

第48回宇宙科学・探査小委員会 議事録

1. 日時：令和3年11月12日（金） 14：00－15：40

2. 場所：宇宙開発戦略推進事務局大会議室

3. 出席者

（1）委員

松井座長、常田座長代理、関委員、永田委員、永原委員、山崎委員

（2）事務局（宇宙開発戦略推進事務局）

河西局長、岡村審議官、坂口参事官

（3）関係省庁等

文部科学省研究開発局

原審議官

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

國中所長

堂谷教授

片坐准教授

羽澄特任教授

国立天文台

郷田教授

4. 議題

（1）宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」及び赤外線位置天文観測衛星「JASMINE」検討状況について

（2）宇宙基本計画工程表の改訂について

（3）その他

5. 議事

○松井座長 時間になりましたので「宇宙政策委員会 基本政策部会 宇宙科学・探査小委員会」第48回会合を開催いたします。

御出席の委員の皆様におかれましては、お忙しいところ御参加いただき、御礼申し上げます。

本日は、大島委員、松本委員が御欠席、永原委員がオンライン参加となっております。

本日の議題は「宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星『LiteBIRD』及び赤外線位置天文観測衛星『JASMINE』検討状況について」、「宇宙基本計画工程表の改訂について」が議題です。

それでは、議題1「宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星『LiteBIRD』及び

赤外線位置天文観測衛星『JASMINE』検討状況について」宇宙科学研究所より説明をお願いいたします。

これは、皆さん経緯は御存じだと思っております。前回、いろいろな事情があって、もともとの計画とは大分変更せざるを得なくなったと。

それでは、その変更した計画がどんなものかという詳しい話は、聞いていないということで、今回、こういう話を報告していただくということが議題1です。

それでは、よろしく申し上げます。

【JAXAから資料1について説明】

○松井座長 ありがとうございます。

それでは、質疑をお願いします。

○常田座長代理 技術的なめどがついたというJAXAの御説明にちょっと心配がありまして、開発状況を聞きたいのですが、具体的には3点あって、望遠鏡の入り口にあつて、偏光状態を回す回転波長板があるのですが、極低温でして、それが世界で誰もまだ宇宙に飛ばしたことがないようなものなので、それが本当にどれだけできているのか。例えばBBMをちゃんと作れるところまで行っているのかというのがまず一つです。

それから、望遠鏡の入射瞳に回転波長板を置くことによって、波動オプティクスの的に定在波が出て、単に幾何光学で決まらないところが多いと思うのですが、これも物理学の問題なので、その定在波の問題が解決されているかどうかというのが2つ目です。

それから、TES(超電導検出器)センサなのですが、もともと日本にないから、米国を頼ってということになっていて、非常に難しく、直線偏光を2方向取って、さらに5色とか6色の色で広い波長範囲をカバーするというので、米国でやっても、相当開発要素があるのではないかという印象を持っています。そういう大きいところの疑問があるのに、「技術的にめどがついています」とJAXAが言うと、LiteBIRDはフロントローディングをやらなくてもいいのではないかなってしまいます。開発要素は開発要素としてはっきりと書いたほうがいいと思うのですが、その辺の開発状況と困難度をどう認識しているかをお聞きしたいのです。

○JAXA(堂谷特任教授) では、一つずつ。

まず、偏光変調器は、IPMUで開発しているものですが、今、IPMUでBBMとして、厳密には実際の大きさより微妙に小さいのですが、ほとんど同じ大きさのBBMを開発してしまつて、極低温で連続回転するところはほぼできていて、今はさら

にそのモータなどを改良して、発熱を減らすところを行っています。

サファイアの板を5層に重ねて、特に表面に、よく御存じのように、モスアイ構造を作りつけないといけないのですが、そこは東大のレーザの研究室と協力して、レーザの出力とか波長、あと、非常に短時間にオン・オフするので、そういうパラメータのチューニングを行って、モスアイ構造自身を作れることが小さなサンプルで分かっているのですが、それを直径40センチぐらいのところ全部に作りつけないといけないので、実際にその開発で40センチのものを作れるようなセットアップを今、整えようとしているところです。

おっしゃるように、開発要素はいろいろとあって、一つずつ着実に潰していかないといけないと思っていますところです。

オプティクスについては、非常に重要なところで、特に、御存じのように、我々のチームの関本が非常に気にしてやっているところですが、今、2つの方面でやろうとしていて、一つは、4分の1スケールの小さいモデルで、波長も4分の1にして影響を見ることと、あとはシミュレーションですが、シミュレーションはなかなか難しいのですが、我々のところに今年の初めに着任した新しい助教が物理シミュレーションの専門家として、今、そのシミュレーションの構成とかをしようとして、シミュレーションとスケールモデルの両方で影響をちゃんと見極めようとしているところです。

あと、センサーについては。

○JAXA（羽澄教授） 今のに補足しますと、常田先生はテザー波のことを気にされていたので、もちろん、回転半波長板を少しティルトさせたデザインで、定在波を防ぐデザインになっているのですが、早い段階の試験で回転半波長板と検出器を組み合わせた試験で、実際にどれぐらいの定在波が立つかということは、KEKで今、KEKスペースチェンバと呼んでいるのですが、それを作りまして、要するに全体を組み込む前の段階で、定在波やマルチリフレクションに関しては大丈夫だということを確認したいという計画になっています。シミュレーションとか計算だけでは、そこは不安なところなので。

検出器ですね。

まず、検出器は、米国主導で進んでまいりましたが、実は今、KEKも開発、デザインは一緒にやっています、特にラグランジュポイントに飛んで、宇宙船がばかばかと入ってきたときに、その影響をできるだけ抑えるちょっと特殊な構造を持った、地上では使わないようなものを一緒に開発して、デザインの仕事から一緒にやっています。

予算としては、NASAが下りたという話はありませんでしたが、NASAの開発経費は、アメリカグループはまだトータル6億弱がついていて、今、その終わりぐらいのところでは。

