

# WISH サーベイプラン

岩田 生 (国立天文台)

2010/02/04

サイエンスケースの検討のため、現時点での WISH 衛星の仕様、検出限界、サーベイデザイン案についてまとめる。この内容をベースにしてサイエンス検討を進め、ミッション要求書、ミッション提案書に記載する仕様へと更新していくための叩き台という位置づけである。

## 1 WISH 衛星仕様

Telescope	
Mirror diameter	1.5m
Mirror Material	low CTE glass
Focal ratio	16
Strahl ratio	> 0.85 over whole filed-of-view in 1–5 $\mu$ m
Wide-field Camera	
Shape of field of view	Donut-like
Inner diameter of annulus	172.8 mm = 24.8'
Outer diameter of annulus	388.8 mm = 55.7'
Plate scale	8.6"/mm
Detector	32 2k $\times$ 2k HgCdTe arrays
Pixel scale	0.15"/pixel
Area covered by detectors	840 sq.arcmin
Wavelength	1–5 $\mu$ m
Number of filters	7 or 15 (TBD)
Mission	
Orbit	Sun-Earth L2
Mission Lifetime	5 years at L2
Expected launch year	late 2010s

Table 1: 2010 年 2 月時点での WISH 基本仕様

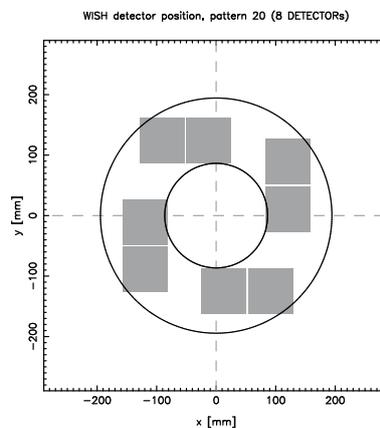


Figure 1: 検出器配置案。ドーナツ型の円周が焦点面で、グレーの部分が 2k $\times$ 2k  $\times$  4 の検出器クラスターになっており、それを 8 個配置する。

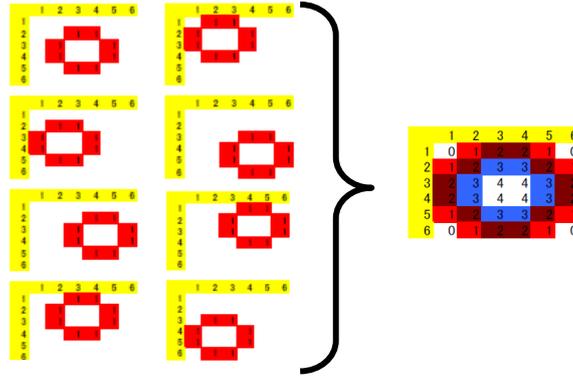


Figure 2: ディザ パターンの例。中心部が抜けた特殊な検出器配置でも、ディザによって均一な深さのサーベイを行うことができる。

## 2 フィルタ

現在の検出限界検討で使用している Broad-band filter のセットは「セット 3」「セット 4」の二種類である。

### 2.1 Filter Set 3

$0.9\mu\text{m}$  から  $4.5\mu\text{m}$  をほぼ対数ベースで等間隔に分割したフィルタセットである。

$\lambda_{\text{center}}$	width	w0	w1
1.040	0.280	0.900	1.180
1.360	0.360	1.180	1.540
1.775	0.470	1.540	2.010
2.320	0.620	2.010	2.630
3.030	0.800	2.630	3.430
3.965	1.070	3.430	4.500

Table 2: Set 3 の仕様。width は FWHM、w0, w1 はピークの 50% となる波長。単位は  $\mu\text{m}$

### 2.2 Filter Set 4

$0.9\mu\text{m}$  から  $2.0\mu\text{m}$  をほぼ対数ベースで等間隔に分割し、 $2.0\mu\text{m}$ – $4.2\mu\text{m}$  を 2 枚のフィルタでカバーしたフィルタセットである。

