

# ミッション解析書: 黄道面脱出型天文観測探査機 high-Z

津村耕司<sup>a</sup> 中宮賢樹<sup>b</sup> 南部陽介<sup>c</sup>

<sup>a</sup> 東京大学大学院 理学系研究科 天文学専攻 / 宇宙科学研究本部 赤外・サブミリ波天文学研究系

<sup>b</sup> 総合研究大学院大学 物理科学研究科 宇宙科学専攻 / 宇宙科学研究本部 宇宙情報・エネルギー工学研究系

<sup>c</sup> 東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 / 宇宙科学研究本部 宇宙構造・材料工学研究系

## 概要

我々は、黄道面を脱出して天文観測を行うミッションを提案する。黄道面とは太陽に対する地球の公転軌道面の事であり、ほとんどの惑星探査機は黄道面内に張り付いて飛行してきた。過去に黄道面を脱出したのは、太陽極観測などで成果を挙げた NASA/ESA のユリシーズ 1 例のみである

黄道面外では黄道光に影響されない赤外線観測が可能である。特に宇宙誕生直後の第一世代天体起因と考えられている赤外線背景放射 (CIB) の観測にとって、これは理想的である。そこでこのミッションでは、黄道面外からの黄道光に影響されない CIB の観測を中心に、太陽系内ダストの 3 次元分布の観測、太陽極の観測を行う。

さらにこのミッションでは、標準バスを利用し、利用実績のある観測装置をベースに装置開発する事で、開発期間と開発費の大幅な削減をめざす。

## 1 ミッションの目的

### 1.1 赤外線背景放射 (CIB) 観測

この宇宙は Big Bang によって誕生したという事は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の詳細な観測などにより裏付けられており、宇宙年齢は 137 億年と推定されている。CMB とは、誕生直後の高温プラズマ宇宙が膨張によって冷やされ、中性化したときの「残り火」であり、宇宙誕生からわずか 40 万年後を見ていることになる。Big Bang 宇宙生成理論によると、この時点での宇宙は中性で、存在する元素のほとんどが水素とヘリウムのはずである。一方、観測技術の急激な発展に伴い、赤方偏移<sup>1</sup>が 7(約 130 億光年かなた)に及ぶ超遠方の天体の観測にも成功している。このような高赤方偏移天体の観測結果から、この時点では宇宙はすでに電離されており、金属<sup>2</sup>で汚染されているということが知られている。現在までに到達している最遠天体と CMB の間の時代のことを宇宙史における暗黒時代という。この暗黒時代に第一世代天体 (宇宙最初の星) 形成による宇宙の再電離と金属汚染が行われたことは間違いない<sup>3</sup>が、その観測的証拠は現状ではほとんど無く、理論やシミュレーションによる研究のみの片手落ちな状態であるのが現状である。したがって、宇宙の暗黒時代の観測的研究が強く待たれているという背景がある。

<sup>1</sup> 遠方から発せられた光は宇宙膨張によって波長が引き伸ばされ、「赤く」なる。これを赤方偏移といい、 $z = \Delta\lambda/\lambda$  で定義される。遠方宇宙ほど宇宙膨張に伴う天体の後退速度は大きく、波長の伸びは大きくなるので、遠方ほど赤方偏移は大きくなる。

<sup>2</sup> 天文学では、水素とヘリウム以外の元素全てを金属と呼ぶ。

<sup>3</sup> 第一世代天体からの強力な紫外線が宇宙を電離させる。また、金属は恒星内部で作られ超新星爆発等で宇宙空間にばら撒かれる。

CIB の観測を通して、宇宙の暗黒時代について観測的に研究できる可能性が示唆されている。望遠鏡で夜空を観測すると星や銀河が観測されるが、その間には「何も無い」領域がある。しかしそこは本当に「何も無い」という訳ではなく、より大きく性能が良い望遠鏡でそこを観測すると、より遠方の暗い銀河を観測することが可能である。つまり、「何も無い」領域は、点源として検出できないより遠方の宇宙からの光を含んでいる。我々はそれを「宇宙背景放射」という形で観測する事が可能であり、このミッションで観測を行う CIB とは赤外線領域における宇宙背景放射である。過去の CIB 観測から、予想される遠方の星や銀河の光の足し合わせでは説明できないほどの強度の CIB が観測された (図 1)。その起源は一体何かという事が問題だが、第一世代天体からの光の足し合わせで CIB の強度を説明できるとする理論モデルがある。もしこのモデルが正しければ、CIB 観測を通じて宇宙の暗黒時代の観測的研究が可能となる。

