

# WISH サーベイプラン

岩田 生 (国立天文台)

20100204 / 20100214 / 20100215/ 20100217

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

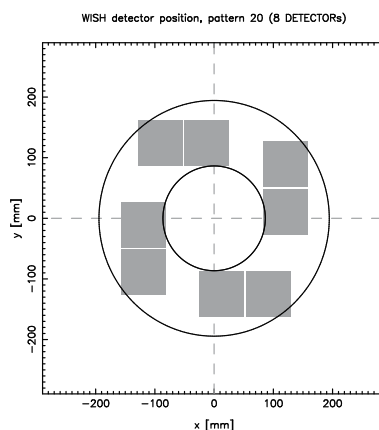


Figure 1: 検出器配置案。ドーナツ型の円周が焦点面で、グレーの部分が 2k $\times$ 2k  $\times$  4 の検出器クラスターになっており、それを 8 個配置する。

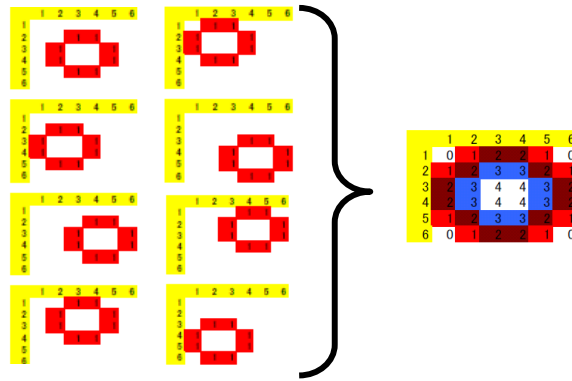


Figure 2: ディザ パターンの例。中心部が抜けた特殊な検出器配置でも、ディザによって均一な深さのサーベイを行うことができる。

## 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  $\mu\text{m}$

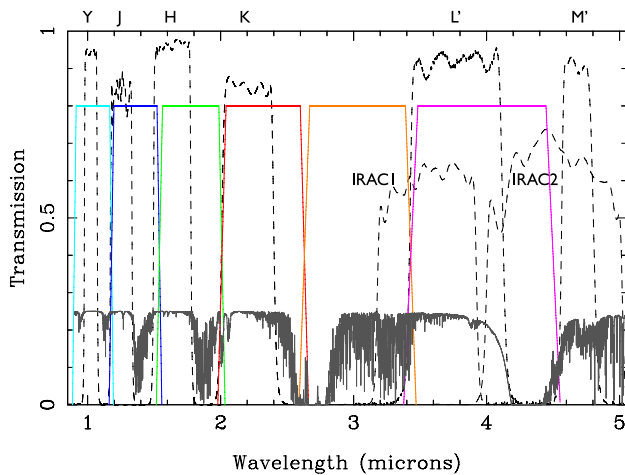


Figure 3: Filter Set 3. 地上望遠鏡で使用されている Y, J, H, Ks, L', M' (Subaru IRCS), Spitzer Ch 1, Ch2 と地球大気の透過率を併せて示している。

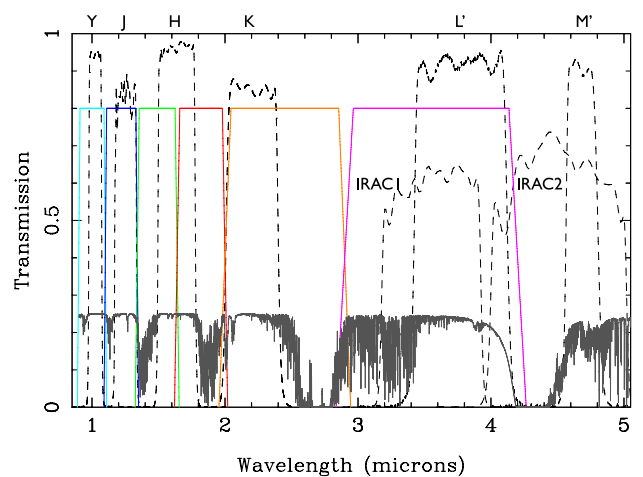


Figure 4: Filter Set 4.