実は去年ぐらいに大きな進展がありまして、まず、ノイズレベルについて、宇宙で我々が必要としているノイズレベル、要するに低いノイズレベルを実験室でデモンストレートすることに成功しています。そこは大きな進歩がありました。なので、今後は、さらにバークレーがKEKの一部になるような形で、こちらから人もつけて加速していくことで、目標を達成できるのではないかと考えています。

もちろん、あともう一つ重要な開発要素としては、TRL5、TRL6と行く上での環境試験、特に振動試験とかは、まだ割と初期的な試験をパスしたところなので、ちゃんと焦点面検出器として作り込んだものの振動試験とかを早めにやることは一つ鍵かなと考えています。

以上です。

○常田座長代理 ありがとうございます。

進展があるようで、進んでいるのならいいのですが、実験室で動き出してから、フライトモデルに仕上げるまで、御存じのように、かなりの道のりがありますので、こういうところで課題を言って、フロントローディングの手当てをちゃんとしてもらえるようにしたほうがいいかなという気はします。

以上です。

○JAXA（羽澄教授） ありがとうございます。

○永田委員 12ページの図について確認させていただきたいのですが、低周波焦点面検出器については、KEKで開発を進めて、技術のフロントローディングとは別のところで進むような説明になっていますが、これはWPIの枠組みの中で開発を進めるということなのでしょうか。

あと、それに関連して、米国の研究グループは、WPIの枠組みの中で引き続き協力いただけることになったという理解でよろしいのでしょうか。

○JAXA（羽澄教授） はい。

2つ質問がありましたが、答えは2つともイエスです。

○永田委員 予算的には、それで特に心配はないということですか。

○JAXA（羽澄教授） 予算的には、WPIから一部拠出するのに加えて、KEKとしても予算を取ることを考えようとしております。

もちろん、アメリカグループも、NASA以外のところからお金を取る努力はしていきまして、彼らはこれまでかなりの実績を持っているので、そこは期待していますが、こちらの計画としては、アメリカのグループの予算はゼロで成り立つことを考えています。

○永田委員 WPIに採択されたのは、非常に心強いことだと思います。

ありがとうございました。

○永原委員 ただいま主に低周波側のことが議論になったわけですが、もう一

つのCNESで開発することになっている中・高周波のほうは、ヨーロッパ側ではできると言っているという表現なのですが、ここの確実性の程度がよく分からないので、もう少し御説明いただけるでしょうか。

というのは、これまでの経験で、ヨーロッパは、えてして当初予定をかなり遅れてくるのが常です。このミッションの場合、逆に競争相手がいないことが遅れることを可能にし得るわけです。

今回、全体としては、工程表どおりでというお話なのですが、本当に工程表に沿ってできるのかどうかというところは、CNESのほうの開発にも大きな影響を及ぼすと思うわけです。この辺りの詳細をもう少しお聞かせいただけませんか。

○JAXA（堂谷特任教授） まず、CNES側で本当にできるのかどうかということですが、ヨーロッパは、プランク衛星ということで、宇宙マイクロ波背景放射の共同マップですが、これを非常に精密に観測した経験がありまして、CNESはそのうちのプランクの高周波望遠鏡を担当して開発した技術的な蓄積があります。それを活用することで、LiteBIRDの中・高周波望遠鏡の開発は、技術的にも可能であろうと考えています。

ただ、スケジュールは、おっしゃるとおり、非常に重要な点で、工程表をにらんだスケジュールに間に合うかどうかは、我々のほうでもリスクと考えていまして、その開発計画の詳細化は、協定が結ばれたこともあって、これからCNESと協力して詳細化を進めていく段階で、スケジュールインパクトがあるのか、ないのか、その辺りも明らかにしていきたいと考えています。

○永原委員 分かりました。

ぜひヨーロッパのこれまでのことを考えて、特別な体制で臨んでいただきたいと希望します。

以上です。

○JAXA（堂谷特任教授） コメントありがとうございます。

ヨーロッパとの国際協力は一筋縄ではいかないところがあるのは、我々も認識していますので、十分に注意深くやっていきたいと思っています。

○関委員 今回の永原先生の質問と大体同じ質問だったのですが、もう一つ、7ページにあるPicoという計画がありますとおっしゃっていて、現段階では、ヨーロッパとの国際協力とか、幾つかリスク要因も認識されているということなので、2030年代のPicoという計画との兼ね合いで、万一遅れた場合にサイエンスの価値がどう変化するのか、しないのか、その辺りをもう少し教えていただいてもいいでしょうか。

○JAXA（羽澄教授） Picoは、業務クラス、1000億円級のところで、アメリカで提案されまして、今回、いわゆるディケイダルサーベイと言われる、Astro2020

の俎上に上ったものです。

Astro2020の結論は、Picoをすぐに上げなさいということではありませんでした。したがって、2030年代中盤となっていますが、もしこれをやるとしても、LiteBIRDの結果が出た後に、さらに押すような、LiteBIRDより大きな計画という位置づけに我々には見えております。

○関委員 分かりました。ありがとうございます。

○JAXA（羽澄教授） ごく最近、Astro2020の結果が出たところです。

○松井座長 ほかに何かございますか。

こういう検討のめどが立ったという話なので、これから折に触れて進捗状況を聞いて、予定どおりなのかどうかを聞きながら判断していく以外ないと思うのです。

ですから、また進捗があったら御報告願うということで、今日のところはこれでよろしいですか。

○常田座長代理 LiteBIRDのように、非常に開発性の高いプロジェクトの扱い方なのですが、これは、高い成果が期待できるからやるべきなのですが、一方、非常にチャレンジングであり、開発要素もまだあると思うのです。

開発要素があるから、戻ってやり直せということではなくて、通常のJAXAの宇宙機みたいにさっと進めてしまうよりは、もう一つ注意が要ると思います。宇宙科学はそういうミッションばかりなのですが、特にLiteBIRDは、成果も高いでしょうが、開発難易度も高いので、やり方論といいますか、どうやればプロジェクトを助けることができるか、ちゃんとここにいる人みんなが中身が分かるかということが大事です。今日の資料を見て、もう少しかゆいところに手が届いているといいという印象を受けるのです。