OH 夜光など地球大気の影響のため、精度の良い CIB 観測には大気圏外からの観測が必要である。さらに大気圏外から観測した場合でも、CIB 自身より数倍明るい黄道光の影響は尚残るため、それを差し引く必要がある。黄道光とは、黄道面内に存在するダストによる太陽光の反射光 (可視光から近赤外線) や熱放射 (中間赤外線から遠赤外線) のことである (図 2)。過去の研究では、モデルを用いて黄道光を計算し差し引いているが、地球近傍で観測する限り黄道光は避けられない障害であり、モデルによる不定性は必ず残る。

このミッションによって、黄道面から脱出し、黄道光に影響されない CIB 観測が世界で初めて可能とな

る。これは宇宙の暗黒時代を世界で初めて直接的に観測することを意味し、我々の宇宙進化の理解におけるミッシングリンクを埋める歴史的な研究となる。

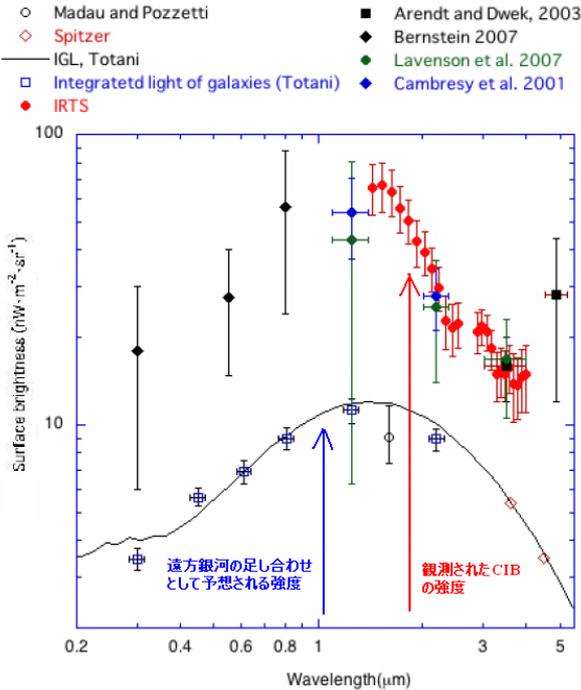


図 1: 今までの CIB 観測の結果。遠方銀河の重ねあわせでは説明できない強度の CIB が観測されている。

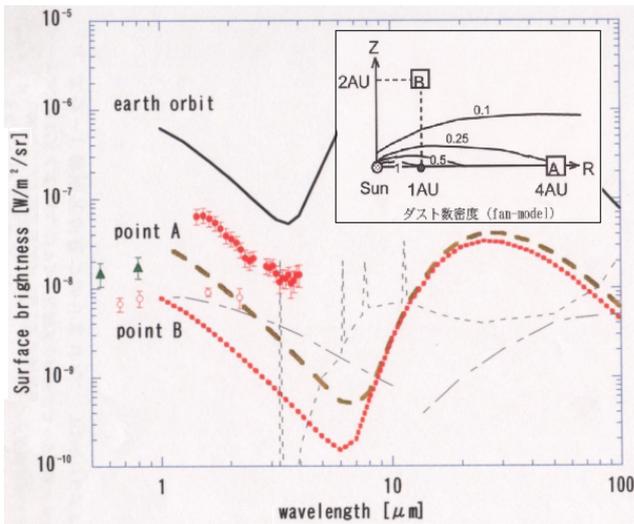


図 2: 地球軌道、木星付近、黄道面外における黄道光強度のモデル値

## 1.2 太陽系の 3 次元構造の観測

CIB を観測しようとする、同じ赤外線の面輝度である黄道光も同時に観測される。CIB の観測にとってはこの黄道光が邪魔者でしかないが、黄道光そのものに注目すると、そこから太陽系の構造が浮かび上がってくる。近赤外線波長域では黄道光はダストによる太

陽光の散乱光なので、黄道光強度は太陽系内のダストの量に直接関係している。すなわち、黄道光の強度変化を検出することで、太陽系内のダスト分布を探ることが可能なのである。

