A24b

Feasibility Study of Very Wide-Field Near-IR Space Mission
超広視野近赤外スペースミッションの検討

I. Iwata[1], S. Tsuneta[1], T. Yamada[2], T. Kodama[1], Y. Komiyama[1], Y. Kondo[1,3], and Association for VWFNIRSM
1 NAOJ, 2 Tohoku Univ., 3 Hosei Univ.

Scientific Objectives of This Mission

* Detection of "First Galaxies"
* Panoramic View of Galaxy Assembly

through

Unprecedented Deep, Very Wide-Field Near-IR Imaging

Spec Outline

Mirror Size: 1.5m
Field of View: 30′φ (~700arcmin^2 / shot)
Wavelength Coverage: 1μm-5μm
Detector: HgCdTe Arrays
Broad-band Filters (like JHKLM) and Narrow-band Filters

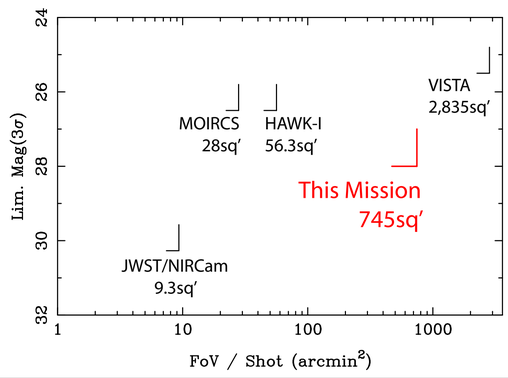
すばる望遠鏡の可視主焦点カメラ (Suprime-Cam) による深くかつ広範囲の銀河探査 -- 極めて遠方の稀な天体の探査や宇宙の大規模構造を把握する試み，遠方銀河の大規模なサンプルによる統計的研究 など -- は，すばる望遠鏡の目覚ましい成果の中でも特筆すべきものである．宇宙再電離時代に分け入り原始銀河を探すこと，遠方銀河について，銀河の骨格となる低質量星をトレースした無バイアスサンプルを構築すること -- すばるの成果をダイレクトに発展させるこれらの研究を推進するには，近赤外線での深い超大規模サーベイが不可欠である．口径 1.5m, 視野直径約 30 分角の近赤外スペースミッションにより，地上からは到達不可能な深さで，圧倒的なサーベイ領域を得ることができる．以下ではこのミッションに要求される望遠鏡 / 装置温度と期待される検出限界についての検討結果を報告する．

Survey Plan: an example

* Deep Survey:
  3 bands (1.2μm, 1.8μm, 2.5μm)
  approx. ~28AB mag.
  ~100 sq. degrees (~500 FoVs)
* Shallower Wide-Area Survey
* Narrow-band Survey
* Extension to 3-5 μm?

3-5 年の Mission Lifetime を想定し，主たるサーベイとして広帯域フィルターによる多色撮像サーベイを考える．

Field of View and Limiting Magnitudes of Various Instruments



Feasibility Study (1) Thermal Emission

Cases of Detectors sensitive to <2.5μm

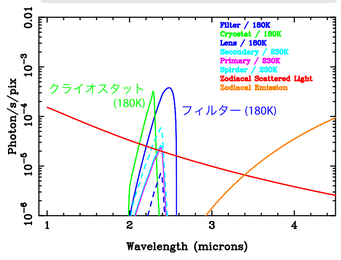
Components [emissivity]
Primary Mirror [5%]
Secondary Mirror [5%]
Secondary Spider [90%]
Corrector Lenses (3) [5%]
Filter [10%]
Cryostat [20%]

まず2.5μmよりも短波長側のみ感度がある検出器を使用する場合を考える．JHK-バンドフィルター (<2.5μm より短波長のブロードバンドフィルター) を使用する場合，フィルターよりも検出器から遠い光学エレメントについては，フィルターが長波長側の光をカットする．

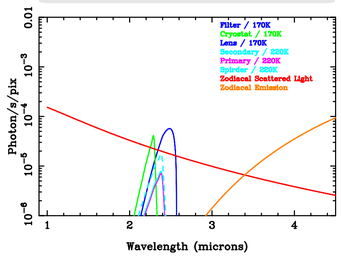
主鏡で集光したビームの経路上の放射 (含 副鏡スパイダー) のほかは冷却されたクライオスタットからの熱的放射を計算した．すなわち，クライオスタットやコールドバッフル，もしくはコールドストップにより，温度の高い望遠鏡構造からの輻射を検出器が見込まないようにする必要がある．

