

B02計画1

岡山 3.8m せいめい望遠鏡 近赤外偏光撮像装置

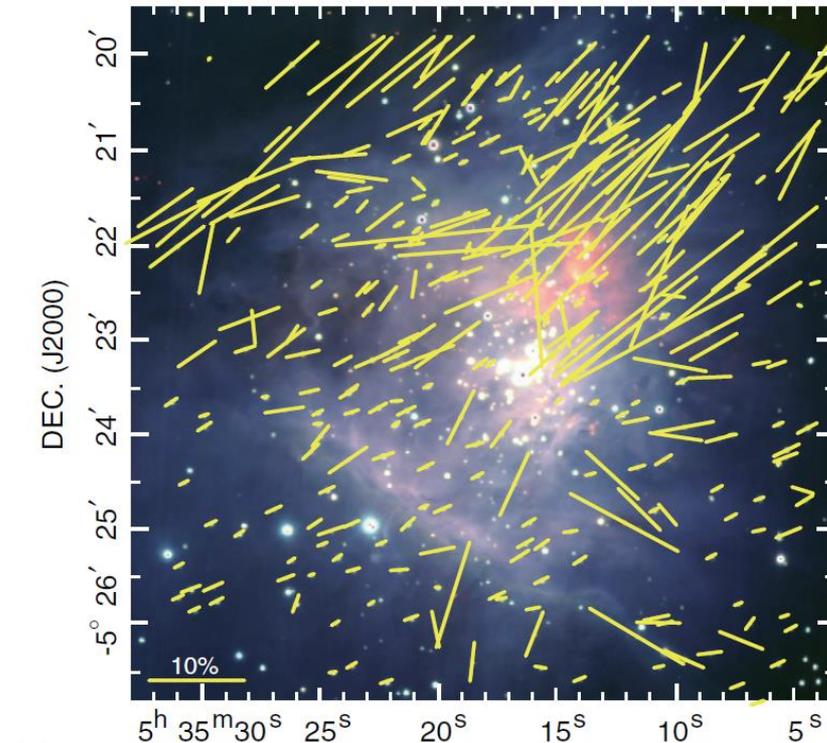
長田 哲也

せいめい望遠鏡 偏光撮像装置のめざすもの

3.8 m 望遠鏡に、J・Hs(同時?)撮像のカメラをつける

近赤外線 1.25、1.55 μm 視野3分角

偏光の両成分を同時に撮像するデュアルビーム型で、精度<0.1%



M42 (距離 450pc)

IRSF SIRPOL

もっと遠方で、もっと精度よく

IRSF SIRPOLのパラメータ

1.4 m 望遠鏡に、J・H・K_s同時撮像のカメラSIRIUSがついている
近赤外線 1.25、1.63、2.14 μm 視野8分角

偏光の一成分ずつを撮像するワンビーム型で、精度0.3%

Table 1. Performance of IRSF/SIRPOL

Field of View	7.7' × 7.7' (three 1k × 1k detectors, pixel scale = 0.45"/pixel)
Band	J (1.25 μm), H (1.63 μm), and K _s (2.14 μm)
Sensitivity	J = 19.2, H = 18.6, K _s = 17.3 mag (S/N = 5, effective exposure time = 60 min [15 min × 4 wave plate pos.])
Observation Efficiency	100 min for the default observing mode (exposure time = 60 min; 10 sec × 4 wave plate pos. × 10 dithering × 9 set)
Accuracy of Pol. Degree	δP = 0.3% for bright point sources: J < 15.0, H < 14.5, K _s < 13.0 mag δP < 1%: J < 16.5, H < 15.7, K _s < 14.5 mag δP < 3%: J < 17.5, H < 17.0, K _s < 15.7 mag
Accuracy of Pol. Angle	δθ < 3 degree
Correction Angle	105 degree (at JHK _s)
Polarization Efficiency	95.5 % at J, 96.3 % at H, and 98.5 % at K _s
Shortest Exposure Time*	1.6 sec

* Since SIRPOL has no warm-shutter currently, the shortest exposure time is limited to 1.6 sec depending on the shortest read-out time of the detectors.

Instrument

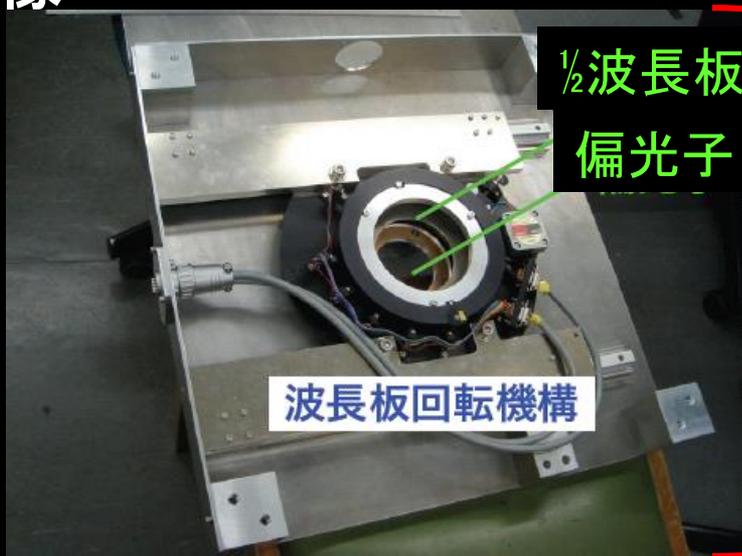
SIRPOL (SIRIUS polarimetry mode)

➤ 装置

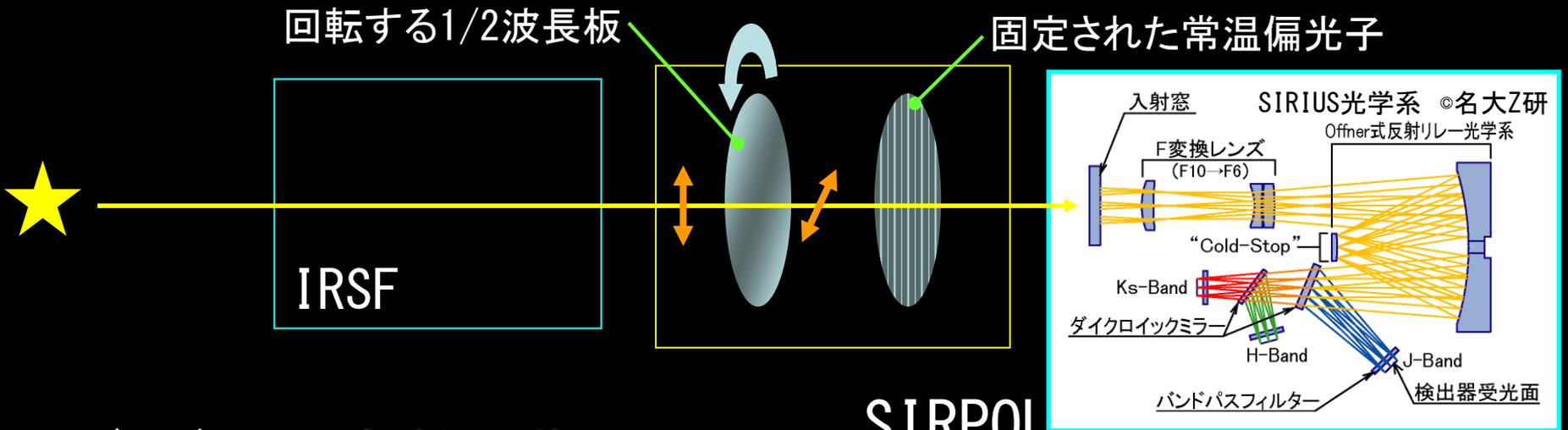
南アフリカで運用中の1.4m望遠鏡IRSFと近赤外三色同時撮像装置SIRIUSに取付ける偏光装置

➤ 特徴

- ・近赤外偏光装置としては最大の $\sim 8' \times 8'$ という広視野
- ・近赤外J(1.2), H(1.6) Ks($2.1\mu\text{m}$) 三色同時偏光撮像



SIRPOLの概要



シングルビームの直線偏光装置:

