

# 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

## 概要

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つのサーベイ案が提案されている。① Ultra Deep Survey (UDS)、3バンド、100 deg<sup>2</sup>、限界等級 (LM): 28等 (以下すべてAB等級)。② Multi Band Survey (MBS)、5バンド、<100 deg<sup>2</sup>(UDS内)、LM: 27-28等。③ Ultra Wide Survey (UWS)、2-3バンド、1000 deg<sup>2</sup>、LM: 24-25等。近赤外領域では物体からの熱放射が感度に大きく影響してくる。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(詳しくはW37bを参照)で、実際にこれが達成可能なかどうかを検証した。それによると、A案、C案の両方について、適切な温度まで冷やす事により、10-30時間積分で28等が可能であることが分かった。また、理想的な温度設計が実現された場合、実際にどのように天体が撮像されるのかをシミュレーションし、コンフュージョンの影響はあまりない事が分かった。今後、これらの検出限界の見積りを参考に光学系、熱収支を考慮した衛星構造の検討を進め、その結果を検出限界評価にフィードバックすることで、さらに詳細な検出限界評価とサーベイ計画の実現可能性について議論していく必要がある。

## 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+補正レンズ系、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。光学系の各コンポーネント (主鏡、副鏡、レンズなど) からの熱的放射はgray bodyを仮定し、検出器の1ピクセルに単位時間当たりに入る光子数を計算した。右表に計算上仮定した温度、emissivity及び検出器が見込む立体角を示した。温度に関しては比較的高めに仮定して計算を行なった。emissivityの正確な値に不定性がある事に注意が必要である。

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と考えるとその立体角を考えた。また、スパイダーは副鏡の0.125%を覆っていると考えた。A案のパッフルは、カセグレン穴の部分に直径240 mm、高さ1530 mmの円筒があると仮定して計算した。

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, 3.8μm) で、この計算では簡単のため、1-4.2μmを均等にカバーするようなフィルター (FWHMは0.6μm) を仮定した。また、感度のある波長帯以外では1x10<sup>-5</sup>のリークがあると仮定している。

検出器の量子効率 は1-4.4μmで60%程度であることを仮定している。また、この計算においては迷光については考慮していないことに注意されたい。

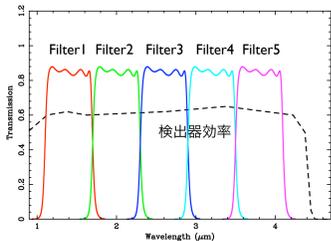


図1. 計算上仮定した、フィルター透過率と検出器の量子効率

### 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	8.8x10 <sup>-3</sup>
パッフル	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	4.5x10 <sup>-3</sup>

## 検出限界の評価

右図に、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フィルター1 (1.4μm)、フィルター3 (2.6μm)、フィルター5 (3.8μm) について示した。まず、両案ともにフィルターのリークの影響が大きいことが分かる。短波長側のフィルター1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。そして、長波長側のフィルター5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事が分かる。

このように計算した装置からの熱放射に基づき、各フィルターでの3σ 0.6"φ限界等級を積分時間の関数で表したものが、図3の左側のパネルになる。短波長側では10時間程度の積分時間で28.0等の限界等級が実現されるが、長波長側では30時間積分でも23-26等と短波長側に比べて浅くなってしまふことがわかる。従って、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170K フィルター周辺100K 主・副鏡110K フィルター周辺80K

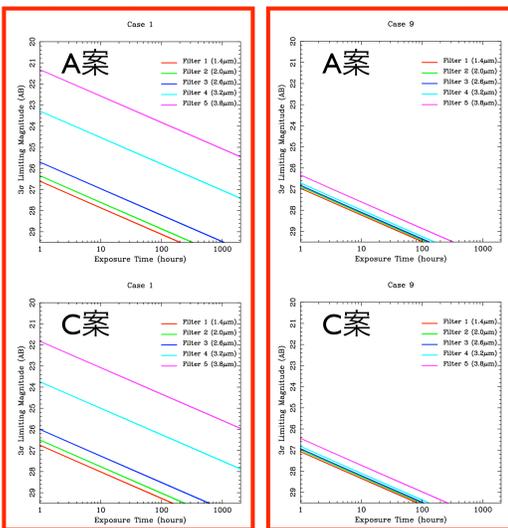


図3. 3σ, 0.6φ限界等級 (左: 主・副鏡温度170K、フィルター周辺の温度100Kの場合; 右: 主・副鏡温度110K、フィルター周辺の温度80Kの場合)

各コンポーネントの温度を10Kずつ下げていき、1ピクセルに入る光子数の変化を温度の関数で図4に表した。フィルターとクライオスタットからの放射は温度を80K程度にまで下げれば黄道光に比べて十分小さくなる。一方で主鏡や副鏡、スパイダーの熱放射を黄道光よりも小さくするためには110K程度にまで冷やす必要があることが分かる。

