

最先端研究開発支援プログラム（FIRST）中間評価に係るヒアリング

（宇宙の起源と未来を解き明かす

—超広視野イメージングと分光によるダークマター・ダークエネルギーの正体の究明—）

1. 日時 平成24年9月11日（火）14:00～14:50

2. 場所 中央合同庁舎4号館12階 共用1211会議室

3. 出席者

相澤 益男 総合科学技術会議議員

奥村 直樹 総合科学技術会議議員

青木 玲子 総合科学技術会議議員

西尾章治郎 大阪大学情報科学研究科教授（外部有識者）

今井 浩 東京大学情報理工学研究科教授（外部有識者）

國枝 秀世 名古屋大学大学院理学研究科教授（外部有識者）

黒部 篤 株式会社東芝セミコンダクター&ストレージ社半導体研究開発センター長
（外部有識者）

倉持 隆雄 政策統括官（科学技術政策・イノベーション担当）

中野 節 内閣府官房審議官（科学技術政策担当）

中川 健朗 政策統括官（科学技術政策・イノベーション担当）付参事官（総括担当）

川本 憲一 政策統括官（科学技術政策・イノベーション担当）付参事官（最先端研究
開発支援プログラム担当）

4. 説明者

村山 斉 東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構長（中心研究者）

唐牛 宏 東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構特任教授（研究支援統括者）

中村 健蔵 東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構事務部門長

稲垣 博明 東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構事務長

下農 淳司 東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構学術支援専門職員

5. 議事

【事務局】

それでは、これより研究課題「宇宙の起源と未来を解き明かす—超広視野イメージングと分光によるダークマター・ダークエネルギーの正体と究明—」の中間評価に係るヒアリングを始めさせていただきます。

本日の出席者はお手元の座席表のとおりでございますが、中心研究者である村山先生をはじめ、課題担当の皆さん方にはお忙しいところありがとうございます。

本日の配付資料はお手元に一覧ということでお配りをさせていただいておりますので、ご確認をいただければと思います。

このヒアリングにつきましては非公開で行いますが、後日、今後の研究発表あるいは知的財産検討に支障が生じないことを確認した上で、議事概要を公開させていただきます。

時間配分につきましては、研究課題側からの説明を15分、その後、質疑応答35分ということで、時間厳守をお願いをしたいと思います。

説明に当たっては、あらかじめお願いをしておりますが、課題全体の研究の進捗度合いと目標の達成見通しについて、国際的な優位性、あるいはサブテーマの役割、相互関係を含めて簡潔かつ明瞭にご説明いただければと思います。

説明では、終了5分前に予鈴、終了時間に本鈴を鳴らせていただきますので、時間が来ましたら途中であっても説明のほうは終了していただければと思います。

質疑応答では、終了3分前に予鈴を鳴らせていただきます。

それでは、説明のほうをよろしく願いいたします。

【説明者】

どうもお忙しいところありがとうございます。村山です。私のプロジェクトの現在の状況について報告させていただきたいと思います。

まず、タイトルにありますように、ダークマター・ダークエネルギーという宇宙の未知の成分を明らかにするというのが目的になっている研究なわけですが、このダークエネルギー、日本語で暗黒エネルギーというのは、実は去年のノーベル物理学賞になった研究で、この3人の人がノーベル賞を取られました。

この1人、アダム・リースは実は我々のメンバーの1人でもありまして、それから一番左のソール・パールムッターのチームに参加していたリチャード・ウィリスとロバート・クインビ

一も我々の研究チームに入って一緒に研究しています。

これはそもそも何であったかといいますと、宇宙の膨張がアインシュタイン以来ずっと減速していると思われていたものが、実は加速しているのであり、その加速を引き起こす何か未知のエネルギーがあって、それを暗黒エネルギーだと言っているわけですが、これは提案のときに使ったスライドですが、暗黒エネルギーが宇宙をどのように加速させているのかということによって、宇宙の運命が決まってくる。それで宇宙の起源と運命というタイトルがついているわけです。

