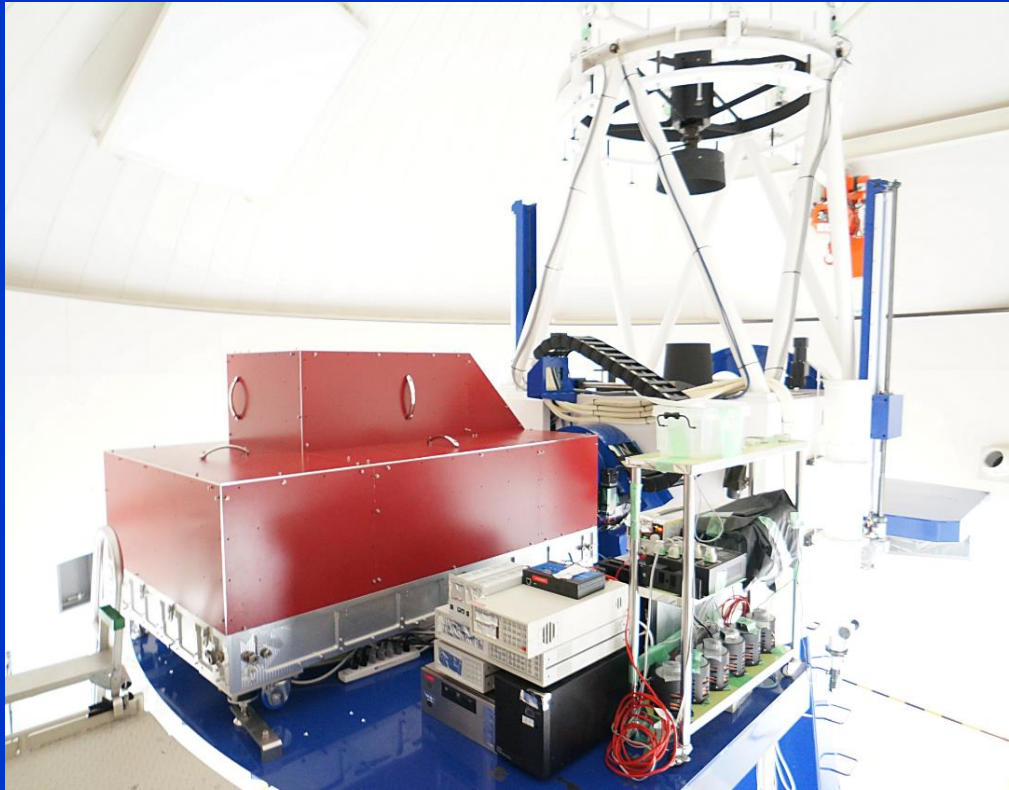


近赤外高分散分光器「WINERED」 広帯域モードの性能とR80,000モードの搭載

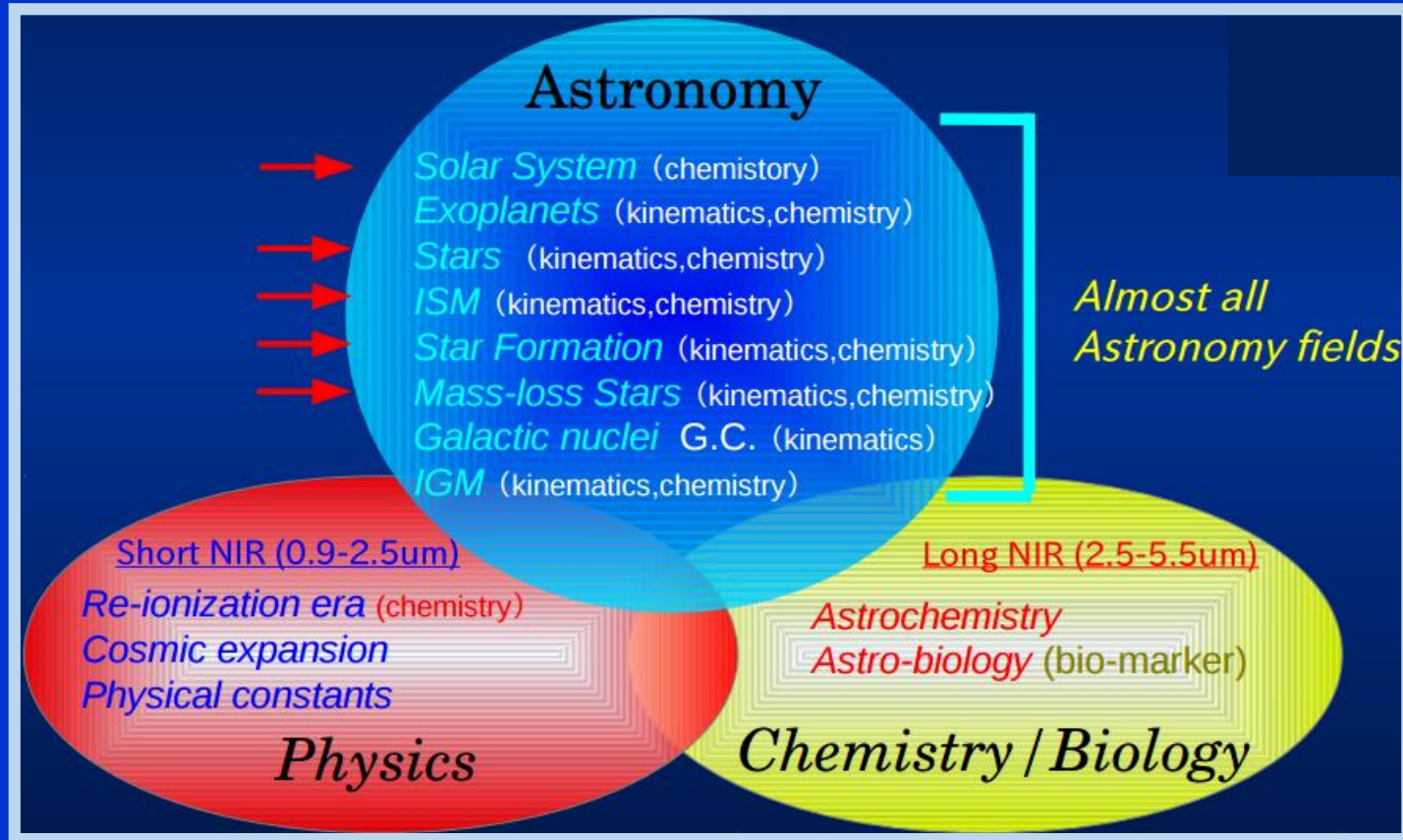


京都産業大学 理学研究科 修士1年 大坪翔悟

小林尚人、池田優二、松永典之、近藤荘平、鮫島寛明、濱野哲史、河北秀世
京都産業大学&東京大学、赤外線高分散ラボLIH

赤外高分散分光の利点

- 高分散分光: 運動学、化学組成の情報が直接的に得られる
- 赤外線: 低温星や星間媒質に埋もれた領域の観測が可能



広い分野へ本質的なデータ提供ができる、重要な観測手法

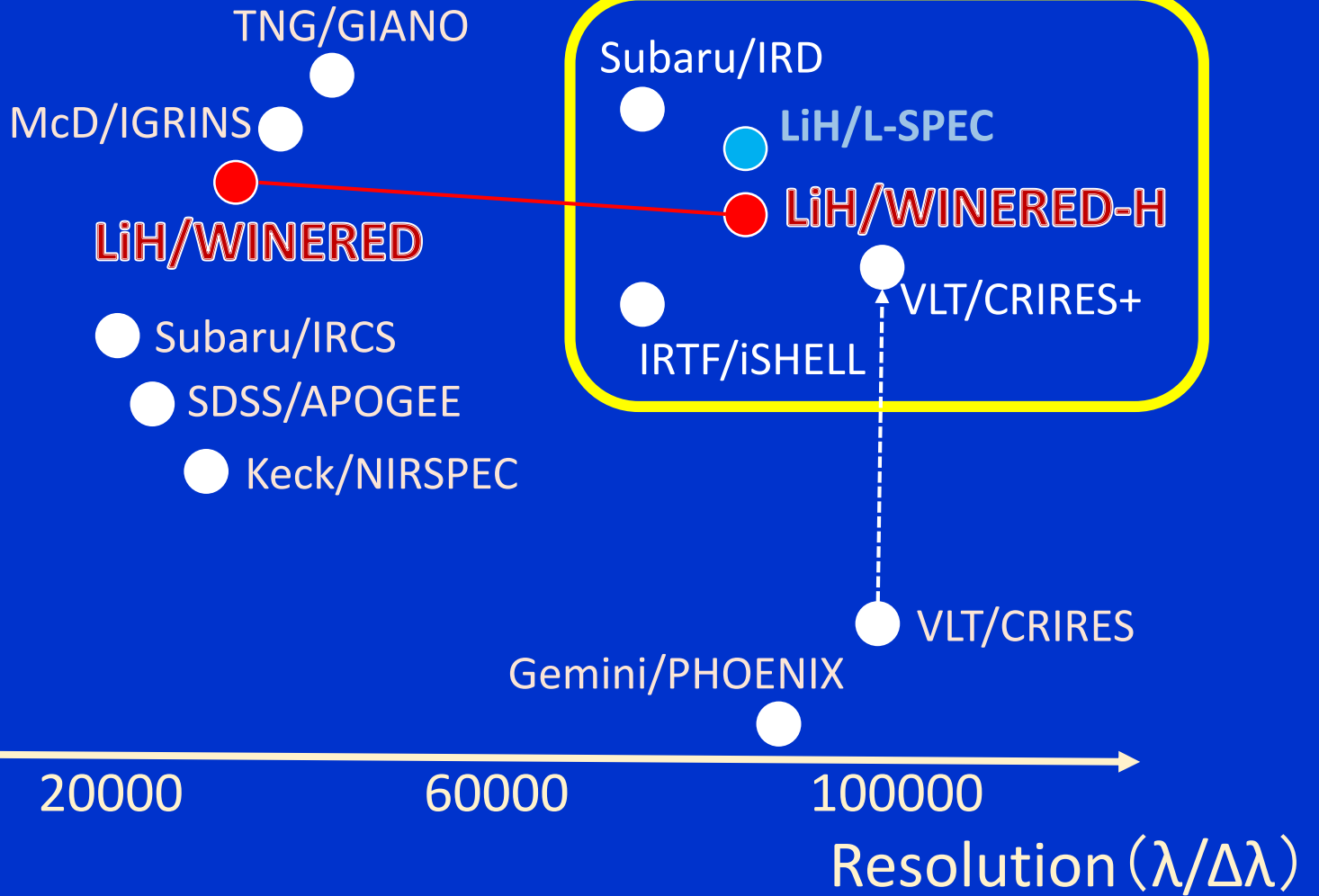
世界の近赤外高分散分光器の現状

	Telescope	Wavelength range (μm)	Slit Width	Resolution (Rmax)	Throuput (%)	Coverage
CRIRES (CRIRES+)	VLT 8.2m	1 - 5	0.2"	100,000	<15	$\lambda/70$ ($\lambda/5$)
PHOENIX	4m	1 - 5	0.2"	80,000	<13	$\lambda/200$
NIRSPEC	Keck 10m	0.95 - 5.5	0.43"	25,000	<15	$\lambda/10$
IRCS	Subaru 8.2m	1 - 5	0.15"	20,000	15	$\lambda/6.5$
APOGEE	SDSS 2.5m	1.51 - 1.70	0.5"	22,500	~15	$\lambda/8$
WINERED (w/high blazed)	Araki 1.3m	0.91 - 1.35	1.5"	28,300 (80,000)	~50	$\lambda/3$ ($\lambda/5$)
IGRINS	McD 2.7m	1.49-2.46	0.68"	40,000	??	$\lambda/2$
GIANO	TNG3.5m	0.95 - 2.45	0.5"	50,000	<15	$\lambda/1.3$
iSHELL	IRTF 3m	1.2 - 5	0.25"	80,000	15	$\lambda/10$
IRD	Subaru 8.2m	0.97 - 1.7	0.3"	70,000	-	$\lambda/1.7$
L-SPEC(仮名)	Any 8-30m	2-5.5	0.18"	80,000	~50	$\lambda/3$

世界の近赤外高分散分光器の現状

Coverage