太陽系内ダストは主に黄道面内に分布している。しかし、黄道面とは地球の公転軌道面で定義されているが、実際の太陽系の角運動量のほとんどは木星の軌道運動が担っているため、太陽系内ダストは黄道面とはわずかに傾いた木星軌道面を中心に分布している (図 3)。この事はすなわち、同じ天域を観測していても地球の公転運動により黄道光の強度は 1 年周期で変化していることを意味し、過去の研究ではこの季節変化を利用して黄道光モデルを作り上げ、広く受け入れられている。しかし、このような従来の方法では移動できる範囲は地球の公転軌道に限られ、それによる黄道光変化もわずかである。

このミッションで太陽系内を 3 次元的に動きながら黄道光を観測することで、太陽系ダストの 3 次元分布を観測することが可能である。これにより、より詳細な黄道光モデルを作り上げるばかりでなく、太陽系の 3 次元構造を明らかにし、太陽系の誕生と進化の解明に迫る研究も期待される。

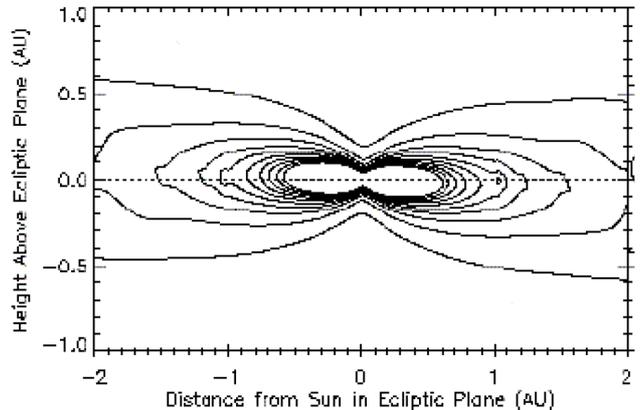


図 3: 黄道光の原因である太陽系内ダストの分布

## 1.3 太陽極の観測

太陽は我々にとって詳細な観測が可能な唯一の恒星であるため、今までに様々な観測がなされてきた。しかし、地上及び地球周回軌道からの従来の太陽観測では、太陽極の観測は不可能である。ユリシーズはまさに太陽極観測を主目的として多大な成果を挙げたが、打ち上げられたのは 1990 年と 20 年近くも昔である。

一方、太陽観測衛星ひので等による最新の観測結果から、太陽内部のダイナミクスが次々と明らかになり、太陽極に関する関心も高まりつつある。実際、次期太陽観測衛星計画 Solar-C では、黄道面脱出による

太陽極観測も検討されている。このような背景の中、このミッションで太陽極観測を行えば、2015 年以降の打ち上げを目標としている Solar-C に先駆けての太陽極観測が可能である。太陽極における太陽風は通常の 2 倍以上の速度を持つというユリシーズの結果を受け、このミッションでは太陽風観測に焦点を絞った太陽極観測を実施する。また、2020 年頃が太陽活動極大期で、そのあたりで太陽極磁場反転が予想されるため、その前後で太陽両極からの観測を行う。

## 2 ミッションの構成

### 2.1 ミッション機器

#### 2.1.1 CIB/黄道光観測用冷却赤外線望遠鏡

我々はロケットによる CIB 観測計画 CIBER の為に、すでに専用光学系を設計・製作しており、それをそのままこのミッションでも利用することが可能である。CIB/黄道光観測の為に搭載する光学系は、分光装置と撮像装置の 2 種類である (図 4)。自身からの熱放射を低減させるため、これらの装置は放射冷却により 100K 以下に冷却して観測を行う。

分光装置では、0.8-2.1 $\mu\text{m}$  という、CIB がピークを持つと予想される波長域における分光観測を行う。装置は口径 5cm の屈折望遠鏡で、5 本のスリットを有し、視野はそのスリットに沿って 5.9 度である。内部にプリズムを持ち、 $\lambda/\Delta\lambda \sim 20$  の波長分解能を有する。検出器は 256 $\times$ 256 ピクセルの PICNIC という HgCdTe のアレイ検出器を用いる (表 1)。

撮像装置では、CIB が最大となる H バンドで広視野撮像することにより、CIB の空間的ゆらぎを観測する。装置は口径 11cm の屈折望遠鏡で、その視野は 2 度  $\times$  2 度である。検出器は 1024 $\times$ 1024 ピクセルの HAWAII という HgCdTe のアレイ検出器を用いる。この光学系によって、ヴェガ等級でおよそ 20 等までの点源の除去が可能である (表 2)。