SIRPOL

0度→45度→22.5度→67.5度と1/2波長板を回転させて撮像。

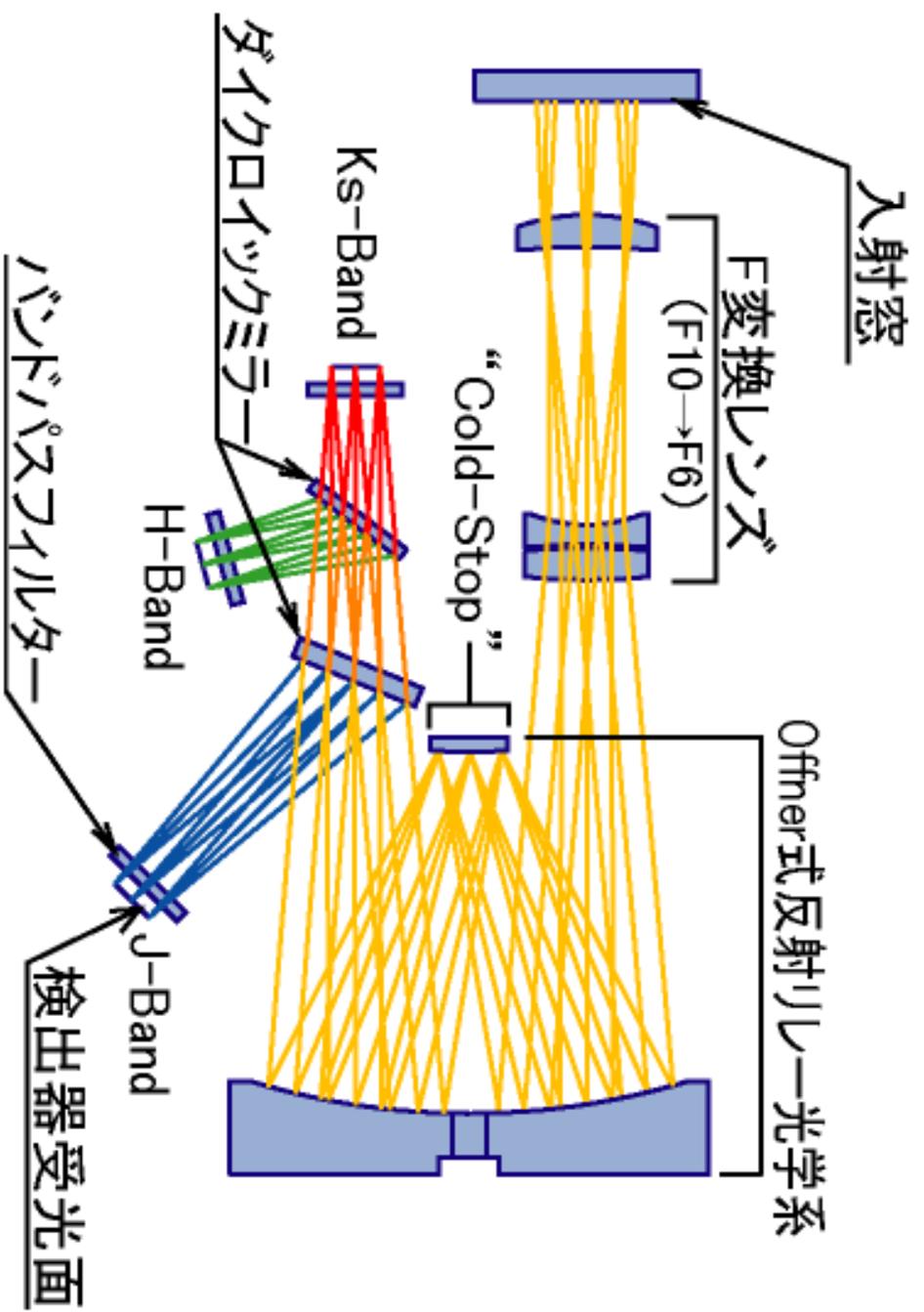
Stokes のパラメータから偏光度・偏光角を求める。

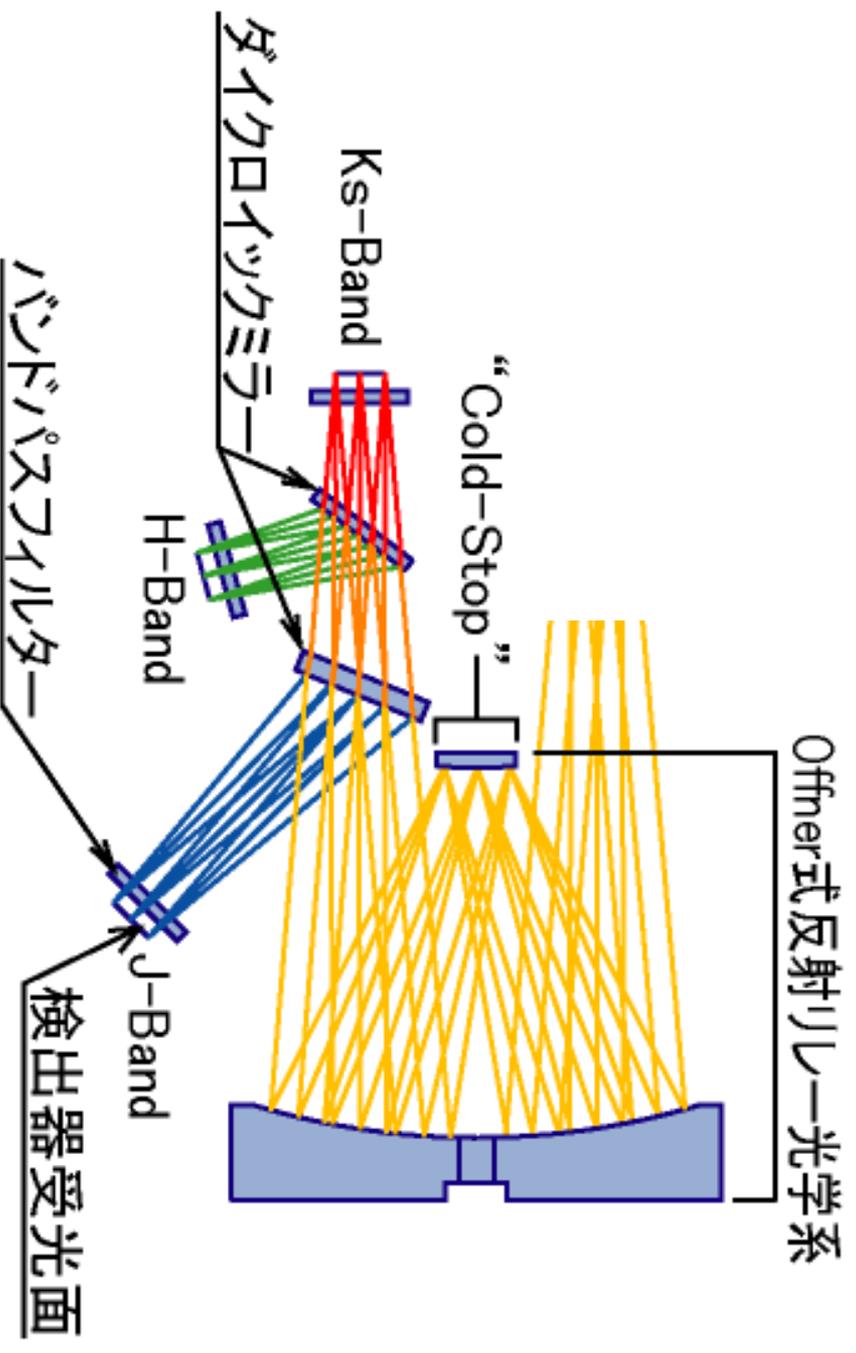
$$\text{Stokes I} = \{I(0^\circ) + I(45^\circ) + I(22.5^\circ) + I(67.5^\circ)\} / 2$$

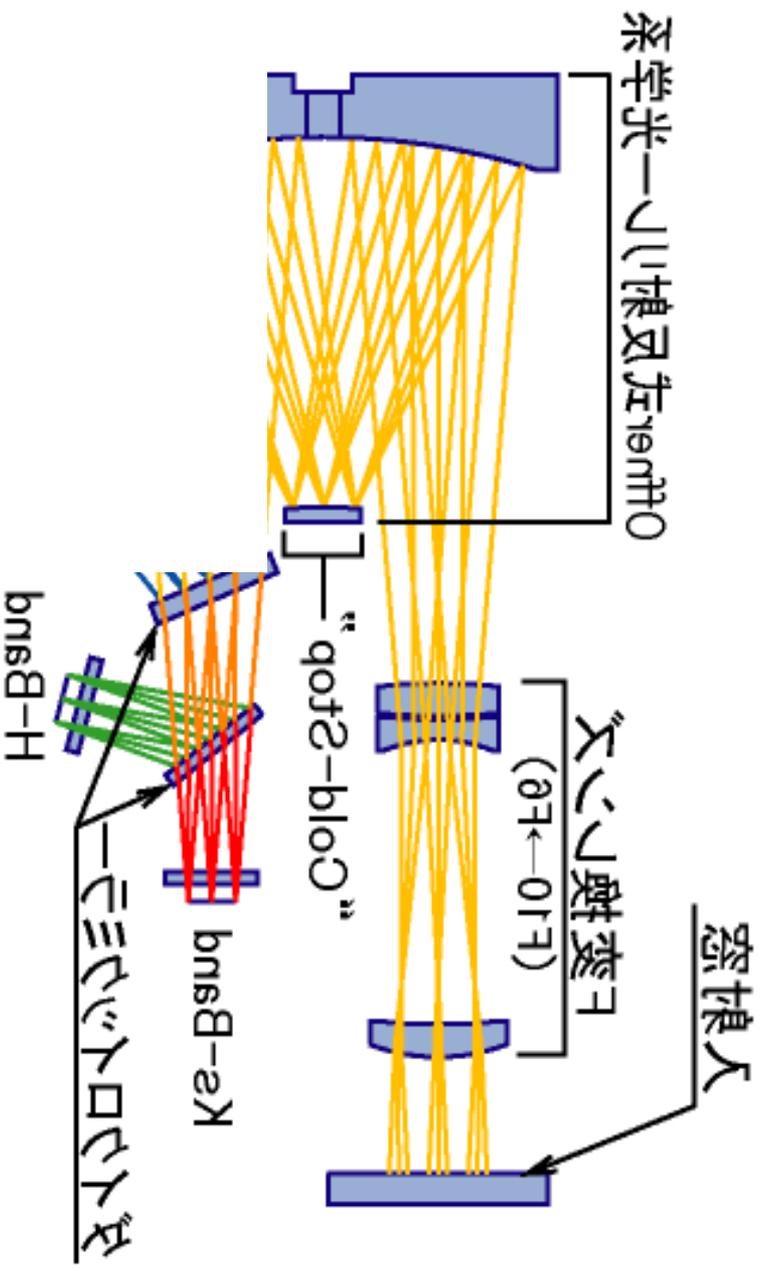
$$\text{Stokes Q} = I(0^\circ) - I(45^\circ), \quad \text{Stokes U} = I(22.5^\circ) - I(67.5^\circ)$$