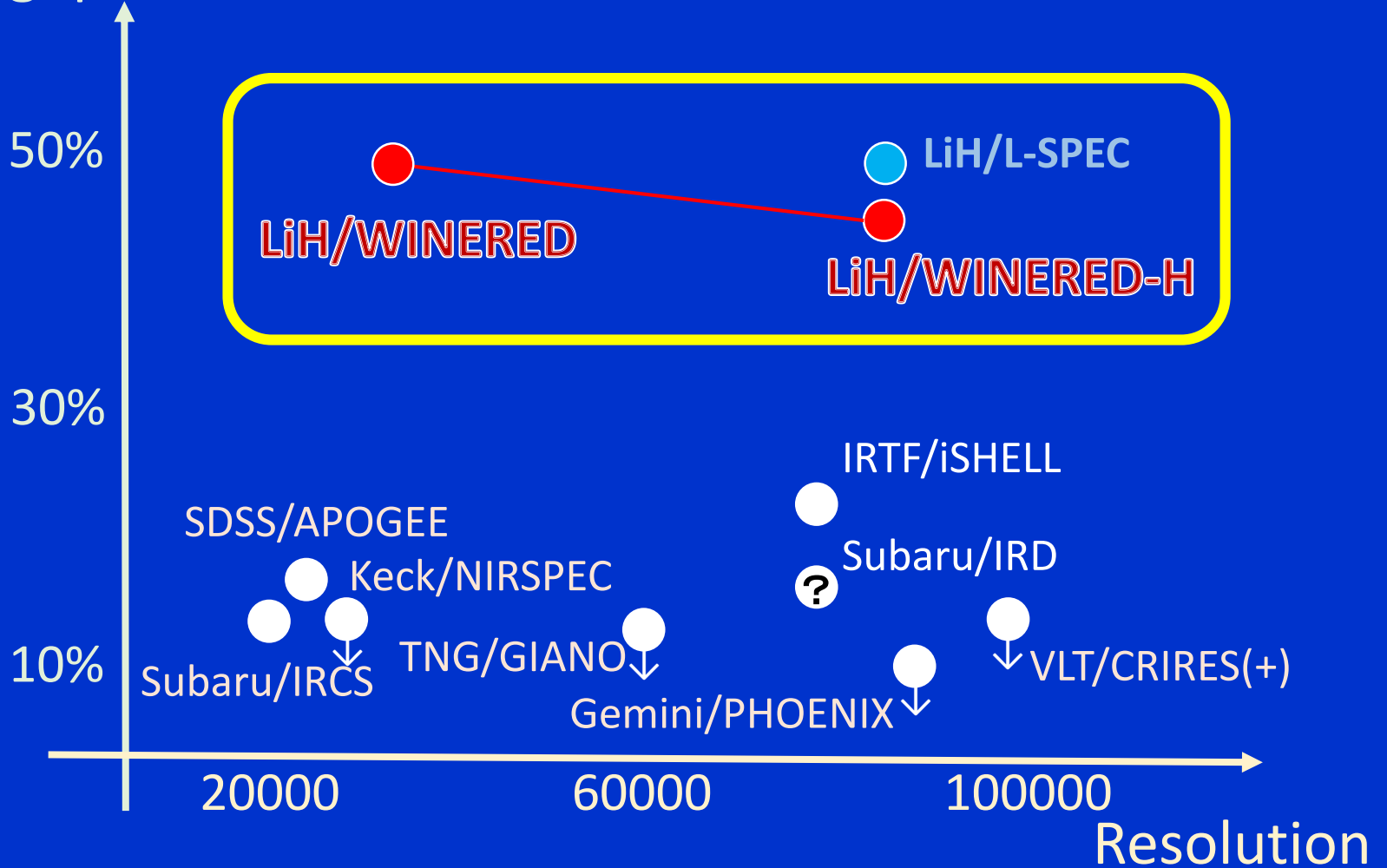
$\lambda/1$



Resolution ($\lambda/\Delta\lambda$)

世界の近赤外高分散分光器の現状

Throughput



赤外線高分散ラボLiH

Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy

LiH
赤外線高分散ラボ
Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy

ラボについて About us | トピックス Topics | メンバー Members | プロジェクト Projects | 研究成果 Research

|| 「赤外線高分散ラボ」について

赤外線高分散ラボ(LiH)は、国内外の研究者が集う世界屈指の赤外線高分散分光天文学の拠点です。
観測・装置開発といった手法を用いて、天文学および惑星科学における様々な研究テーマを推進しています。

News & Topics

- 2015.09.21 研究成果 : 更新しました。
- 2015.08.14 プロジェクト : 近赤外高分散分光器 WINERED の研究者向けページを公開しました。
- 2015.08.14 研究成果 : 更新しました。

神山天文台
KOYAMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY

京都産業大学 理学部
Faculty of Science

東京大学 大学院
理学系研究科・理学部
SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO

JAXA
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

- “赤外高分散分光”を主テーマとした天文学研究の遂行を目的に設立
- 京都産業大学神山天文台、東京大学大学院の研究者、学生などで構成
- 観測装置や新しい光学デバイスの開発も実施
- 惑星科学、星間物質、恒星など様々な分野の研究者の集いの場

赤外線高分散ラボLiHのプロジェクトと体制

WINERED

$\lambda = 0.9 - 1.35\mu\text{m}$

$R_{\text{max}} = 80,000$

○松永(東大)

○近藤(京産大)

○鮫島(京産大)

○濱野(京産大)

○新井(京産大)

河北、池田(京都産業大学) & 小林(東京大学)

○猿楽(東大)

○加地(京産大)

○猿楽(東大)

○近藤(京産大)

○新崎(京産大)