熱的輻射の影響の予想される最大値を見積もるため，クライオスタットの表面積は 2π sr を覆うサイズとし，emissivity を 20% とした．また，現在検討している光学系デザインで検出器の直前に配置され，影響が大きいフィルターについては emissivity=10% とした．フィルター自体からの輻射を除く全ての輻射はフィルターを通して検出器に到達すると仮定した．副鏡スパイダーは最大サイズとして副鏡の 1/8 を覆うサイズと考え，emissivity は 90% とした．

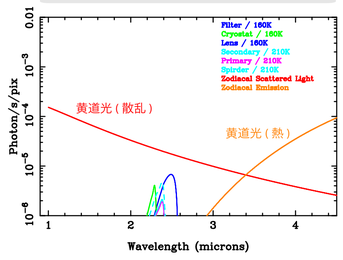
Cryo=180K, Mirror=230K



Cryo=170K, Mirror=220K



Cryo=160K, Mirror=210K

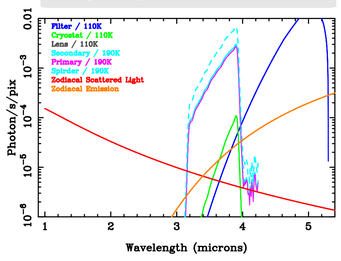


3μm よりも短波長側では，空の background としては黄道光の散乱光が卓越している．装置，光学系からの光子数が散乱光よりも小さくなるためには，クライオスタットおよびその内部の光学エレメントは 160K 以下，主鏡，副鏡およびそのスパイダーは 220K 以下であることが求められる．

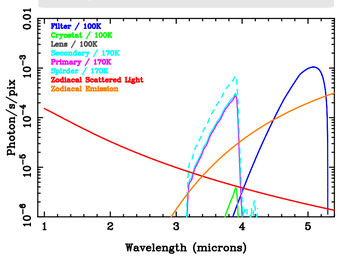
黄道光 (散乱光および熱輻射) は Allen' s Astrophysical Quantities 4th Ed. の数値 (Binzel et al.) による黄極付近での値を用いた．

Cases of Detectors sensitive to <5μm

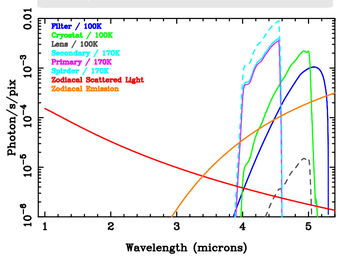
3.6μm, Cryo=110K, Mirror=190K



3.6μm, Cryo=100K, Mirror=170K



4.5μm, Cryo=100K, Mirror=170K

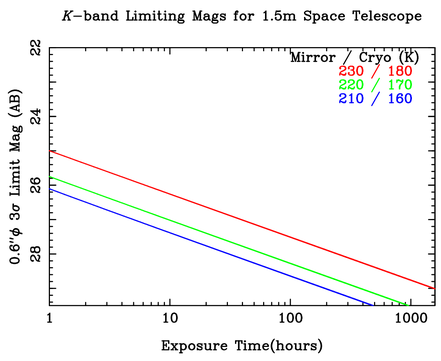


3μm より長波長では，黄道光の熱的輻射が背景光として卓越してくる．5μm まで感度を持つ検出器を使用する場合，光学系，装置の熱的輻射の影響は <2.5μm に感度をもつ検出器の場合に比べはるかに大きくなる．黄道光よりも小さい影響にとどめるにはクライオスタットは 80K 以下，鏡は 140K 以下とする必要がある．このような低温でのオペレーションの実現可能性を検討するためには，望遠鏡構造と軌道上での熱収支を考慮した慎重な熱設計を要する．

Feasibility Study (2) Expected Sensitivity

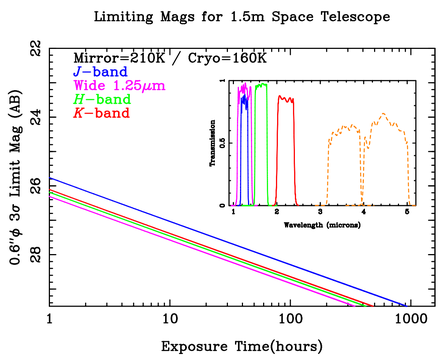
feasibility study(1) で得た熱的放射の情報を基に，様々な条件下で期待される検出限界の見積りを行った．

dark は 0.05e-/sec/pix, read-out noise は 10e- を仮定し，背景光として (1) で得た望遠鏡，装置からの熱的放射と (黄極付近での) 黄道光 (散乱，熱輻射) を考慮した．ピクセルスケールは 0.2″/pix. 天体のサイズは <2.5μm では FWHM=0.5″(測光 aperture=1.2″) とし，3-5μm では回折限界を考慮して FWHM=1.0″(測光 aperture=1.6″) とした．フィルターを除いたシステム効率は 30% と仮定した．