その辺は、宇宙科学研究所からもう少し積極的に状況説明を、今の松井先生のご発言を受けてやっていただけるといいと思うのですが、國中先生、どうですか。

○JAXA（國中所長） 人材の登用といたしましては、つくばのほうの一般職になりますが、現在、別の衛星を抱えている職員ではあるのですが、開発のめどが立ったプロジェクトから職員のエフォートを10%、20%既にいただいております。第一本部の理事にも御了解いただいた上で、人の手配をつけております。

また、経験者採用でも、これに携わる職員を既に今年の初めに補強しております。人数についても強化を図りつつあるところです。

○常田座長代理 分かりました。

○JAXA（羽澄教授） 一つよろしいですか。

今日の資料は、NASA対応ということが割と主に出ていたので、確かに常田先

生に御指摘いただいた回転半波長板とかの話があまり出てまいりませんでした
が、おっしゃるとおりで、全体を見渡したときの技術の進展度合いとリスクは、
もちろん、Pre-phase A2の終了審査とかをパスしているわけですが、おっしゃ
ったとおり、非常にチャレンジングなミッションだと私は思っていますので、
こういう場でもそういうことをぜひ適宜共有させていただければうれしいと思
います。

○関委員 LiteBIRDに関してというわけではないのですが、今後の戦略的中型
がどうやって進められるのかに関して、LiteBIRDのコミュニティは、WPIまで立
ち上げて、それは底力があってすごいと思うのですが、それを今後、戦略的
中型を立ち上げるときの前提にはできないとも思います。フロントローディ
ングは、LiteBIRDが承認されたときはなかったと思うのですが、フロントロー
ディングをいかにうまく使って、次の戦略的中型が選定される段階で、今おし
ゃったような技術的な開発要素をどこまで押さえていく必要があるかというの
を整理していただきたい。今後、LiteBIRDを参考にする一方で、うまくフロン
トローディングを使えるようなプロセスを考えていく必要もあると思いました。

以上、コメントです。

○松井座長 よろしいですか。

では、何せ、今後、大分長い先の話なので、途中段階でいろいろと進捗状況、
検討状況を聞きながら判断していかざるを得ないと思いますが、今日の時点
では、一応めどが立ったということで、了承したいと思いますが、よろしいで
すか。ありがとうございました。

それでは。

○JAXA（國中所長） 引き続き、JASMINEの説明をさせていただきたいと思
います。

説明者を交代させていただきます。

本日は、天文台の郷田先生と、宇宙科学研究所の片坐先生より御帯同いた
だきましたので、こちらより説明させていただきます。

【JAXAから資料1について説明】

○松井座長 それでは、質疑をお願いします。

○山崎委員 先ほどのLiteBIRDと一緒に、こちらでも技術的に課題があるところ
をフロントローディングで行いつつ、技術的リスクを避けて、かつ、その成果
を本プロジェクト以外にも汎用性を持たせるという意味で、非常にいい流れを
つくってきてくださっているのかなと思います。

確認としましては、先ほどから説明がありました赤外線検出器、センサーの部分ですが、フロントローディングでどこの部分までできるのか。それを矢印でいくと、開発モデルに行く形になるのですが、宇宙に耐え得る技術のところまでフロントローディングで確認できるのか、それとも、それはまた別の検証が必要なのかということです。

○JAXA（片坐准教授） 宇宙で使えるものをつくるどころまでフロントローディングでやろうと思っています。

○山崎委員 ありがとうございます。

○常田座長代理 今の山崎先生の質問に対して、今のお答えが心配なのですが、技術のフロントローディングで赤外線センサーの開発と言っているところの範囲が曖昧なのです。

センサー単体の開発は、ここに書いてあるように、めどがつきつつあるのだけれども、センサー単体では動きませんから、アナログエレキ、デジタルエレキ、構造熱、冷凍機を使わずにマイナス100度まで冷却するJASMINEで検討しているシステムと、いろいろな開発要素があります。

赤外線カメラの全体システムとしてフロントローディングにしないと、センサだけだったら地上望遠鏡用に国立天文台でやっているの、衛星搭載用赤外線カメラとして開発しなければいけないということです。その回路の技術は、今、日本のメーカーにないですから、フロントローディングでやらなければいけないのですが、そこが曖昧で、実際に予算づけするときに、宇宙科学研究所にカメラシステムとして開発すると言ってもらいたいものだけれども。

○JAXA（片坐准教授） プロジェクトとしては、宇宙科学研究所からちゃんと予算を頂いているのですが。

○常田座長代理 これは國中先生への質問です。

○JAXA（國中所長） ただ、使い方としては、JASMINEの使い方と、例えばHiZ-GUNDAMの使い方は必ずしも一緒ではないので、読み出し回路のところは共通性がありますので、今回も読み出し回路も含めての開発と理解しておりますので、そのところは明らかにカメラシステムに近づくようなフロントローディングと理解しております。

一方、HiZ-GUNDAMのほうは、必ずしも冷凍するわけではないので、その辺りの応用先については、ある程度使い分け、設計の違いを考慮する必要があるかという解釈でおります。

○常田座長代理 質問のポイントは、JASMINEがしかるべき時期に打上げられるようにすべき、との1点だけです。そのためにどうしたらいいかという議論なので、バスとかそういうところは、従来のJAXAの技術でやっていけます。一方、赤外線カメラシステムは、アメリカより供給してもらおうのが当初案でしたが、

日本で開発することになった。センサ単体は開発が順調ですが、その周りのシステムも非常に大きいもので、そこもフロントローディングに入れないと、要するに、開発がこのスケジュールでできるかという心配があるので、聞いているのです。

だから、ぜひ赤外線カメラシステムとしてフロントローディング化していただいて、地球観測衛星とか、今おっしゃった天文衛星などの応用は、「それぞれ個々に違うから、フロントローディングではないのだ」と言わないでやっていかないと、JASMINEはなかなか成り立たないという印象を持つので、そこをよく考えていただきたいのです。