Immersion
Grating

$\lambda = 0.9-20\mu\text{m}$ での
イメージンググレーティングの実現

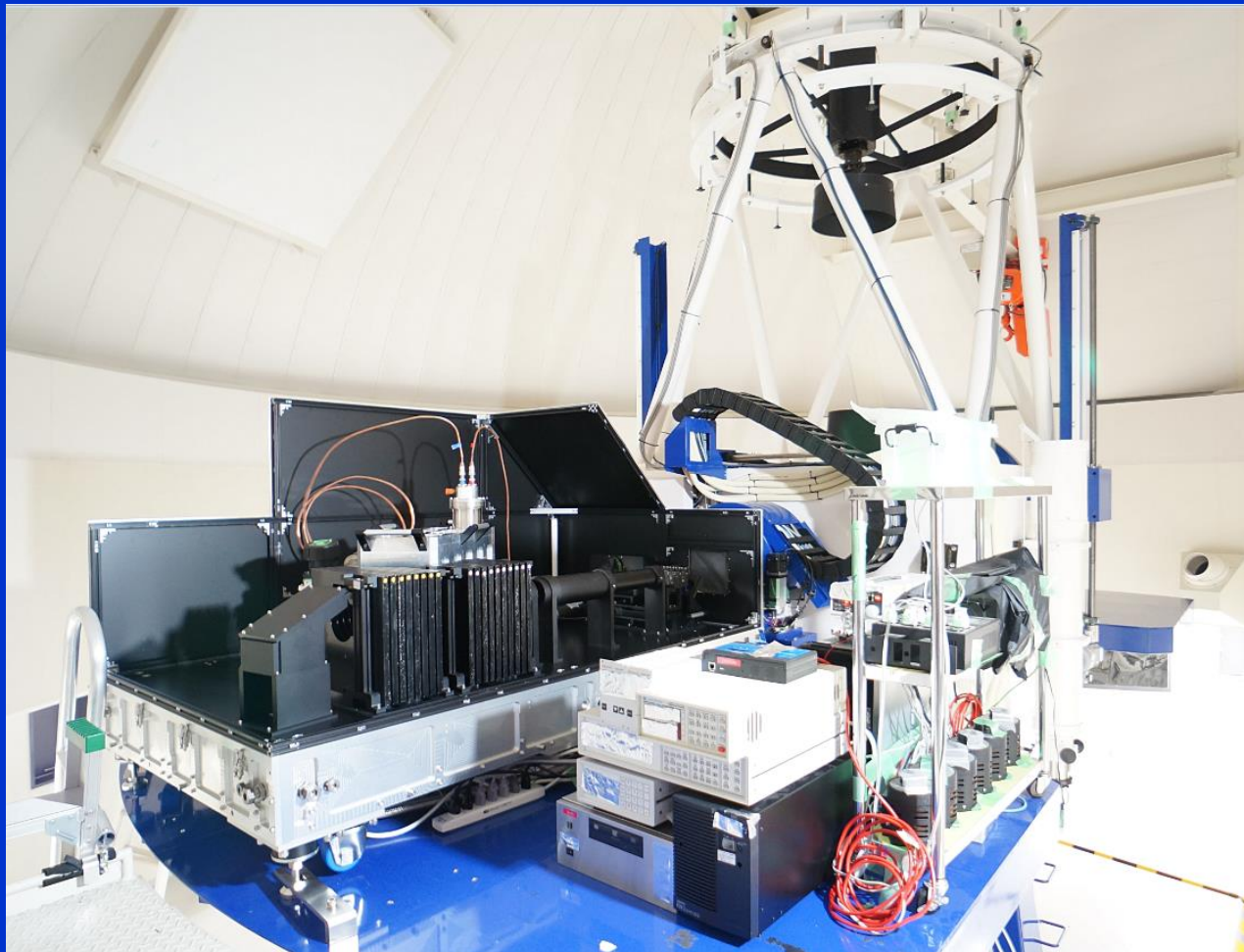
L-SPEC

$\lambda = 2.1 - 5.5\mu\text{m}$

$R = 80,000$

w/Ge immersion Gr.

近赤外高分散分光器「WINERED」 広帯域モードの紹介



WINEREDの仕様

高感度かつ高波長分解能を非冷却で実現した近赤外高分散分光器

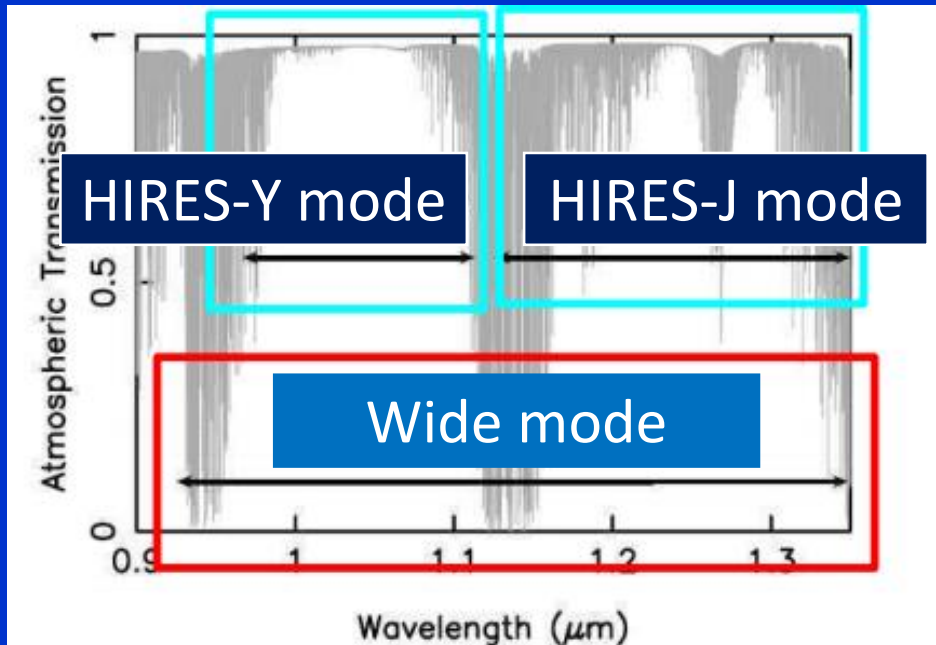
	広帯域モード
(一度の露光で得られる)波長域	0.91 – 1.35 μ m (z,Y,J)
波長分解能 R	$R_{max}=28,000$
スループット	~ 50 %
主分散素子	反射型エシエル (-ブレード角: 63.75deg -溝ピッチ31.6 lines/mm)
クロスディスペーザ	VPH (-ブラッグ角: 8.89deg -溝密度: 270 mm/lines)
限界等級	J ~ 13.1mag (※)
装置サイズ	1.8m(L) x 1.1m(W) x 1.0m(H)

※ 1.3m荒木望遠鏡に取り付けたとき
(8hrs,S/N~30)

WINEREDの特徴①

Warm INfrared Echelle spectrograph to Realize Extreme Dispersion and sensitivity

★波長分解能 $R \sim 28,000$ で $0.9-1.35 \mu\text{m}$ を一度で取得

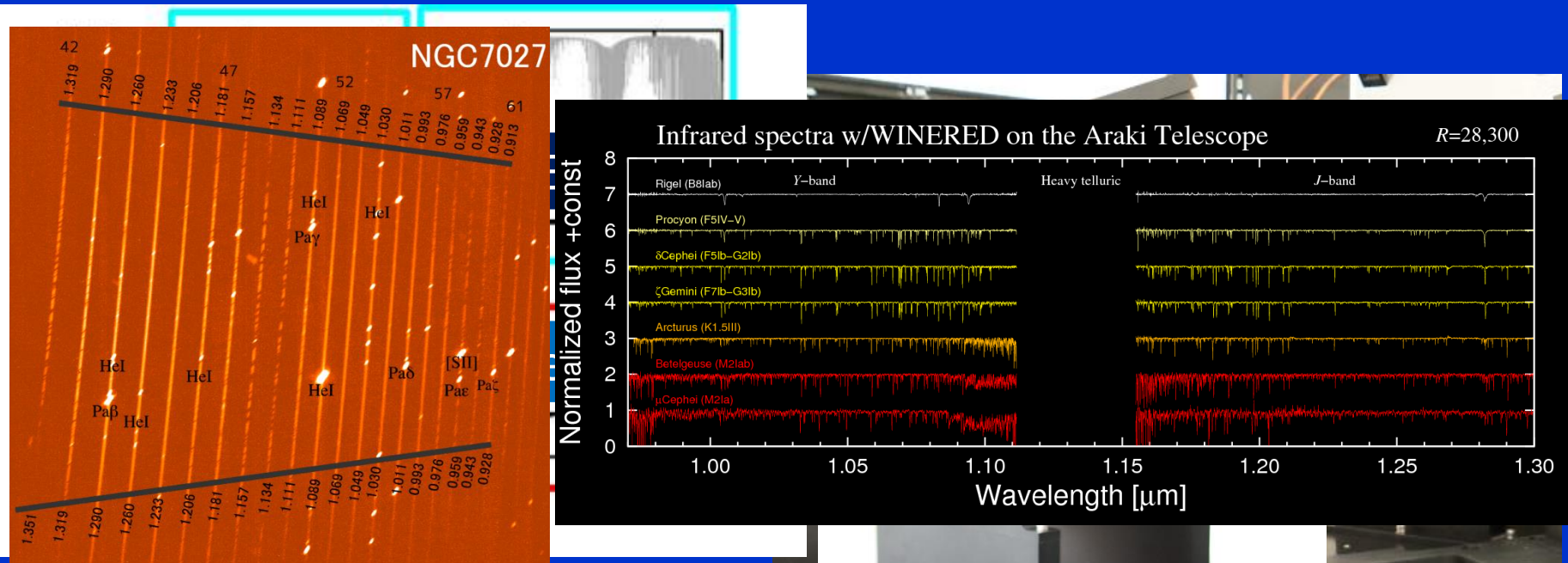


- エシェル型分光器系を採用
 - 反射型エシェルグレーティング
 - クロスディスパーザ: 透過型VPH
- 2K × 2K検出器 (HAWAII-2 RG 1.7 μm -cut off)