$\lambda_{\text{center}}$	width	w0	w1
1.000	0.200	0.900	1.100
1.220	0.240	1.100	1.340
1.490	0.300	1.340	1.640
1.820	0.400	1.640	2.000
2.450	0.900	2.000	2.900
3.550	1.300	2.900	4.200

Table 3: Set 4 の仕様。width は FWHM、w0, w1 はピークの 50% となる波長。単位は  $\mu\text{m}$

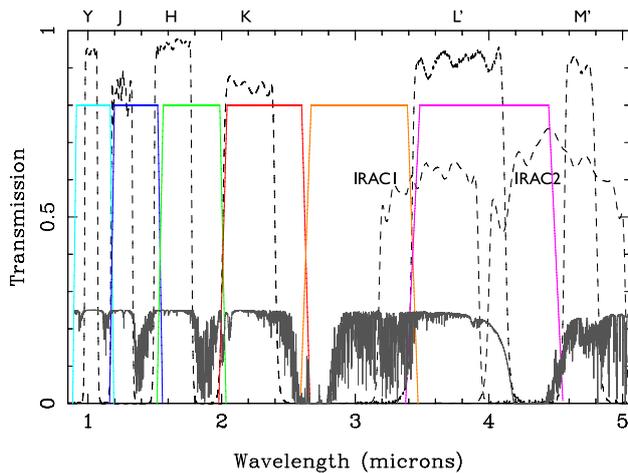


Figure 3: Filter Set 3. 地上望遠鏡で使用されている Y, J, H, Ks, L', M' (Subaru IRCS), Spitzer Ch 1, Ch2 と地球大気の透過率を併せて示している。

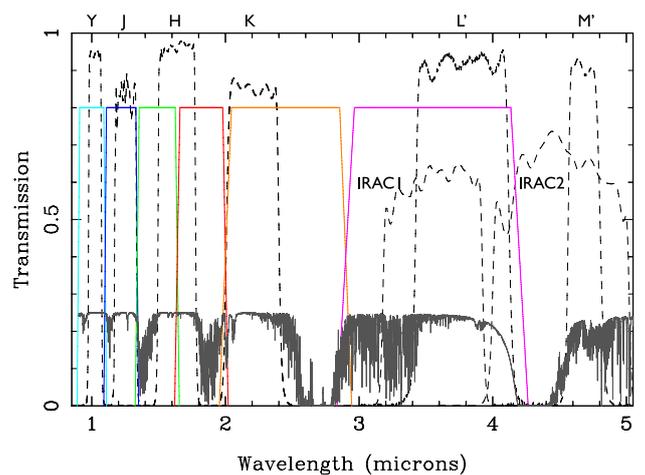


Figure 4: Filter Set 4.

### 2.3 Narrow-band Filters

Narrow-band filter については未だ検討が進んでいないが、搭載の要望があるので前向きに検討したい。一方、スリットレス分光とどちらが有利かも含めて検討が必要。

フィルタ搭載枚数は、フィルタ交換機構のデザインおよび配置に依存する。現在有力なフリップ式交換機構 (Fig.5、諸隈さんの第10回宇宙科学シンポジウム用ポスター参照) の場合、一つのユニットで4枚のフィルタを搭載できる。このユニットを光路上の何点に配置できるかで搭載できるフィルタ枚数が決まる。1枚はdark用のシャッターとして使うとすると、検出器あたり2組であれば7枚、4組であれば15枚となる。7枚となると、Broad-band filter が5-6枚必要となるので、NB filter の余地は少なくなる。