### 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。

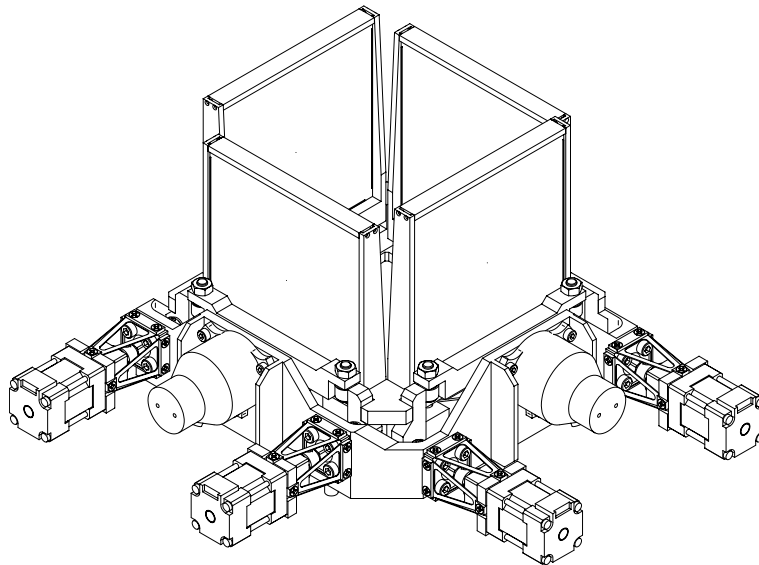


Figure 5: フリップ式フィルタ交換機構の基本設計図

### 3 検出限界

#### 3.1 長時間積分での検出限界

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 ( $1.4\mu\text{--}4.2\mu$ ) 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。

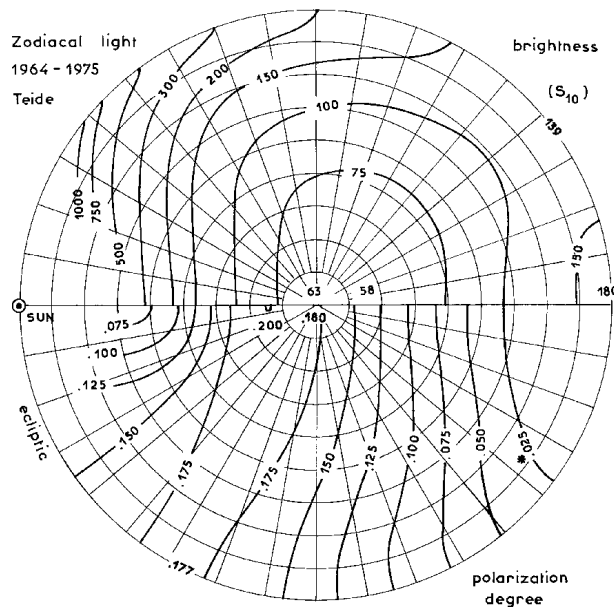


Figure 6: Annually averaged distribution of the zodiacal light over the sky in differential ecliptic coordinates. Upper half: zodiacal light brightness  $I_{ZL}(S10_{\odot})$ , lower half: degree of polarisation of zodiacal light. From [Leinert et al.(1998)], Fig. 37.