さらにエネルギーの内訳というのも、これは2003年に初めてわかってきたわけですが、宇宙のエネルギー100%のうち、ほとんどのものは未知のダークマター・ダークエネルギーであり、96%が実に何もわかっていないということです。

さらに反物質がないということについては、これは実は日本の小林・益川理論に非常に関係の深いことだったわけですが、とにかく未知の成分が96%であることを明らかにした。

実はこの詳しい内訳というのを明らかにしたのはWMAPというアメリカの衛星実験なわけですが、このチームのリーダーであったデイビッド・スパーゲルとチャック・ベネットも我々の研究チームに参加することになりました。彼らもまた非常に大きな賞を実際取っています。

というわけで、宇宙がどのように発展してきて、これからどうなるのかということを知りたいわけですから、そのために何をしなければいけないか。実は一個一個の銀河や天体を観測していても、それぞれ個性がありますので、宇宙全体の傾向を知るにはなかなか役に立ちません。何をすればいいかという、ちょうど個人個人に会うのでは日本での高齢化の具合がわからないのと同じで、全体としてどういうふうになっているかという国勢調査をしなければいけない。ですから、我々がやらなければいけないのも、ある意味で宇宙の国勢調査ということになるわけですから、一つ一つの星や銀河ではなくて宇宙全体の傾向を知りたい。しかも歴史を知りたいということですから、昔を知りたい。昔を知るためには天文では遠くを見るということなので、遠くを見ることが出来る巨大望遠鏡が必要になります。

しかも、たくさんものを見るためには、一つ一つ見ていたのでは時間がかかり過ぎますので、非常に大きな視野で一遍にばっとたくさんものが見えるという、そういう観測をしなければいけない。さらに、できるだけ精密な情報を得るためには、イメージングと分光を組み合わせる必要があると。それがこの提案の背後にあった考え方です。

具体的には、日本が持っているすばる望遠鏡を使います。このすばる望遠鏡は非常にありが

たいことに世界最大級の鏡を持っているので、遠くまで見える。しかも視野が非常に広い。ハッブル宇宙望遠鏡の視野の約1,000倍の視野を持っています。ですから、これを使うというのが本当に世界で限られたオプションになってくるわけです。

まずはイメージングカメラをつくるということで、画素数約9億ピクセル、3トンのカメラですけれども、これをFIRSTの資金で完成させ、観測を始める。そして、それをフォローする分光器を次につくるということなんですけれども、これはFIRSTの資金で開発・製作を行うというのが提案でした。

この2つの観測を組み合わせると、まだこれからしばらく時間はかかるわけですが、結果としては今まで世界最高の観測だと思われている精度に比べて、それぞれはるかに高い精度を達成し、さらに2つのサブテーマ、イメージングと分光の情報を組み合わせるということで、はるかにいい情報が得られるというのがこの棒グラフで示されています。

ちなみに、比較的争っているアメリカのLSSTという計画は約1,000億円級の計画で、2025年に開始ということになっていますので、当分の間我々が世界のトップを走れるというふうに思っているわけです。

最初提案しましたスケジュールでは、イメージングはこの時期に行い、それに対してアメリカの競合チームがありました。残念ながらこれからお話しするように若干スリップがあるわけですけれども、先ほどちょっと触れたLSSTという実験はこういう経路だったわけです。残念ながら約1年、ファースト・ライトがスリップをしてしまいましたが、ありがたいことに敵チームであるDESのほうも同じぐらい1年スリップしまして、さらに巨大実験であるLSSTはずっと先になってしまいましたので、国際競争力という点では全く今のところ遜色はありません。