$$\text{偏光度 } P = \text{sqrt}(Q^2 + U^2) / I$$

$$\text{偏光角 } \theta = (1/2) \text{atan}(U/Q)$$

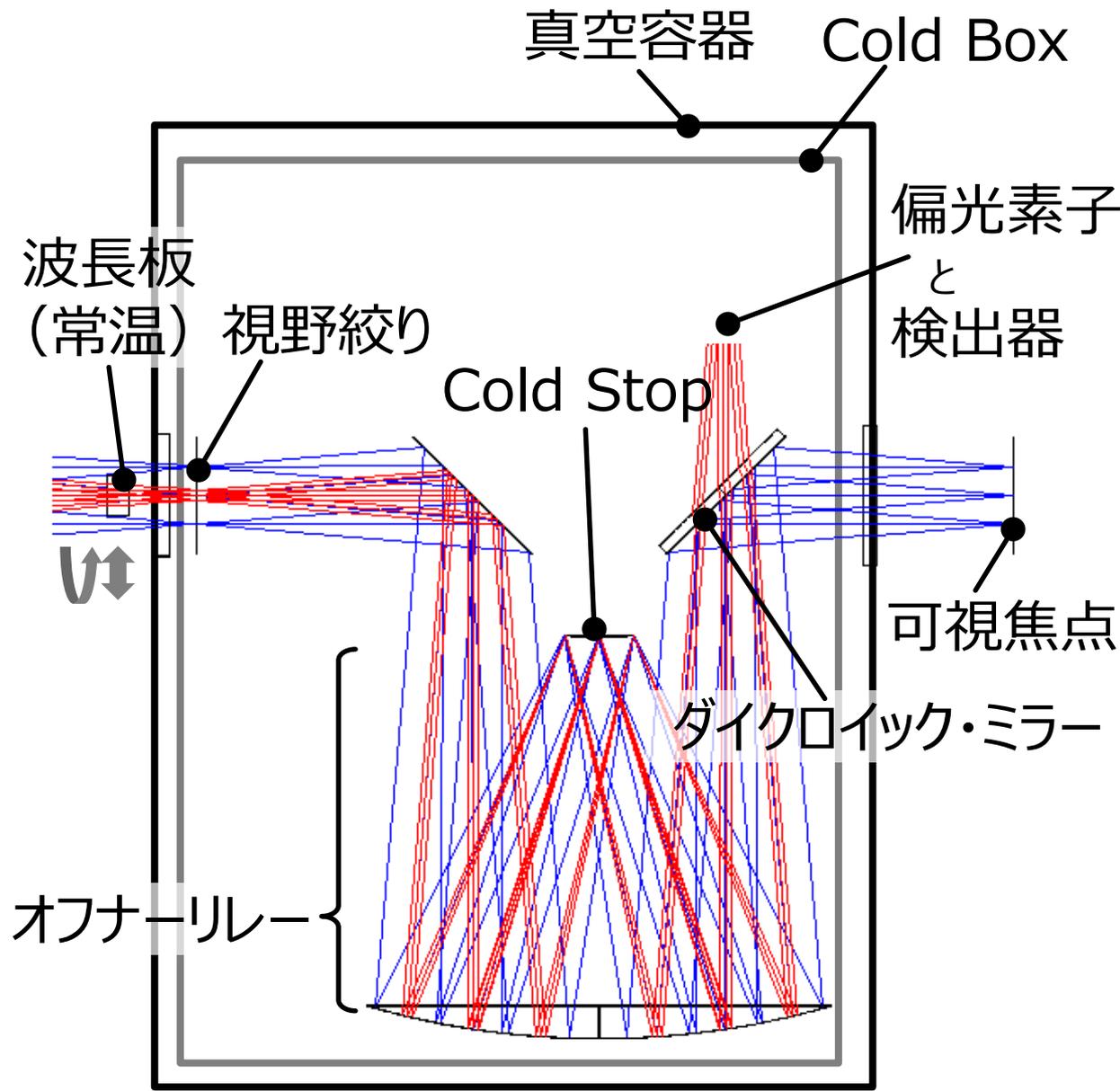




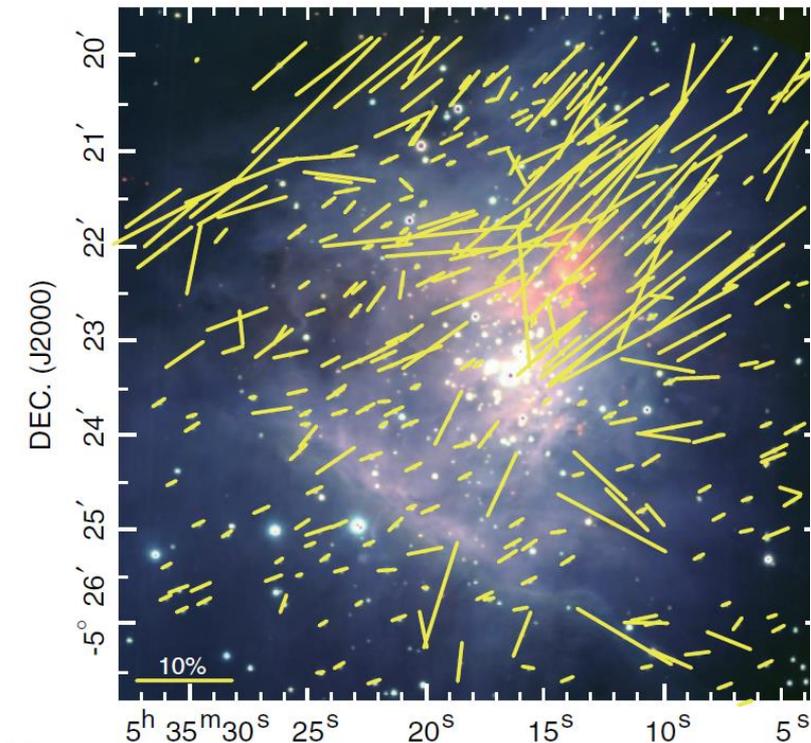


—スピン対変子—

!



M42 (距離 450pc) Kusakabe+ 2008



**H-band polarization vectors
for 314 sources**

磁場の様子がわかったと思う

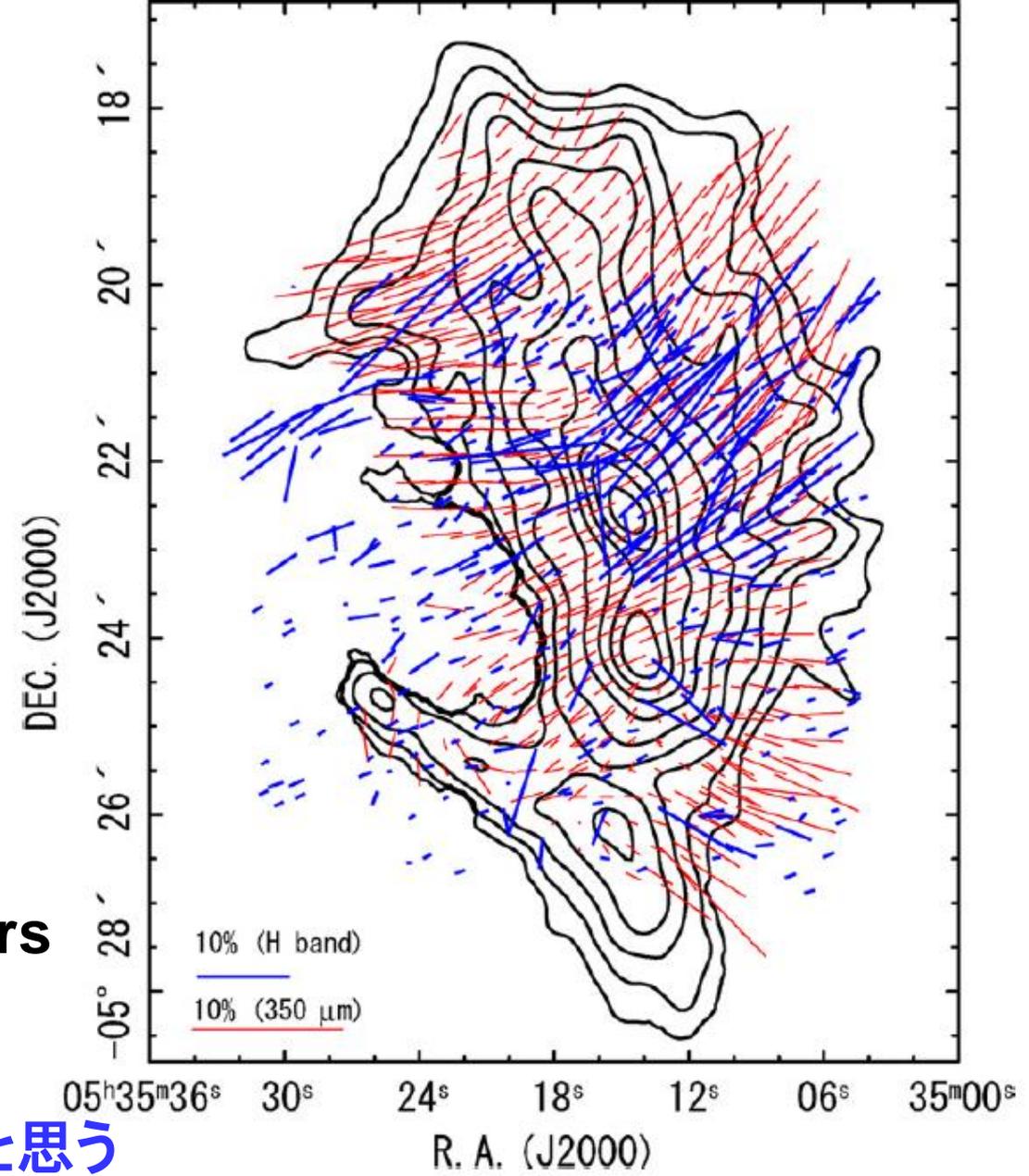
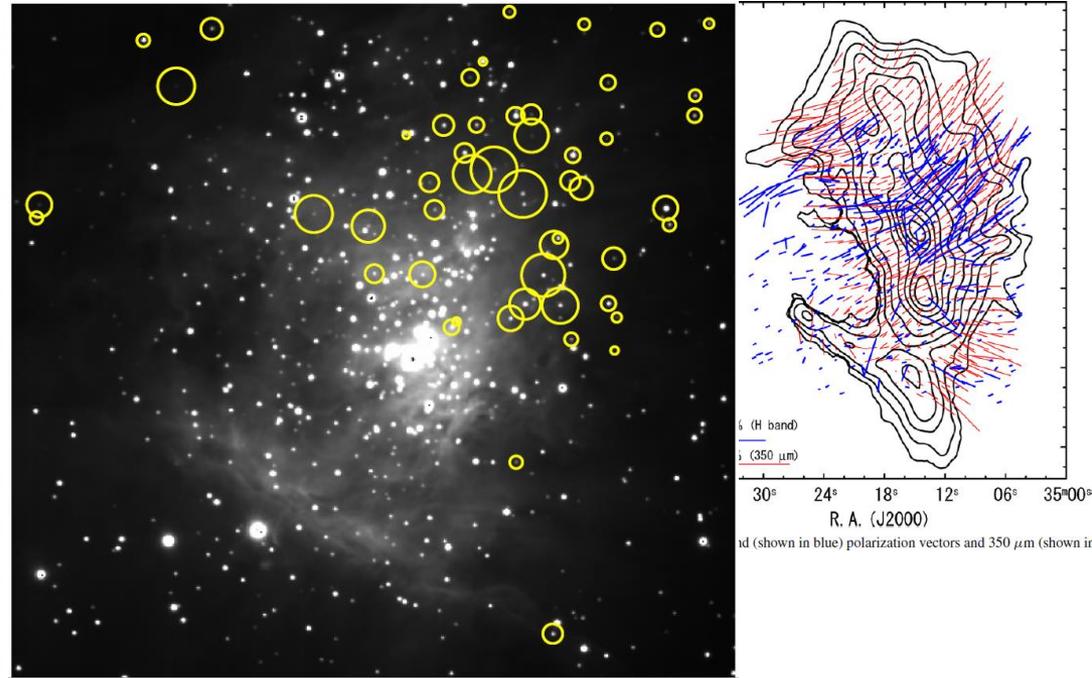
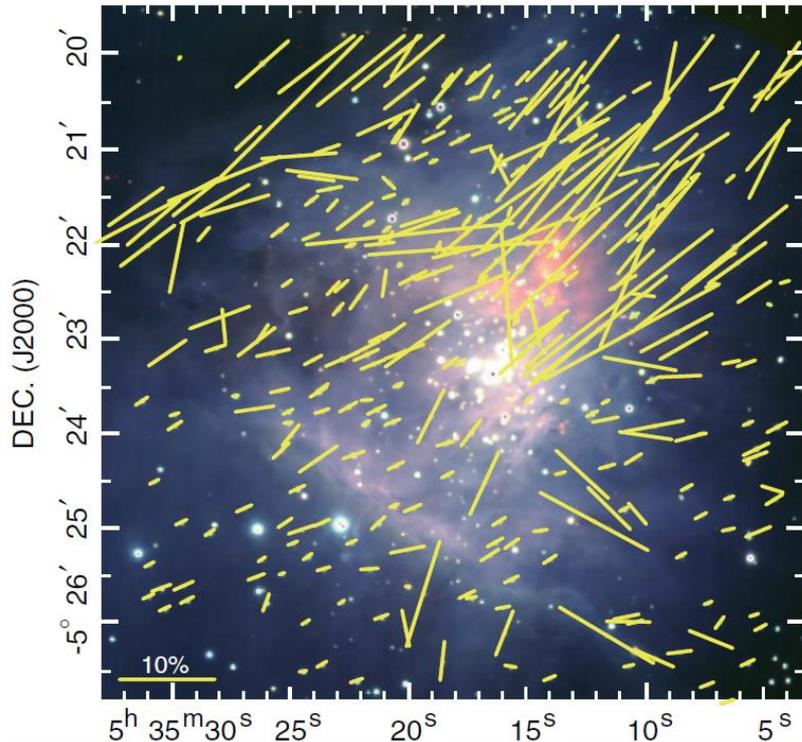
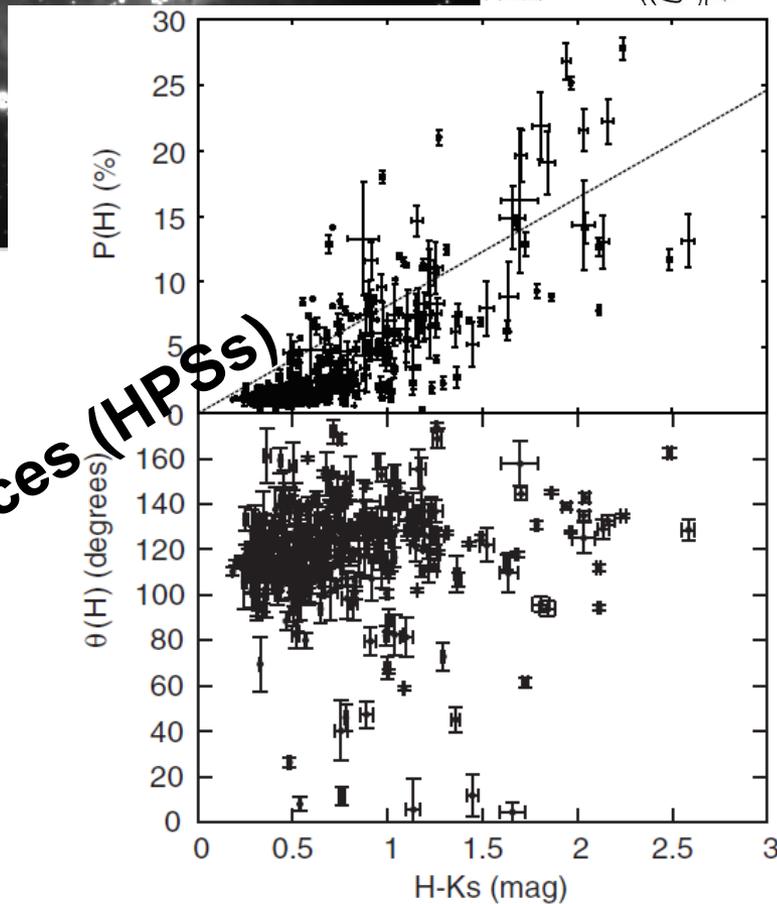
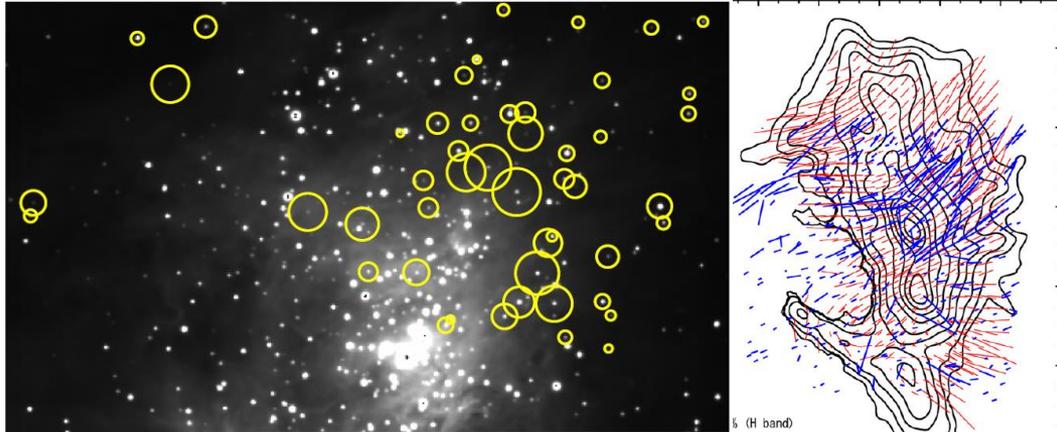
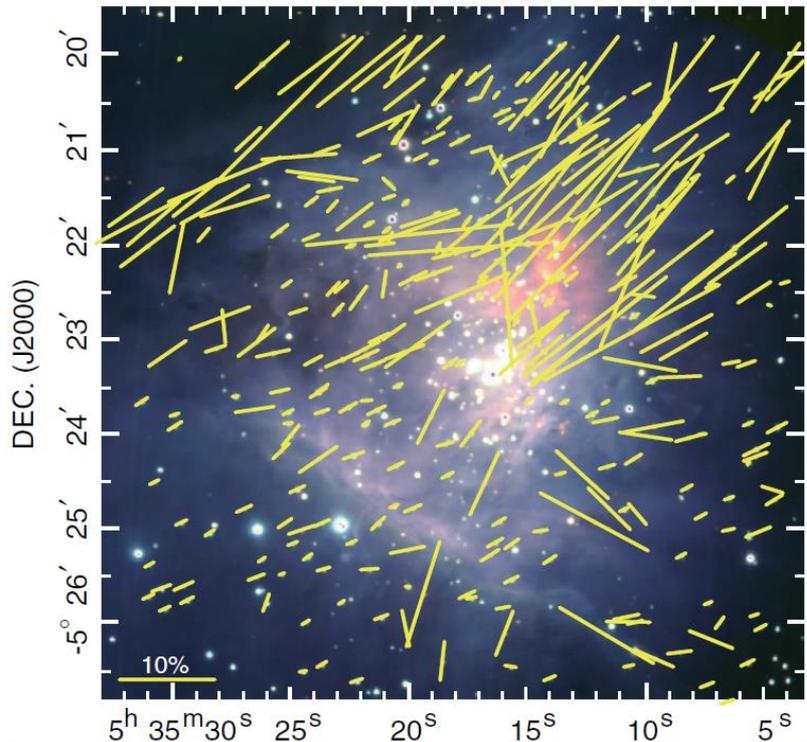