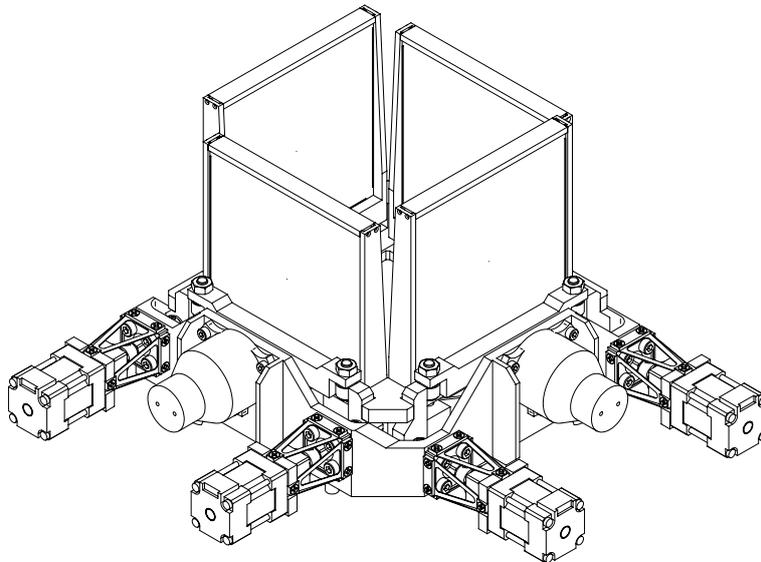


Figure 5: フリップ式フィルタ交換機構の基本設計図

### 3 検出限界

#### 3.1 長時間積分での検出限界 (ケース 1)

1 回の露出時間 300 秒の露出を繰り返した場合の、トータルの積分時間に対する限界等級を計算した (京大 矢部さんによる)。

[計算の説明]

- 黄道光は散乱光 ( $< 3\mu\text{m}$  で支配的) および熱放射 ( $> 3\mu\text{m}$  で支配的) を、それぞれ 5800K, 275K の黒体輻射として、黄極付近での観測値の 3 倍の明るさとして計算した。ある程度黄緯が高い、銀河サーベイを行うと考えられる天域では、黄極の 2 倍程度の明るさに収まっている (Fig.6)。マージンをとって、黄極での値の 3 倍として計算した。
- 鏡、スパイダーは 100K、フィルタは 80K として熱放射を計算している。
- フィルタの (バンドパス部分以外の) リークは  $1e-5$  を仮定している ( $1e-4$  でも結果に大きな違いはない)。長波長側での熱的輻射の影響を受けるが、 $1e-4$  程度のリークに抑えられれば、背景ノイズへの影響はバンドパス部分での黄道光よりも小さくなる。
- 天体は点源とし、aperture は  $0.6''\phi$  としている。
- 検出器感度はピーク ( $1.4\mu\text{m}-4.2\mu\text{m}$ ) では 65% で  $0.875\mu\text{m}$  から  $4.5\mu\text{m}$  までカバーするように仮定した。

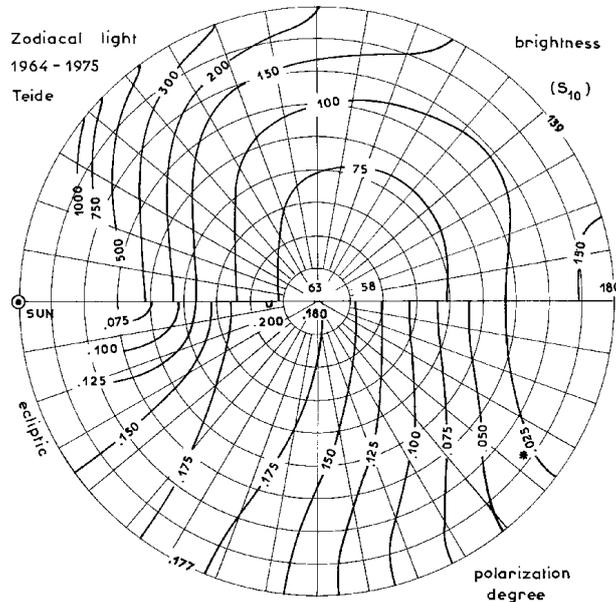


Figure 6: Annually averaged distribution of the zodiacal light over the sky in differential ecliptic coordinates. Upper half: zodiacal light brightness  $I_{ZL}(S10_{\odot})$ , lower half: degree of polarisation of zodiacal light. From [Leinert et al.(1998)], Fig. 37.

