

# WISH: 検出限界の評価

- 矢部清人、太田耕司 (京都大学)、岩田 生 (国立天文台)、山田 亨 (東北大学)、他WISH検討グループ

WISHは、口径1.5mの主鏡と視野直径約30分角の近赤外線カメラを搭載した宇宙望遠鏡衛星を2010年代中盤以降に打ち上げ、地上からは達成不可能な深さで非常に広域のサーベイを行なう計画である。現在、WISH計画では主に以下の3つのサーベイ案が検討されている。

- ① **Ultra Deep Survey (UDS)**、3バンド、100 deg<sup>2</sup>、限界等級 (LM): 28等AB
- ② **Multi Band Survey (MBS)**、5バンド、<100 deg<sup>2</sup>(UDS内)、LM: 27-28等AB
- ③ **Ultra Wide Survey (UWS)**、2-3バンド、1000 deg<sup>2</sup>、LM:24-25等AB

(注) 以下等級はすべてAB等級

WISHは、口径1.5mの主鏡と視野直径約30分角の近赤外線カメラを搭載した宇宙望遠鏡衛星を2010年代中盤以降に打ち上げ、地上からは達成不可能な深さで非常に広域のサーベイを行なう計画である。現在、WISH計画では主に以下の3つのサーベイ案が検討されている。

- ① **Ultra Deep Survey (UDS)**、3バンド、100 deg<sup>2</sup>、限界等級 (LM): **28等AB**
- ② **Multi Band Survey (MBS)**、5バンド、<100 deg<sup>2</sup>(UDS内)、LM: 27-28等AB
- ③ **Ultra Wide Survey (UWS)**、2-3バンド、1000 deg<sup>2</sup>、LM:24-25等AB

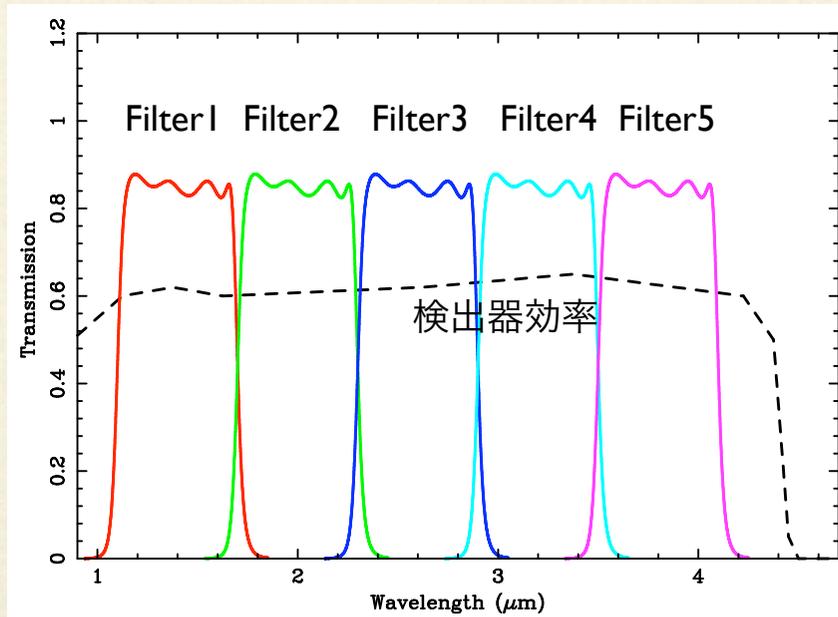
(注) 以下等級はすべてAB等級

UDSでは近赤外領域で28等という地上からでは達成不可能な深さの観測を目標としているが、現在想定されている光学設計で、実際にこの限界等級が達成可能なのかどうかを検証した。

## 計算上の仮定：

現在想定されている光学系(A案:カセグレン+補正レンズとC案:非球面反射光学系)について期待される検出限界を見積もった。計算上、様々な仮定をおいている。

- 現在想定されている広帯域フィルターは5種類 (1.4, 2.0, 2.6, 3.2, 3.8 $\mu\text{m}$ )
- 1-4.2 $\mu\text{m}$ を均等にカバーするようなフィルター (FWHMは0.6 $\mu\text{m}$ )
- 感度のある波長帯以外では $1 \times 10^{-5}$ のリークがあると仮定している。
- 検出器の量子効率 $\times$ 1-4.4 $\mu\text{m}$ で60%程度
- これらは検出限界評価のために用いた仮の値である事に注意



計算上仮定した、フィルター透過率と検出器の量子効率

## 計算上の仮定：

各コンポーネント(主鏡、副鏡など)からの熱放射の見積りを行なう際に以下の仮定を置いている：

- ・各コンポーネントからの熱放射はgray bodyを仮定、温度、emissivityは以下の表を参照
- ・クライオスタットは検出器の周りを直径1000 mm、高さ250 mmの円筒が囲っている
- ・スパイダーは副鏡の0.125の面積を覆っている
- ・A案のバッフルは直径240 mm、高さ1530 mmの円筒を仮定
- ・その他迷光の影響は考えていない

### A案

コンポーネント名	温度(K)	emissivity(%)	立体角(str)
主鏡	170	5	0.071
副鏡	170	5	0.071
補正レンズ (3枚)	140	5	0.023 - 0.17
フィルター	100	10	2.8
クライオスタット	100	10	2.8
スパイダー	170	90	$8.8 \times 10^{-3}$
バッフル	140	90	0.27