お答えが煮え切らないような気がしたのだけれども、大丈夫かな。

○松井座長 それに関連して言うと、カメラシステムとして開発するとすると、どのぐらいコストがかかりますか。

フロントローディングと言っても、予算規模があるわけです。そういうのにちゃんと収まる範囲で、これから数年ですね。

○JAXA（片坐准教授） はい。

○松井座長 できるのかという見通しがないと、フロントローディングだって、今、予算で実際に取れているのが、今年で5億円ですね。

だから、赤外線カメラシステムとして開発するとしたら、あとその経費がどのぐらいフロントローディングでかかるのかも併せて言ってもらわないと、そのつもりでしたが、予算がつかなかったので、できませんでしたというのでは意味がないわけです。

これはどのぐらいかかるのですか。

○JAXA（片坐准教授） まず、技術的な状況から説明しますと、カメラシステムとするためには、冷却系とエレクトロニクス系が要ります。

エレクトロニクス系は、私もいろいろな過去の衛星に関わってきた方にインタビューもやったのですが、確かに、任せきりにするのはかなり不安なメーカーだらけというのは事実です。

ただ、私自身も、地上の望遠鏡用のエレクトロニクスとかを自分で作ったこともあります。今は、アナログ系はちょっと不安なのですが、こちらからもかなり手取り足取り、回路図ベースでいろいろと渡しながら、指導しながらやっています。

そのやり方自体は、実は「ひとみ」衛星のときも、宇宙科学研究所の者がメーカーに対してやっていたやり方ですので、それを踏襲して、今、かなり手取り足取りやりながらやろうとしているところです。

もう一つの冷却系のほうなのですが、これも結構重たい課題なのですが、ちょうど先週になるのですが、ASTRO-E2のCCDの冷却系をやっていたアメリカの

MITのエンジニアの方に、いろいろなところの接着剤の厚さが幾らで、何を使ったというので、テストがどうだったというのも含めて、先日、非常に細かくいろいろとお伺いしまして、今、これも国立天文台の先端技術センターで開発しようとしています。なので、技術的には何とかなるめどが立っていると私は思っています。

一方の予算なのですが、開発予算としては十分に頂いていますので、何とかなると思っています。

でも、FMを作るとなると、今度はそれに品質保証が必要になってきます。そのところは、ざっと数億円、10億には行かないぐらいはかかると思っているのですが、そこは逆にある程度の開発を終えた後なので、私はプロジェクト経費からであると認識してやっています。

○松井座長 さっき「ひとみ」の例を挙げたけれども「ひとみ」の頃にフロントローディングはないですね。

○JAXA（片坐准教授） はい。

○松井座長 だから、額が全然違う話ではないのですか。

○JAXA（片坐准教授） 私が例に挙げたアメリカのものは、アメリカ側の分担分で作っていたモジュールで、実際に冷却系を作られたエンジニアの方にいろいろとお伺いしたという話です。

試験も、かなりいろいろと教えていただいているのですが、非常に多くの試験をしていて、これを日本でやるとすごい額がかかると思ったものではありません。

○松井座長 だから、フロントローディングの予算で何をどこまでやって、プロジェクト化されて、どうなのかという話も少しちゃんと詰めてもらわないと。

めどが立ちましたということですが、今の段階ではそれ以上、聞いても答えがないので、次回ぐらいまでには、ある程度具体的にフロントローディングでどこまでやると、例えばカメラまで行くのか、カメラの前段階なのかによっても違うみたいだけれども、どのぐらいかかるのかははっきりさせていただきたい。

要するに、フロントローディングと言っても、オールマイティではないわけです。予算があって、当然、ほかのプロジェクトのフロントローディングもあるわけでしょう。

だから、現実にはどのぐらい取ればやっていけるのかということがないと、工程表どおりにいくかどうかというめどは全く立たないですね。ですから、少なくとも、これも次回ぐらいまでにはその辺を詰めてもらいたいです。

○永原委員 ただいまの点と重複してくるのですが、23ページのスケジュールを見ますと、フロントローディングを2024年、2025年でやることになっていますね。2028年の割と早い時期に打ち上げということで、そうすると、フロント

ローディングをこの頃にまだやっていると、もしこれが少しでも遅れると、決定的に打ち上げに大きな影響を与えてくることになると思うわけです。

ですから、そもそもこの計画だとどこで本当にきちんと予算をつけなくてはいけないのか、つまり、文部科学省がどこで予算要求をきちんとまとめてしなくてはいけないのかということも、フロントローディングにあまりに依存している。

つまり、5億円のフロントローディングで、こちらもそうだし、片方でLiteBIRDのほうの冷凍機もフロントローディングと言って、何でもかんでもフロントローディングと言えば片づくような感じに見えていまして、本当にこのスケジュールで進められるのかという点を今の予算ことと併せて、今は御説明は不要ですので、ぜひ次回るときにでももう少し御説明いただければと思います。

以上です。

○常田座長代理 どこかのページで打ち上げが2028～2031年で、2031年でも構わないと読めるのですが、今まで2028年が必須と言っておられたと思いますが。

○JAXA（片坐准教授） いいえ。

それは多分、2028～2031年が運用。

○常田座長代理 運用期間で、外国との衛星の関係で、打ち上げが2028年必須ね。

○JAXA（片坐准教授） はい。

○常田座長代理 ありがとうございます。

○JAXA（郷田教授） そこを少し補足させていただいてもよろしいですか。

先ほど片坐から説明がありましたが、まず、一番インパクトが高いのは系外惑星なのですが、御存じのように、太陽系外の惑星に生命がいるかどうかということが究極の目標なのですが、そのうちJASMINEが果たす役割としては、生命がいそうな場所にある地球に似た惑星の候補を探すというすごい意義があって、それは一つでもいいから、たくさん見つける。