それから分光のほうでは、我々も参加しているアメリカのプログラムがありますけれども、将来の大きな計画、これは人工衛星を使った約1,500億円の計画ですが、ヨーロッパが上げる衛星でこういうところに来ています。我々はちょうどその間にうまく入る。しかもヨーロッパの衛星計画もだんだんおくれてきていますので、これも当分の間、世界トップを走れるというふうに思っているわけです。

今の一番大きなマイルストーンとしては、サブテーマ2の世界最高性能のデジカメですけれども、このレンズのシステムがこれだけの巨大な大きさを持っています、それを組み込んだカメラだとかこういう大きさになります。このレンズのシステム、補正レンズ系といいます、これをFIRSTの資金で完成し、0.3秒角以下という結像性能を実現する。それから、この

本体ユニットというのも F I R S T の資金で完成したんですけれども、これは10ミクロン以下の制御の性能を持つという、そういう非常に精密な機器です。これは非常に大きなものなので、これを望遠鏡に組み込む試験というのを最近やったばかりなわけですけれども、この8メートルの鏡の20メートル上空にある主焦点にこれを取りつけるということで、これを1ミリの精度で行わなきゃいけない。そのために約4時間半時間をかけることになりました。それは無事成功しましたので、実はきのう日経新聞の夕刊にそのことが報道されました。残念ながら共同通信の記者がよく事情がわかっていなくて、F I R S T のことに触れてないんですけれども、これは我々の F I R S T の資金で行われた研究の成果であります。

実際に装置が完成すると次は観測ということになるわけで、観測のための実際の申請書が今ほぼ完成しつつありまして、これは部外秘ということで、一番下のほうの緑のバインダーの中に入っていますけれども、この申請書をそろそろ天文台に提出する予定です。この申請書が提出されると、例えばどのように宇宙の国勢調査をやっていくのかという具体的なプランについても触れられています。

先ほど言いましたように、約1年のおくれがあつて、これは非常に残念なことだったわけですが、望遠鏡の事故や故障、山頂のトラブル、震災なども重なりまして、なかなかこれはそのままでは回復できませんでした。そうはいいまして去年の8月にカメラの組み上げが終わり、試験をし、今年8月、初めての搭載試験をして、初めて光を通すところまでは来たわけです。ただ1年間おくらせていますので、これを取り返して何とか期間の最後にサイエンスが出せるようにしなければいけないということで、データが出たら即座にサイエンスの成果が出せるような体制をつくるということを今心がけています。そのためにデータを解析する手法、それからデータを解析してサイエンスを出す人たちという、そういう人員をこうやって I P M U で採用してきました、これですぐさまサイエンスのおくれを取り戻していきたいと。

データ（解析）のパイプラインもそろそろ完成しますし、先ほど言いました申請書もそろそろ完成し、来年から観測、そしてすぐさま成果に結びつけて、F I R S T の終わりまでにこぎ着きたい。例えば具体的には、世界最大の暗黒物質の分布地図をつくるということができるといふふうに踏んでいます。

これがサブテーマ2のほうの進捗状況ですが、サブテーマ1はイメージングで得られたデータをもとに、そこで見つかった一個一個の天体を分光でフォローするという提案だったわけで、その後に来ることになります。ほとんど同じグループで始めて、C a l t e c h のチームとイギリスのチームが加わることになっていたのが、提案段階です。これは実はいろいろハプニン

グがありまして、まずイギリスのチームは資金を獲得することができないことがわかり、脱落しました。C a l t e c hのグループも最初持っていた資金の半分しか出せないということがわかった。そのため、台湾のグループ、それからNASAのJ P L、J e t推進研究所、フランスのマルセイユの研究所、ブラジルの研究所、アメリカのジョンズ・ホプキンス大学に説得に行って、仲間に加わってくれということで入ってもらって、やっと国際協力体制が完成するのに約2年間かかりました。

ですが、これは非常に強力なチームだと思っていまして、ついこの間行われた会議ではこれだけの陣容が集まる。世界中からこれだけの人が日本でのプログラムと一緒にやろうというふうに来てくれるのは本当にうれしいことだと思っています。