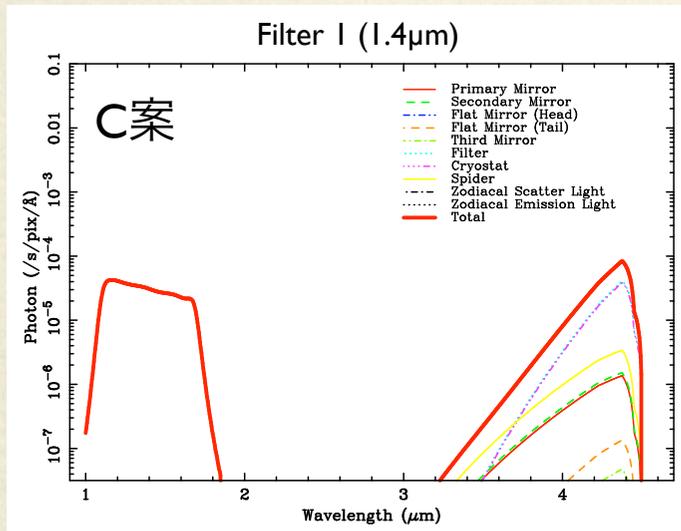
### C案

コンポーネント名	温度(K)	emissivity(%)	立体角 (str)
主鏡	170	5	0.036
副鏡	170	5	0.036
平面鏡(表面)	140	5	0.023
平面鏡(裏面)	140	5	0.16
第三鏡	140	5	0.057
フィルター	100	10	2.8
クライオスタット	100	10	2.8
スパイダー	170	90	$4.5 \times 10^{-3}$

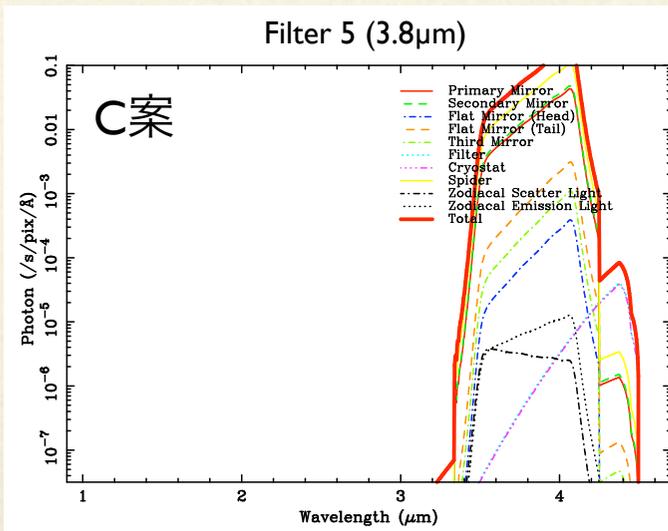
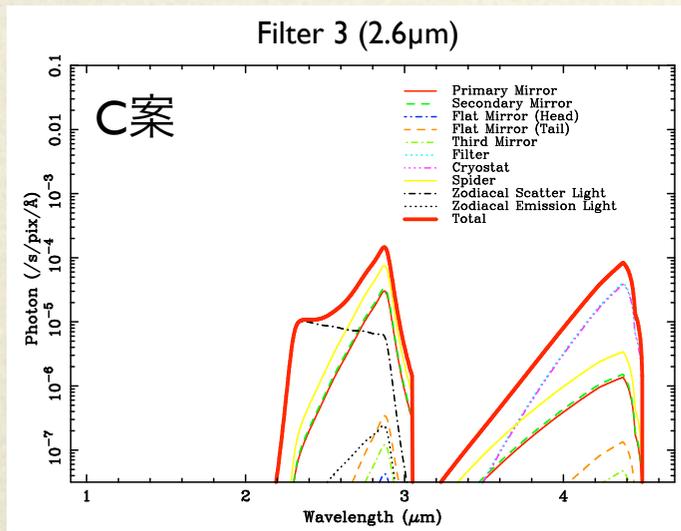
## 検出限界の評価：

各コンポーネントから検出器の1ピクセルに放射される単位時間当たり  
単位波長当たりの光子数を計算した結果、以下の事が明らかになった

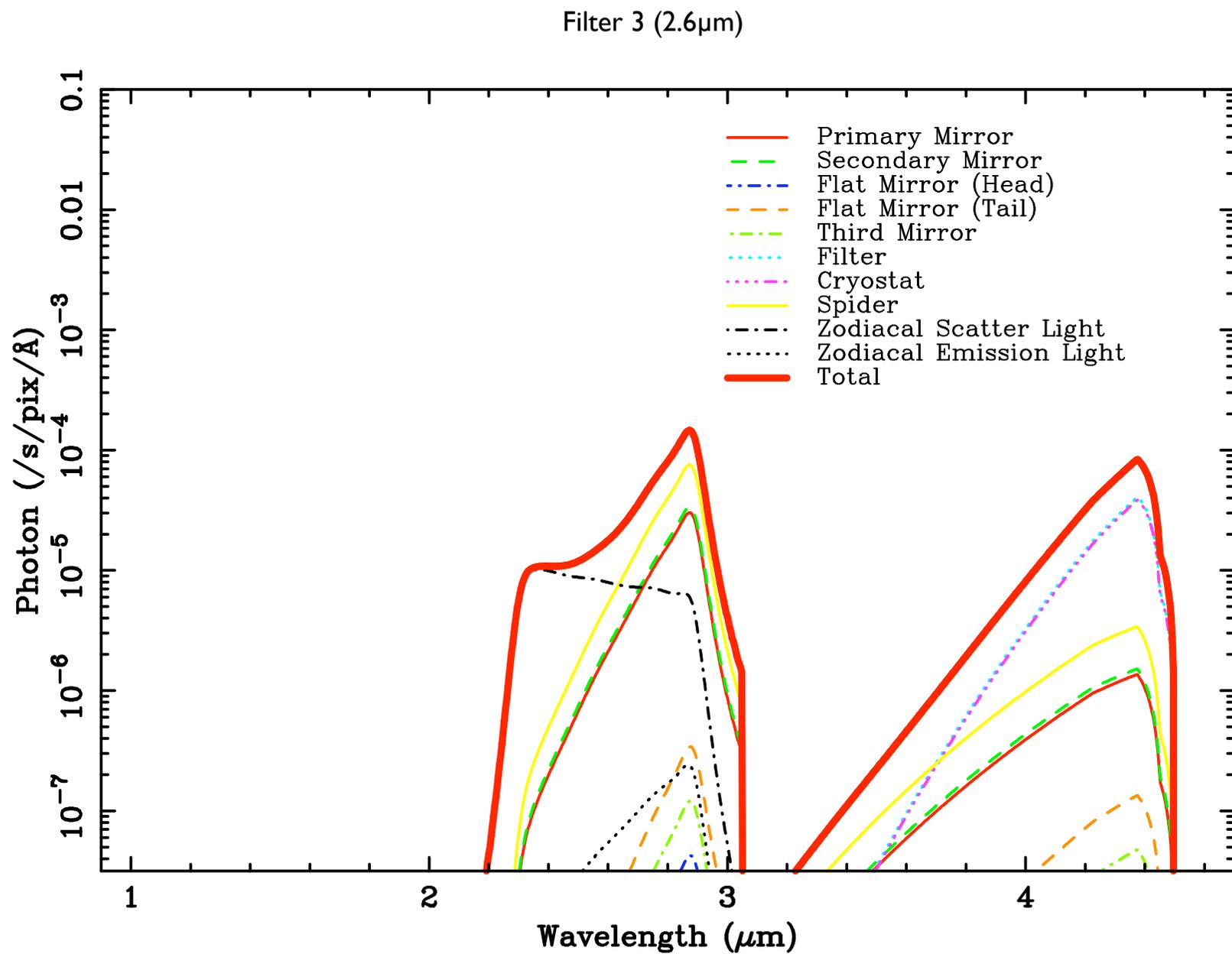
### C案の場合:

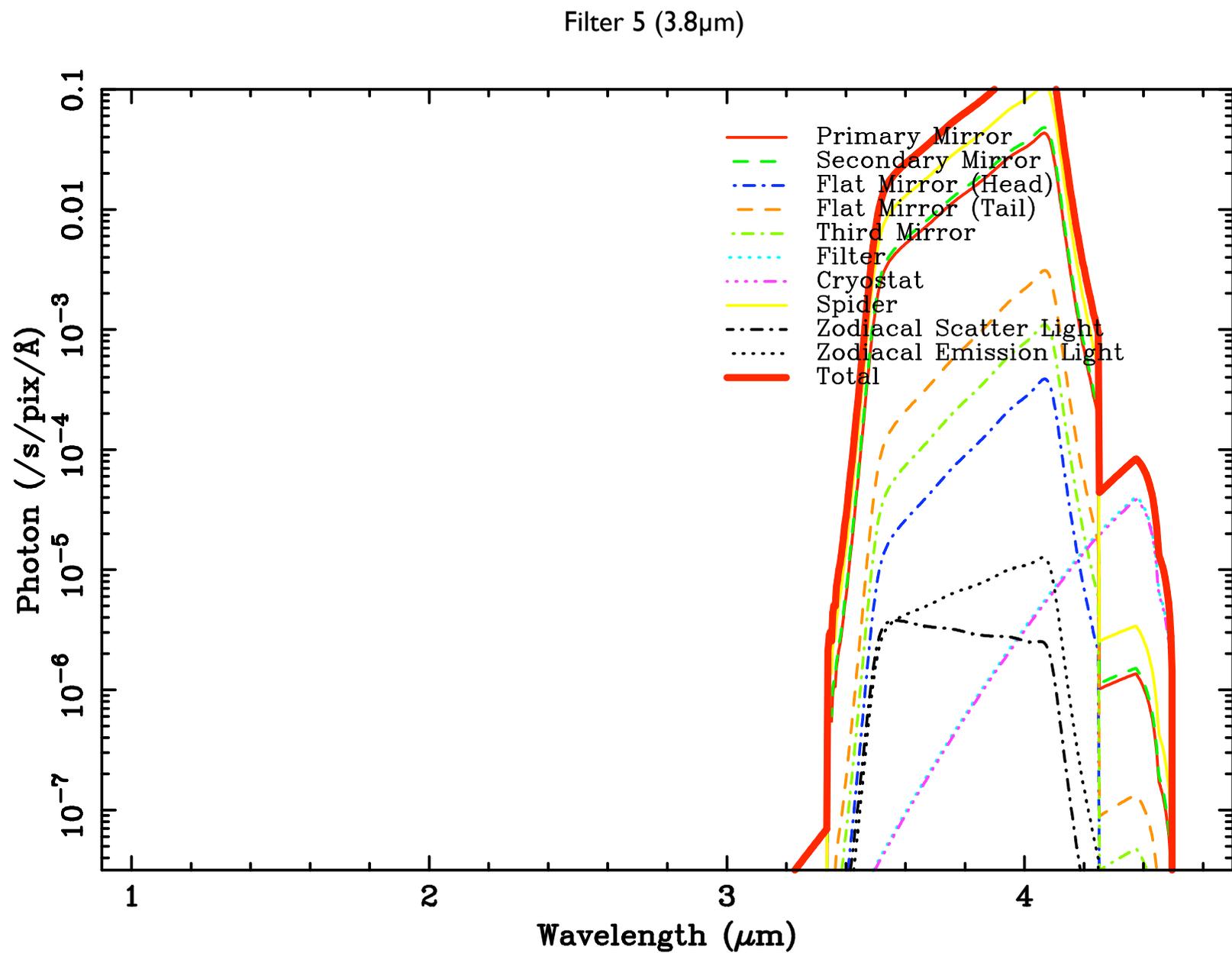


- ・ フィルターのリークの影響が大きい
- ・ 短波長側のフィルター1(1.4 $\mu$ m)では、フィルターとクライオスタットからの放射が卓越する
- ・ フィルター3(2.6 $\mu$ m)ではこれに加え主鏡、副鏡、スパイダーからの放射が卓越する
- ・ 長波長側のフィルター5(3.8 $\mu$ m)ではフィルターなどよりも、主鏡、副鏡、スパイダーからの寄与が大きい
- ・ 平面鏡、第3鏡からの影響は(他に比べ)ほとんどない