Figure 4. *H*-band (shown in blue) polarization vectors and 350 μm (shown in



51 highly polarized sources (HPSs)

(31 HPSs were detected in all of the J -,H-, and Ks-bands)



これらの天体の偏光は、
星間減光に伴うものではなく、
星周円盤での散乱によるもの
であろう

0.1%以下のエラー
で区別を

highly polarized sources (HPSS)

Figure 7. Top: degrees of polarization at H vs. $H - K_s$ color. The dashed line shows the assumed upper limit line of BN. Bottom: polarization P.A.s at H vs. $H - K_s$ color.

可視光多色同時撮像カメラ 近赤外偏光撮像装置

木野 勝

せいめい望遠鏡の観測装置

可視光同時撮像カメラ

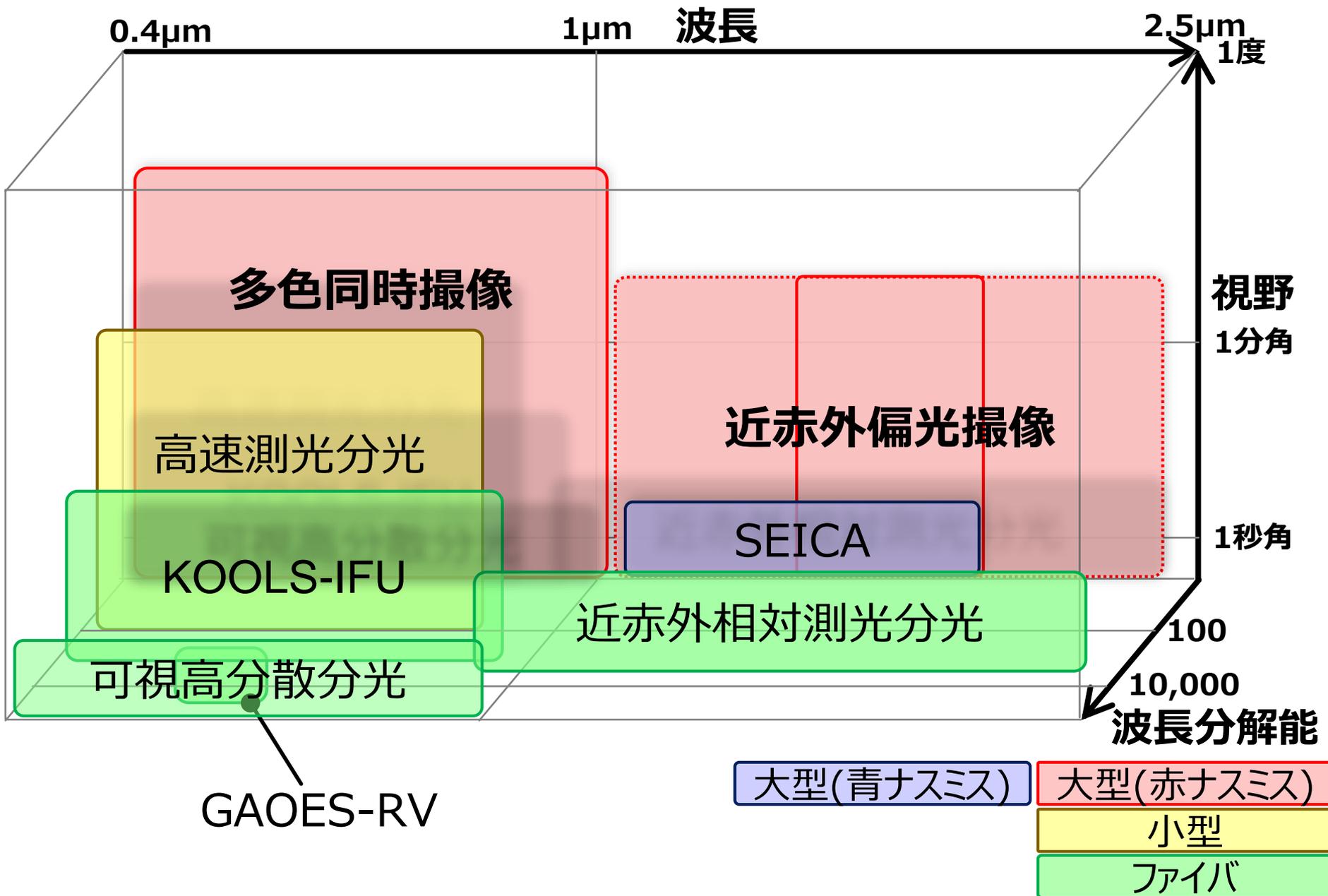
- 開発目的
- 光学系

近赤外偏光撮像装置

- 開発目的
- 設計仕様
- 光学系
 - ▶ 偏光素子
 - ▶ オフナーリレー
 - ▶ 迷光対策

統合

せいめい望遠鏡の観測装置



爆発直後からの観測によるIa型超新星の起源解明

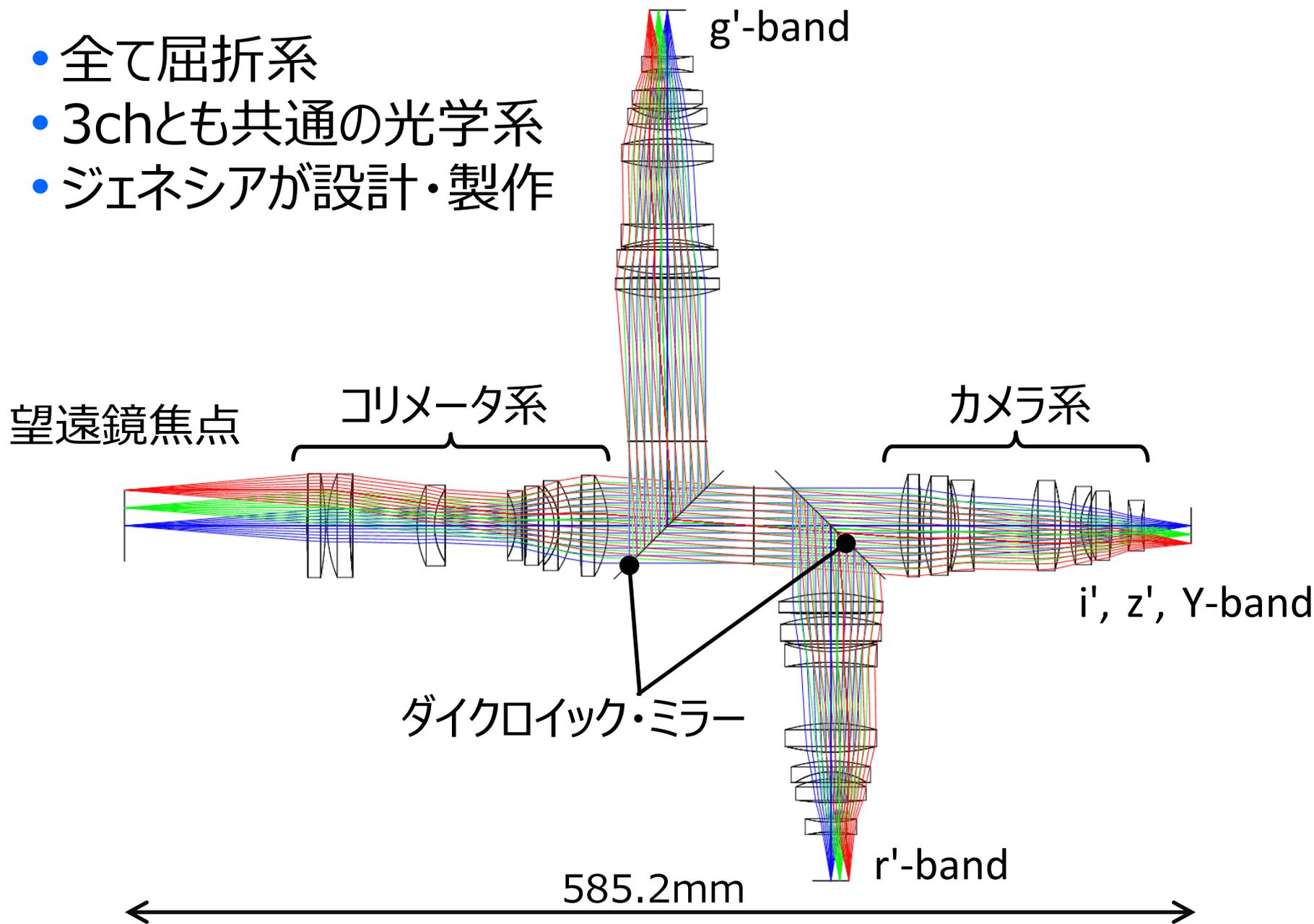
- 木曾シュミット+Tomo-e … 超新星の早期検出
 - **せいめい+本装置での多色撮像**
 - … 多色でのライトカーブ・正確な減光補正
 - せいめい+KOOLS-IFU
 - TAO+NICE
- } 型の詳細な分類・スペクトルDB