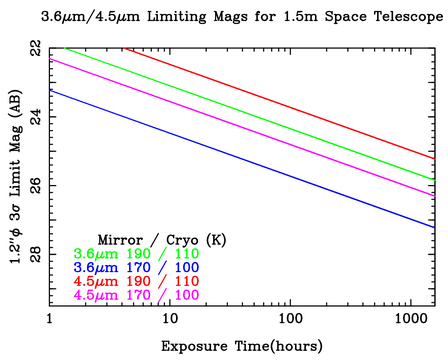
Different System Temperatures

クライオスタット及びその内部の光学エレメント，鏡の温度は，黄道光よりも明るい熱輻射を出す場合には検出限界に大きな影響を与える．鏡，クライオスタットをそれぞれ 210K, 160K に冷却すれば，約 33 時間の on-source 積分で 3σ限界等級が K=28AB に達すると期待される．システム温度が 10 度上昇した場合，28AB に到達するには約 80 時間を要する．



Different Filters: <2.5μm

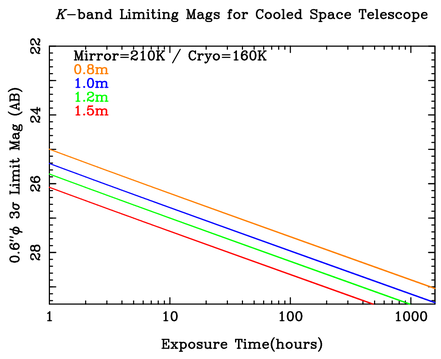
鏡 =210K, クライオスタット =160K の場合の J, H, K バンドでの検出限界を比較した．J-band は他のバンドに比べて同じ積分時間で到達する限界等級が明るい．これは，J-band の波長幅が相対的に狭いことによる．スペースミッションでは大気の窓にフィルターを合わせる必要はないので，サイエンスにあわせてフィルターを定義してよい．例えば，J-band の倍の幅 (FWHM~0.3μm) で中心波長 1.25μm のフィルターを考えると，H, K バンドよりも深い限界等級を達成できそうである．



Feasibility of Observing at > 3μm

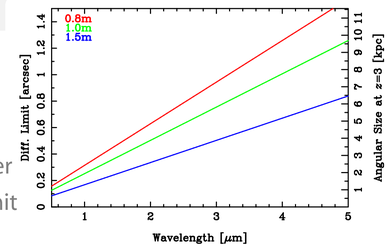
クライオスタット (および補正レンズ，フィルター) が 100-110K, 鏡 (および副鏡スパイダー) が 170-190K の場合に 3.6μm, 4.5μm 付近のフィルター (上図参照) で期待される検出限界を推定した．オンソース 100 時間積分の場合，3.6μm, 4.5μm での 3σ限界等級はそれぞれ約 25.7 等，24.6 等であり，これまでの (より低温で観測した) スーペスミッションで得られているデータと比べて十分深いとはいえない．z~1-3 の赤い銀河の静止系可視〜近赤外線領域のデータは，銀河における星質量の集積過程を調べるうえで大変重要な波長域であり，>3μm に重点をおくならば，より深いデータを得られるよう，さらに強い冷却を要するといえる．

Mirror Size: Is a 1.5m Mirror Essential?