[計算結果]

Fig.3.1, 3.1 に Filter set 3, 4 での積分時間に応じた  $3\sigma$  限界等級を示す。フィルタセット 4 では、特に短波長側のフィルタで検出限界が浅くなっているが、これはフィルタのバンド幅がセット 3 に比べて狭いためである。28 AB 等級に到達するのに要する on-source 積分時間を Table4 に、on-source 10 時間積分での  $3\sigma$  限界等級を Table5 に示した。

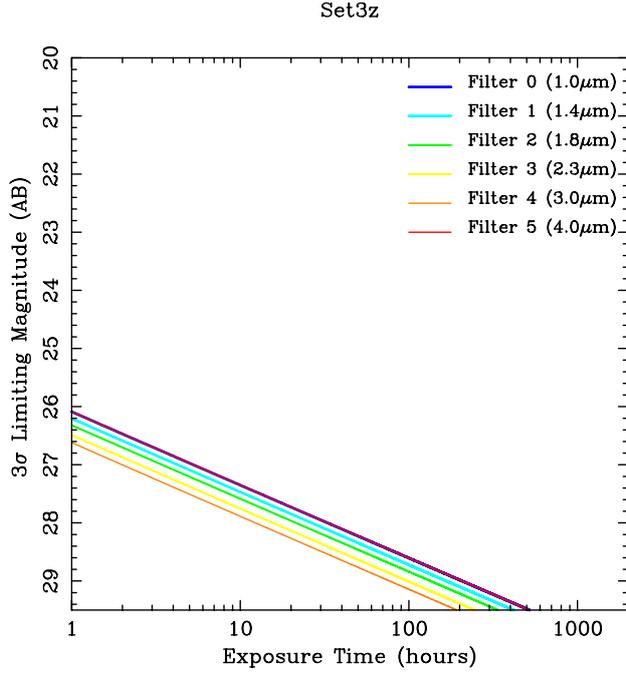


Figure 7: Set3 での積分時間ごとの検出限界

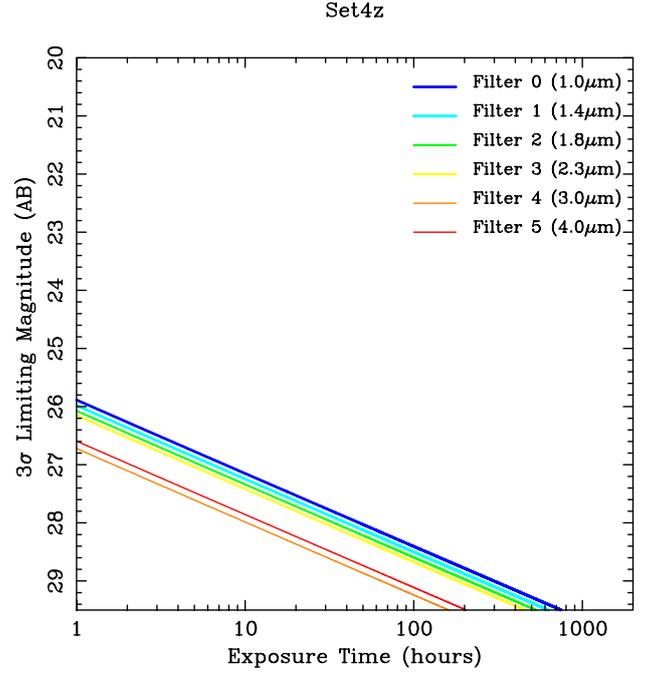


Figure 8: Set4 での積分時間ごとの検出限界

Filter	Exposure time (hours)					
	0	1	2	3	4	5
Set 3	32.8	26.5	21.3	15.6	12.3	32.8
Set 4	47.5	39.8	33.6	29.0	10.3	13.0

Table 4: 28AB mag. に到達するのに要する積分時間

Filter	$3\sigma$ Limiting AB mag.					
	0	1	2	3	4	5
Set 3	27.35	27.47	27.59	27.76	27.89	27.35
Set 4	27.15	27.25	26.34	27.42	26.99	27.86

Table 5: on-source 10 時間積分で到達する  $3\sigma$  限界等級

### 3.2 長時間積分での検出限界 (ケース 2)

黄極付近での黄道光 ((1) の場合の  $1/3$ ) を仮定した場合の結果を示す。光学系、衛星は (1) 同様熱的輻射が黄道光より十分小さくなるよう冷却されていると仮定しているため、この計算結果は L2 に置かれた 1.5m 望遠鏡で達成できる最も深い観測に近いものとなっている。