標準光源としての高精度化 → 宇宙論

特徴

- 即時観測 → 近赤外偏光との共存
- B,V · R,I · J,Hの3色同時撮像 → $g' \cdot r' \cdot i', z', Y$?
- 広い視野 (□5分角) → 11.3×6.4分角

- 全て屈折系
- 3chとも共通の光学系
- ジェネシアが設計・製作



多様な環境下における原始惑星系円盤進化の観測的解明

- ALMAでの高解像度撮像 . . . 円盤・惑星進化
- すばる + IRCSでの中間赤外偏光 . . . 水分子の吸収
- **せいめい + 本装置での近赤外偏光**
 - . . . 星団メンバーの星周円盤の統計的性質・磁場構造
 - ↓
 - 散乱光の偏光
 - ↓
 - 背景星の偏光

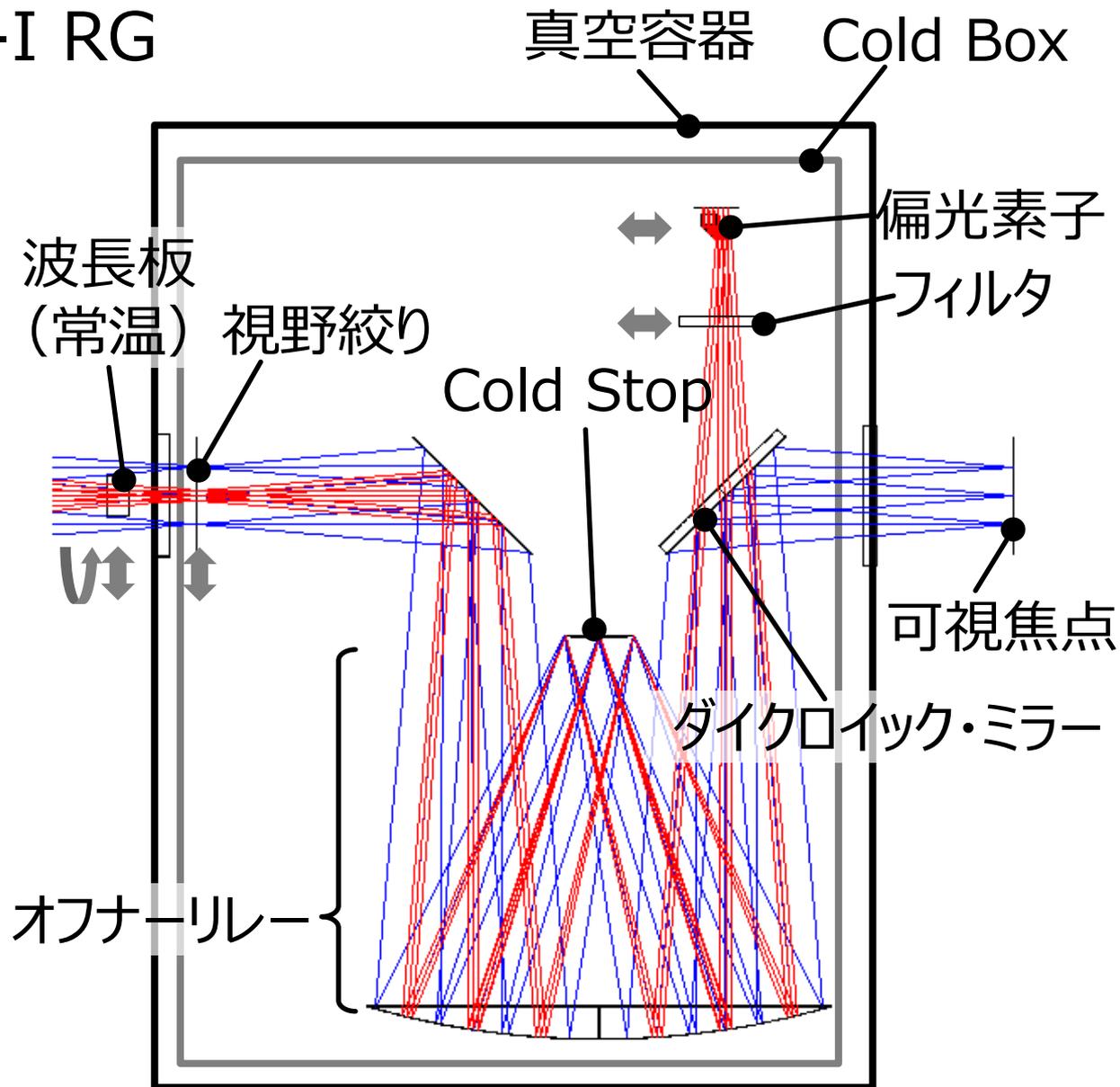
特徴

- 2成分同時取得による高精度な偏光観測
- そこそこの視野 (2.8×0.7分角×2視野) ➡ 2.9分角
- H-bandのみに絞った高い安定性 ➡ JとHs-band ?

検出器 HAWAII-I RG

- HgCdTe
 - 1k×1k pixel
 - □18μm/pixel
- ↓
- FoV □2'.8
(偏光 2'.8×1'.1)
 - □0".16/pixel

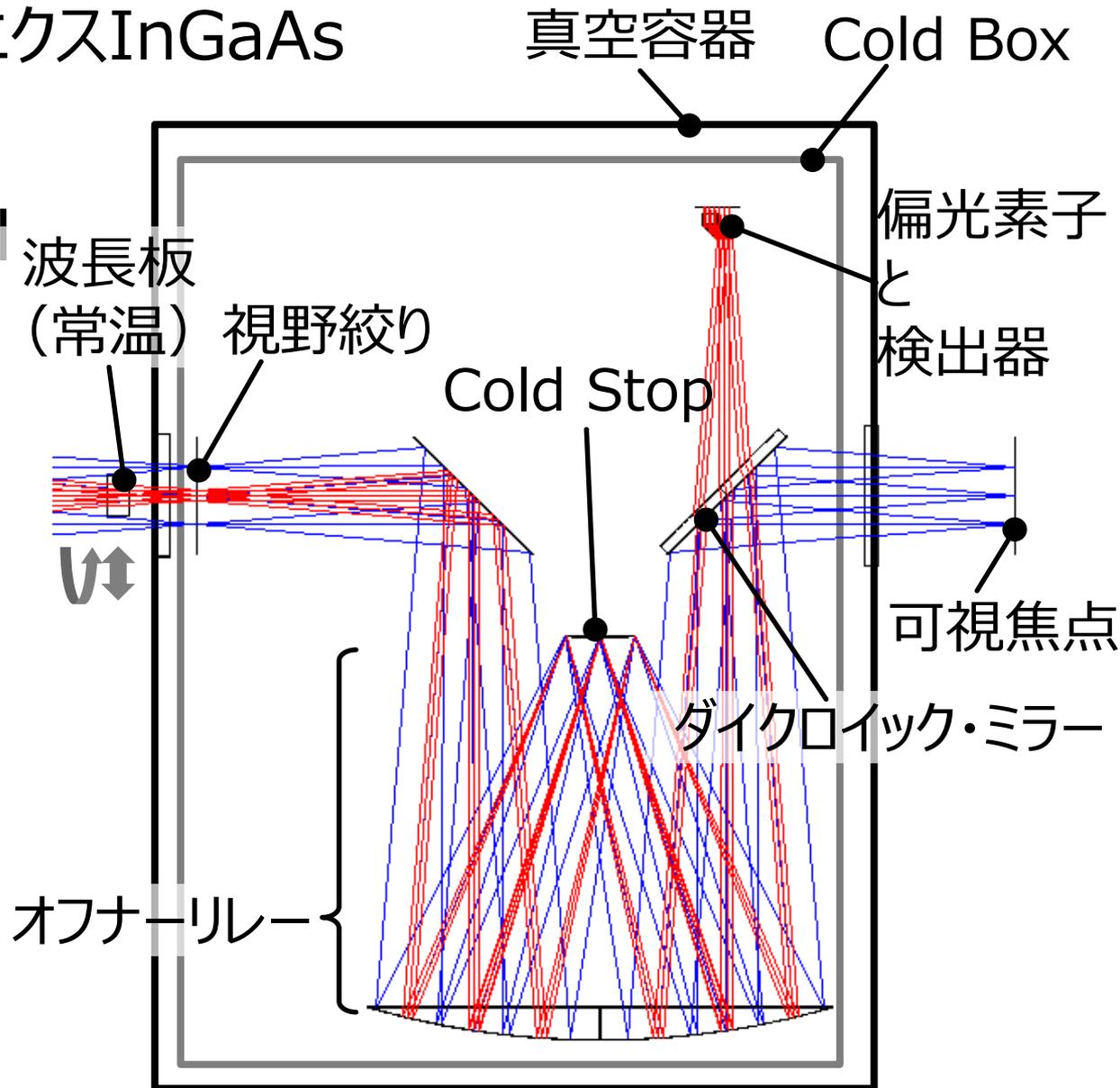
広視野化したいが
作りやすさを優先



検出器 浜松ホトニクスInGaAs

- InGaAs
 - 1.3k×1.3k pixel
 - □15μm/pixel
- ↓
- FoV □2'.9
 - □0".13/pixel

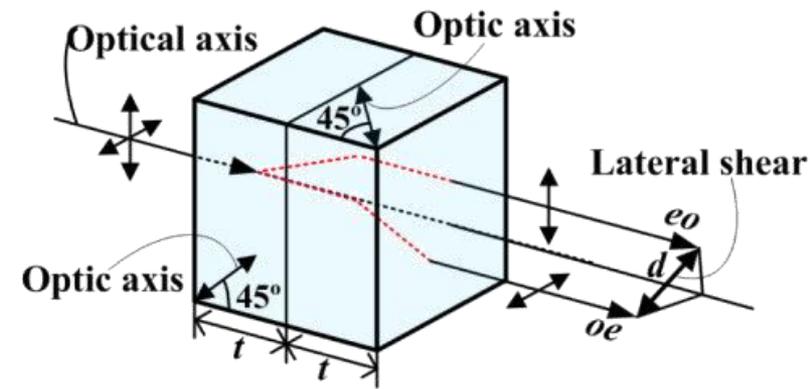
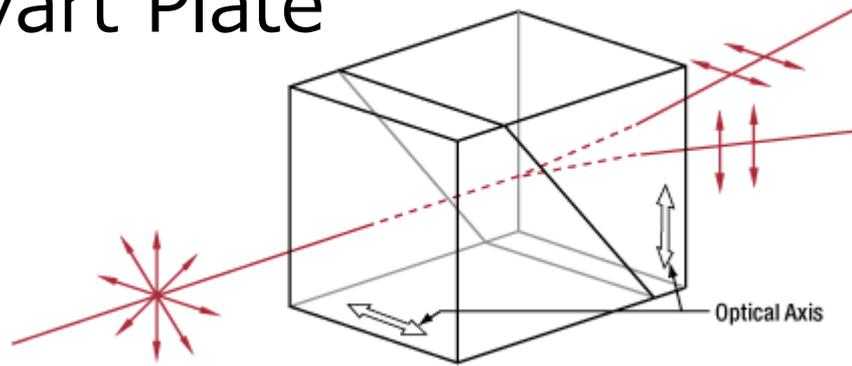
広視野化したいが
作りやすさを優先