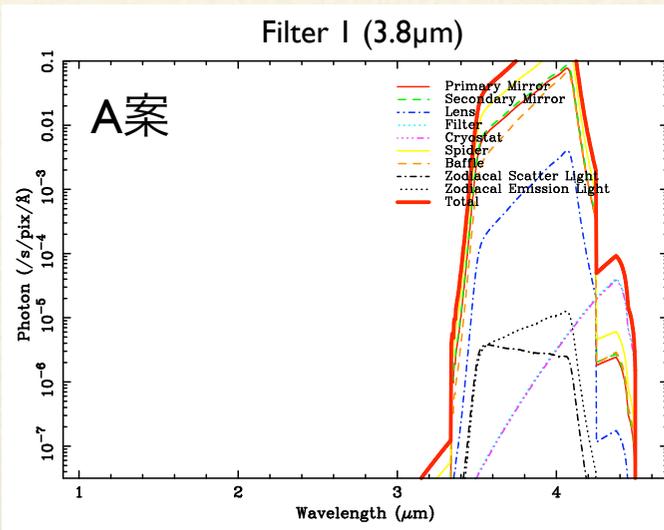
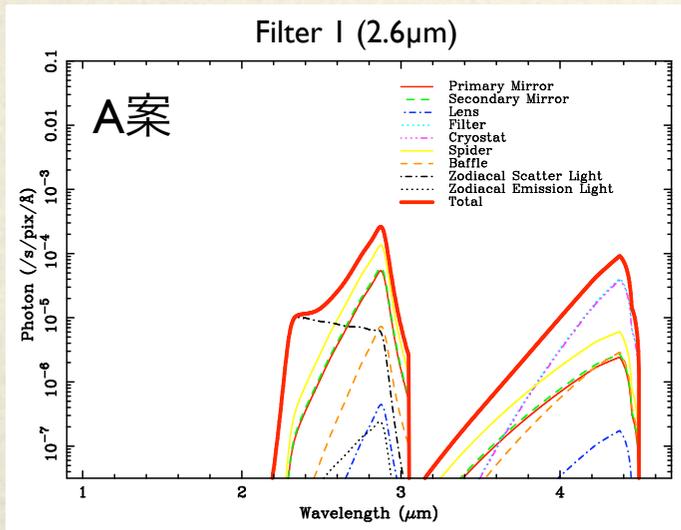
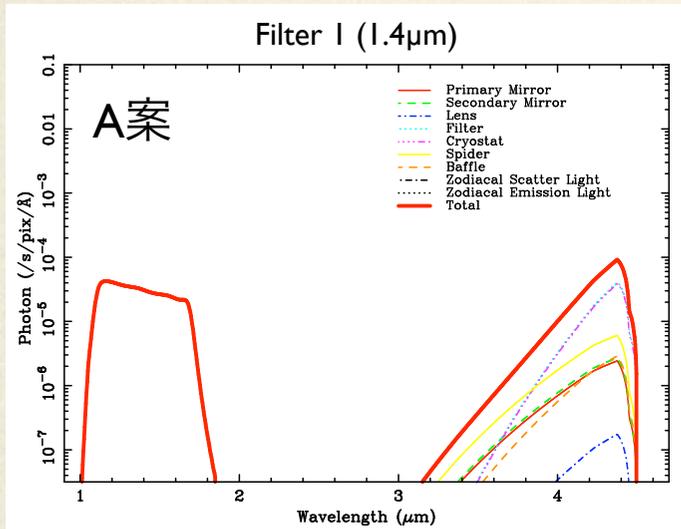


## 検出限界の評価：

各コンポーネントから検出器の1ピクセルに放射される単位時間当たり  
単位波長当たりの光子数を計算した結果、以下の事が明らかになった

### A案の場合:

- ・ C案同様、フィルターのリークの影響が大きい
- ・ 短波長側のフィルター1(1.4 $\mu\text{m}$ )では、フィルターとクライオスタットからの放射が卓越する
- ・ フィルター3(2.6 $\mu\text{m}$ )ではこれに加え主鏡、副鏡、スパイダーからの放射が卓越する
- ・ 長波長側のフィルター5(3.8 $\mu\text{m}$ )ではフィルターなどよりも、主鏡、副鏡、スパイダーからの寄与が大きい
- ・ バッフルからの影響はそれほど大きくない
- ・ 補正レンズからの影響は(他に比べ)ほとんどない
- ・ C案に比べ、光子数は10-50%程度上がる

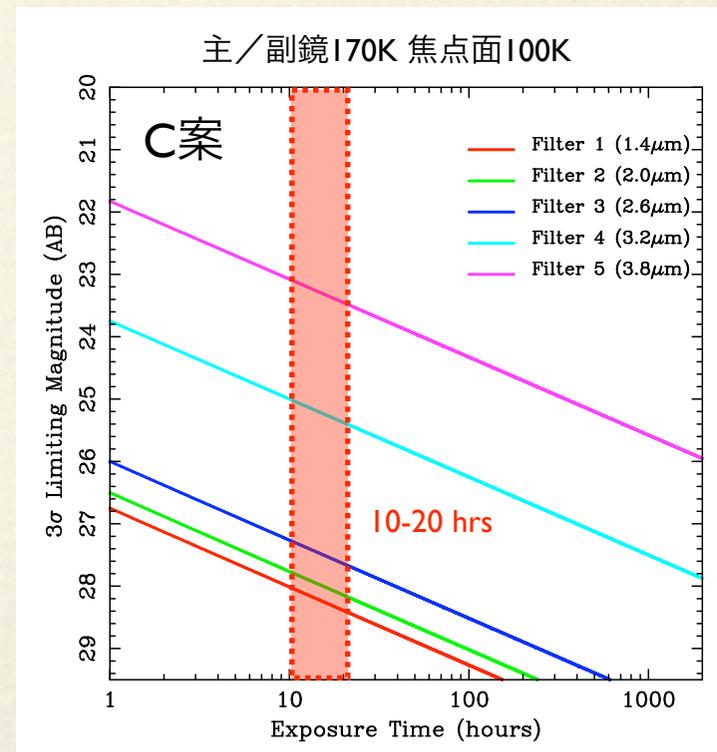
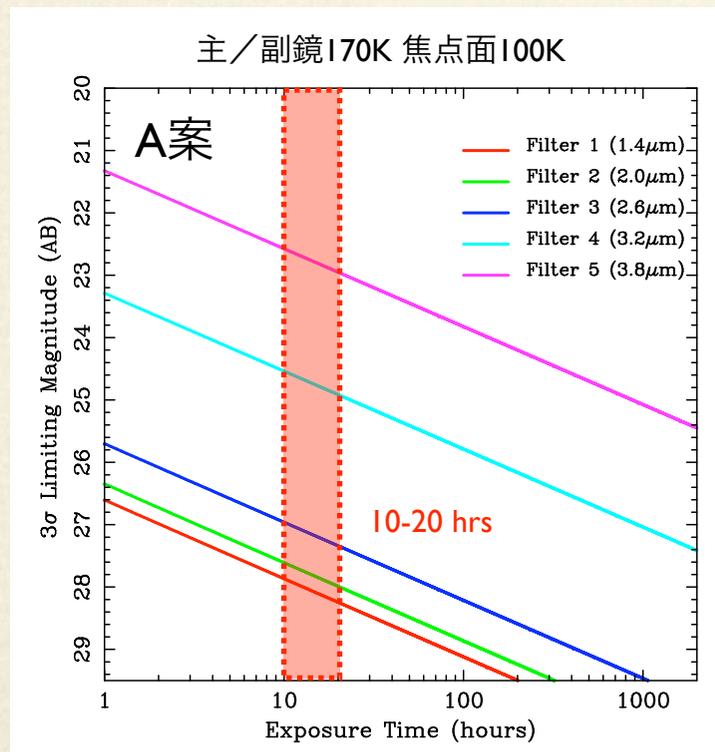