WINEREDの特徴

Warm INfrared Echelle spectrograph to Realize Extreme Dispersion and sensitivity

★波長分解能 $R \sim 28,000$ で $0.9-1.35 \mu\text{m}$ を一度で取得



エシェル分光器系を採用

- エシェルグレーティング: R2、金コート
- X-ディスペルザ: 透過型のVPH



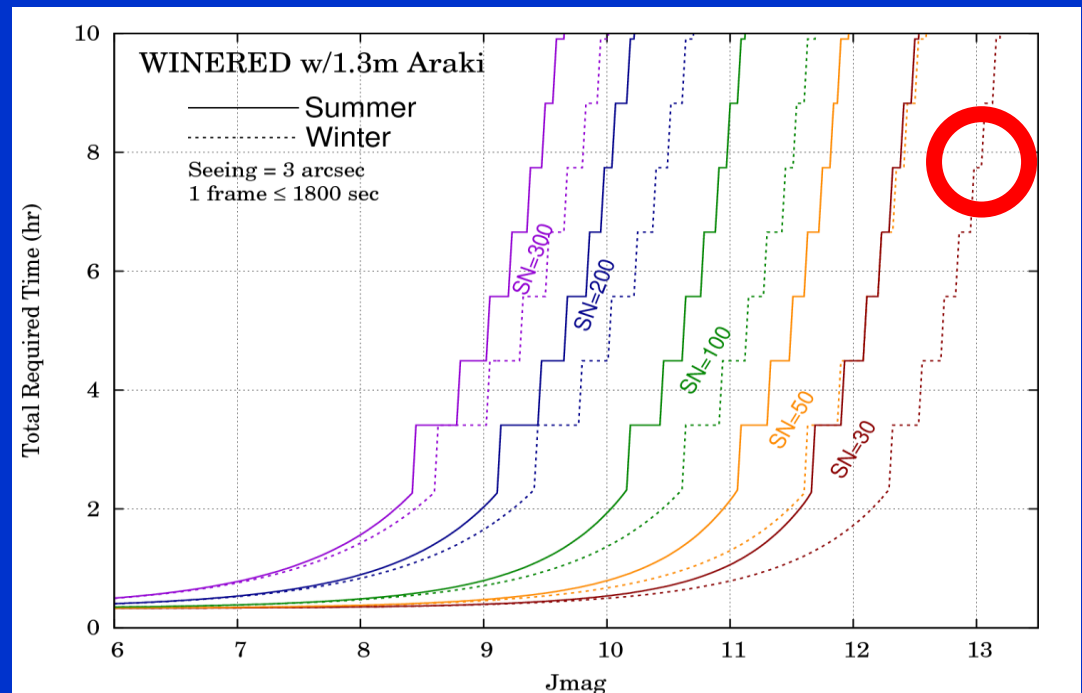
WINEREDの特徴②

Warm INfrared Echelle spectrograph to Realize Extreme Dispersion and sensitivity

★比類ない高スループットの実現(~50%)

- 光学素子数を最小限に: エシェル分光器型に主流のwhite-pupileタイプを用いない
- 高効率エシェルグレーティング: 高効率マスターを厳選(回折効率: 86%, Auコート)
- クロスディスペルザに透過型VPHを採用: 完全リトロ条件で使用(回折効率 86%)
- 透過率を極限まで高めたBBARコート($R < 0.5\%$)

Element	Efficiency
Collimator	$> 0.98^a$
Echelle grating	0.83^b
VPH X-disperser	0.86^c
Dewar window	0.94^d
Camera lenses	0.90^e
Thermal-cut filter	0.96^c
PK50	0.99^a
H-band cut filter	0.99^a
Total	> 0.56



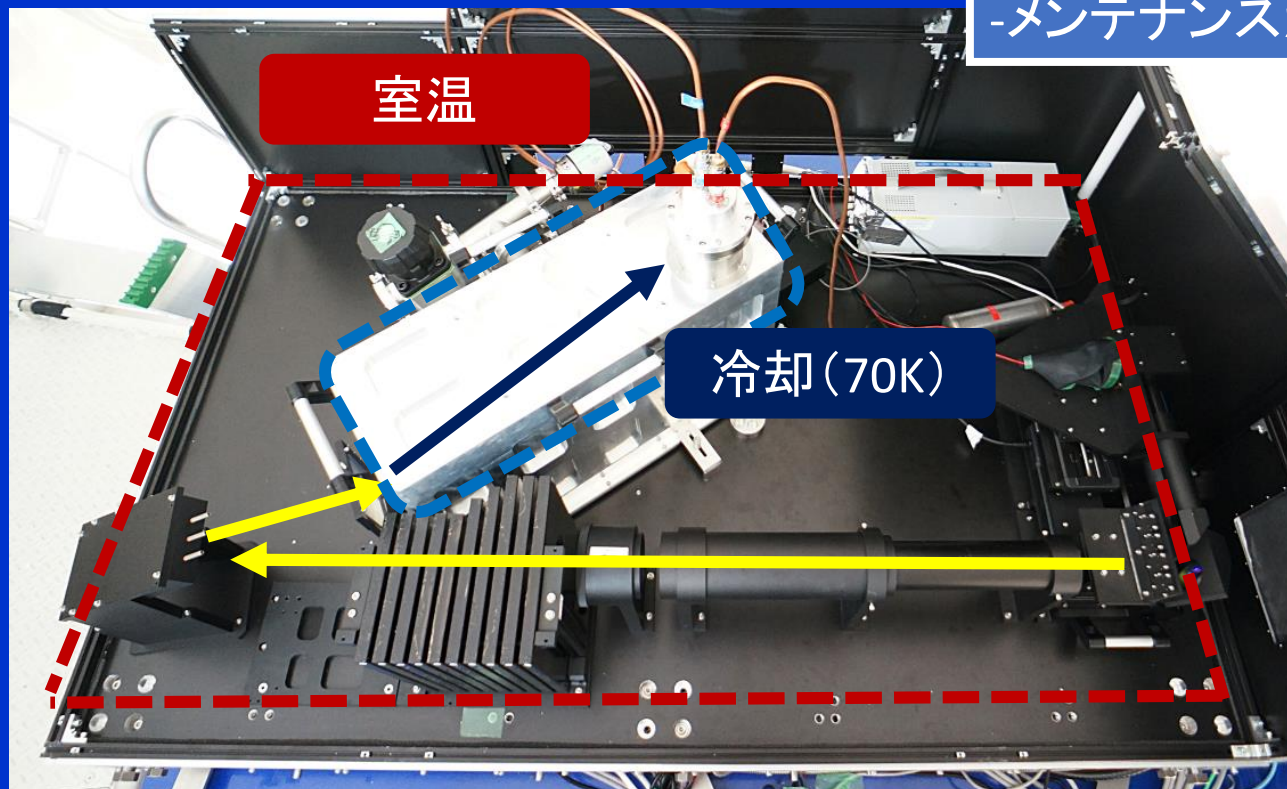
WINEREDの特徴③

Warm INfrared Echelle spectrograph to Realize Extreme Dispersion and sensitivity

★非冷却な光学系の実現

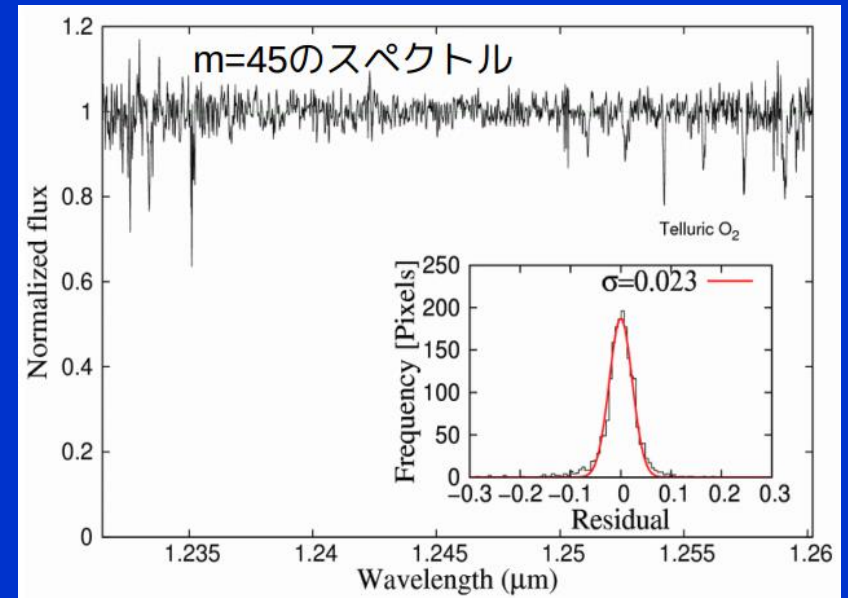
- HAWAII2-RG 1.7 μ mカットオフアレイ
- サーマルブロックフィルター(3種類のフィルター)

-開発期間の短縮
-低コスト
-メンテナンスが容易



取得データの質

- Glimpse9周辺天体 ($J \sim 9 \text{ mag}$, $A_v \sim 15$) がアバンドンス測定レベルのスペクトル (20-30minで $S/N \sim 100$)
Kondo+ in prep
- $J = 11.4 \text{ mag}$ (MR-1, 早期B型巨星) のスペクトルが積分時間3時間で想定通りの $S/N (= 40)$ を達成



可視光での分光観測と同等のサイエンス観測が可能

WINEREDのデータリダクション

●解析パイプラインの自動化(近藤、濱野)

-1次元スペクトルまでの自動解析パイプライン

(バッドピクセル除去、散乱光除去、スリット像傾き補正、波長較正)

