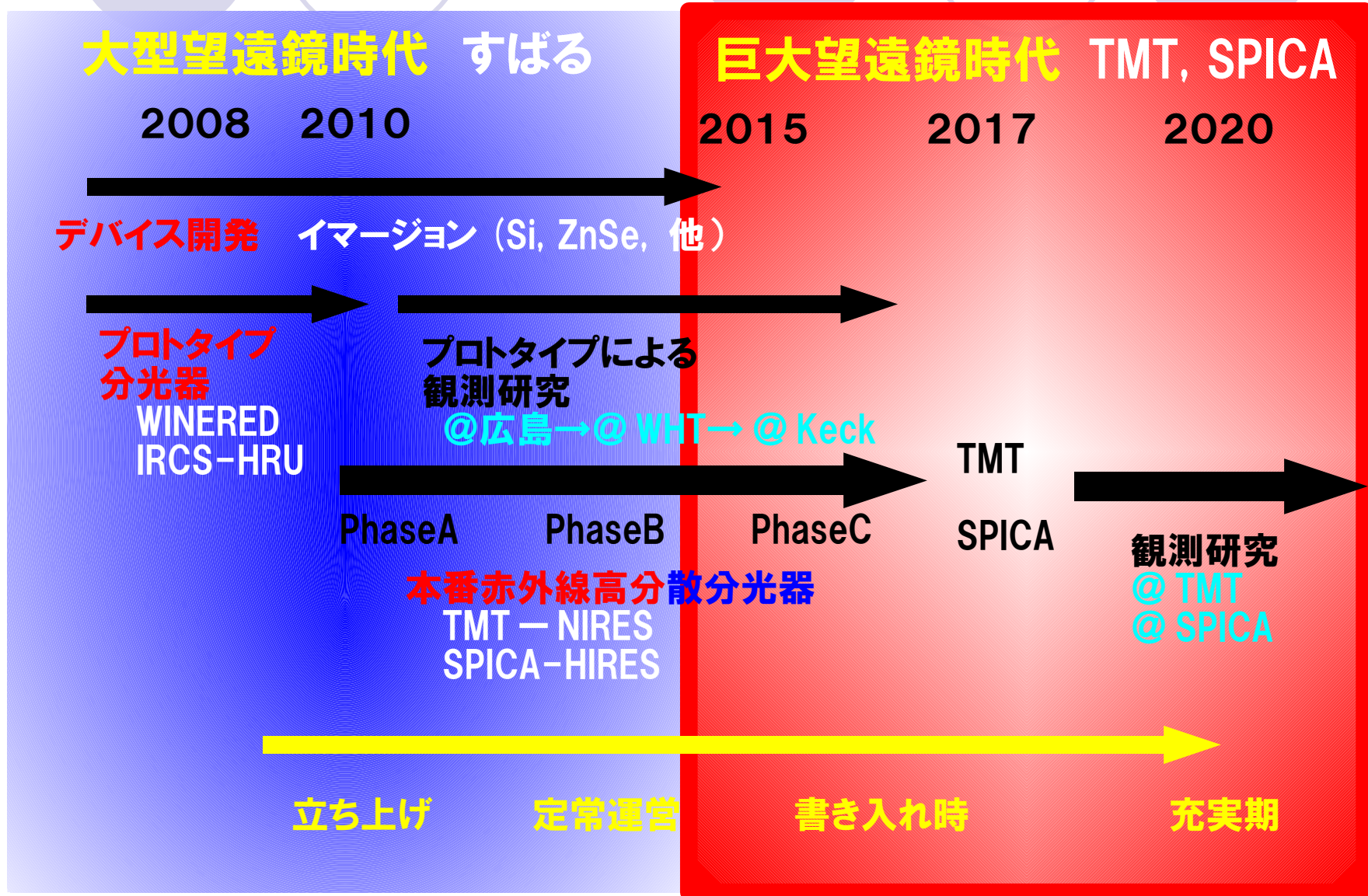
- ✓ 2005– Phase0 一般要素技術／一般プロトタイプ
- ✓ 2009– PhaseA 要素技術／プロトタイプ  
2009.12 TMT へ提案
- ✓ 2011– PhaseB 概算／製作開始
- ✓ 2016.12? TMT ファーストライト
- ✓ 2017– PhaseC 立ち上げ
- ✓ 2018? TMT 近赤外高分散ファーストライト

\* PhaseB 以降は大学にはかなり長いタイムスケール

## □ 予算

- ✓ PhaseA ~ 1億
- ✓ PhaseB ~ 5–10億  
( ~50 man\*year? )

# 「赤外線高分散分光」タイムプラン





(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) E-ELT の目標に挙げられていた宇宙膨張の直接測定に使える？ (土居)

(A) E-ELT は口径 40m 強、TMT は口径 30m なので難しいかも知れない。しかし検出器の効率を向上させることで口径を大きくすると同様の効果は得られる。

(Q) イメージョン・グレーティングは、装置が大型化すると大きな材料が必要になると思うが、その見通しはあるのか？ 場合によっては通常の大型グレーティングの方が良い可能性はないか？ (本原)

(A) AO を使うと観測装置全体をコンパクトにできる。しかし実際には VLT の CRIFES など大型のグレーティングで高い波長分解能を達成している装置も実存しているので、今後、巨大なグレーティングに戻ることもあり得る。

(C) 巨大なグレーティングはいろいろと問題を引き起こすので、口径が同じなら、イメージョン・グレーティングの方が良い。(海老塚)