## 検出限界の評価：

これら装置からの熱放射の見積りに基づき、限界等級を求める

- ある積分時間でS/N=3となる等級(0.6"φ)を求める
- 温度は主鏡/副鏡170K、フィルター周辺100K
- 短波長側：10-20時間積分で~28.0等
- 長波長側：10-20時間積分で23-25等と短波長側に比べ浅くなる

→ 各コンポーネントの温度を下げる事が求められる



主・副鏡温度170K、フィルター周辺の温度100Kの場合の3 $\sigma$ , 0.6"φ限界等級 (左:A案, 右:C案)

## 検出限界の評価：

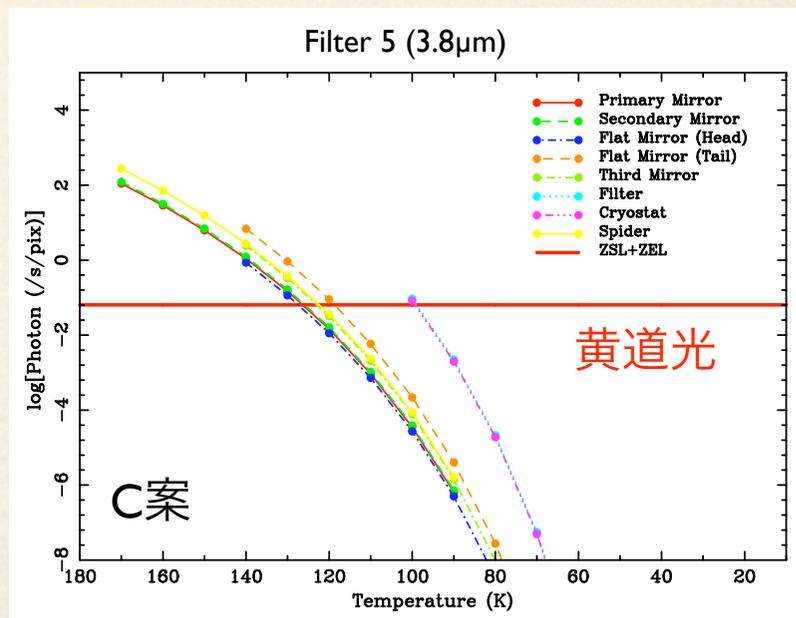
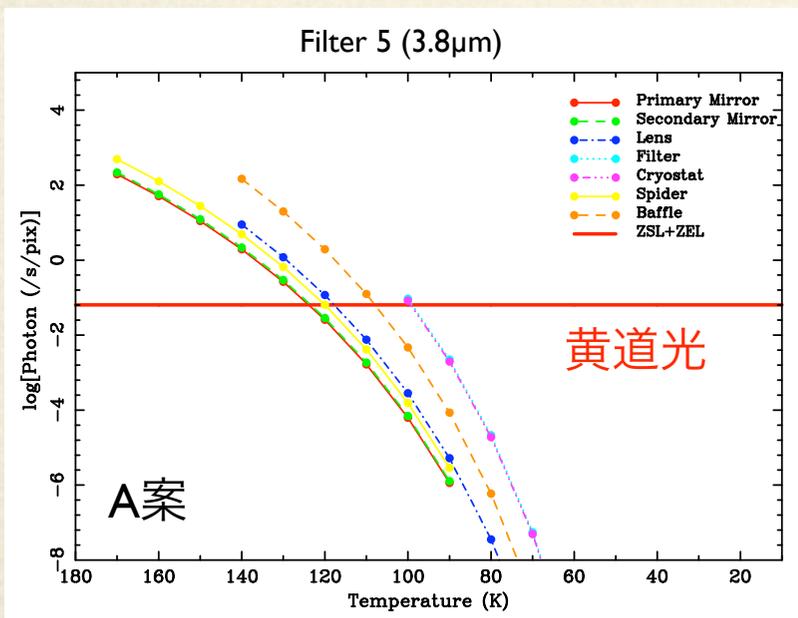
各コンポーネントの温度を10Kずつ下げていき光子数の変化をみる。黄道光に比べ十分小さくなる温度は、フィルター5(3.8 $\mu$ m)の場合、