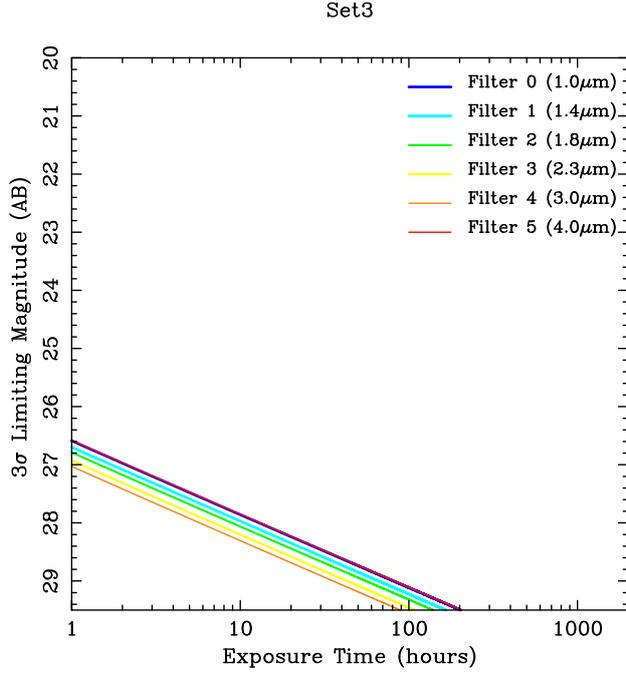


Figure 9: 黄道光最小の場合、Set3 での積分時間ごとの検出限界

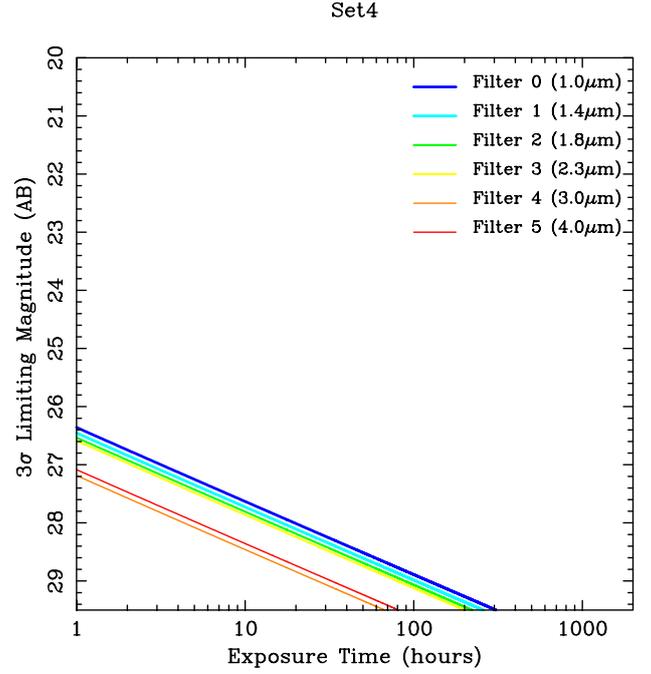


Figure 10: 黄道光最小の場合、Set4 での積分時間ごとの検出限界

Filter	Exposure time (hours)					
	0	1	2	3	4	5
Set 3	12.9	10.6	8.9	6.9	5.8	13.1
Set 4	19.6	16.5	14.2	12.8	4.3	5.3

Table 6: 黄道光最小の場合、28AB mag. に到達するのに要する積分時間

Filter	$3\sigma$ Limiting AB mag.					
	0	1	2	3	4	5
Set 3	27.86	27.97	28.06	28.20	28.31	27.85
Set 4	27.63	27.73	27.81	27.86	28.46	28.36

Table 7: 黄道光最小の場合、on-source 10 時間積分で到達する  $3\sigma$  限界等級

### 3.3 長時間積分での検出限界 (ケース 3)

検出器の感度を、(1) (2) の  $4.5\mu\text{m}$  でのカットではなく  $5.0\mu\text{m}$  まで延ばした場合の検出限界を計算した。黄道光は (2) と同様黄極付近の値を用いた。