ただ、それだけでは、本当にそこに生命がいるかどうか分からない。そのために、惑星表面に水や太陽とか、大気で酸素とかそういう生物がいるような兆候がないかどうかを分光観測でやらないといけない。

その分光観測が高分散で精度よくできるのが、JWST望遠鏡やARIELとか、あとは日本も絡んでいますWSO-UVがちょうどいいみたいで、要するにそことの連携というか、リレーなのです。

だから、JASMINEがこの時期に打ち上げられて、いい候補を見つけてあげると、ほかのミッションにそれをリレーして、そこが実際に生命の兆候があるかどうかを分光で見つけて、もしもそこで本当にあるとなったら、その候補を見つけ

たJASMINEは、世界的にもすごくだと出てくる。そういうこともありまして、そのタイミングが2028年というのが一つあります。

もう一つ、先ほどの位置天文は、赤外線で天の川の中心を高精度で見るのは世界的にはなくて、今、ヨーロッパがガイアの後継機として、GaiaNIRを考えているのですが、この間のvoyage2050の推薦の候補の一つにはなっているのですが、まだ選ばれていません。

ただ、それが選ばれたとしても2045年以降ということなので、当面、その辺のライバルはないということで、JASMINEが出した位置天文のカタログ自体はずっと意義があると思っています。

位置天文のカタログは、星の基本情報、距離と運動なので、主目標以外にもいろいろな太陽系内の天体から宇宙論に至るまでいろいろな応用が可能で、そういう意味ではすごく意義はあると思っていますのですが、一方、JASMINEの位置天文の大きな目標の一つが天の川銀河探求でして、今、ガイアの成果が出ているのですが、地上でもガイアが捕捉するような星の視線方向の速度や元素、年齢といった情報が地上観測によってどんどん出つつありますし、JASMINEを2028年に打ち上げると、一部JASMINEをフォローするデータが出つつ、逆にJASMINEが欲しているようなフォローデータを地上観測でもらえるところがあって、まさに天の川銀河の黄金時代をこれから迎える。そういう意味では、2028年タイムリーというか、最大の成果を出すためには、位置天文も打ち上げていただければ大変ありがたい。チーム一同も頑張りたいと思っています。

特に、最近、浮上しましたのは、私は天文台なので、すばるの話もさせてもらいますが、今、すばるの次期装置としてULTIMATE-Subaruが考えられていて、そのうち幾つか装置があるのですが、赤外線で広視野、補償光学で非常に精度をよくする。すばる望遠鏡は大きいので、赤外線で天の川中心をメインで見ると、非常に暗い、たくさんの星を見られて、位置天文もある程度できます。固有運動という速度も測れるのです。ところが、位置天文専用でもないし、暗いので、精度が単独では出ません。

ところが、JASMINEとこれの同時観測ができて、そうすると、JASMINEは少数でも明るい星を非常に高精度で測ることができるので、JASMINEとすばるが測ったオーバーラップしている星を基に、すばるで取ったデータをキャリブレーションして、単独では精度が悪かったところの経度誤差を取ってあげて、もっと精度を上げる。

そうすると、JASMINEとすばるのシナジーとして、銀河系中心に関しては、非常に膨大な星のデータができて、まさにちょうどガイアは天の川中心を見られませんが、それが終わった直後に、日本がガイアができなかった天の川の中心をJASMINEとすばるのシナジーでもって、日本が最大限の成果を上げられるとい

うこともありまして、2028年が非常にタイムリーというか、最大の成果を出せるのではないかと考えておりますので、もちろん、チームで頑張りたいと思います。これからも応援をよろしくお願いいたします。

以上です。

○松井座長 サイエンスは当然、重要だから認められているので、今、2028年にどうやってこの衛星を打ち上げるか、本当に打ち上げられるのかという話をしているので、サイエンスが重要だから云々という話は、今の議論とはあまり関係ないですね。

○永田委員 先ほどの23ページの技術のフロントローディングをいつやるのかという話なのですが、2024年、2025年ではなくて、2021年、2022年、2023年にフロントローディングをやって、多分、これはプロジェクト化された後をイメージされていると思うのですが、その成果を2024年に盛り込んでいくという絵なのだと思います。

ただ、今、議論になっているのは、この絵の中では、先ほど指摘があったカメラシステムの開発は、2024年以降にやるというイメージなのだと思いますが、これをフロントローディングとして、遅くとも2023年度ぐらいまでにはカメラシステムとして仕上げておかなければいけないのではないかと御指摘だったのではないかと理解しました。

これは、僕も全く賛成でありまして、もともと技術のフロントローディングという話が出てきたときに、我々が受けた説明は、これはフロントヘビーにするのだという話でした。150億、200億のミッションをフロントヘビーにするのに、最初の技術開発を1億、2億でやって、これでフロントヘビーだと言われると、ちょっと無理があると思うので、本当にフロントヘビーでやるのだというのだったら、150億、200億の全体予算に対して1割ぐらいの開発予算をかける必要があるのではないのかなと思います。

ですので、フロントローディングは、本来、それぐらいの規模の枠がないと、ちゃんとフロントヘビーとはならないと思いますので、そこはしっかりと議論していったら、もうちょっと2023年度のフロントローディングのところで枠を増やせないのかなと思いました。

以上です。

○松井座長 まさにそういうことでして、私も本当は10億、20億という予算規模でなければできないと思うのです。

だけれども、現実には、今年は5億で、これを来年度に10億にするのは、普通に考えればとても無理な話なのです。

○坂口参事官 正確に言うと、令和3年度の予算が4億で、令和4年度の概算要求が今、5億円で要求されています。

○松井座長 とにかく、大して変わりがないわけですね。4億、5億の話です、10億、20億の話ではないわけね。だから、それで心配しているわけです。

フロントローディングでカメラシステムを開発するのに経費がどのぐらいかかるのですかということなのだけれども、とにかく、今、予算を急に10億、20億に増やせないのです。