### A案の場合:

- ・主鏡／副鏡／スパイダー／補正レンズ／バッフル→**100-110K**
- ・フィルター／クライオスタット→**80-90K**

### C案の場合:

- ・主鏡／副鏡／スパイダー／平面鏡／第3鏡→**100-110K**
- ・フィルター／クライオスタット→**80-90K**

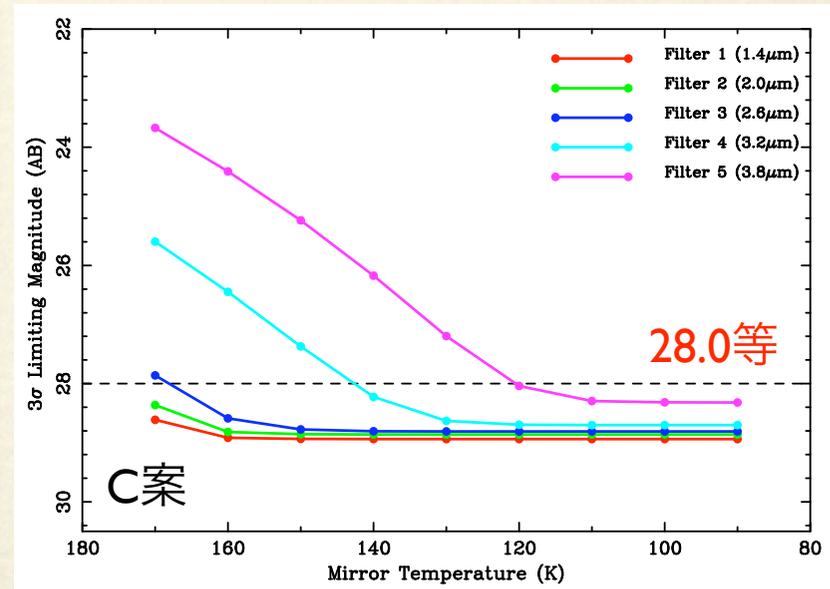
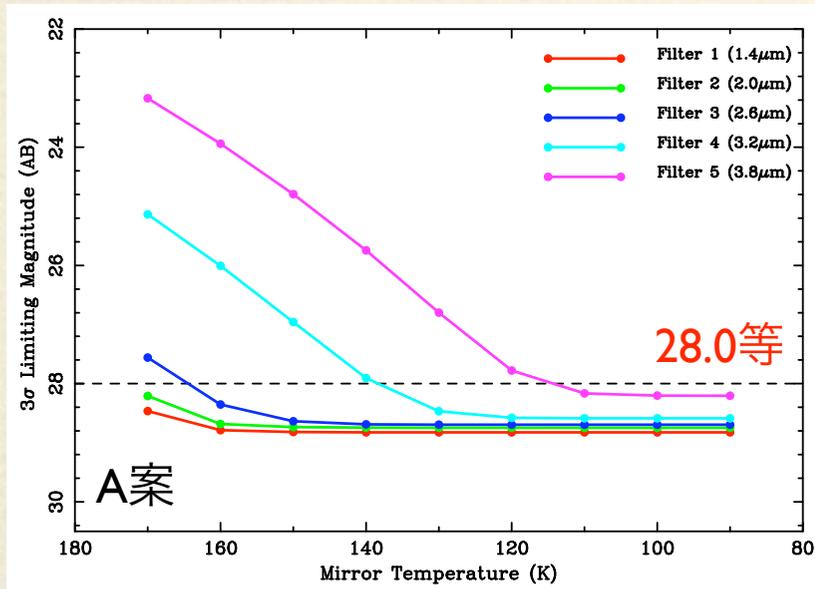


Filter5 (3.8 $\mu$ m)における各コンポーネントからの熱的放射の温度変化

## 検出限界の評価：

各フィルターについて30時間積分した時の $3\sigma$ 限界等級を主鏡の温度の関数で表す。限界等級28等を達成するためには、

- ・ 短波長側ではそれほど冷却の必要性はない
- ・ 長波長側（特に $3.8\mu\text{m}$ フィルター）では110K程度にまで主鏡の温度を下げる必要がある

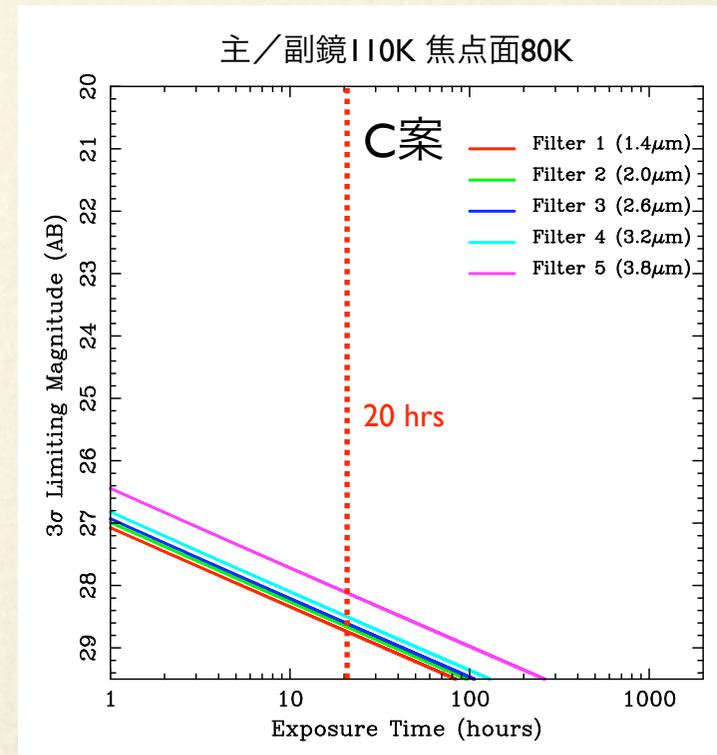
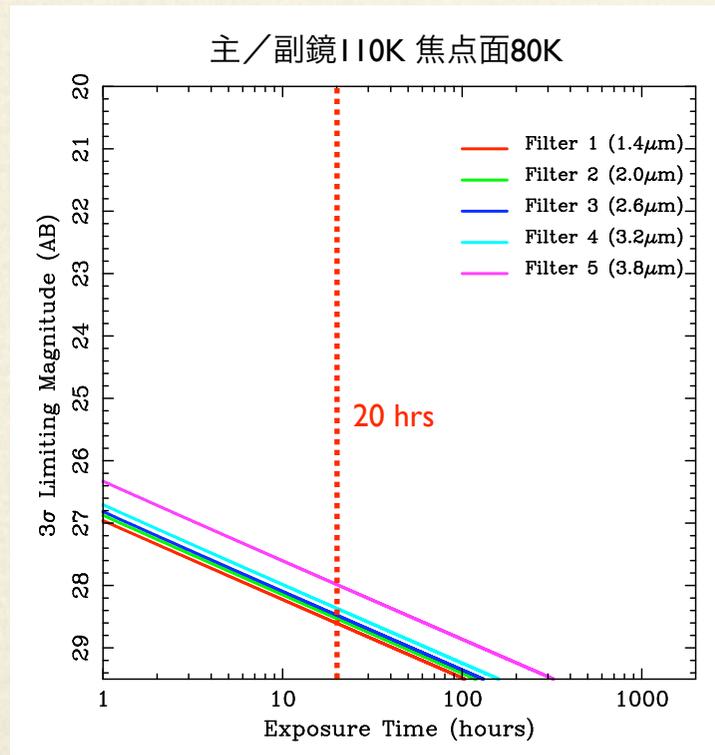


