

# WISH: フィルターセット検討および3.2μm広帯域フィルター試作試験

○ 矢部清人 (京都大学)、岩田 生 (国立天文台)、東谷千比呂、山田 亨 (東北大学)、他WISH検討グループ、左近樹 (東京大学)

## A. 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。

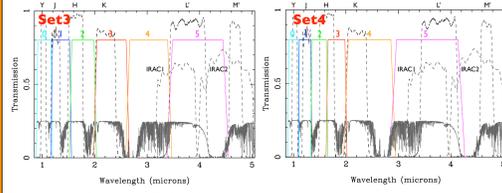
現在、我々はこの科学目標を達成するために最適なフィルターセットの検討を行っている。およそ1-5μmの波長域で6枚程度の広帯域フィルターを2種類仮定し、z=8-15のdropout銀河の期待される検出数を評価した。また、現在想定している光学系において、各フィルターセットについての検出限界を推定し、サーベイプランの議論を行なった。

また、フィルターセットの検討と平行して、宇宙での使用を目的とした大型近赤外線フィルターの制作可能性を検証するための試作試験を進めている。これまでに、長波長側の3.2μm広帯域フィルターの試作を行い、WISHで想定されている80K程度までの冷却サイクル試験や、5年以上の運用期間中に宇宙線による性能の劣化が生じないかを検証するためのコバルト60によるγ線照射試験などを行った。その結果、これらの試験に対して概ね耐性を持つことが確認できた。

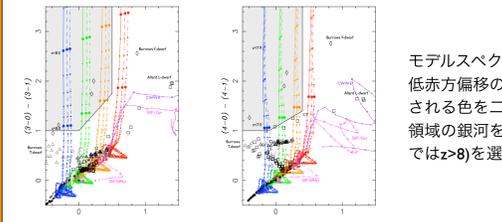
本ポスター講演では、これまでにやってきたフィルターセットの検討および3.2μmフィルター試作試験の結果を報告する。以下、等級はすべてAB等級である。

## B. フィルターシステムの検討

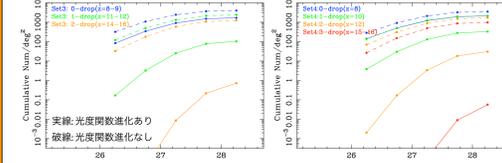
### フィルターセットの検討



0.9~4.2 or 4.5μmを6枚でカバーするフィルターセットを考える。対数スペースで等間隔のSet3と、2μmまでを対数スペース等間隔でカバーし、>2μmは幅の広いフィルターとするSet 4を検討した。



モデルスペクトル分布を仮定してdropout銀河、低赤方偏移の銀河、銀河系内の低温度星の予想される色を二色図上にプロットする。グレーの領域の銀河を選択すると、dropout銀河(左の例ではz>8)を選ぶことができる。



1平方度あたりの検出期待数

Set	z	光度関数進化あり	光度関数進化なし
Set 3:0-drop	8-9	1,690	4,000
Set 3:1-drop	11-12	104.2	2,393
Set 3:2-drop	14-17	0.723	1,249
Set 4:0-drop	8	2,129	3,522
Set 4:1-drop	10	329.9	2,150
Set 4:2-drop	12-13	30.37	1,728
Set 4:3-drop	15-18	0.0567	981.5

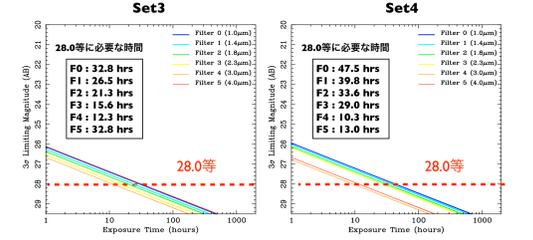
\* UV光度関数の進化は、赤方偏移が大きいほど典型的な明るさが暗くなる進化を考えた

### 検出限界とサーベイプラン

現在WISHで想定されている光学系に基づき、理想的な温度設計が達成出来た場合の検出限界を各フィルターセットについて推定した。

コンポーネント名	温度(K)	emissivity(%)	立体角 (str)
主鏡	100	5	0.036
副鏡	100	5	0.036
平面鏡(表面)	100	5	0.023
平面鏡(裏面)	100	5	0.16
第三鏡	100	5	0.057
フィルター	80	10	2.8
クライオスタット	80	10	2.8
スライダ	100	90	4.5x10 <sup>3</sup>