[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。

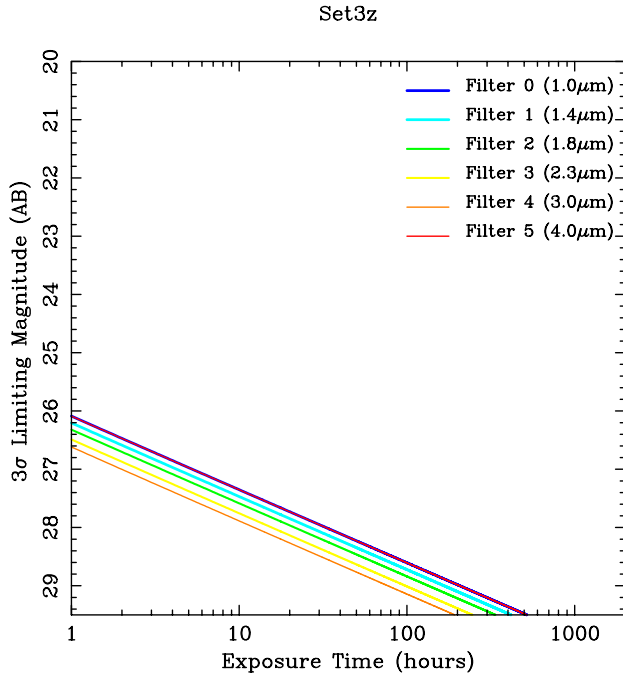


Figure 7: Set3 での積分時間ごとの検出限界

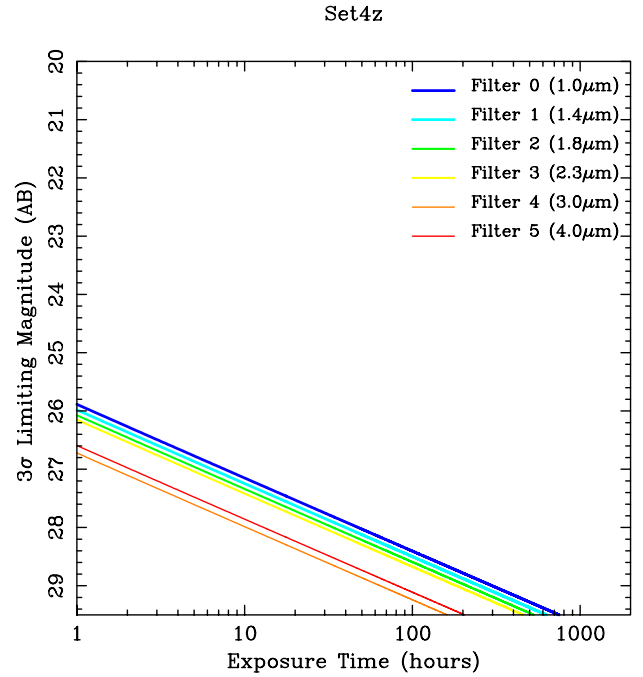


Figure 8: Set4 での積分時間ごとの検出限界

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	27.34	27.42	27.99	27.86

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

### 3.2 短時間積分

600 秒以下の短時間の積分を行った場合の検出限界の変化を Table.6 (フィルタセット 3 の場合)、Table.7 (フィルタセット 4 の場合) に示した。これらの計算では、望遠鏡、装置からの輻射、読み出しノイズは長時間積分と同様として、黄道光も同様に黄極の 3 倍程度の場合を計算した。600 秒の場合も含め、いずれも 1 回の積分、読み出しでの検出限界となっている。

Fig.3.2, 3.2 にはこれらの結果と共に、background-limited になっていた場合に 300 秒の検出限界から予想される検出限界を破線で示してある。2 分程度よりも短い積分時間の場合には、background-limited で期待されるよりも大幅に浅い検出限界となっている。これは読み出しノイズが効いてきていることを表していると考えられる。

Exp. time (sec)	$3\sigma$ Limiting AB mag.					
	3:0	3:1	3:2	3:3	3:4	3:5
600	25.825	25.701	25.549	25.413	25.224	24.487
300	25.387	25.280	25.137	25.006	24.823	24.099
180	25.045	24.954	24.821	24.697	24.520	23.810
120	24.757	24.683	24.560	24.442	24.272	23.577
60	24.224	24.188	24.085	23.984	23.829	23.171
30	23.634	23.640	23.564	23.483	23.351	22.749
10	22.592	22.655	22.623	22.580	22.492	22.024

Table 6: フィルタセット 3 での短時間積分を行った場合の  $3\sigma$  検出限界等級 (AB)