30時間積分での限界等級( $3\sigma$ ,  $0.6''\Phi$ )の主/副鏡温度変化

## 検出限界の評価：

理想的な温度設計(主/副鏡 etc. 110K、焦点面付近 80K)が達成された場合

- ある積分時間でS/N=3となる等級(0.6"φ)を求める
- 温度は主鏡/副鏡110K、焦点面付近80K
- 短波長側：20時間積分で28.5程度
- 長波長側：20時間積分で28等程度になる

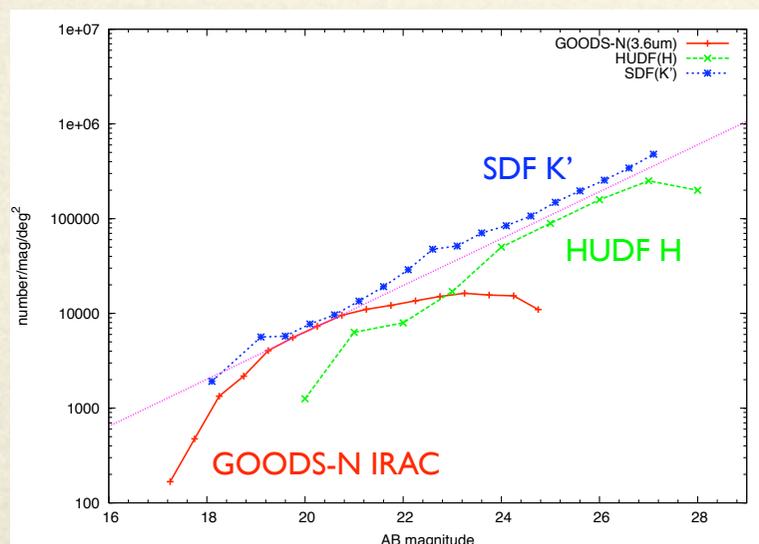


主・副鏡温度110K、フィルター周辺の温度80Kの場合の3 $\sigma$ , 0.6 $\phi$ 限界等級 (左:A案, 右:C案)

## コンフュージョン：

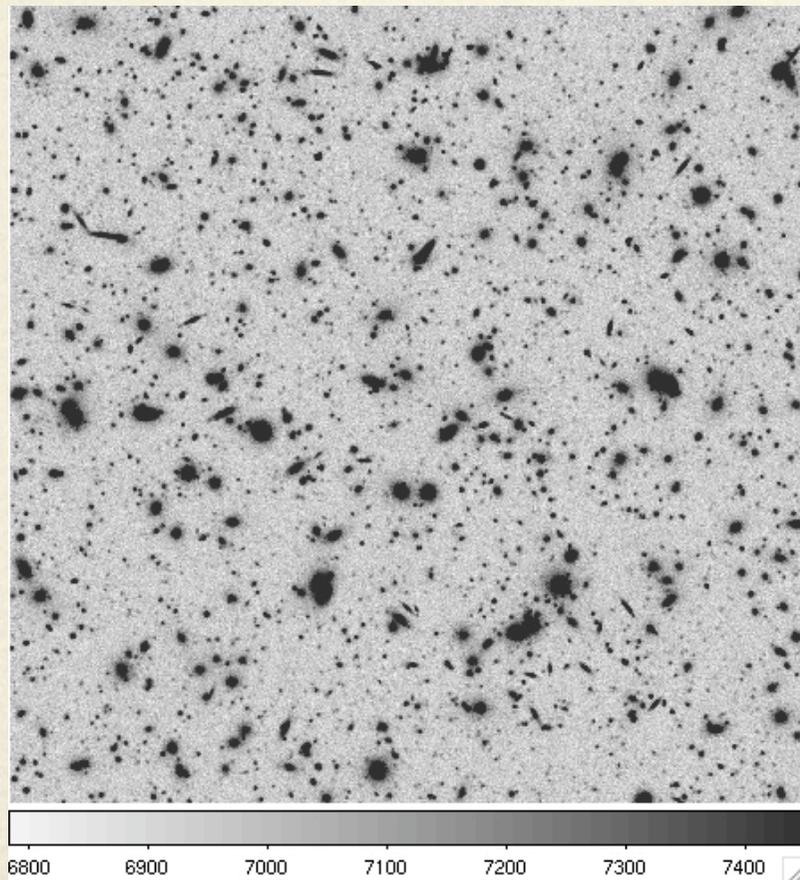
以下の仮定をもとに実際に撮像観測で得られる画像をシミュレートした

- IRAF gallist+mkobjectsパッケージを用い人工天体を作る
- 望遠鏡は理想的な熱設計（前述）が出来ていると仮定
- 銀河のナンバーカウントについてはGOODS-NでのIRAC3.6 $\mu$ mのナンバーカウントから19等から21等までの傾きをフィットし外挿したものをを用いた
- 暗い部分では、HUDFのHバンド（Thompson+2005）とSDFのK'バンド（Maihara+2001）のナンバーカウントと比較してそれほど大きな違いはない
- PSFのサイズはFWHM=1.0''
- 典型的な銀河のサイズは0.5''-1.0''を仮定