これらの光学系を組合わせた観測によって、CIB や黄道光の波長スペクトル及び空間スペクトルを同時に観測することが可能である。



図 4: (左)CIB/黄道光観測分光装置、(右)CIB/黄道光観測撮像装置

表 1: 分光装置のスペック

構成	レンズ 14 枚、プリズム、スリット 5 本
質量	8.7kg
口径	50mm
F 比	2.0
視野	スリットに沿って 5.8 度
ピクセルサイズ	40 $\mu\text{m}$ $\times$ 40 $\mu\text{m}$ (1.4 分角 $\times$ 1.4 分角)
波長	0.8-2.1 $\mu\text{m}$
波長分解能	$\lambda/\Delta\lambda \sim 13-25$
1 $\sigma$ 検出限界	15 秒積分で 16.1 等 (Vega 等級)
検出器	PICNIC (256 $\times$ 256 ピクセル)

表 2: 撮像装置のスペック

構成	レンズ 5 枚、フィルター (H バンド)
質量	6.6kg
口径	110mm
F 比	4.95
視野	2 度 $\times$ 2 度
ピクセルサイズ	18.5 $\mu\text{m}$ $\times$ 18.5 $\mu\text{m}$ (7 秒角 $\times$ 7 秒角)
波長	H バンド (中心波長 1.65 $\mu\text{m}$ )
1 $\sigma$ 検出限界	15 秒積分で 19.3 等 (Vega 等級)
検出器	HAWAII (1024 $\times$ 1024 ピクセル)

#### 2.1.2 太陽極観測装置

太陽極観測装置においても、すでに設計がある装置をベースに開発することで、安く早く完成させることを主眼とする。既に実現している日本の太陽観測装置としてまず考えられるものに、ひのひに搭載された装置が挙げられるが、サイズ・重量の観点から、これらをそのまま採用する事は不可能である。空間分解能を多少犠牲にしてこれらをダウンサイジングするという方法も考えられるが、短期間での装置開発という観点からはあまり現実的ではない。そこでこのミッションでは、火星探査機のぞみに搭載されたイオン質量分析器 (IMI) と磁場計測器 (MGF) をベースに装置開発する (図 5)。これらの装置は、のぞみの火星への航行中に太陽風を長期モニターし、成果を挙げている。これらの装置を用いることで、黄道面外における太陽風観測が可能となり、太陽風の 3 次元構造を明らかにすることが出来る。



図 5: (左)イオン質量分析器 (IMI)、(右)磁場計測器 (MGF)

## 2.2 軌道

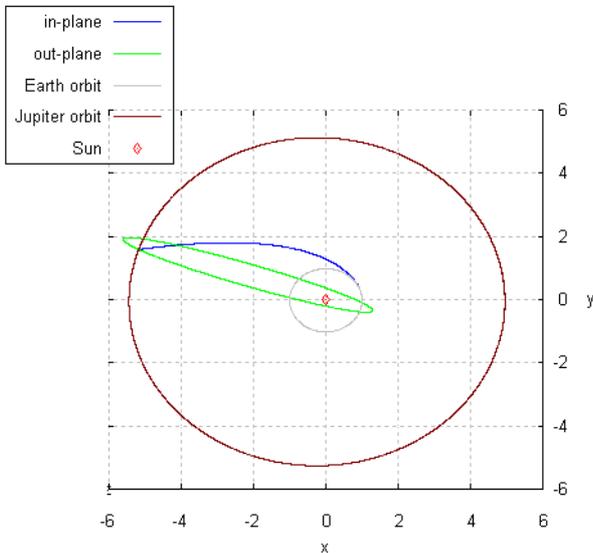
地球は太陽の周りを約 30km/s の速度で公転している為、地球からダイレクトに探査機を黄道面との傾斜角が大きい軌道（例えば太陽極軌道）に投入するには非常に多くのエネルギーが必要であり、既存のロケットによる打ち上げでは実現が困難である。その為、ユリシーズはまず地球から木星に向かい、木星でスイングバイを行って黄道面からの傾斜角を約 80 度に変えて太陽の極に向かった。

黄道面を脱出するためには、地球-金星-地球と 3 回のスイングバイを行う方法でも可能であるが、今回はユリシーズと同様に木星スイングバイを行なって黄道面を脱出するような軌道設計を行なった。そうすることで黄道光の小さな領域を航行することが出来る。また、太陽極磁場反転前後に太陽を両極から観測するため、黄道面交差を太陽活動極大期の 2021 年初頭に設定した。軌道設計には、NASA のジェット推進研究所 (JPL) が公開している精密天体暦 DE405 を用いた。得られた軌道の概要と軌道図を表 3、図 6 に示す。