Exp. time (sec)	$3\sigma$ Limiting AB mag.					
	4:0	4:1	4:2	4:3	4:4	4:5
600	25.858	25.543	25.462	25.330	25.605	25.089
300	25.418	25.108	25.038	24.913	25.204	24.699
180	25.072	24.789	24.710	24.592	24.900	24.407
120	24.781	24.484	24.437	24.325	24.651	24.172
60	24.243	23.958	23.935	23.838	24.207	23.758
30	23.648	23.375	23.380	23.302	23.727	23.325
10	22.599	22.342	22.385	22.335	22.864	22.571

Table 7: フィルタセット 4 での短時間積分を行った場合の  $3\sigma$  検出限界等級 (AB)

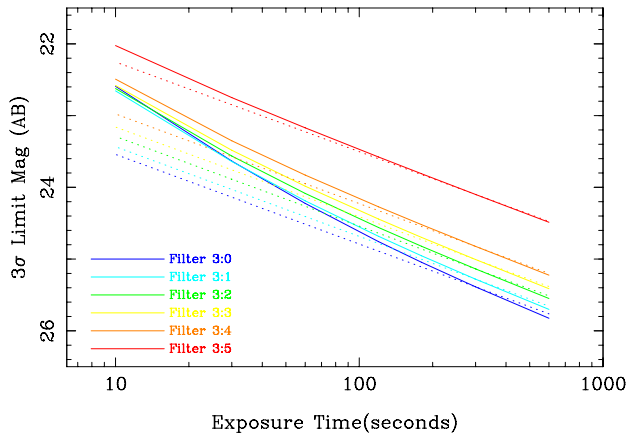


Figure 9: フィルタセット 3 での短時間積分を行った場合の  $3\sigma$  検出限界等級 (AB)。破線は 300 秒での検出限界から、background limited だった場合の検出限界の期待値を示したもの

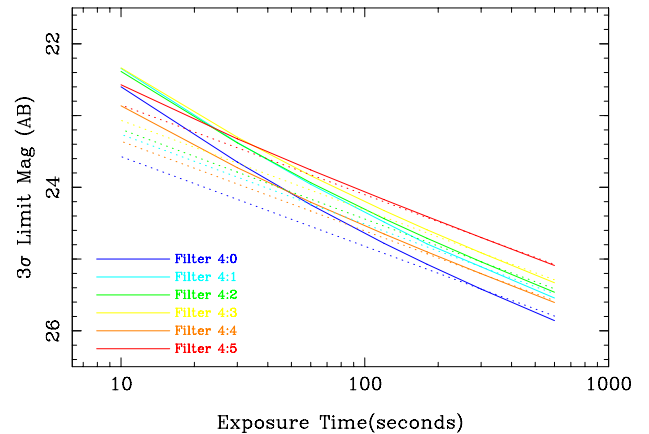


Figure 10: フィルタセット 4 での短時間積分を行った場合の  $3\sigma$  検出限界等級 (AB)。破線は 300 秒での検出限界から、background limited だった場合の検出限界の期待値を示したもの

## 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 銀河を探索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  $15 < z < 18$  を探索することになる)。

Lyman break 銀河の探索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。

\* 領域のオーバーラップを考慮していない \*

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							
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 8: UDS+MBS のサーベイプラン案 1。Filter Set 3 の 3 枚で UDS を実行

Plan 2: Filter Set 3							
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 9: UDS+MBS のサーベイプラン案 2。Filter Set 3 の 4 枚で UDS を実行

Plan 3: Filter Set 4							
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 10: UDS+MBS のサーベイプラン案 3。Filter Set 4 の 4 枚で UDS を実行

## 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 11 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 $\mu$ 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 11: 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 11 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 12: 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

#### 4.5 観測可能時間

WISH は太陽側にサンシールドを向けた状態で観測を行う。太陽に近い方には向けることができず、太陽と反対方向に 20 度の範囲で倒すことができる仕様の場合に、赤経・赤緯または銀河座標で 1 年の間にどれだけの期間観測可能かを調べた (大藪さんの計算による)。