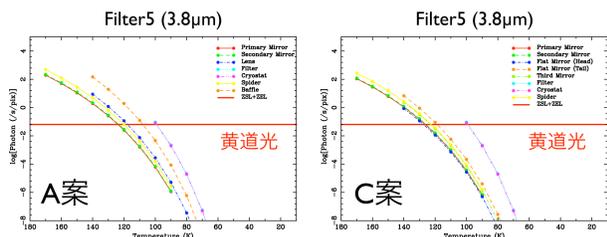


図4. Filter 5 (3.8μm) における各コンポーネントからの熱放射の温度変化

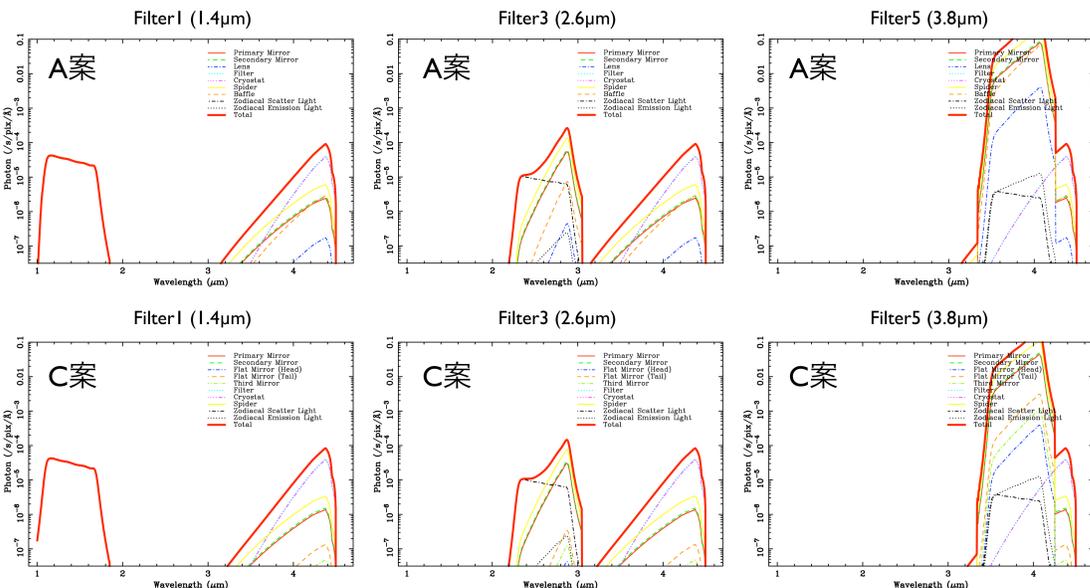


図2. Filter 1, 3, 5における各コンポーネントから検出器の1ピクセルに入る単位時間単位波長当たりの光子数。上段がA案、下段がC案の場合。

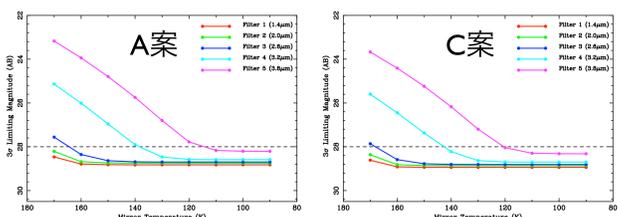


図5. 30時間積分での限界等級

各フィルターについて30時間積分時の3σ限界等級を主鏡の温度の関数で表したものが上の図5である。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が、長波長側 (特に3.8μm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ことが見て取れる。

最後に、図3の右側のパネルに主・副鏡、スパイダーの温度を110K、フィルター周辺を80Kにまで冷やした理想的な温度設計での限界等級を時間の関数で表した。

## コンフュージョンの影響

コンフュージョンの影響があるのかを、現在の望遠鏡/検出器の仕様から撮像画像をシミュレートすることで調べた。シミュレーションはIRAFのgallist+mkobjectsパッケージを用いて人工天体を作る事で行なった。その際に望遠鏡は理想的な熱設計 (上述) が出来ていると仮定した。銀河のナンバーカウントについてはGOODS-NでのIRAC 3.6μm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"を仮定。典型的な銀河のサイズは0.5"-1.0"を仮定している。

右図6の左のパネルは5'x5'の領域(検出器のチップ1枚の1/4の面積)に上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x180)をした場合の画像である。右のパネルはその中から1'x1'の領域を抜き出したもので、26.0-27.0等の銀河を赤丸で示してある。この結果から深刻なコンフュージョンはないことが分かる。

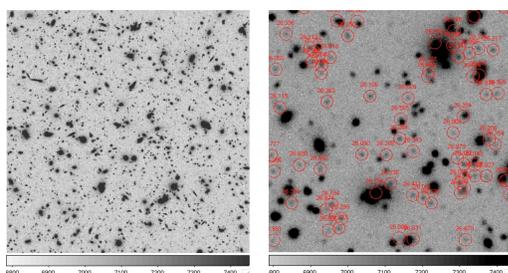


図6. 30時間積分撮像のシミュレーション例。左: 5'x5'の画像。右: 1'x1'の画像。26等代の天体を赤丸で示してある。

## まとめと今後の展望

現在想定されているWISH衛星の光学設計において検出限界の評価を行った。それによると、

- ・短波長側では10-20時間積分で限界等級28等が可能。
- ・長波長側でも各コンポーネントを適切な温度まで冷やす (主・副鏡を110K、フィルター周りを80K程度までなど) 事で、30時間程度の積分で28等が可能である。

ということが明らかになった。また、理想的な温度設計が実現された場合、実際にどのように天体が撮像されるのかをシミュレーションし、コンフュージョンの影響は深刻でない事も分かった。今後、これらの検出限界の見積りを参考に光学系、熱収支を考慮した衛星構造の検討を進め、それらの結果を検出限界評価にフィードバックすることで、さらに詳細な検出限界評価とサーベイ計画の実現可能性について議論していく必要がある。また、望遠鏡構造案が固まり次第、レイトレーシングによる光路解析を行ない迷光の影響の分析も行なう予定である。