偏光素子

複屈折素子 . . . 高い消光比、2偏光が同一平面上

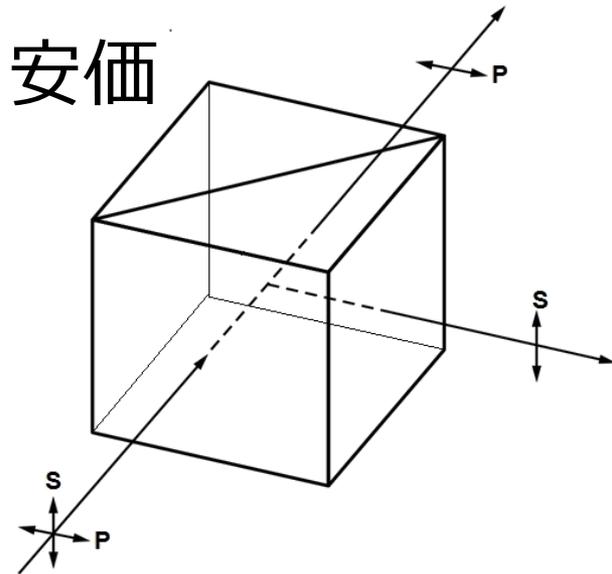
- Wollaston Prism
- Savart Plate



ビームスプリッタ . . . 色分散が無い、安価

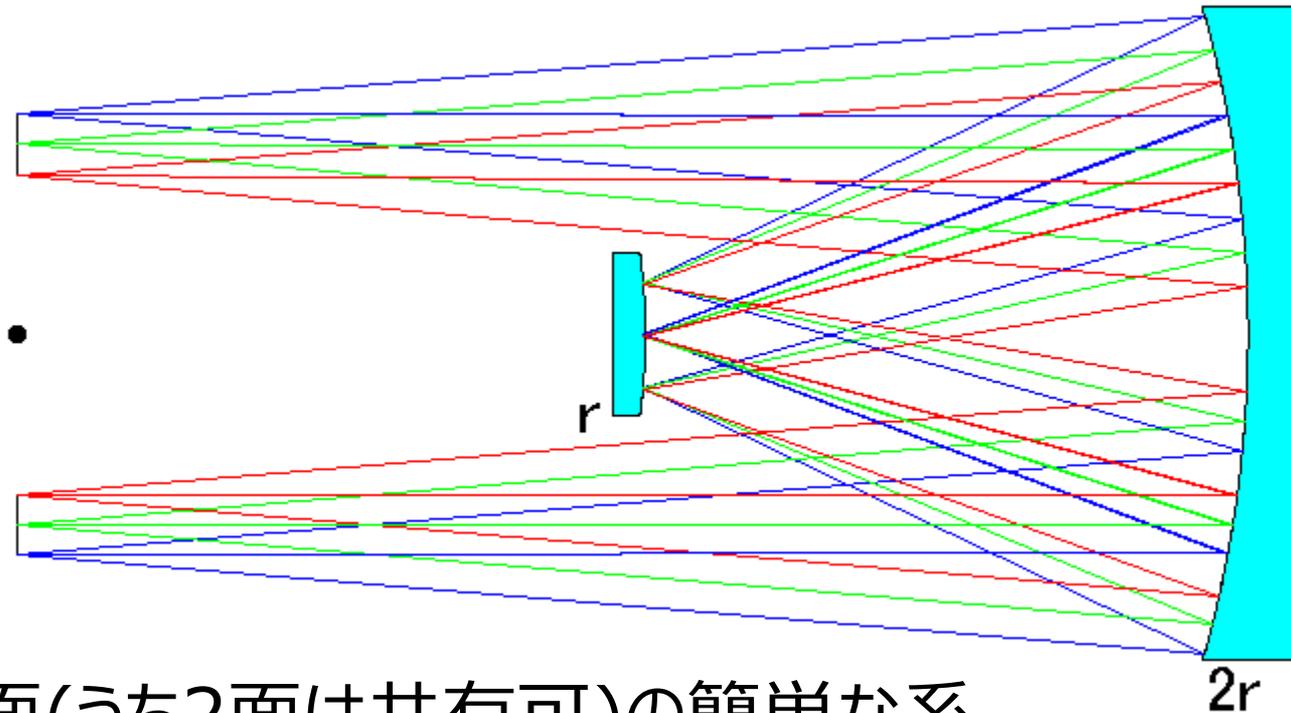
- 多層膜
- **Wire Grid** . . . 入射角依存性が低い

同一平面上に焦点を結ぶよう工夫



オフナーリレー系

1:1の再結像光学系



- 球面3面(うち2面は共有可)の簡単な系
- わずかな非点収差を除き収差0
- 凸面鏡を瞳とすると両側テレセントリック

ザイデル収差

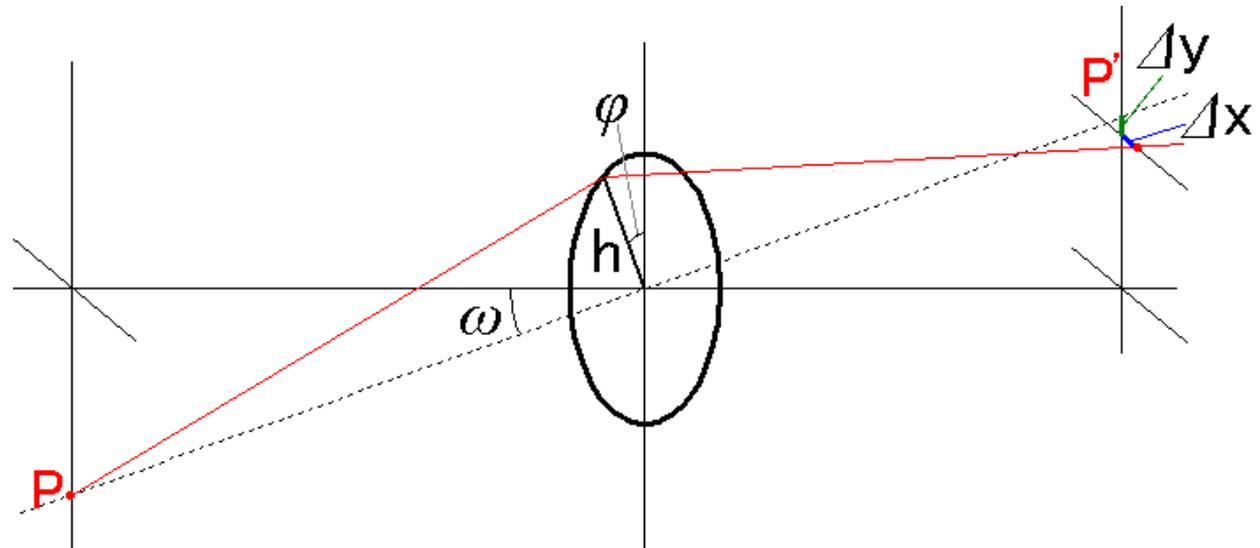
3次まで近似 $\sin \theta = \theta - \theta^3/3! + \theta^5/5! \dots$

$$\Delta x = \alpha \left\{ \text{I } h^3 \sin \phi - \text{II } h^2 \tan \omega \sin 2\phi + \text{IV } h \tan^2 \omega \sin \phi \right\}$$

$$\Delta y = \alpha \left\{ \text{I } h^3 \cos \phi - \text{II } h^2 \tan \omega (2 + \cos 2\phi) + (2\text{III} + \text{IV}) h \tan^2 \omega \cos \phi - \text{V } \tan^3 \omega \right\}$$

収差係数

- I 球面収差
- II コマ収差
- III 非点収差
- IV 像面湾曲
- V 歪曲

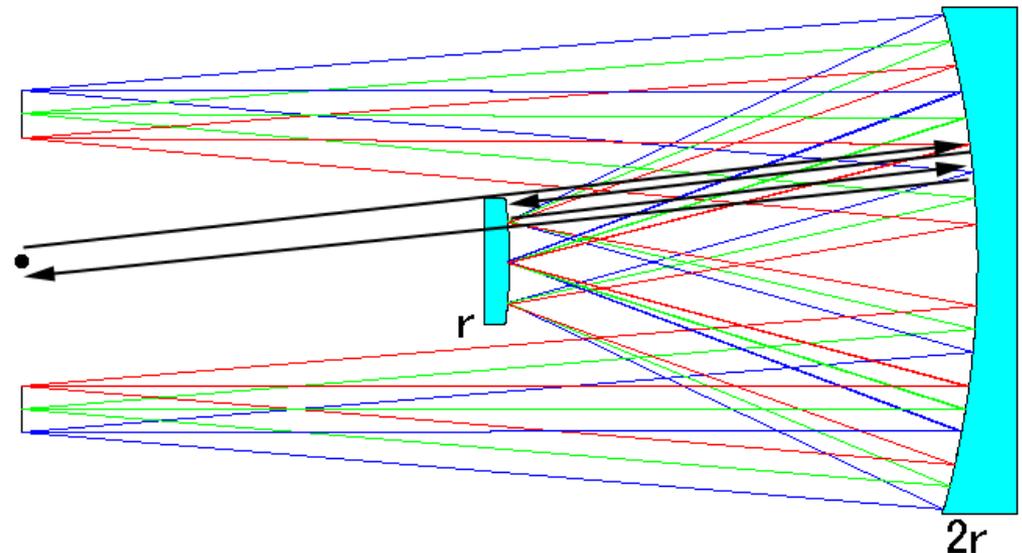
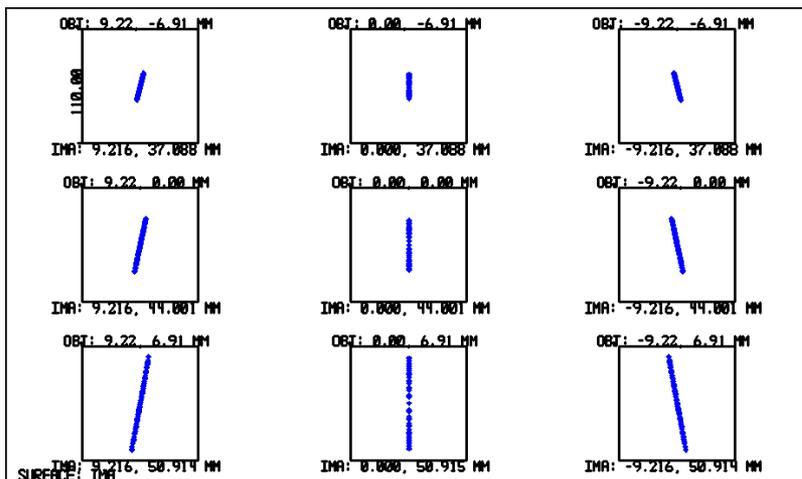