表 3: 軌道設計概要

地球 - 木星間移行	
地球脱出速度	12.2 km/s
飛行時間	435 日
木星スイングバイ時の近木点	6R <sub>J</sub>
探査機質量	400kg

黄道面脱出軌道	
軌道傾斜角	97 度
近日点	1.3AU
遠日点	6.3AU
公転周期	7.3 年



## 2.3 バス部

近年、多くの宇宙飛翔体において、ユニット・モジュール化が進められ、開発期間の短縮およびコスト削減が図られている。特に人工衛星においては、標準バスの利用をはじめ、各種要素をモジュール化し、複数の衛星で可能な限り共通部を増やしていく傾向にある。日本では、無人宇宙実験システム研究開発機構 (USCF) 指導の下、三菱電機が開発した SERVIS バスが 800kg クラスの標準バスとして使用されている。また近年、宇宙科学研究本部 (ISAS) と NEC が研究開発を行なっている小型科学衛星では、200kg クラスの標準バスを新たに開発し、低コスト化と開発期間短縮による科学観測の高頻度化を目指している。この標準バスは、地球観測衛星から惑星探査まで幅広く対応できるという、標準バスとしては過去に例を見ない特徴を有している。

本ミッションが提案する探査機についても、重量および性能から見て、この標準バスを利用できると考えている。オーダーメイドが当然とされて来た惑星探査や黄道面脱出ミッションにおいて、地球観測衛星に利用されているような標準バスを利用できることが示されれば、画期的な成果として世界に認知されることに疑う余地はない。なお、開発段階ではあるが、公開資料によると、小型科学衛星標準バスのスペックは表 4 のようになっている。この標準バスを用いた科学衛星の初打ち上げは 2011 年を予定されている。

表 4: 標準バスのスペック

サイズ (mm)	950×950×950
質量 (kg)	200
寿命 (year)	3-5
最大ペイロード電力 (W)	300

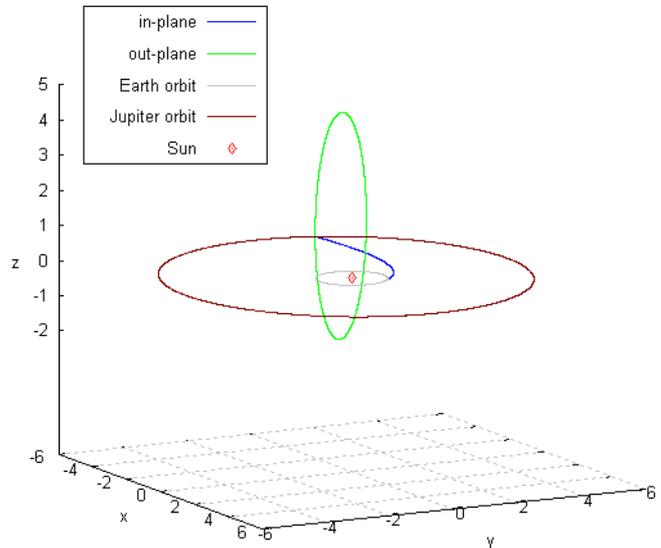


図 6: 黄道面脱出軌道図

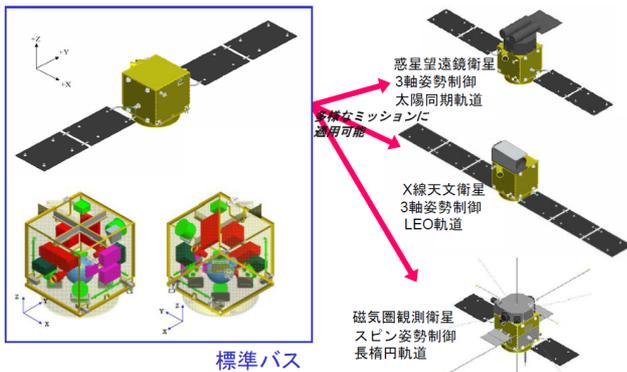


図 7: 標準バス利用のイメージ

## 2.4 電源系

木星ほど遠方では太陽光発電で探査機の全エネルギーをまかなう事は非常に困難なため、原子力電池の搭載が必要である。ここでは、冥王星探査機ニューホライズズ等に利用されている GPHS-RTG の利用を想定する (表 5、図 8)。これは酸化プルトニウムが発する熱による高温部と、宇宙に面した低温部との温度差を利用した熱電発電器である。酸化プルトニウムは耐熱性セラミックの容器で密封され、さらにイリジウムカプセルや強化グラファイトブロックで保護されており、打上げ時の事故にも耐え、水中でも劣化しないように出来ている。さらに NASA では、原子力電池を利用するミッションにおいて特別な安全解析を行っており、失敗のリスクを最小限に抑えている。これら構造や安全面に関する情報は NASA が公開している。