クライオスタット 160K, 鏡 210K の場合，口径を変えて K-band での限界等級を推定した．オンソース 30 時間で到達できる検出限界は，1.5m では 27.9 等であるのに対し，1.0m では 27.2 等，0.8m では 26.8 等となる．他のミッションとの差別化を図るためには 100 平方度程度の範囲を多波長で深くサーベイすることが本質的に重要であり，背景光が少ないというスペースミッションの利点を活かすためには，1.5m 程度の口径はどうしても必要である．また，空間分解能という点でも，K-band で 0.3″ 程度の解像度を確保するためには 1.5m が必要となる．

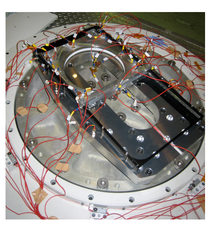
Primary Mirror Diameter and Diffraction Limit



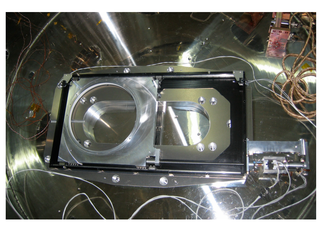
On-going Research and Development

Exchanger for Large Filters

広視野化のためには従来の宇宙望遠鏡よりもはるかに大きいフィルターの搭載が必要である．通常使用されるターレットによるフィルター交換機構ではなく，スライド式の (シャッターを兼ねる) フィルター交換機構を検討している．空間的にコンパクトにおさめることができ，スタックすることで多数のフィルターに対応できるが，可動部分が多いため信頼性の検証を要する．我々は試作した交換機構について宇宙研振動試験室での振動試験や真空チャンバー内での耐久試験等を進めている．



ISAS 振動試験室での振動試験 (垂直方向加振試験)

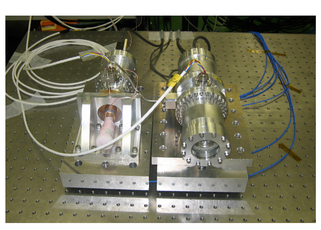


国立天文台先端技術センター真空チャンバー内での耐久試験．詳細は今後の学会で発表予定．

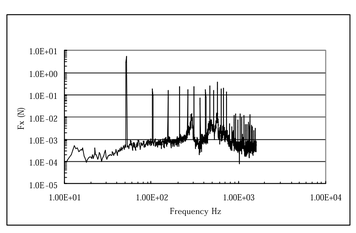
Reducing Vibration of Cryocoolers

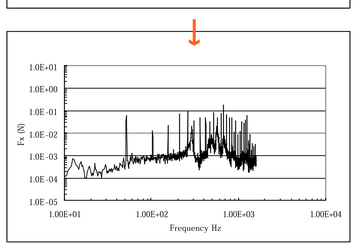
JAXA 総合技術研究本部宇宙熱技術グループとの共同研究

高い空間分解能を追求する今後のスペースミッションにおいては，冷凍機による冷却を行う場合，冷凍機から発生する擾乱を極力抑えることが必須となる．我々は，JAXA 総研本部と共同で，スターリング式冷凍機の擾乱低減を目指した研究を推進しており，これまでに冷凍機から発生する擾乱の性質や発生源についての知見を蓄積してきた．現在，ハードウェアの改良による擾乱低減とあわせて，駆動振動数の倍長波を含めた電圧入力によって擾乱を低減する方法を研究しているところである．



一段スターリング冷凍機の擾乱測定の様子．左がアクティブバランサ付きコールドヘッド，右がコンプレッサ．





一段スターリング冷凍機の擾乱測定データの例．通常の駆動では駆動振動数 (52Hz) とその倍長波が 0.1N を超える擾乱を発生させている (上) が，駆動方法の工夫により 0.1N を下回るように擾乱を低減することに成功している (下). 詳細は今後の学会で発表予定．

Summary

* To reduce instrumental thermal emission smaller than the zodiacal scattered light at <2.5μm, cryostat and components within it should be cooler than 160K and mirrors should be cooler than 220K.
* Such instrument temperature may be achievable with passive cooling (=without cryocoolers), and this coolded telescope with 1.5m mirror should enable us to obtain unprecedented deep near-IR images we have never seen.
* In order to extend wavelength coverage to >3μm, the instruments should be much cooler (e.g., ~80K for cryostat, ~140K for mirrors).

* 2.5μm 以下での黄道散乱光を装置からの熱的輻射が下回るためには，クライオスタット及びその内部のコンポーネントが 160K 以下，鏡が 220K 以下であることが必要．
* この装置温度は適切な熱設計によりパッシブな冷却で実現可能と期待される．1.5m 望遠鏡により，かつて目にしたことのない非常に深い近赤外画像を得ることができる．
* 3μm よりも長い波長に拡張する場合には，より強力な冷却 (例えばクライオスタット 80K, 鏡 140K) が必要である．
* これまでに得られた要求仕様を基に，光学系デザインを進め，熱構造を含む望遠鏡構造の設計に進む予定である．