オフナーリレーの収差

ザイデル収差

- 球面収差 $\propto h^3$ 球心に対して対称なので光路長一定
- コマ収差 $\propto h^2\omega$ 開口を挟んで対称なので0
- 非点収差 $\propto h\omega^2$ **残る**
- 像面湾曲 $\propto h\omega^2$ ペッツバル和が0
- 歪曲収差 $\propto \omega^3$ 開口を挟んで対称なので0

色収差 反射面なので0



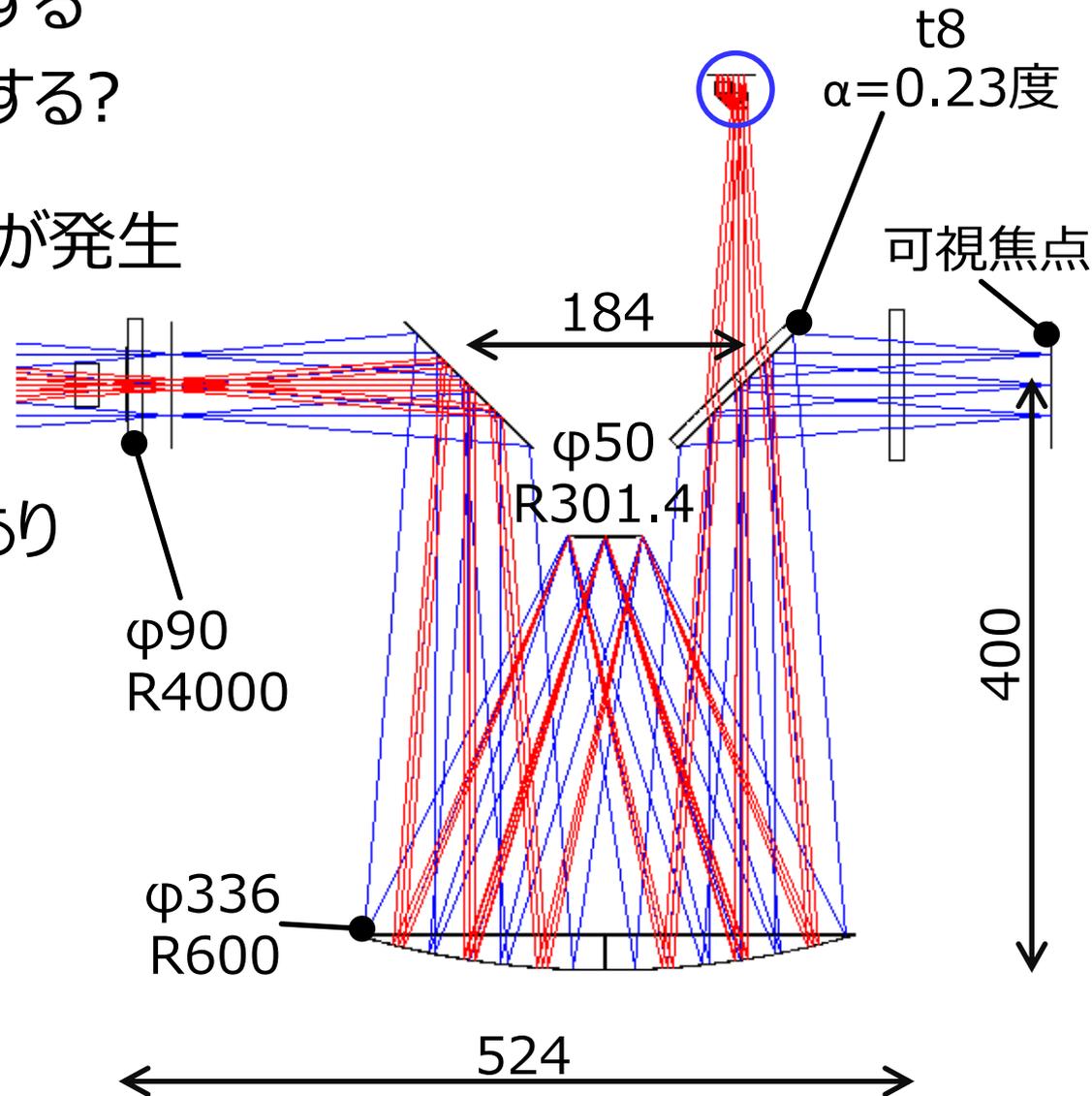
- 望遠鏡は完全な像側テレセントリックではない (瞳位置~7m)

➡ 入射窓を凸レンズにする
 射出窓も凹レンズにする?

- 赤外側はDMで非点収差が発生

➡ 基板にウェッジ

- 望遠鏡焦点に像面湾曲あり

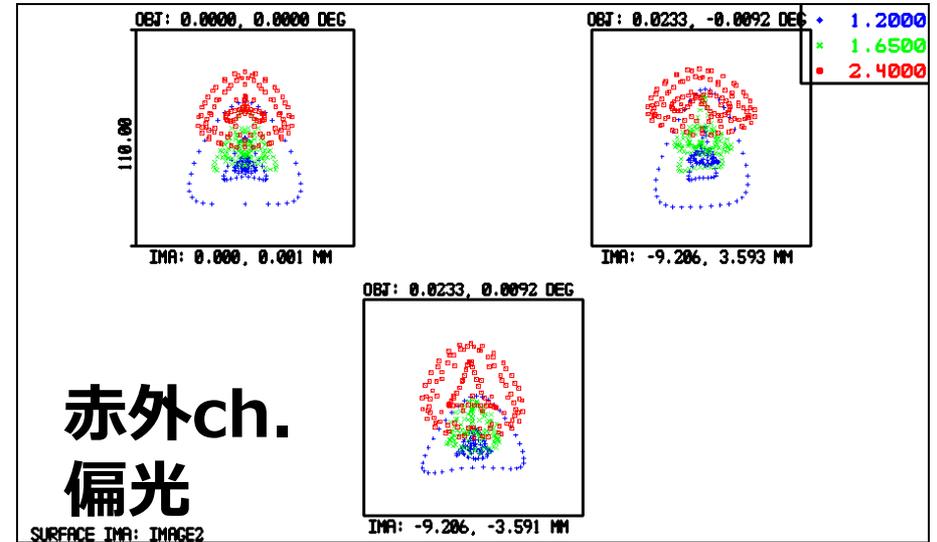
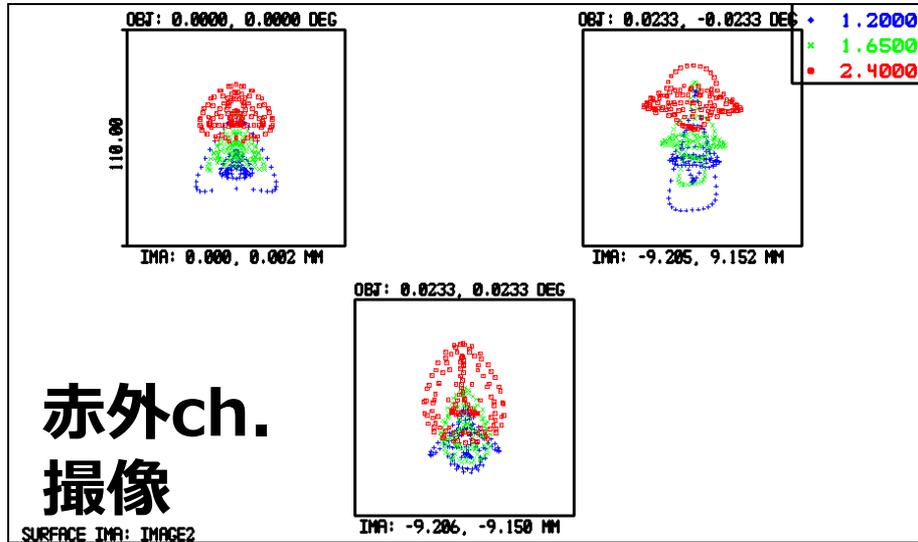
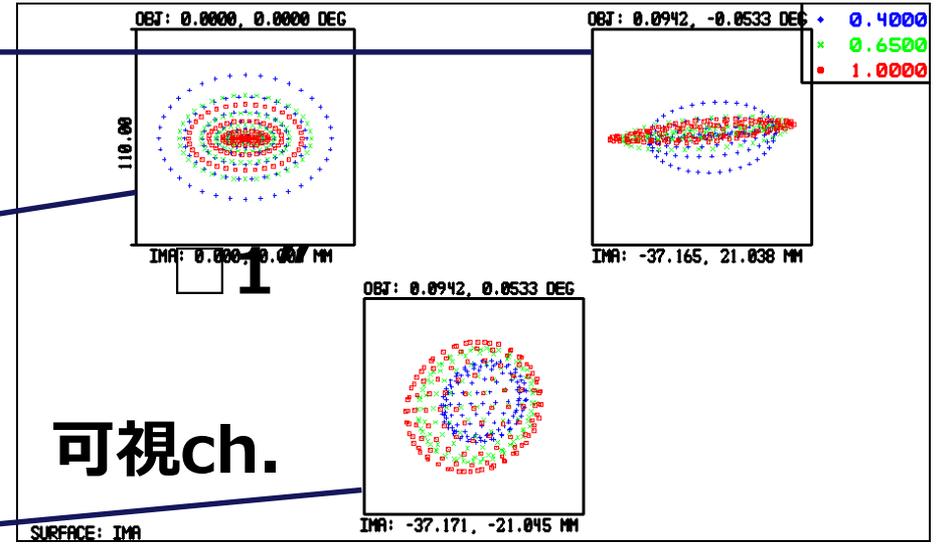