だから、今4億で、例えば来年の概算要求で増やせても5億とか、その次の年は7億。これは本当にうまくいったとしてです。その程度のフロントローディングの予算の中で、これが2022年、2023年で本当にできるのかということを知りたいわけです。そうしないと、我々としては、どうも大丈夫そうですねという言い方はできないわけです。それを聞きたいわけです。

なかなか具体的に幾らと言ってくださらないから、できるのか、できないのかは、今、この場では判断できないので、次回までにということになっているのです。

○関委員 今回の永田先生の御指摘はすごく悩ましいと思って伺っていたのですが、理想的には、将来的にはフロントヘビーにするためには、フロントローディングはそのぐらいの規模になるのが理想だと思うのですが、LiteBIRDにしろ、JASMINEにしろ、今走っているミッションなので、逆にここでカメラシステムまでフロントローディングと言ってしまうと、すごく限られた予算でやらなければいけなくなるか、足かせにならないかという気もしています。一方で、早めに開発しなければいけないのはそのとおりだと思います。

そこで一つ伺いたいのは、概算要求として、例えば今回のSolar-Cみたいに、小型JASMINEがここに挙がってくるのはいつでしょうか。フロントローディングの規模は、将来、発展していくかもしれないけれども、現在の規模のままだと、スケジュールを遅らせないように、もし必要だったら、技術的にある程度めどがついたら、JASMINEとして開発経費を取ることも必要ではないでしょうか。

今、MDRとかSDRと書いてあるのですが、概算要求は、プロジェクトが2024年からなので、まだ来年も、再来年も出てこないという理解でよいでしょうか。

○JAXA（國中所長） 来年8月には概算要求として出していきたいと考えております。

○関委員 そうすると、全部フロントローディングに頼らなくても、プロジェクト経費でカメラシステムの開発を進めることも可能であると理解してよろしいのですか。

○JAXA（國中所長） はい。

ただ、2023年度からのプロジェクト化ということになるので、まだそこでFMを作ることはならないでしょうから、実際に具体的に大きな費用が投下され始めるのが2024年ということになるかと思えます。

○関委員 分かりました。その1年前に。

○JAXA（國中所長） 設計の作業は始まりますので。

○関委員 概算要求には載ってくるということですね。

○JAXA（國中所長） はい。そういう考えで、宇宙科学研究所としては希望しておるところです。

○関委員 ありがとうございます。

○松井座長 宇宙科学研究所の希望どおりにいくことは、これまであまり例がないので、その辺が悩ましいわけですね。何か独り勝手にこういうスケジュールで、2028年打ち上げは大丈夫ですと言われても。

私も予算を実際にいろいろと見ているわけです。そんな簡単にいかないですね。プロジェクト化はこの年から入れますなどと言っても、宇宙科学研究所が言っているから入るかという、そうならないわけです。それで、フロントローディングをうまく使わなければという話になっているわけです。

ただ、フロントローディングというと、今、関さんが言ったように、プロジェクト化された後の予算で何にどう使うのかとか、カメラの開発は、実際はどの段階で、どこまでやるのかという話は、フロントローディングの検討の最初に出た話で、問題提起してあったと思うのです。

素子としてこれは使えますという話と、これをカメラというシステムに統合したときにどうかという話は違って、どの段階までをフロントローディングでやるのかというのが常田さんの質問だったと思うのですけれどもね。

○JAXA（國中所長） 私どもの考えとしては、読み出し回路も含めてかもしれませんが、センサ素子までがフロントローディングの範疇かと考えております。

カメラシステムになりますと、何を測定するのかという目的とのひもづけが重要になってきますので、フロントローディングでカメラシステムをつくってしまいますと、逆に汎用性がなくなってしまうところを危惧するものです。

例えばLiteBIRD用のカメラとHiZ-GUNDAM用のカメラは当然違うでしょうから、その部分でカメラシステムまで持ち込んでしまうのは難しいのではないかという解釈です。

○松井座長 そんな悠長なことを言っていて、基本的にできないのではしょうがないわけです。

○JAXA（國中所長） もちろん、そのとおりです。

○松井座長 そもそも最初にフロントローディングがスタートしたときは、MMXのプロジェクト化に必要で、かなりフロントヘビーだったわけです。あのときは15億ぐらい使ってやったわけです。

その後、フロントローディングをもうちょっと幅広く使いましょうなどとなっているけれども、今回の赤外線カメラ、JASMINEにしても、LiteBIRDにしても、

事情が事情で急ぐわけです。その当時、宇宙科学研究所は、何かいろいろとこれから使うものに汎用で技術的な開発をしましょう、それにフロントローディングを使いましょうと言っていたのだけれども、それでは多分、間に合わないのではないかということになっている。

國中さんは、汎用でいろいろなものに使えるような、基礎的な技術開発をやるのだと言うけれども、そんなので本当に間に合うのですか。

○JAXA（國中所長） ですから、JASMINEについては、フロントローディングと事項化の時間差で、2023年からの事項化で開発が間に合うというのが、今日御報告させていただいた骨子になっております。

○常田座長代理 この前言った発言と同じなのですが、宇宙基本計画の工程表にJASMINEもLiteBIRDも載っているわけで、これはJAXAとして、このミッションはできます、だから工程表に載せていただいて構いませんと約束しているということなのです。

一方、SPICAが工程表に載ったにもかかわらず、実施できなくて、宇宙科学としてはある種迷惑をかけていることがあります。工程表に載ったら、宇宙科学ミッションは確実にやる、発射台まで行けるとということが信頼関係の基礎だと思うのです。

できるミッションが工程表に載って、この委員会も、内閣府も皆動くわけです。それは非常に注意してやる必要がある。そうすると、LiteBIRDもJASMINEも載っているわけですから、宇宙科学研究所としては絶対にやってほしい。

そのためには、フロントローディングで開発要素を潰さなければいけない。だから、汎用か、汎用ではないかは、汎用のほうがいいに決まっているのだけれども、ミッションが立ち上がらなければ元も子もないわけで、実際に公式に始まって、全部開発要素を潰していても、先生御存じのように、実際の物作りで山のように問題が出るわけです。だから、まだやったことがないことを初めて本番でやりますということではなくて、事前にやっておかなければいけないというのが、さっきの永田先生のフロントヘビーというところだったと思うのです。