## コンフュージョン：

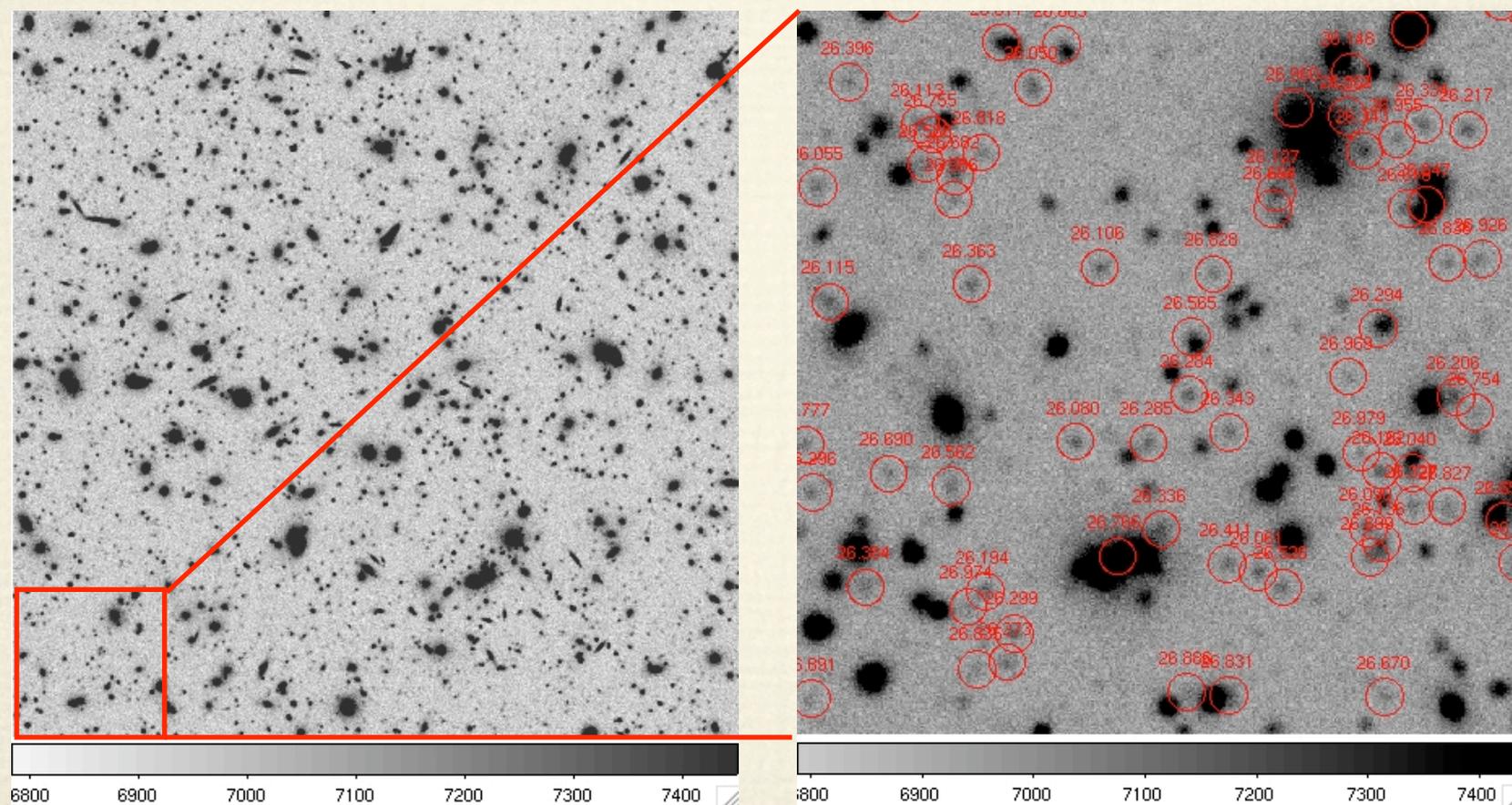
前述のナンバーカウントをもとに約12200個の銀河を埋め込んで30時間積分(600秒露出×180)をした場合の画像(下図)を見ると、深刻なコンフュージョンはないことが分かる。



30時間積分撮像のシミュレーション例。左: 5'x5'の画像。

## コンフュージョン：

前述のナンバーカウントをもとに約12200個の銀河を埋め込んで30時間積分(600秒露出×180)をした場合の画像(下図)を見ると、深刻なコンフュージョンはないことが分かる。



30時間積分撮像のシミュレーション例。左: 5'x5'の画像。右: 1'x1'の画像。26等代の天体を赤丸で示してある。

## まとめ：

- 現在想定されている光学系について期待される検出限界を見積もった。
- 1-4.2 $\mu\text{m}$ を均等にカバーするフィルター( $1 \times 10^{-5}$ のリークあり)を仮定。
- A案、C案ともにフィルターリークの影響は大きい。
- 短波長側のフィルター1(1.4 $\mu\text{m}$ )では、フィルターとクライオスタットからの放射が卓越する。逆に長波長側のフィルター5(3.8 $\mu\text{m}$ )では、主鏡、副鏡、スパイダーからの放射が卓越する。
- 主/副鏡温度170K、焦点面100Kの場合、短波長側では10-20時間積分で~28.0等の限界等級。長波長側では10-20時間積分で23-25等と短波長側に比べ浅くなる。
- 黄道光limitedにするには主/副鏡温度110K、焦点面80K程度に冷却する必要がある。
- この場合、10-20時間積分で短波長側では28.5等、長波長側では28.0等程度の限界等級が達成出来る。
- コンフュージョンの影響はそれほど大きくないと考えられる。