-観測翌日には閲覧可能

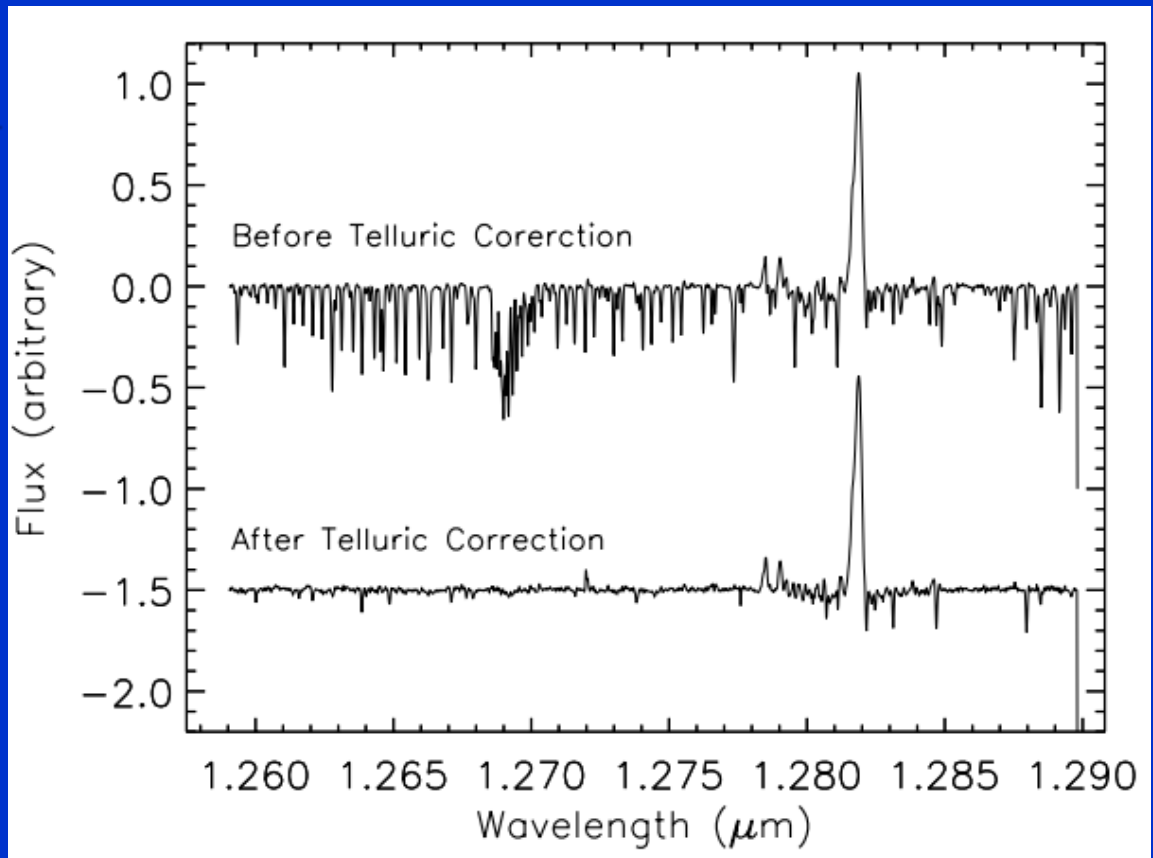
●大気吸収線の補正(鮫島)

-赤外高分散において、
重要なテーマ

-高S/N(> 500)を達成する、
補正方法の検討

-ゆくゆくはパイプラインへ
の組み込みへ

Sameshima+ in prep



WINEREDのサイエンスプログラム

●恒星

- 近赤外でのラインリストの作成(鮫島、北野、池田)
- 恒星基本パラメータの導出法確立(松永、近藤、池田)
- Ap/Am型星(池田)
- 超巨星の元素合成(近藤)
- OB型星(鮫島、濱野)
- クラスター(安井、泉)
- 炭素星(松永、河北、池田)

●変光星・突発天体

- セファイド(福江、松永)
- ミラ型変光星(松永)
- フレア星(前原)
- 新星(新井、河北)

●星周・星間物質

- DIB(濱野)
- PN、PPNe(濱野)
- BSG・BHG、LBV、WR星(水本)
- YSO:(安井)

●太陽系天体

- 彗星(河北)
- 惑星(河北)

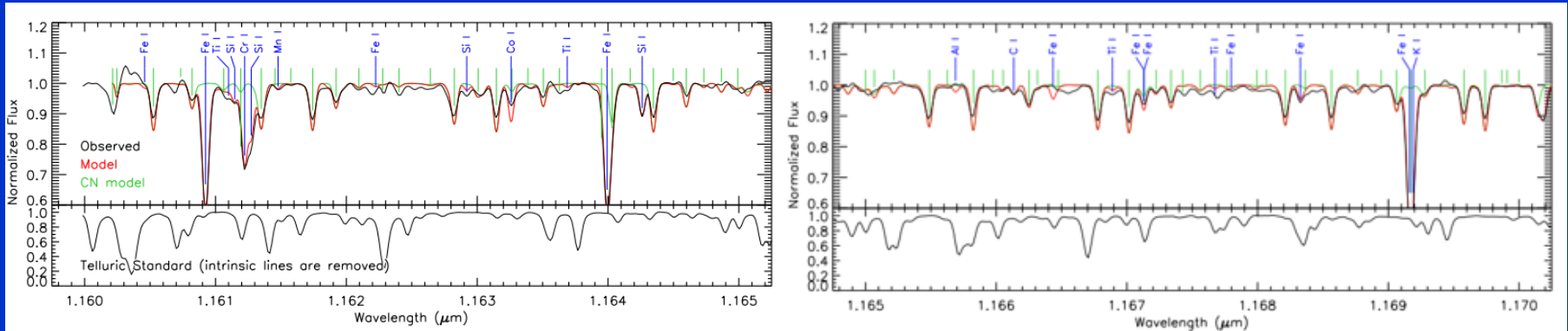
●銀河

- AGN(鮫島)

その他、外部ユーザーのプログラムも遂行中

広帯域モードの観測研究例

近赤外領域におけるラインリストの作成

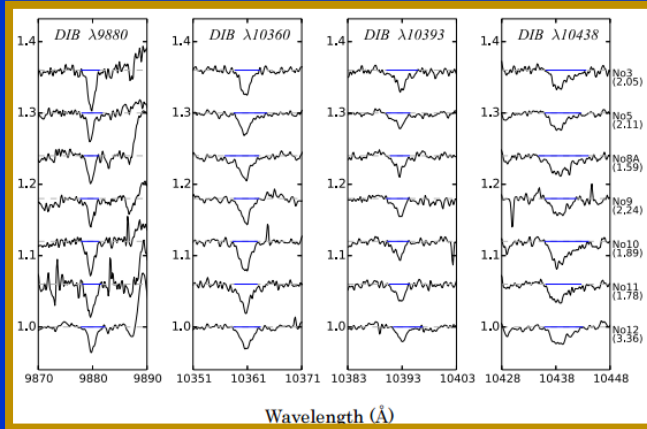


既存のラインリストよりも多くのラインを同定

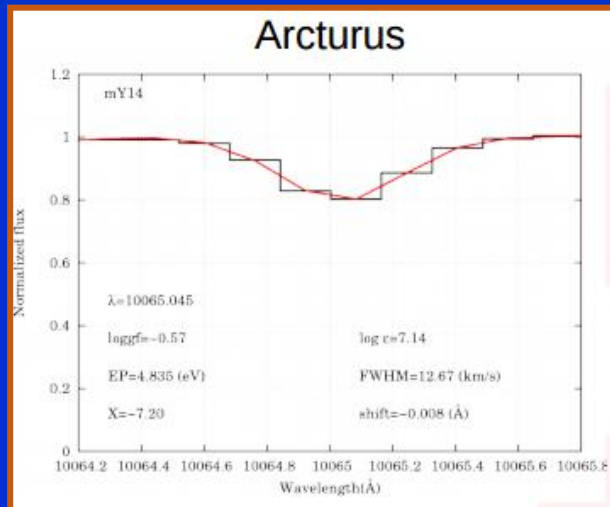
- K、G型星：2015年内に論文化 (Ikeda+ in prep)
- O、B型星：2016年前半にスペクトルアトラスをリリース (Sameshima+ in prep)
- 最終的には全てのスペクトルタイプを更新

広帯域モードの観測研究例

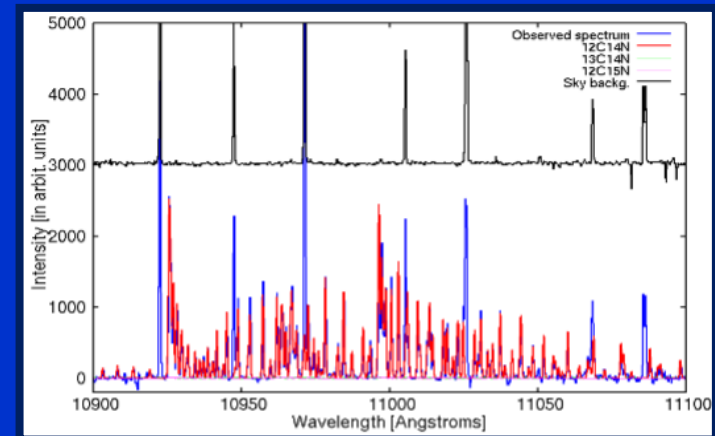
Diffuse Interstellar Bands (Hamano+ 2015, submitted to ApJ)