だから、何をフロントローディングで、何を公式のプロジェクト発足後のシーケンスでやるかは、よくよく考えてから言ったほうがいい。今日、簡単にできます、できませんと言うのはちょっとデンジャラスではないかという印象を持ちますけれどもね。

○松井座長 だから、そういう議論に値する内容の話を次回、いつとは言いませんが、していただかないと、JASMINEに関しては、ここに書いてあることでもいいのかどうか、判断できかねると言うのが、現在の委員会の大勢の意見でしょうね。

ほかに何かございますか。よろしいですか。

だから、これも進展があったらちゃんと御報告いただくということで収めたいと思いますが、よろしいですか。

○JAXA（片坐准教授） 一つだけ発言させていただいていいですか。常田先生の御指摘に関してなのですが、今、つけていただいているフロントローディングの中で、できるだけ直近の衛星に役に立つように計画を立てていて、目いっぱい使って、LiteBIRDとJASMINEでできるだけ分けてやるように計画を立てていたところですよ。

ただ、その中に、JASMINEに全部のカメラシステムが入り切らないので、とにかく今の整理として、検出器とリードアウトのところまではフロントローディングで今年から来年、再来年までかけてやりましょうという計画で今、報告した状態です。

そのほかのエレクトロニクスとか冷却系の系統はやらなければいけないのですが、それは、来年度、JASMINEを事項化させていただいて、そのプロジェクト予算の中で開発を早めにやるという計画で、今、予算の中の割当てとかもプロジェクトで組んでおりました、プロジェクトの開発の中で、カメラシステムはできるだけ早くCREST予算でやっていくという計画を立てて、2028年打ち上げになるような計画を立てています。

○松井座長 だけれども、普通、事項化は、私の今までの経験からいくと、名前として事項化が登場しても、予算の規模は最初は低いですね。そんな急に何十億とつくわけではないです。

だから、私が知っている限りは1億もつけばいいほうで、そうすると、今言っているように、開発はそっちのほうでと言うほどの予算がつくとは思えないのだけれども、そんな規模でできるという話ですか。

○JAXA（片坐准教授） まず、検出器に関して言うと、物を作るのに一声1億円とかかかります。それを事項化後、なるべく早い段階にやりたいと言っています、検出器のメーカーとは、間がなるべく空かないようにしますので、製造プロセスとかそういうものの保存をお願いしますと言っているところです。

冷却系につきましては、もう少し後ろのほうのフェーズで、プロジェクト予算で作るのかなと考えていました。

○松井座長 今回の説明だと、それはフロントローディングではなくて、事項化して、その事項化の予算でやるというのだけれども、事項化されて、最初につく予算などは、通常、そんなすごい予算はつかないですね。

もし宇宙科学研究所がそう考えているのなら、事項化で、最初の年に、予算としてどのぐらいの予算を計上するつもりなのかと聞いているのです。

今の説明だと、フロントローディングでは、カメラ一式の開発はやらないで

すという説明だったわけです。冷却系とかなんとかは別の予算で取って、それらを併せて最終的にカメラになりますという話なのだけれども、とにかく技術のフロントローディングでカメラシステムがこの辺までめどが立って、あとは実際の製造に行くのかと配られた23ページの図を見て判断するのは、皆さんの普通の判断だろうと思うのです。それでいいのですね。

○JAXA（片坐准教授） はい。

○松井座長 だけれども、今の説明を聞くと、これとは全然違ってしまうわけです。だから、今、どのようにここでの議論を収束させるか、非常に困っているのだけれども。

皆さんに意見を言ってもらいたいなのだけれども、事項化で、今言っているような冷却系とかなんとかは、予算はどのぐらいかかるのですか。

○JAXA（片坐准教授） 検出器は、先ほど言いました1億円ぐらいでFMを作るというのも含めて、今、10億円と見積もっています。

○松井座長 だけれども、普通は、事項化で最初から10億円は絶対につかないですね。

僕もそんなに覚えていないけれども、実際に、だんだん増えていって、かなり年度が進んでも10億ぐらいですね。

○文部科学省（原審議官） どういう割り振りをするかによろしいと思います。ほかのプロジェクトの関係とかいろいろと考える余地があります。

○松井座長 だから、ほかのプロジェクトを最重要でやるのが、例えばMMXやDESTINY+等既に決まっているものがいっぱいあるわけです。

そういう中で、新しいのを事項化して入れても、予算的に10億などは絶対に行かないですね。だとすると、どうするのですか。

○永田委員 先ほどの御説明だと、2023年に事項化と伺った気がしますけれども。

なので、2024年に10億規模ぐらいになると。

○松井座長 通常はそんなにならないですよ。それで言っているわけです。

○永田委員 2023年は、1億、2億ぐらいの規模と僕は理解したのですけれども。

○松井座長 だけれども、今までの予算の付き方を見ていても、初年度は出ても、次年度から10億、何十億と行く例はあまり見たことがない。しかも、これから科学探査の予算は物すごく膨れるのです。

その中で、本当にそんなに取れるのかということ、私の経験から言ったら、とても不可能なわけね。

○JAXA（國中所長） 1年間で完成してしまうわけではありませぬので、JAXAの考え方としては、将来、予算がつくことがおおむね認められているのであれ

ば、複数年度契約もできまして、何年後にお支払いするから、こういったプロフィールで作ってくださいということはできますので、とにかく、事項化をしていただければ、多年度での契約がJAXA的には可能になりますので、すぐさま初年度に10億要するというお話にはならないと思っております。

○松井座長 2023年の概算要求で事項化するということですか。ということは、2024年度に事項化するということ。

○JAXA（國中所長） 2023年度に事項化して、少しでも予算をつけていただければ、多分、2024年、2025年、2026年とあるプロフィールで費用がつくということが。