Fig.11 に赤道座標での、Fig.12 に銀河座標での観測可能期間を示す。

この図の見方で注意しないといけないのは、ある日数見られるところにそのある日数投入すると、その周りの領域の観測ができなくなることである。たとえば、50 日観測できる領域について、連続する 2 視野分観測すると、それぞれは 25 日程度の観測日数しか投入できなくなる。

反太陽側にもっと倒すようにすると、もちろん全体の Visibility がよくなるが、発電力、通信部の設計、またバス部への日光の照射をどの程度許容できるか等との兼ね合いとなる。また太陽側に倒すためには、サンシールドがどれだけ望遠鏡を守れるかという問題となり、サンシールドが大きくなる分、衛星が巨大化することとなる。太陽に対する角度をどの程度傾けることが可能かは、今後の検討課題の一つである。



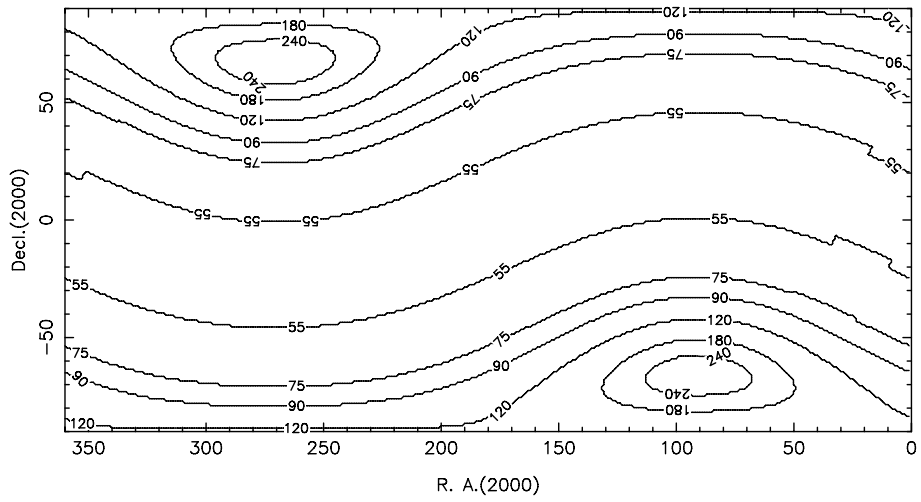


Figure 11: 1年間の観測可能日数 – 赤道座標の場合

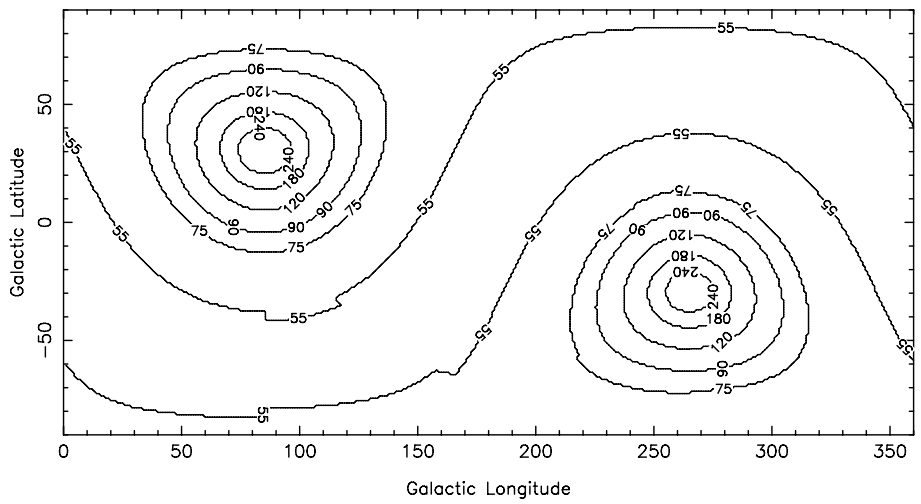


Figure 12: 1年間の観測可能日数 – 銀河座標の場合

## References

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