LBVの星周ガス構造の研究 (Mizumoto+ in draft)

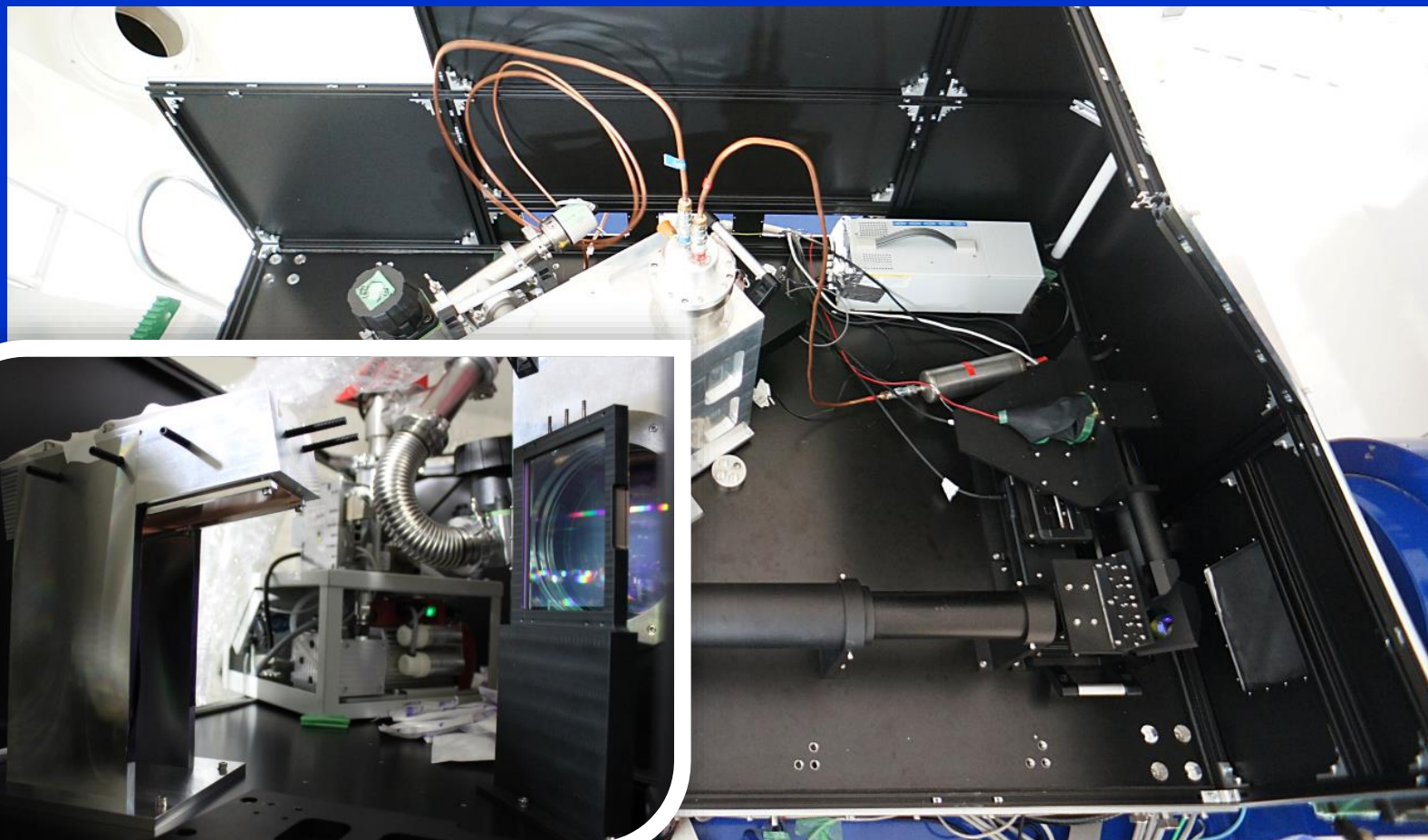


彗星のC/N同位体比 (Kawakita+ 2015)



近赤外線ラインを用いた晩期型星の元素組成の導出 (Kondo+ in draft)

超高分散モードの搭載



High-blazed echelle grating と Immersion grating

シーイングリミットでの波長分解能

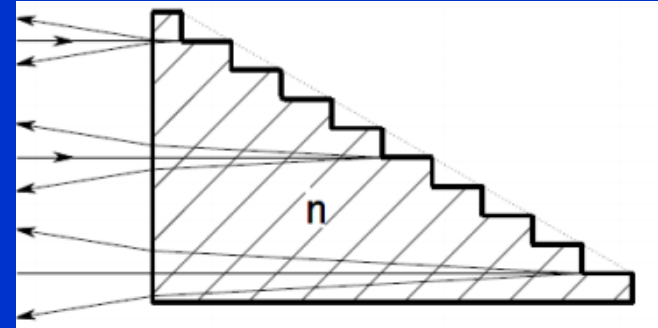
$$R_{max} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

$$= \frac{2n\Phi \tan\theta_B}{Ds}$$

n:媒質の屈折率 Φ :コリメータビーム径
D:望遠鏡の口径 s:スリット幅 θ_B :ブレイズ角

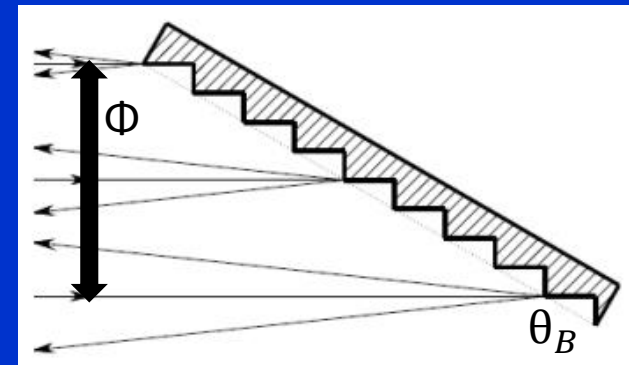
- ・どちらも高分散化のキーデバイス
- ・独自の着想から双方の開発を進めてきた

Immersion grating



硝材の屈折率nだけ大きくする

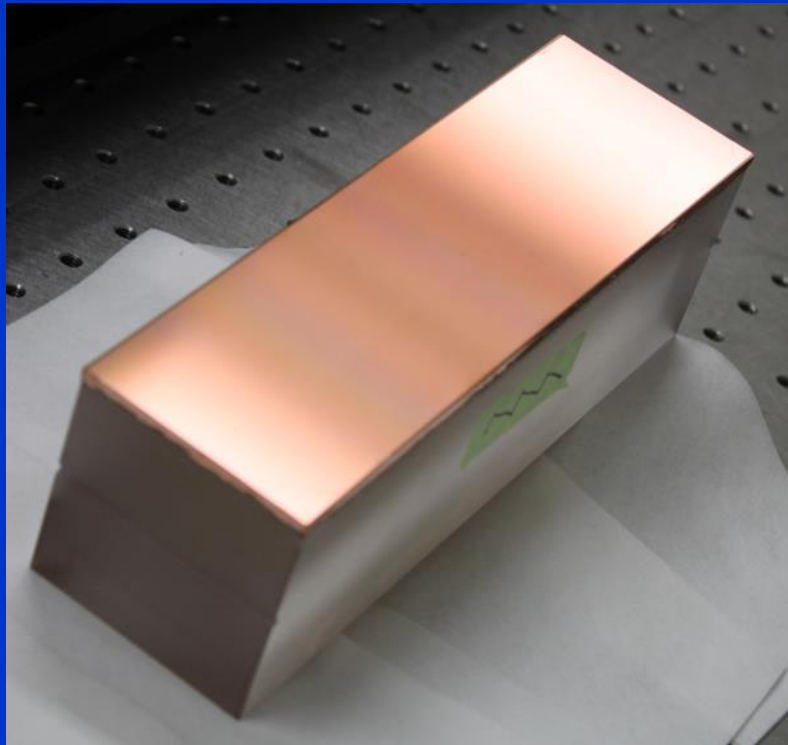
High-blazed echelle grating



ブレイズ角の $\tan\theta_B$ だけ大きくする

High-blazed echelle grating

フォトコーティング、キヤノン株式会社およびLiHの共同開発



	性能仕様規格
ブレード角	79.32° (R5.3)
溝ピッチ	90.38μm
頂角	88°
ローカルピッチエラー	< 8nm (rms)
面精度	< 150nm (PV)、< 30nm (rms)
格子面粗さ	RMS < 10nm
ローランドゴースト強度	主回折光強度に対して < 0.1%
回折効率	> 70% @1.5um
コーティング	protected Ag
サイズ	400mm × 60mm × 60mm 200mm Lを2個モザイク

紫外線エキシマレーザー用途グレーティングから近赤外線高分散分光器への応用を着想
(Ikeda 2008)