$\lambda_{\text{center}}$	width	w0	w1
1.050	0.300	0.900	1.200
1.395	0.390	1.200	1.590
1.855	0.530	1.590	2.120
2.470	0.700	2.120	2.820
3.290	0.940	2.820	3.760
4.380	1.240	3.760	5.000

Table 8: Set 3e の仕様。Set 3 に対し全体的に幅を増して  $5\mu\text{m}$  までカバーするようにしている。width は FWHM、w0, w1 はピークの 50% となる波長。単位は  $\mu\text{m}$

$\lambda_{\text{center}}$	width	w0	w1
1.000	0.200	0.900	1.100
1.220	0.240	1.100	1.340
1.490	0.300	1.340	1.640
1.820	0.400	1.640	2.000
2.450	1.160	2.000	3.160
3.550	1.840	3.160	5.000

Table 9: Set 4e の仕様。Set 4 に対し、Filter 4, 5 の幅を増して  $5\mu\text{m}$  までカバーするようにしている。Filter 0-3 は Set 4 と同じ。width は FWHM、w0, w1 はピークの 50% となる波長。単位は  $\mu\text{m}$

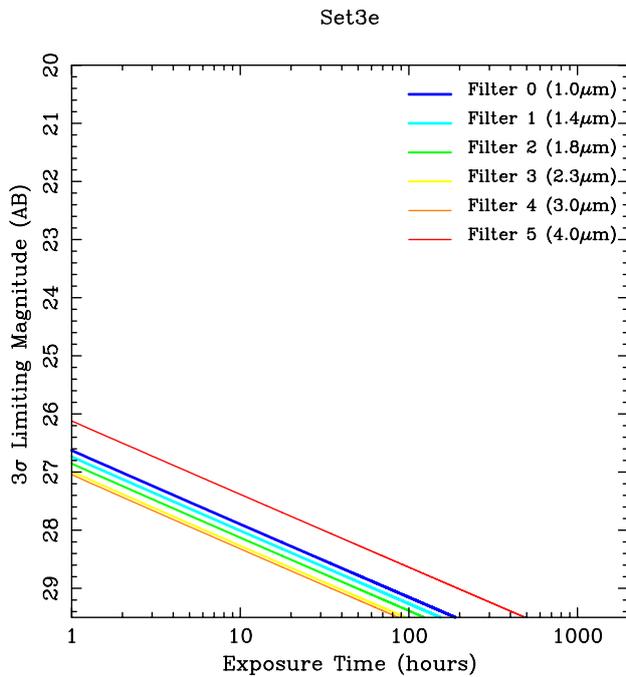


Figure 11:  $5\mu\text{m}$  までカバーした場合、Set 3 での積分時間ごとの検出限界

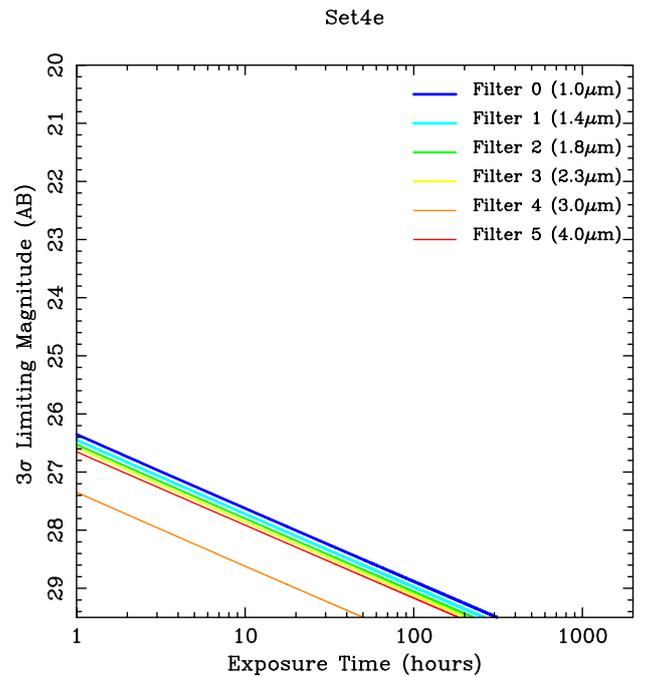


Figure 12:  $5\mu\text{m}$  までカバーした場合、Set 4 での積分時間ごとの検出限界

Set 3e では、各フィルタの幅が広がっているため、検出限界は Filter 5 以外では (2) よりも深くなっている。一方、Set 4e では Filter 4, 5 以外は (2) と同様のため、若干検出限界はわずかに浅くなっている。Filter 4 は幅が広くなり深くなっているが、Filter 5 は浅くなっている。 $5\mu\text{m}$  まで感度を延ばしてもあまり大きな影響がないのは、フィルタのリークが  $1e-5$  と小さいため、 $5\mu\text{m}$  付近の黄道光の熱的放射もあまり効いていないためと考えられる。

Filter	Exposure time (hours)					
	0	1	2	3	4	5
Set 3	12.1	9.8	7.9	6.2	5.6	31.0
Set 4	19.9	16.7	14.4	13.1	3.3	11.8

Table 10: 28AB mag. に到達するのに要する積分時間

Filter	$3\sigma$ Limiting AB mag.					
	0	1	2	3	4	5
Set 3	27.90	28.01	28.13	28.27	28.32	27.38
Set 4	27.62	27.72	27.80	27.85	28.62	27.91