表B1. 各コンポーネントの温度とemissivity



図B1. 積分時間に対する3σ限界等級(AB)

これに基づき限界等級28.0等で約1500日のサーベイプランを考えると、

- Plan1: Set3でFilter 2, 3, 4を約80平方度、Filter 0, 1, 5を約20平方度
- Plan2: Set3でFilter 1, 2, 3, 4を約60平方度、Filter 0, 5を約20平方度
- Plan3: Set4でFilter 2, 3, 4, 5を約50平方度、Filter 0, 1を約20平方度

などが考えられる。今後、L2点からのvisibilityも考慮し、狭帯域フィルターやスリットレス分光の可能性も含め、さらに具体的なサーベイ計画の検討を進める予定である。

## C. 3.2μm広帯域フィルター試作試験

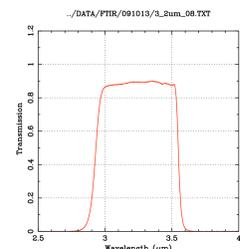
### 試作試験の概要

宇宙で使用可能な大型近赤外線フィルターの制作を検討するにあたり、まず長波長側での試作試験を行った。今回中心波長3.2μm幅0.6μmの広帯域フィルターを試作した。このフィルターはSi基盤に膜を蒸着させた干渉フィルターでバンドパスフィルター(BPF)とカットフィルター(CUT)の2枚で1セットになっている。サイズは2枚で80 mm x 80 mm x t10 mmで、これに加え25 mmΦ x t2 mmのテストピースも試作した。

今回、この試作フィルターに対し、透過率や表面精度などの測定や冷却サイクル試験や放射線試験などの耐久性試験を行なった。



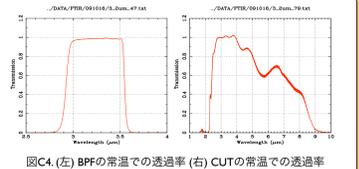
図C1. 80 mm角の製品フィルター (上)と25 mmΦのテストピース (下)



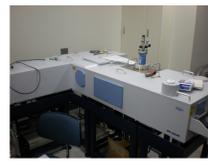
図C2. 常温での透過率。使用したFTIRの性質上透過率の絶対値には数%の不定性があることに注意(以下同様)。

### 透過率測定

また、フーリエ分光光度計(FTIR)を用いて、透過率の測定を行なった。図C4にBPFとCUTの常温での透過率曲線の様子を示す。BPF+CUTの透過率は、図C2の通り。

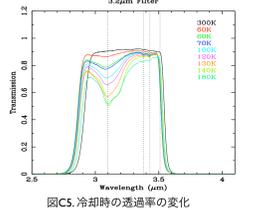


図C4. (左) BPFの常温での透過率 (右) CUTの常温での透過率



図C3. 測定に使用したFTIR

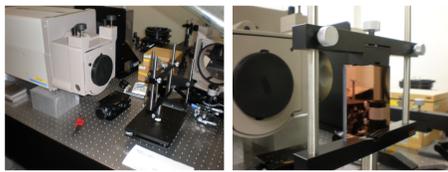
60K程度まで冷却して透過率を測定した際に、3.1μm付近に吸収が見られた。これは水分子によるものと思われるが、フィルターの製造過程で入ったものか、測定手順に起因するのかが現在調査している。



図C5. 冷却時の透過率の変化

### 納品検査/表面精度測定

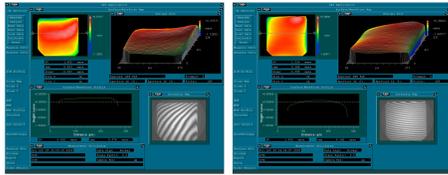
試作フィルターの納品時にキズや膜の剥がれなどがどうかの検査を行なった。表面のキズの有無は目視確認で行ない、膜の剥がれの有無はテープテストで検査した。テープテストはフィルターの角部分に絶縁テープを貼り、それを剥がした時に膜の状態に変化がないかをみることで行なった。



図C7. ZYGOのセッティングおよび測定の様子



図C6. テープテストの様子



図C8. ZYGOによる表面精度測定の結果

国立天文台先端技術センターのZYGO社GPIを用いBPFとCUTの両面に対し表面精度の測定を行なった。測定波長λ=500 nmに対し、RMSで0.2-0.6λという結果になり、『光学研磨程度』という試作の条件を満たしていることを確認した。