日本は歴史上唯一の被爆国という背景もあり、原子力利用に関するアレルギーは根強いと思われるが、「エネルギー・地球温暖化問題への関心や不安・懸念の高まりにより、原子力発電への関心とその有用性をより重視する傾向が強まっている」との第 4 回原子力委員会による調査報告もあり、国民の原子力利用に対するアレルギーは小さくなっていると思われる。また、国際法上の扱いについては、「宇宙空間における原子力電源 (N.P.S.) の使用に関する原則」(1992 年 12 月 14 日の第 47 会期国際連合総会決議第 47/68 号) という国連決議が存在する。このミッションでの原子力電池の利用はこの決議の範囲内であり、国際法上の問題もない。

表 5: GPHS-RTG のスペック

サイズ (mm)	φ400×1100
質量 (kg)	56
電気出力 (W)	300
熱出力 (W)	4400
寿命 (year)	>20

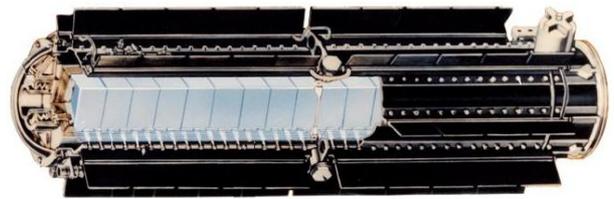


図 8: GPHS-RTG の概観図

## 2.5 通信系

ここでは、NASA の木星探査機ガリレオの通信系を参考に見積もりを行う。

ガリレオは地球との通信用に、直径 4.8m の折りたたみ式高利得アンテナと、広い指向性を持つ低利得アンテナを有していた。帯域は S バンド及び X バンドである。その内、通信速度 134kbps の高利得アンテナで地球への像転送を行う設計となっていた<sup>4</sup>。CIB/黄道光観測では、15 秒積分の観測で約 27Mb の画像が得られる設計となっている。これをガリレオの高利得アンテナで転送すると約 200 秒かかる。観測時間の 10 倍以上の通信時間がかかるという事は一見非効率に思えるが、木星到達まで 400 日以上あるため (表 3)、得られるデータ量はサイエンスの要求を十分に満たす。また、データ圧縮やサンプリング周波数の変更などで、データ量を減らすことも可能である。

このミッションでは、冗長性と信頼性の観点から、高/中/低利得アンテナ 3 系統の通信系を搭載する。

## 2.6 推進系

この探査機の形状や大きさはニューホライズズと類似しているため、ニューホライズズで用いられた推進系と同レベルの物の使用を想定している。具体的には、軌道制御用の 4.4N のスラスタが 4 つと姿勢制御用の 0.8N のスラスタが 12 個の計 16 個を搭載し、それぞれ半分の計 8 つは冗長系である

## 2.7 地上系

日本が独自に保有する地上通信施設に加え、NASA の深宇宙ネットワーク (DSN) を用いる。DSN はアメリカ・スペイン・オーストラリアと経度がそれぞれ約 120 度ずつ離れた場所に地上通信施設を有しており、24 時間連続的に探査機との交信が可能である。

探査機が合の位置<sup>5</sup>に来ると、通信は不可能が非常に困難となる。しかしそれは木星航行中の半月間 1 度きりであり、十分許容できる。

<sup>4</sup>実際のガリレオミッションでは装置の不具合のため高利得アンテナを展開できず、低利得アンテナのみで通信を行っていた。

<sup>5</sup>ここでは太陽-地球-探査機の角度が 7 度以下の時と定義する。

## 2.8 ロケット選定と質量

後述の通り、このミッションでは 2014 年の打ち上げを想定しているため、その時期には実現していると考えられる次世代ロケット H-IIB での打ち上げを想定する。H-IIB での打ち上げを想定した場合、打ち上げ可能な探査機の質量はキックモーターを利用して約 700kg である。