Table 11: on-source 10 時間積分で到達する  $3\sigma$  限界等級

### 3.4 短時間積分

(300 秒よりも短い積分時間での検出限界)

## 4 サーベイプラン

### 4.1 Ultra-Deep Survey (UDS)

3-4 バンドで 28AB mag. の検出限界を達成するサーベイ。ドロップアウト法による high- $z$  銀河探査と、反復観測による超新星探査を目的とする。Broad-band filter の内 3-4 枚を使用する。

Set 3 の場合、Filter 1-4 の 4 枚を使用して  $11 < z < 17$  の Lyman break 銀河を探査するプランと、Filter 2-4 の 3 枚を使用して  $14 < z < 17$  の Lyman break 銀河を探査する ( $z < 14$  については MBS で実行) プランが考えられる。

Set 4 の場合、Filter 2-5 の 4 枚を使用して  $12 < z < 18$  の Lyman break 銀河を探査するプランになると考えられる (Filter 2-4 だけだと  $12 < z < 13$ 、Filter 3-5 だけだと  $15 < z < 18$  を探査することになる)。

Lyman break 銀河の探査とフィルタセットの関係については、詳しくは文書「WISH Filter Set 検討」を参照のこと。

### 4.2 Multi-Band Survey (MBS)

UDS の一部領域について、多波長撮像を行うサーベイ。Broad-band filter の内、UDS で使用しない 2-3 枚を使用する。

Narrow-band も含む?

### 4.3 UDS+MBS のサーベイプラン

1,500 日 (約 4 年) を UDS+MBS にあてるとして、各バンド 28AB に到達する時間を考慮して、考えられるサーベイプランを挙げる。オーバーヘッドは 50% を仮定した。

\* 観測可能時間について、軌道から、もしくはデータレートからの制約がないか、検討する必要 \* 領域のオーバーラップを考慮していない \*

#### 4.3.1 検出限界 ケース 1 の場合

黄道光を黄極の 3 倍とした場合の検出限界でのサーベイプランの例を考える。

Plan 1: Filter Set 3, Lim. Mag. Case 1							
UDS				MBS			
Filter	# of days	# of FoV	Area (deg <sup>2</sup> )	Filter	# of Days	# of FoV	Area
2, 3, 4	999	325	75.83	0, 1, 5	495	86	20.07

Table 12: UDS+MBS のサーベイプラン案 1。Filter Set 3 の 3 枚で UDS。検出限界ケース 1

Plan 2: Filter Set 3, Lim. Mag. Case 1							
UDS				MBS			
Filter	# of days	# of FoV	Area (deg <sup>2</sup> )	Filter	# of Days	# of FoV	Area
1, 2, 3, 4	1197	253	59.03	0, 5	299	73	17.03