具体的に開発の状況ですけれども、ここに書かれたのがもともとの計画で、平成22年3月に予算が決まったところで、これはやっぱり国際協力でしかできないという判断をしましたので、それから初めて協力体制づくりが始まったわけですけれども、マイルストーンとしてはすぐさま国際協力者会議を行い、そして次の1月にはすばる望遠鏡で、このプロジェクトは次期計画としてふさわしいものであるという承認を受けることができました。すばる望遠鏡は我々が持っているものではないですから、承認を受けるというのは実は非常に難しくかつ大事なことで、それが一つのマイルストーンです。それを受けてこのプロジェクトを推進するプロジェクトオフィスが立ち上がり、天文台ともMOUを結ぶことができました。

さらに、ことしの3月に分光器の概念設計を決めて、それを審査にかけて、その審査の結果を後でお話しします。そして、その審査の結果を受けてパートナーの間での合意文書ができて、これを踏まえて政府調達でやるとか委託研究がさらに進められる状況にまで達しました。これからのプランはこれを踏まえてさらに詳細設計を決める、審査を受ける、分光器を製作する、確認書を取り交わす、そして実際に製作、組み上げということで、最終的にサイエンスに至るという、こういう計画になっております。

この概念設計のときの審査の内容というのがここに書かれているわけですけれども、そのためにきょう皆さんのお手元にある3つの文書、テクニカルなデザインと、マネジメント、それからその線で行うサイエンスのこういう文書をつくりました。欧米のパートナーと一緒にやるためには、やっぱり欧米流にすべてを文書化して、みんなが納得してつくるという形にしなければいけないものですから、こういう大きな文書化の仕事がたくさん入ってきます。その中で分担がきめ細かく決められていて、実際にそれを踏まえた試作品づくりなども始まっています。

これをリードする組織図というのがここにあるんですけれども、この真ん中にあるのがI P

MUのメンバーで、実際こういう人たちです。すみません、スライドには上げさせてないんですけれども、本当に若い専門学者たちが世界をリードする研究を引っ張っていくんだという、非常に意気の高いグループで、約1名若くないですけれども、こういう本当に強力なグループができました。このグループで実際に詳しく見積もりをしていったところ、最終的な額の見積もりというのは最初の提案書とほぼ同じだったので、これは非常にほっとしましたけれども、それに比べて資金の獲得状況というのはこういう感じです。

63.9ミリオンダラーというようなところで、現在60.8ミリオンダラーは確保の見通しがついているという状況です。それにさらに我々自身もリスクに対応できるような資金を確保する努力をし、天文台も最終的な組み立てや運用を負担する。それから、ここにはない新しいパートナーが4カ所名乗りを上げていまして、これから我々としては審査をして、入れてあげるかどうかという判断ができるような立場に立つことができるようになりました。できるところから先行発注・製作をして進めている。

ここに出ているのが概念設計書にある工程表の一部で、プロジェクトオフィスできちんと工程表を管理して物事を進めていく体制です。

ここにあるのがその審査の結果ですけれども、はっきりと現在の段階で概念設計として十分な標準に達していて、次の製作のフェーズに進むべきであると。それを踏まえて、パートナーであるMOUがこれで、実際これだけ署名が集まっているわけです。

最後にそのほかの様々なデータですけれども、例えば今までどれだけ発表論文があるのかと。これはこちらの白い表紙のバインダーに今までの論文が入っていますし、それから学会発表の数がここにも書かれています。一番最後にある報道実績というのは、今まで出したプレスリリースと、それから実際に報道された内容がこのオレンジ色の表紙の中に入っていますので、ごらんいただければと思います。