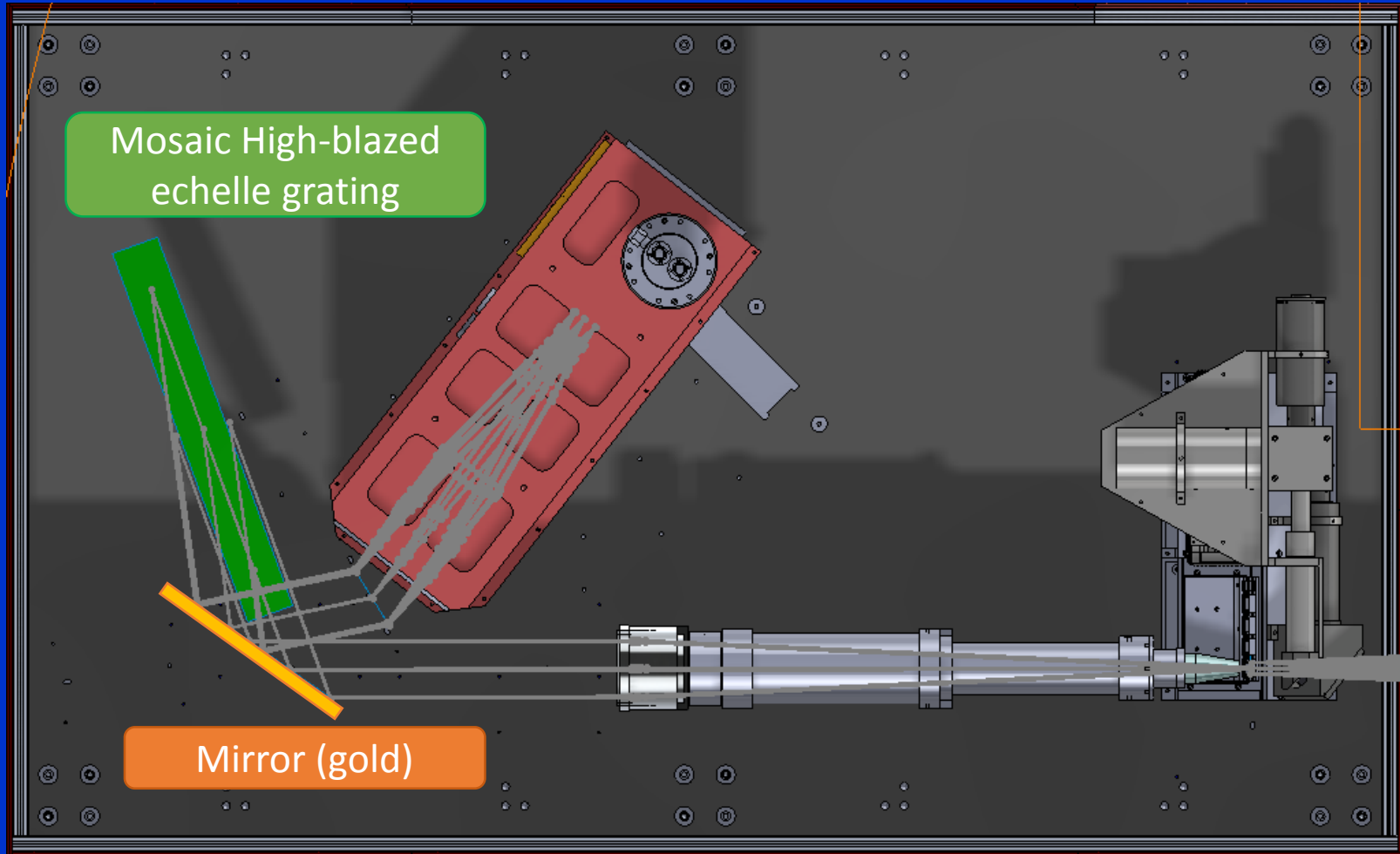
超高分散モードの仕様

	広帯域モード	超高分散モード	
(一度の露光で得られる)波長域	0.91 – 1.35 μ m (z,Y,J)	0.96–1.11 μ m (Y)	1.14–1.35 μ m (J)
波長分解能 R	Rmax=28,000	R ~ 80,000 (center of order)	
スループット	~ 50 %	~ 40 %	
主分散素子	反射型エシエル (R2)	反射型ハイブレード (R5.3) \times 2 (モザイク)	
クロスディスペーザ	Wide mode VPH	HIRES-Y mode VPH	HIRES-J mode VPH
限界等級	J ~ 13.1mag (※)	J ~ 11.9mag (※)	
装置サイズ	1.8m(L) x 1.1m(W) x 1.0m(H)		

※ 1.3m荒木望遠鏡に取り付けたときの値
(8hrs,S/N=30)

近赤外高分散分光で世界で初めて、超高分散と高感度の両立にチャレンジ

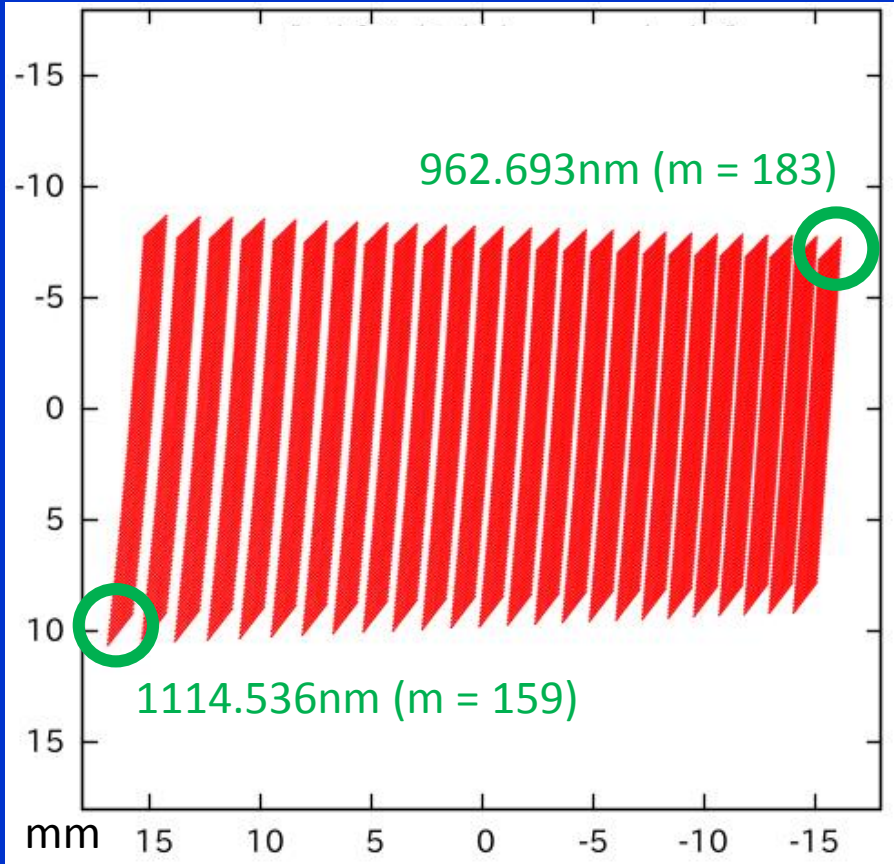
超高分散モードの光学レイアウト



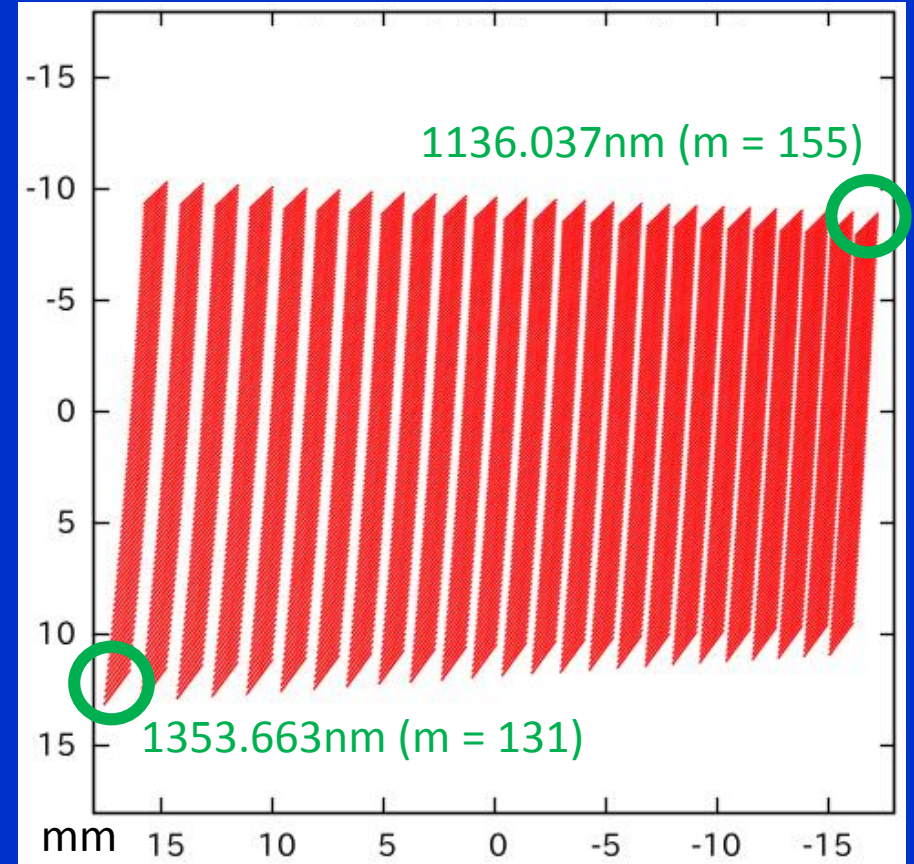
他の光学素子を動かさずに、HIRES modeを実現

超高分散モードのエシェルグラム

HIRES-Y mode



HIRES-J mode

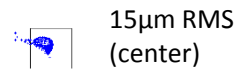
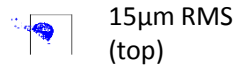
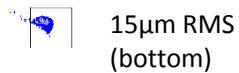