Table 13: UDS+MBS のサーベイプラン案 2。Filter Set 3 の 4 枚で UDS。検出限界ケース 1

Plan 3: Filter Set 4, Lim. Mag. Case 1							
UDS				MBS			
Filter	# of days	# of FoV	Area (deg <sup>2</sup> )	Filter	# of Days	# of FoV	Area
2, 3, 4, 5	1197	223	52.03	0, 1	298	79	18.43

Table 14: UDS+MBS のサーベイプラン案 3。Filter Set 4 の 4 枚で UDS。検出限界ケース 1

#### 4.3.2 検出限界 ケース 2 の場合

黄道光を黄極での値とした (理想的な) 場合の検出限界でのサーベイプランの例を考える。

Plan 4: Filter Set 3, Lim. Mag. Case 2							
UDS				MBS			
Filter	# of days	# of FoV	Area (deg <sup>2</sup> )	Filter	# of Days	# of FoV	Area
2, 3, 4	999	740	172.67	0, 1, 5	498	218	50.97

Table 15: UDS+MBS のサーベイプラン案 4。Filter Set 3 の 3 枚で UDS。検出限界ケース 2

Plan 5: Filter Set 3, Lim. Mag. Case 2							
UDS				MBS			
Filter	# of days	# of FoV	Area (deg <sup>2</sup> )	Filter	# of Days	# of FoV	Area
1, 2, 3, 4	1199	596	139.07	0, 5	299	184	42.93

Table 16: UDS+MBS のサーベイプラン案 5。Filter Set 3 の 4 枚で UDS。検出限界ケース 2

Plan 6: Filter Set 4, Lim. Mag. Case 2							
UDS				MBS			
Filter	# of days	# of FoV	Area (deg <sup>2</sup> )	Filter	# of Days	# of FoV	Area
2, 3, 4, 5	1198	524	122.27	0, 1	298	192	44.80

Table 17: UDS+MBS のサーベイプラン案 6。Filter Set 4 の 4 枚で UDS。検出限界ケース 2

#### 4.4 Ultra-Wide Survey (UWS)

24–25AB mag. で 1,000 平方度 (程度) を掃くサーベイ。

Table 18 に、Set 3 の各バンドで 25 AB mag. の限界等級で 1,000 平方度掃くのに要する日数を示す。黄道光は ケース 1 (Section 3.1) を想定し、50% のオーバーヘッドを見込んだ。

\* 25 AB mag. に達するのにかかる時間は 28 AB mag. に達するのにかかる時間から  $10^{(-3.0/2.5) \times 2} = 0.004$  倍として計算した (TBC)。Filter 4 の場合には 3 分/FoV 程度となっており、Background limited に達しているか確認が必要。\*

UWS に費やす時間を 1 年程度と想定した場合、感度の良い Filter 3 ( $2.3\mu\text{m}$  付近) ともう 1 バンドで 1,000 平方度を掃くか、3 バンドで同様に 500 平方度を掃くなどのプランが考えられる。

Set 3	
Filter	# of days to survey 1,000 deg <sup>2</sup>
0	351
1	283
2	228
3	167
4	131
5	351

Table 18: Filter set 3 の各バンドで  $3\sigma$  25 AB mag. で 1,000 平方度掃くのに要する日数

Table 18 に、Set 4 の各バンドで 25 AB mag. の限界等級で 1,000 平方度掃くのに要する日数を示す。黄道光は ケース 1 (Section 3.1) を想定した。

UWS に費やす時間を 1 年程度と想定した場合、2 バンドで 500 平方度を掃くようなプランになると考えられる。

Set 4	
Filter	# of days to survey 1,000 deg <sup>2</sup>
0	508
1	426
2	359
3	310
4	110
5	139

Table 19: Filter set 4 の各バンドで  $3\sigma$  25 AB mag. で 1,000 平方度掃くのに要する日数

(UWS への需要はどれくらいあるか?)

## References

[Leinert et al.(1998)] Leinert, Ch. et al. 1998, A&AS 127, 1