恐らく一番委員の方が心配されているのは、資金終了後どうするのかということだと思うんですけれども、実際FIRSTの資金終了後もイメージングの観測、それから分光器の製作は続きます。問題は人材と資金です。人材に関しては、今プロジェクトオフィスのメンバーで必要な人はIPMUで抱えることによって、幸い私が機構長ですので、そういう判断が許されますから、それでちゃんと続けていきます。今、私どもは概算要求も出していまして、文科省から財務省まで回っている聞いています。資金のほうは、パートナーの資金を今のところできるだけ使わずに、FIRSTの資金を使うことで進めて、パートナーの資金はとっておくというふうにしていますので、ひとまず残っていると。新しいパートナー参加の可能性があります、

東大内部でのやりくりも検討中、さらに科研費や概算要求のことも検討しているところです。

というわけで、全体として元々の黒線に比べて赤い線、確かに1年おくれは見られるわけですが、それを挽回する今のような手だてを打っていますので、まとめますと、これだけの大規模な天文学の装置というのはなかなか世界でもめったにできるものではないですし、国際協力でやると冷や冷や物が続くわけですが、サブテーマ2は既に装置が完成して観測待ちの状況である。すぐに成果の出る体制を構築したというつもりです。

サブテーマ1のほうは製作段階に入りまして、国際協力体制ができて、資金はほぼそろっているというのが現状だというのがまとめです。

最後に、質問票をいただいていますので、文書で回答してありますけれども、さらに質問がある場合にはスライドを用意していますので、この後どうぞ質問をお願いいたします。

以上です。

【事務局】

どうもありがとうございました。

それでは、これより質疑のほうに移りたいと思います。それでは、これより先については相澤先生のほうで進行をよろしくお願いします。

【有識者議員】

ありがとうございました。大変国際的な、難しいことを実現していただいていることはよく理解できたところです。

そこで、特に資金面での国際協力のところについて、ご説明いただいたところで大筋はわかるんですが、わかりにくいところがハードウェアのどこにFIRSTの資金が使われて、それから日本独自の技術等がどこの部分に投入されているのか。この後、これは完成後さらにいろいろと尾を引くところでもあるかと思います。その辺のところ、物をベースにご説明いただくとありがたいんですが。

【説明者】

まずFIRSTの資金がどこにあるかということですが、確保している資金のIPMU分、これがFIRSTの資金と強化資金の合計で、サブテーマ1につき込む分になっています。具体的にそれをどう使うかというわけですが、我々のところで用意したこの資金が

どこに行くかといいますと、まず例えば分光器の中にカメラがあるわけですが、カメラに使う検出器、CCD、それから赤外線検出器は、我々のFIRSTの資金からお金を直接浜松ホトニクスに払う、もしくはプリンストン大学を通じて契約してもらうという格好で購入することになっています。

それから、ファイバーポジショナーというのは一番この中で難しい部分で、一個一個の光ファイバーを特定の天体に向けてびちっと照準を合わせる。これは10ミクロンの精度で40秒間の間に合わせなければいけないという非常に精密な機器なんですけれども、幸いNASAのJPLではちょうど火星に送る探査機を今までつくってきた技術があって、いわばメカの天才がたくさんいると。そういう人たちがこれをつくってくれることになっているわけです。

残念ながら、NASAのお金自身はこのプロジェクトに入らない。地上でやる天文学にはNASAはお金を出さないものですから、こちらからすべて装置のお金も人件費もJet推進研究所に送り、研究委託契約を結び、向こうのスタッフのメンバーの人件費もそれで払うという格好でFIRSTの資金を使うということになっています。

それからあと見落とししないですか、ファイバーですか。じゃお願いします。

【説明者】

ことしの概念設計評価会議の指摘も受けまして、ハードウェアの所有もありますし、それから我々はあくまでもお金を先行投資しなければいけない。プロジェクト全体から見て2014年3月で我々の資金を完璧に使い切るということもあるので、基本的にハードウェア全部、うちのお金で買っちゃおうという方針で今走っております。9割以上、基本的にはあそこに出ているものを直接、あるいは直接政府調達を走らせることもあれば、今、村山が申しましたように、外国に委託研究して、そこで調達してもらうということもありますが、基本的にすべて我々が所有するというので今いっております。