超高分散モードのスポットダイアグラム

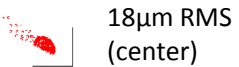
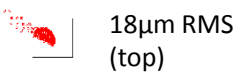
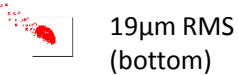
HIRES-Y mode

m = 159

1107.549nm

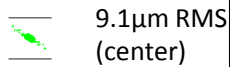
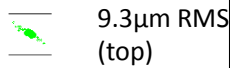
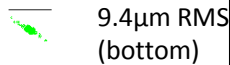


1114.536nm



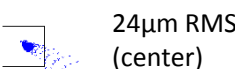
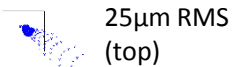
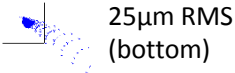
m = 170

1039.151nm

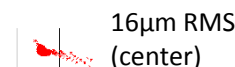
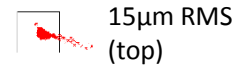
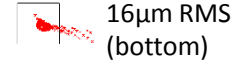


m = 183

962.693nm



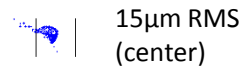
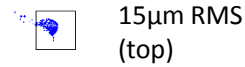
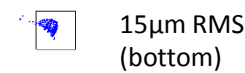
967.968nm



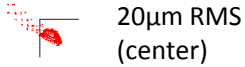
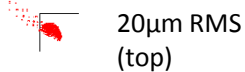
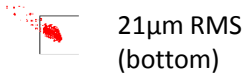
HIRES-J mode

m = 131

1343.369nm

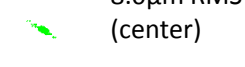
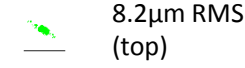
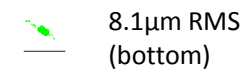


1353.663nm



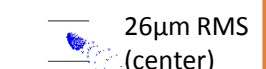
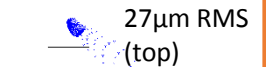
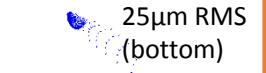
m = 141

1252.877nm

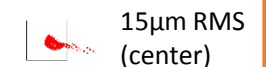
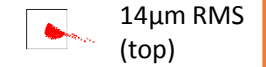
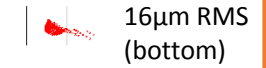


m = 155

1136.037nm



1143.39nm



全ての波長域でRMSが2pix size (36μm) 以内を達成

超高分散モード：これまで開発

2015年 3月 : 概念設計の完了、high-blazed echelle gratingの製作開始



2015年 7月 : high-blazed echelle gratingのテストピース1品完成



2015年 8月 : WINERED(1/2エリアのみで)搭載試験を実施



-波長分解能 $R \sim 70,000$ を確認

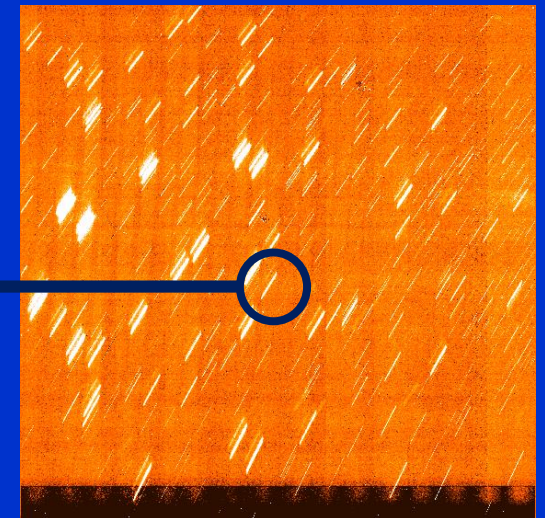
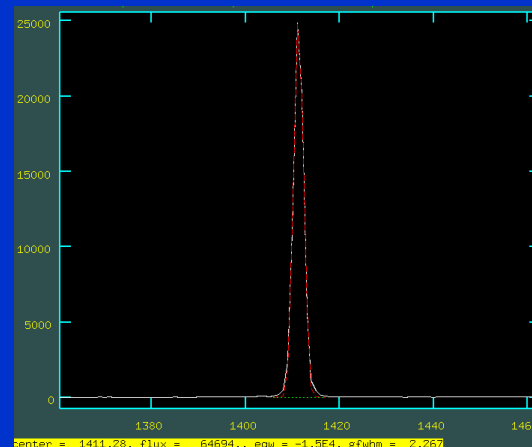


-予想通りの回折効率($\sim 70\%$)が得られていることを確認



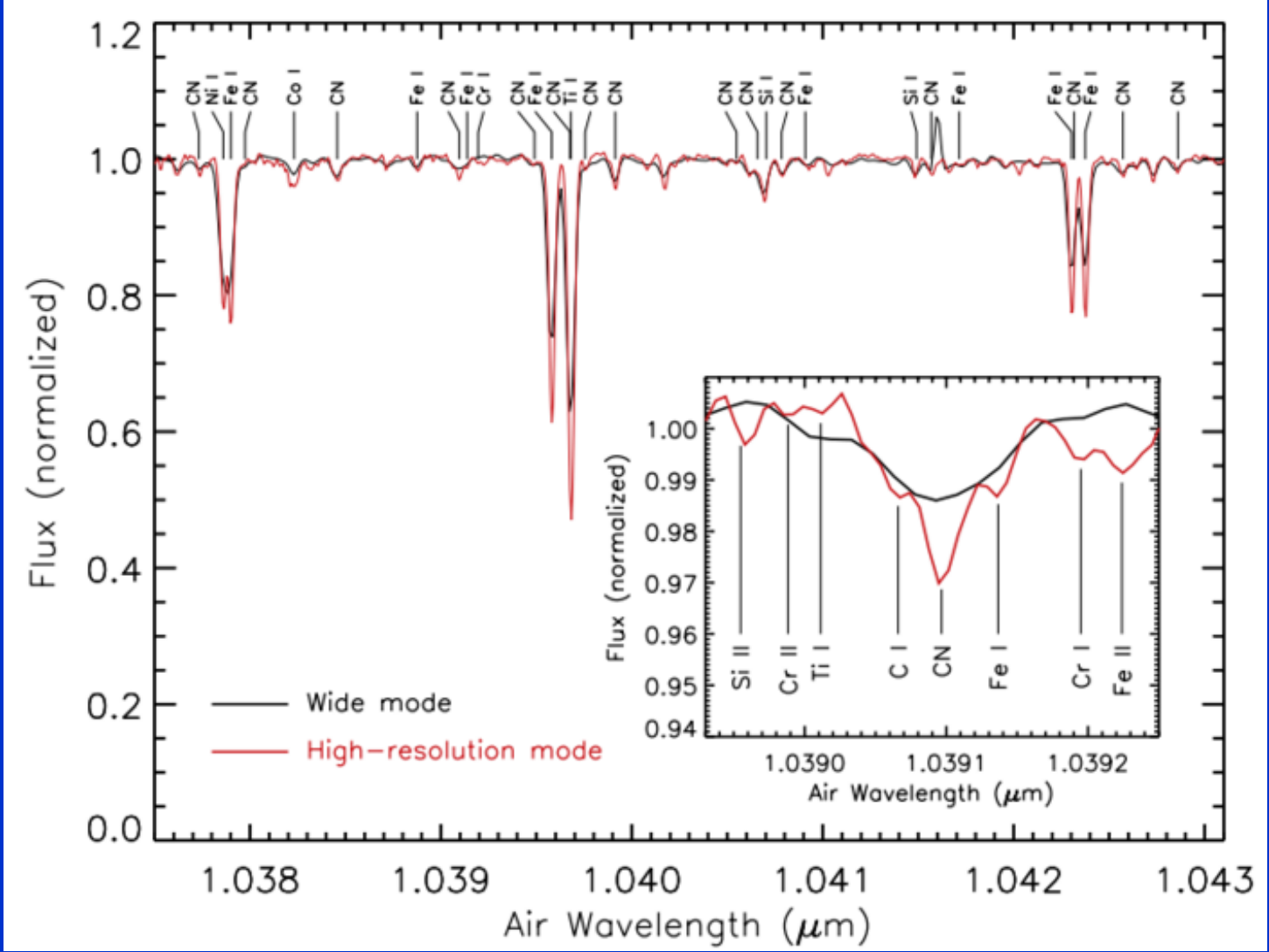
→サイエンスレベルのスペクトル

2015年 11月 : high-blazed echelle gratingの本番品(2ピース)納入



超高分散モード：試験観測結果

ARCTURUS(K1.5 III) HIRES-Y mode



まとめ

- WINEREDは赤外線高分散ラボLiHにて開発、運用している近赤外高分散分光器
- 広帯域モード(z,Y,J)は高波長分解能(R28,000) & 高感度(~50%)を達成
→京都の環境下と1.3m望遠鏡で海外3m級望遠鏡の高分散スペクトルを取得
- high-blazed echelle gratingを用いた超高分散モード(R80,000)の開発中
→2016年4月に本格運用を開始予定
- 2016年度より海外適地へ移動予定

2015年秋より、一部外部ユーザーに観測スペクトル、観測時間を開放

WINEREDのスペクトルを使って研究がしたい方は
“winered-contact(a)cc.kyoto-su.ac.jp”までご相談ください。

ご清聴ありがとうございます