探査機の質量は、標準バス部を約 200kg、ミッション機器を合計約 20kg、RTG を約 60kg、軌道変更/姿勢制御用ヒドラジンを約 50kg、通信アンテナやスタスタ、その他マージン質量を約 70kg とし、全体で約 400kg と設定する。打ち上げ可能質量は約 700kg より、余剰の 300kg 分は木星までより早く到達するための速度増分として利用する。

## 2.9 運用手順

[Phase 1:打ち上げ直後] 初期運用フェーズ  
各装置の動作確認や、木星へと向かう軌道に乗せるための軌道制御等の初期運用を行う。また、CIB/黄道光観測装置が 100K 以下で安定したら、装置の動作確認後に宇宙でのキャリブレーションを行う。

[Phase 2:木星まで] 黄道光/太陽風観測フェーズ  
黄道光観測では黄緯ごとの黄道光変化を観測するため、あらかじめ定められた数箇所の天域を定期的に観測しながら飛行する。また、太陽風観測も開始する。

[Phase 3:木星近傍] 軌道変更フェーズ  
木星の重力を利用したスイングバイによる黄道面脱出のための軌道変更を行う。この際、CIB/黄道光観測装置で木星を観測することも可能である。

[Phase 4:黄道面外] CIB/太陽風観測フェーズ  
Phase 2 と同様に、CIB 観測ではあらかじめ定められた数箇所の天域を定期的に観測しながら飛行する。太陽風観測も引き続き行う。このフェーズにおける運用手順は Phase 2 とほぼ同じになると予想される。

[Phase 5:太陽近傍] 太陽極磁場反転観測フェーズ  
太陽活動極大期に黄道面と交差するため、太陽極磁場反転前後の太陽を両極から観測する。

## 3 スケジュールと費用

標準バス及び既存の観測装置を利用することで、開発期間と開発費用の大幅な削減の達成を目指す。

開発スケジュールとしては、地球-木星の位置関係から打ち上げを 2014 年 10 月末と設定し、6 年という短期間での開発を目指す (表 6)。標準バス及び既存の観測装置を利用する事で、短期間での開発が可能となる。

本体開発予算としては 150 億円を想定する (表 7)。ニューホライズンズ 2 のミッションレビューレポートによると、RTG の価格は 6500-9000 万ドル (70-100 億円) らしく、彼らは 6500 万ドルを想定していたが、ここでは初めての使用による様々な試験等を想定し、100 億円と設定する。RTG の採用により予算が大幅に膨れ上がるが、それでも 150 億円の開発費で木星までの航行を実現するのは、十分に安いといえる。

表 7: 本体開発費用

標準バス	30 億円
原子力電池 (RTG)	100 億円
ミッション機器	5 億円
その他必要機器	5 億円
各種試験費用	10 億円
合計	150 億円

## 4 期待される成果

黄道面外からの CIB の直接観測は、世界で初めての宇宙の暗黒時代の観測となる。CIB の強度や波長スペクトルからは第一世代天体の性質や形成率などが明らかになり、CIB の空間的ゆらぎの観測からは、CMB ゆらぎから始まる宇宙の大規模形成の過程を初めて観測的に捕らえることになる。これにより、今までは理論計算やシミュレーションに頼らざるを得なかった暗黒時代における宇宙の進化過程を初めて観測的に実証することが出来、その意義は計り知れない。

探査機の軌道に沿った黄道光変化の観測から、より詳細な太陽系ダストの分布モデルの構築が可能である。これにより、より詳細な黄道光モデルを構築することが可能で、赤外線天文学の更なる発展に寄与する。また、この観測は太陽系の 3 次元構造を直接観測

表 6: ミッションスケジュール

年次	2009	2010	2011	2012	2013	2014
段階	Phase A (予備設計)	Phase B (基本設計)		Phase C (詳細設計)		Phase D (維持設計)
バス部	装置の配置等の検討	バス部の製作		バス部単体での各種試験		バス部・ミッション機器を組み合わせた最終調整
ミッション機器	装置設計の見直し	装置の製作		装置単独での試験/キャリブレーション		
地上設備	製造・試験・運用等の各種設備計画の確定	試験設備の調達		運用設計 運用サービスの調達	運用手順作成	運用員訓練

していることになるので、そこからより詳細な太陽系の誕生/進化モデルの構築が期待される。

太陽極観測では、太陽極域からの太陽風観測という地上からでは実現が非常に困難な観測が可能であり、太陽の 3 次元構造を明らかにする事が可能となる。さらに、太陽極磁場反転の前後での太陽両極からの観測から、太陽のダイナミクスに関する新たな知見が得られる事が期待される。