したがって、発表にもありましたように、その後の資金はそもそもそれぞれの部分をそれぞれのお金で手当てするということがあったんですが、当然残っているわけですね。プリンストン大学は検出器を買うお金だったんですけども、我々が買いますので、そのお金は当然彼らは残っているので、その後の人件費なり組み立て調整の費用をそこから各大学機関がプールしてあるのを出してもらうということですからこれから続けるというのが、今の基本構想です。

【説明者】

それから、次の質問で日本メーカーに対してということでしたけれども、既に今の補正レンズ系をつくるに当たって、それを支える筐体が必要なわけですが、これはとにかく上空につくるわけですから、軽くて、なおかつ4,200メートルの山頂の過酷な気候でも大丈夫なように、熱膨張の非常に低いものという素材が必要で、それを京セラが開発しました。これを使って筐体が完成したわけです。

その中に入るCCDは浜松ホトニクスで、これは特に天文台との共同開発でもって、赤に強いCCD。実際にこれは医療目的にも使えるということで、応用が進んでいるというふうに聞いています。

それから、レンズも非常に特殊なレンズで、普通のレンズは簡単な球面をしているわけですが、これは球面からずれた非球面のレンズを必要とすると。その世界最大のものをつかったのがキヤノンの技術で、これもさらにこういう経験を積んだ後で、液晶露出露光装置や半導体露光装置に使われる応用が進んでいるというふうに聞いています。

同じように、三菱電機は先ほど言いました10ミクロンの精度でいろいろなものを制御するというテクノロジーが必要だったわけですが、これができるようになったので、例えば天文宇宙業界であるとか、衛星であるとか、それから大容量レーザー通信システムとかに役に立つというふうに聞いています。

ちょっと探してみますと、例えばここで使われています光のフィルターですが、これは朝日分光がつくったフィルターなんですけれども、既に朝日分光のパンフレットにはこのようにする望遠鏡の写真がついていて、こういうフィルターをつくりました、新しい技術を開発してこれを提供できますということが出ていますし。それから、これも天文学でしかなかなか要らないので、こういう開発がここで進んだわけですが、日本のオハラという株式会社は非常に屈折の高いガラス、しかもそれを大きなものをつくるというので、ほとんど世界で独自の技術であると。上に行くと高い屈折率なんですけれども、ここら辺が非常に高い屈折率のガラスを我々が使うという形になっています。

【有識者議員】

これだけの規模のものを国際的に、しかも複雑な協力体制をつくっているということですから、いろいろなバリアがあることで、それを一つ一つクリアされてきているんですが、ぜひこれはFIRSTとしても、外部から見たときにどこがFIRSTの貢献なのかということが見にくいタイプのものです。ぜひそれを今後も常にわかりやすく説明できるようにしていただい

ておきたいと思います。

それからもう一つは、この装置づくりということに大きな努力が注がれることはわかるんですが、当初このプロジェクトを検討するところで、日本がこの分野でいささか立ちおくとおくと。それは装置というだけではなく、理論面というんでしょうか、そこがまだまだ充実されなければいけないだろうというところがあったかと思うんですね。

それで、その部分で今、地上班と言っていいのかわかりませんが、研究陣がこれ一体となって進めておられるわけですが、これはこの装置の運営上の準備体制とは違って、その研究面でのここまでの研究成果を明確な形で表現していただくと、どういうことになるでしょうか。