○松井座長 来年の概算要求の議論のときに、JASMINEは事項化されるということ。

○JAXA（國中所長） させていただきたいということを御相談したいと考えております。

○松井座長 よく分からないけれども、それは我々に相談することではなくて、文部科学省とやることだから。

○JAXA（國中所長） はい。文部科学省と相談させていただきたいと考えております。

○松井座長 いずれにしても、あまりすっきりした話ではないので、ここではいい、いいでしょうと言うよりは、これから先、もうちょっと話を聞いてからということになると思いますが、それでよろしいですか。

それでは、ありがとうございました。

議題2ですが「宇宙基本計画工程表の改訂について」事務局より説明をお願いします。

【事務局から説明】

○松井座長 ありがとうございました。

工程表に関連して、今週、NASAからアルテミス計画の遅延について発表されておりました。NASAの発表に関して、文部科学省から何か報告はありますか。

○文部科学省（原審議官） ありがとうございます。

既に報道されてございますが、一昨日、10日にアメリカでNASAが、これまでは2024年に有人の月面着陸を目標にするとおりましたものを、2025年以降に延期すると発表いたしております。

一方、アメリカが進めております月面への有人の着陸といたしますのは、我が国との協力で進めておりますゲートウェイ（月周回有人拠点）の建設とは半ば

独立して進められているものでございますので、NASA側からは、我が国あるいはほかの国と協力しております取組については、今までどおり進めてほしいと言われてございます。

そういうこともございますので、今の工程表には変更はなく、ゲートウェイへの機器提供あるいは補給、月面データの取得・提供、有人と圧ローバに関する研究開発は、これまでの計画どおり進めさせていただきたいと考えてございます。

簡単ですが、以上です。

○松井座長 ありがとうございます。

それでは、工程表の改訂について、質疑をお願いします。

○永原委員 ありがとうございます。

アルテミスのほうではなくて、宇宙科学のほうですが、工程表では、Solar-Cは、先ほどの小型JASMINEより1年半早く打ち上げということになっています。この計画もいろいろと紆余曲折があつて、大分小さくなったり、時期が逆に前倒しになったりという経緯もありましたし、肝心の開発要素はアメリカあるいはヨーロッパとの協力が不可欠という計画だと思えます。

したがって、これにつきましても、次回の委員会あたりできちんと今日のようなお話を伺ったほうがよいのではないかと思います。

以上です。

○松井座長 ありがとうございます。

では、それに関してはもっともなので、次回、同じように、Solar-Cについても御説明いただくことにしたいと思います。

○坂口参事官 はい。

○山崎委員 今までの議論を反映していただきまして、ありがとうございます。

細かい点で、ISSに関わる取組なのですが、工程表自体のところでも「ISSを含む地球低軌道活動」という形で項目を幅広くとらえて、2025年以降の活動についても、ISSの運用延長も含め、引き続き検討を進めたいのとのことですが、この辺りは今、具体的に検討がどれぐらい始まっているのか、差し支えない範囲で感触をもう少しお伺いできればということと、その中で、民間事業者の参画拡大に向けた方策について、まだ具体的に見えていないのです。ですので、もう2024年、2025年はかなり近いわけですが、もう少し具体的にお伺いできればと。

お願いいたします。

○文部科学省（原審議官） まず、ISSの運用延長についての検討の状況でございますが、今、2024年度を超えて使えるかどうかという技術的な検討を各機関で進めていて、それは恐らく大丈夫そうだろうということでございます。

一方、政策的に使い続けることが本当にいいのかどうかは、まず、担当の役所、日本であれば文部科学省で検討させていただいて、宇宙政策委員会に御報告させていただいて、御審議いただくことを想定しておりますが、具体的にいつのタイミングでできるかということは、これから事務局とも相談して進めていきたいという状況でございます。

民間の参入についてでございますが、御指摘のように、今、大きな予算を投じているわけではございませんが、2025年以降、仮にISSを延長するとして、その後、民間の参入をどうしていくのかについては、併せてこちらで検討していきたいと思っております。

○山崎委員 かしこまりました。

あわせまして、何か状況がありましたら、また共有していただければ幸いです。

○関委員 人材基盤の強化に関して、スケジュールを教えてくださいたいのですが、人材育成の勉強会の議論を反映すべきだと思うのですが、今日の時点では入っていないので、今後、どういうスケジュールだったら来年度に向けて入れられるかを御説明いただければと思います。

○松井座長 人材に関する勉強会では、そのうち結果を取りまとめることになっているのですが、その結果を工程表にどう書くのかという内容については全く未確定なので、これから議論の進捗を見て、その内容を書き込むということです。

○関委員 工程表の改訂は、いつまでにやらなければいけないという締切りみたいなものはあるのですか。

○坂口参事官 これから基本政策部会、宇宙政策委員会等でまとめていくことになりますので、事務的に、今月中ぐらいには事務方の案をある程度固めていきたいと考えてございますが、それが人材に関する検討の動きと常に連動してきているわけではないので、ここについては、松井先生とも対応相談したいと思っております。

○松井座長 落としどころを相談して決めて、その辺を書き込むことになるのかなと思いますけれども、その案は、今のところ未定ということです。

○関委員 分かりました。

ありがとうございます。

○松井座長 よろしいですか。

実は、先ほどのJASMINEで予定を大分オーバーしてしまったものですから、工程表について、もしなければ、今の話で修正がある場合に相当するのかは、人材に関する件で、そこは本日、関さんから指摘がありましたので、私に御一任させていただいて、書けるところは書き足すということにしたいと思っております。

ほかによろしいですか。

それでは、最後に、事務局から今後の日程等について説明をお願いいたします。

○坂口参事官 ありがとうございます。

工程表改訂案につきましては、先ほど御説明しましたように、11月末に基本政策部会を予定しておりますので、それまでに案をまとめたいと考えてございます。

それから、探査小委員会の日程については、また改めて紹介して、次回以降の議論を進めたいと思っていますので、よろしくをお願いいたします。

ありがとうございました。

○松井座長 それでは、本日の会合を閉会したいと思います。

ありがとうございました。