スポット図

赤外偏光 2.8×1.1分角

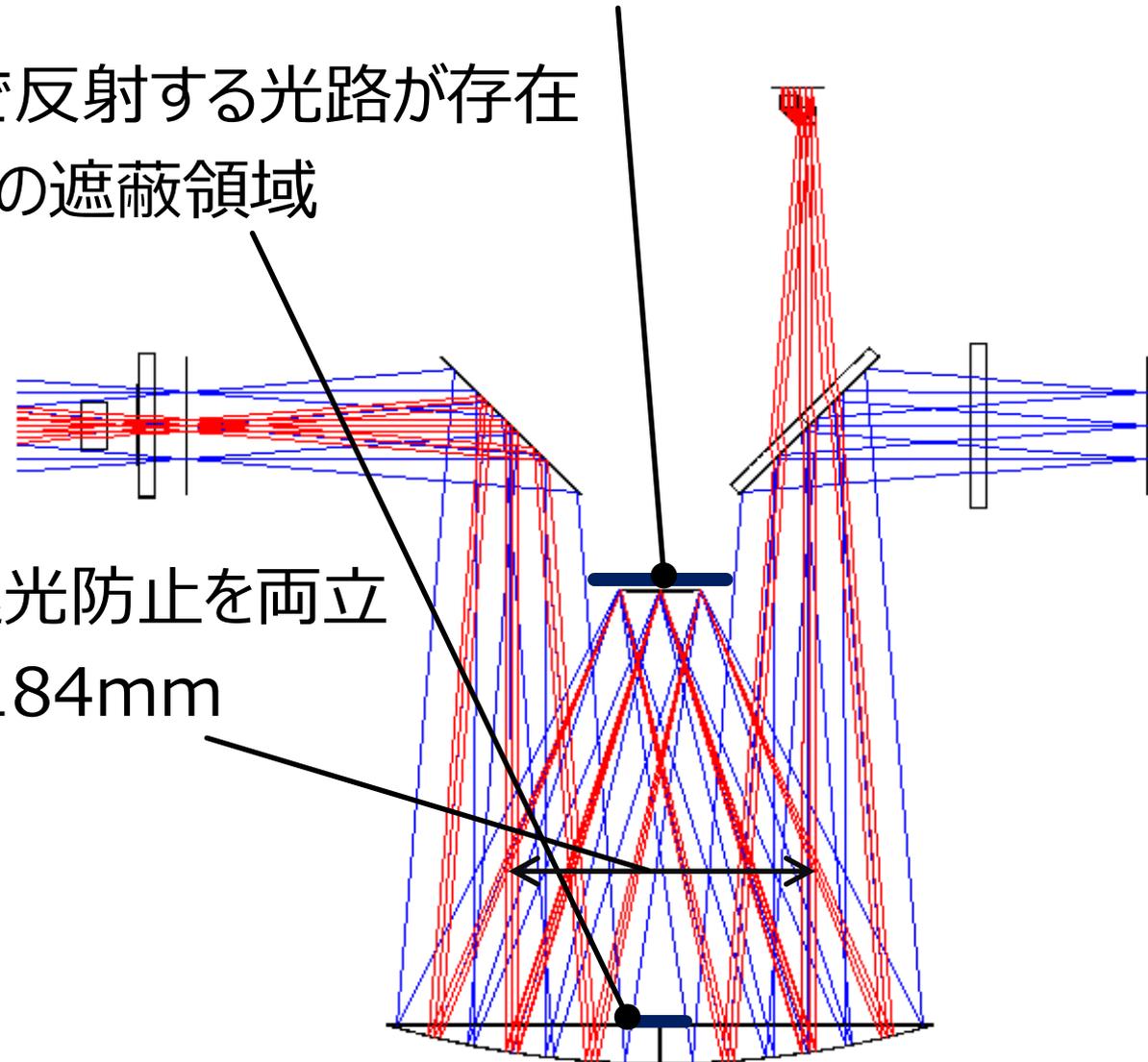
赤外撮像 □2.8分角

可視 11.3×6.4分角



Cold Stopと迷光防止

- 凸面鏡を開口絞りとする → Cold Stop (幅91mm)
- 凹面鏡の中央で反射する光路が存在
→ 幅34mmの遮蔽領域
- 光路の確保と迷光防止を両立
→ 分離幅 > 184mm



決定すべき項目

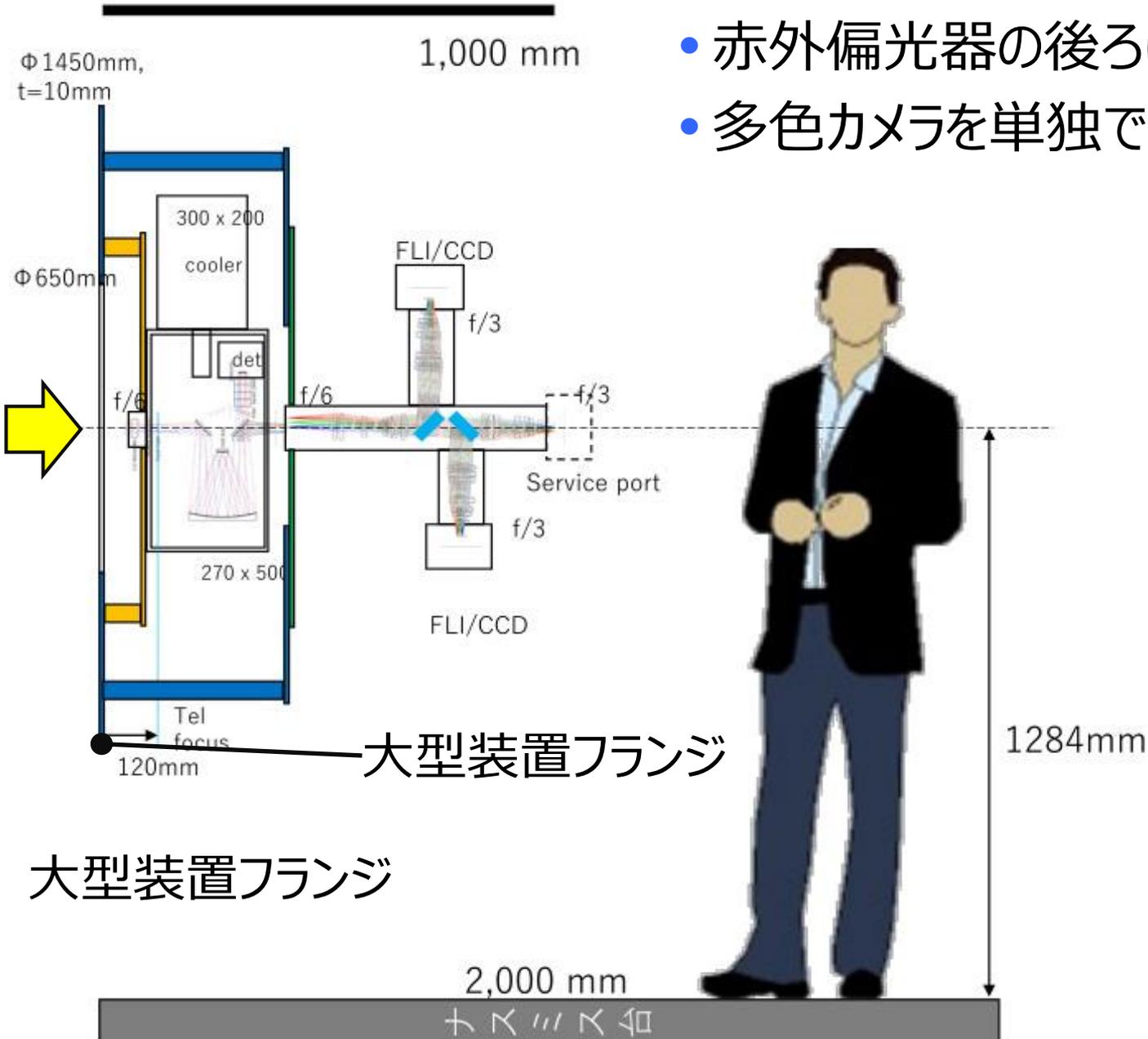
- 可視射出瞳の位置 ➡ 出力窓の曲率
 - 可視出力窓からの赤外光対策 ➡ 冷却下に赤外遮蔽フィルタ
 - ダイクロイックミラーの膜設計 ➡ 基板の厚さ ➡ ウェッジ
 - 駆動軸 ➡ 視野絞り・偏光素子・フィルタ?・検出器focus?
 - 反射面のコート ➡ アルミ?・銀+保護?
-
- 熱流入量の計算 ➡ 冷凍機の選定（望遠鏡への振動に配慮）

.....

各部の詳細設計へ

2装置の統合

- 赤外偏光器の後ろに多色カメラ
- 多色カメラを単独での取付けも可



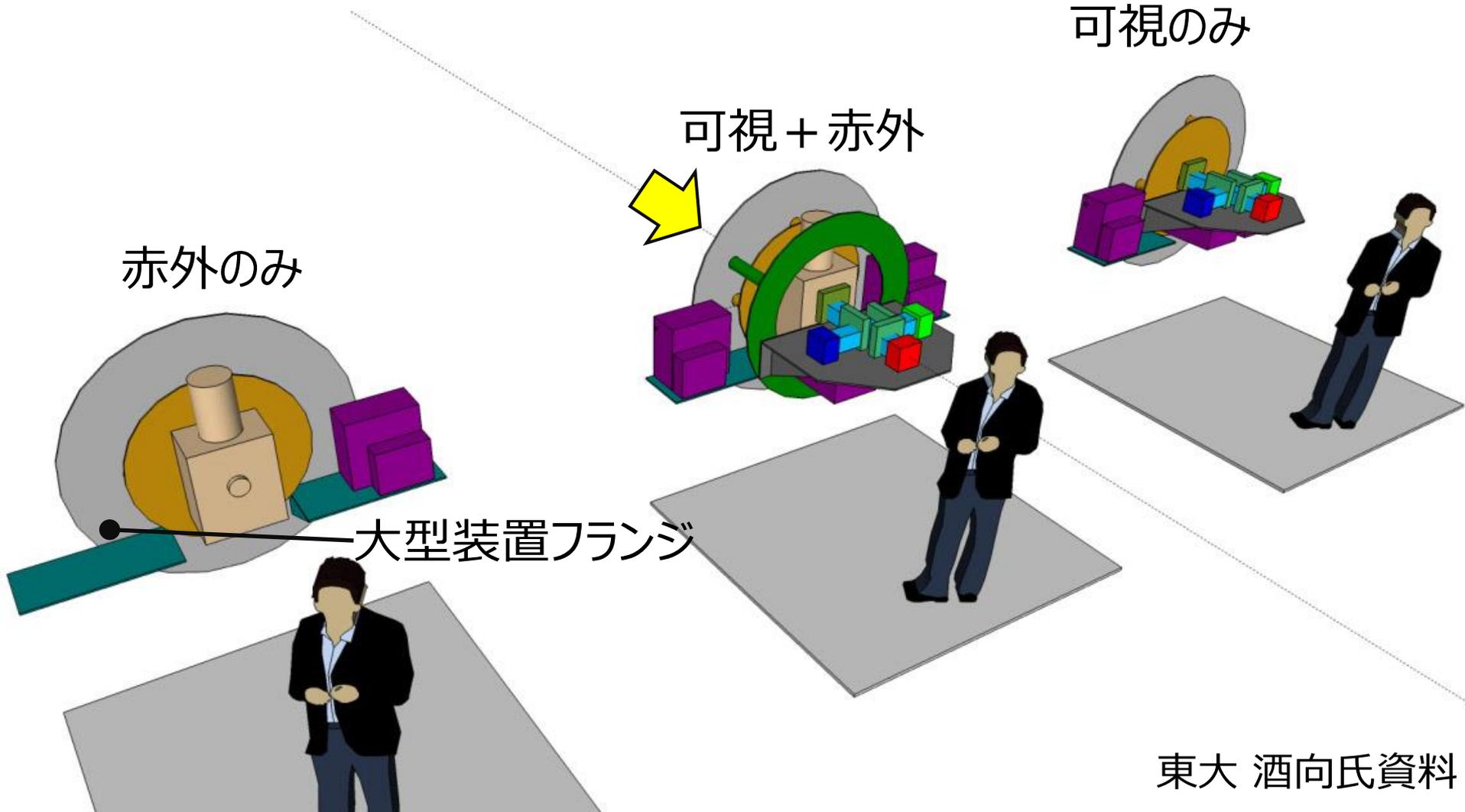
- 赤外偏光器の後ろに多色カメラ
- 多色カメラを単独での取付けも可

可視のみ

可視 + 赤外

赤外のみ

大型装置フランジ



多色同時撮像カメラ

- Ia型超新星の分類と標準光源としての高精度化
 - ▶ 可視 + 近赤外多色 ➡ 近赤外偏光装置と共存
 - ▶ 即時観測

近赤外偏光装置

- 星団メンバの星周円盤の性質・磁場構造解明
 - ▶ 2偏光同時取得で高精度化
 - ▶ H-band偏光のみ ➡ 撮像・フィルタ切替えを付加

2つの装置を統合して運用