納品検査の結果、重大なキズや膜の剥がれなどは見られなかった。透過率測定の結果、ほぼ仕様通りの透過率のフィルターが出来たことが分かった。また、表面精度も仕様通りに出来ている事が分かった。

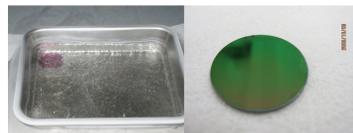
### 冷却サイクル試験

宇宙環境下での運用や打ち上げ時に起こりうる急激な温度変化に耐性を持つかを調べるため、冷却サイクル実験を行なった。

常温から80Kまで冷やし、その後常温に戻す温度変化を1サイクルとし、1サイクル当たり4時間かけるものと2時間かけるもの2種類の実験を行なった。

実験の方法は、真空を引いたデュワー内にフィルターを設置し、液体窒素に接触させながらヒーターで温度変化をコントロールすることで行なった。各サイクルについて、温度および真空度の変化は図C10の通り。

各サイクルの後に、目視およびテープテストを行なったが、フィルター表面および膜に異常は見られなかった。



図C11. (左上) 液体窒素にじゃぶじゃぶ浸ける実験の様子。(右上) 実験直後のフィルターの様子。(左下) テープテストの様子。



図C9. (左上) 冷却サイクル実験の様子。(左下) 冷却サイクル実験に使用したデュワー。(右下) フィルターホルダーに収まったフィルター



図C10. 冷却サイクルにおける温度変化および真空度変化。図中のSlowは4時間のサイクル、Rapidは2時間のサイクル。

更に急激な温度サイクルとして、テストピースを液体窒素の中に直接入れる実験を行なった。

約15分間液体窒素に浸した後、フィルター表面の状態を目視確認したが、異常は見られなかった。また、テープテストの結果、膜に異常は見られなかった。

### 放射線照射試験

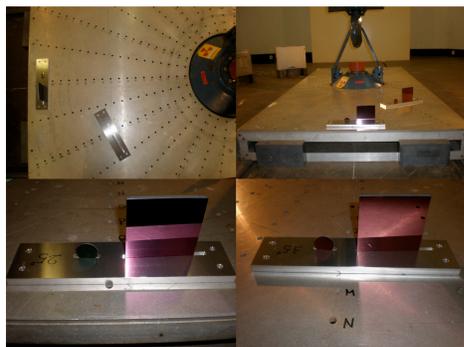
都立産業技術センター協力の元、コバルト60によるγ線照射試験を行った。照射量はフィルターの放射線源からの距離で決まり、5時間で計7 kradと14 kradの2種類を設定した。この照射量はL2点上での典型的な宇宙線量とエネルギーをそれぞれ10 particles/cm<sup>2</sup>/sと300MeVと仮定した時の5年間(WISHが予定するミッション期間)の放射線量に対応する。



図C13. 放射線源が露出している様子。中央やや下にフィルターと同じ高さにある棒状の放射線源が見える。

目標の放射線量を照射した後に、フィルター表面を目視検査した結果、目立った変化はなかった。また、テープテストを実施した結果、表面の膜が剥がれるなどの現象は起こらなかった。

また、常温での透過率を測定した所、透過率曲線の形や波長範囲の変化などは見られなかった。



図C12. 放射線試験の様子。(左上) 上から見たフィルターの配置。右側の球体が放射線源の位置に対応。(右上) 正面から見たフィルターの配置。(左下) 7 kradに対応する位置のフィルタースタンド。(右下) 14 kradに対応する位置のフィルタースタンド。

## D. まとめと今後の課題

WISHの科学目標を達成するために最適なフィルターセットの検討を行った。およそ1-5μmの波長域で6枚程度の広帯域フィルターを2種類仮定し、z=8-15のdropout銀河の期待される検出数を評価した。また、現在想定している光学系において、各フィルターセットについての検出限界を見積り、サーベイプランの議論を行なった。

また、長波長側の3.2μm広帯域フィルターの試作を行い、WISHで想定されている80K程度までの冷却サイクル試験や、5年分に相当する量のγ線照射試験などを行った。その結果、これらの試験に対して概ね耐性を持つことが確認できた。今後、短波長側のフィルターの試作も含め、振動や曲げ応力試験など更なる耐久試験を行う予定である。