工学的な面に関しては、木星航行/黄道面脱出というミッションを、標準バスを用いた探査機で達成するという点が特徴として挙げられる。これにより、惑星探査という大掛かりなミッションでも安く早く達成できるということが実証される。

## 5 独創性と社会的効果

黄道面脱出というユニークなアイデアこそが、このミッション最大の独創性である。過去に黄道面を脱出した探査機はほとんどなく、将来的な計画も数が少ないため、このミッションが実現すれば、黄道面外というユニークな環境を活かした科学成果を独占できるということが大きな特徴である。具体的な科学的成果として、宇宙の誕生と進化の解明や、太陽・太陽系の 3 次元構造の解明などが挙げられる。また、このような素晴らしい成果が期待できるミッションが、既存の技術で十分実現可能であるという点も大きい。

黄道面脱出には木星スイングバイを用いることから、宇宙望遠鏡というよりは惑星探査の色合いが強いミッションとなる。つまりこのミッションは「惑星探査」に「宇宙望遠鏡」を組み合わせるといふ、従来の枠組みを超えたミッションを提案しており、その点も非常に独創的である。

さらに、このミッションにおける CIB/黄道光観測では日本の次期赤外線望遠鏡計画 SPICA と、太陽極観測では Solar-C との共同観測が可能で、将来の大型天文ミッションとも相補的な関係を築いていることも特筆すべき点である。

標準バスを利用した木星探査機の実証という側面から、本ミッションの工学的意義もまた大きいことも付記しておく。標準バスによる初の惑星探査が実証されれば、多くのノウハウを蓄積できるだけでなく、その信頼性をより確実なものとする事ができる。その実績から、地球軌道の人工衛星に対する標準バスの利用が促進され、より安価で迅速な人工衛星の開発が可能になることが期待される。異常気象や急速な環境変化に対応するため、宇宙利用の需要が高まる中、こうした技術蓄積には、計り知れぬ社会的価値がある。

## 6 名称の由来

high-Z という名称の由来は以下の通りである。

- ・高赤方偏移 (high-z) な宇宙を観測する
- ・黄道面 (zodiacal plane<sup>6</sup>) から高い (high) 所に行く
- ・太陽系の高さ方向 (z 方向) の高い (high) 所に行く
- ・高い (high) 所から太陽の天頂 (zenith) を見下ろす

## 7 まとめ

このミッションで黄道面外という未開の空間を切り拓くことにより、宇宙の誕生/進化から我々の住むこの太陽系の構造に至るまで、幅広い科学的成果が得られることが期待される。そのような大きな科学的成果が期待できるミッションでありながら、その実行は現在の技術で十分可能である。さらに、このミッションではもう一步踏み込んで、標準バスと既存の観測装置を用いることで開発費用と開発期間を大幅に削減することを目指すという、工学的な意義も付け加えた。以上のようにこのミッションは、理学・工学の両面において大きな成果が期待できる画期的なミッションである。

## 8 参考資料

- 茂原正道、鳥山芳夫、『衛星設計入門』、培風館  
 長谷川直 他、ISAS ニュース No.241、2001 年 4 月  
 鎌田幸男、ISAS ニュース No.322、2008 年 1 月  
 坂井真一郎、第 6 回 DECIGO ワークショップ  
 第 4 回原子力委員会 資料第 1-1 号  
 第 47 会期国際連合総会決議 第 47/68 号  
 次世代赤外線望遠鏡 SPICA ミッション提案書  
 Final Report of the New Horizons II Review Panel  
 J.Bock, et al. NewAR, 50, 215-220, 2006  
 G.Fountain, et al. SSRv, in press, arXiv:0709.4288  
 T.Kelsall, et al. ApJ, 508, 44-73, 1998  
 T.Matsumoto, et al. ApJ, 626, 31-43, 2005  
 NASA Deep Space Network ウェブサイト  
 NASA Ephemerides ウェブサイト  
 NASA Galileo ウェブサイト  
 NASA New Horizons ウェブサイト  
 NASA Ulysses ウェブサイト  
 ESA Ulysses ウェブサイト  
 Department of Energy RTG ウェブサイト  
 宇宙科学研究本部 のぞみ ウェブサイト  
 国立天文台 Solar-C ウェブサイト

<sup>6</sup>黄道面の訳語としては ecliptic plane の方が一般的である。