【説明者】

明確な形で言おうとしています。こういうデータが出て、大規模なデータを日本では初めて扱うことになる。それが扱えるような準備をあらかじめしておかなければいけない。その準備をするというのが、ここに実はたくさん組み込まれているスタディーというもので、例えばここに一番分厚いものがありますが、これは最初のイメージングの観測をした場合に、そのデータをどういうふうに使って解析するとどういふサイエンスが出せるのであるというのかを事前に調べるといふのが、ここにまとめられているものです。こういうことをやったのは多分日本では初めてで、こういう準備をする。そのためにこれだけの人を集めてきたわけですが、準備がなされていれば、実際にデータが出た瞬間にそれをすぐサイエンスに結びつけることができる。それが今の理論面での準備ということになります。

【有識者議員】

これはどの段階まで来たんでしょう。これでもう即オーケーだと。

【説明者】

既にここでやられている解析の手法というものは、今よりももっと狭い視野でのデータに応用されていて、ちゃんとサイエンスが出せるということは、ここにある論文で証明されていますので、少なくともかなりのサイエンスが出るのは間違いない。もちろん、実際データを扱い始めたならさらにいい方法というのを思いつくものですから、改良されると思いますけれども、少なくとも最低限のサイエンスはこの段階で準備ができているというふうに思っています。

【有識者議員】

2点質問。1点目はさっきの民生の技術への波及効果のご説明があったと思うんですが、それと絡めて、特許が非常に少ない。事前に事務局から問いかけのあった質問票の回答の4ページに、特許に関するお考えが出ておまして、発生した知財についてはメーカーに任せてきたと、こう記述されているんですね。それはそれでよろしいんですが、ただし資金はこのプロジェクトから民間企業に出ているわけで、そのときに民間企業が出願した特許は、当然この資金元のFIRSTの中に内数として私はカウントされるべきだと思いますよ、これは。

出願権なり後の知財の権利については、先生と業者の間でお話しされると。結構ですが、資金はここから出ているんで、それを含またら1件とかのような数字では私の感覚では思えない。極めて厳しい技術内容のものを開発されてきているわけですから、民間企業はですね。ですから、この1件とかいう数字は、そういう委託された民間企業から出願された特許は含んでいるのか含んでいないのかということをお教えいただきたい、ということが1点目の質問。

それからもう1点目は、さっき1年ほどおくれましたというお話がありましたけれども、その後、いやいやそれは回復するように体制を整えましたと言っているんで、ちょっと安心しているんですが、先生が当初お出しになった研究計画書の目標のところを拝見していると、やはり非常にすっきりと書かれているんですね。5年間で300万個の銀河の分光を完了し、ダークマターの三次元地図を作成すると。それからダークエネルギーがふえているのか減っているのかですね。ですから、そこまで観測の結果をぜひ出していただきたいです。

さっきおくれを回復する体制を整えたというご説明があったんですが、当初お出しになったこういった計画の観測結果もそれなりに出てくるという理解でよろしいのでしょうか。これは2点目の質問です。

【説明者】

では、2点目の質問のほうが答えやすいので、まずそちらに回答しますが、既にサブテーマ2、これイメージングの部分で来年から観測が始まると思っているわけですが、それでも今までの観測に比べて暗黒エネルギーがふえているのか減っているのかということについてのデータが出るはずですので、それが何とかFIRSTの期間が終わるまで出るように頑張ろうと思います。

知財のほうはもっと難しいので、唐牛のほうから。

【説明者】

私どもも先生おっしゃったことをよくわきまえておりまして、特に去年の研究進捗フォローアップ以来、メーカーには随分問い合わせしているんです。ただし、どのことをやったからどの特許になったかという関連性が、例えば私どもの資金でやったこともあるけれども、それ以前に既に積み重ねていたものと合体で特許を申請していたり、それからそもそもいろんなメーカーのポリシーで特許申請しなかったりというふうなこともありまして、私どもに上がってきている数字は残念ながら、この1というのは本当にそう上がってきた数字なんです。

というわけなんで、私どもの調査不足、ないしもうちょっとメーカーとしつこくいろんな状況をお聞きしなければいけないこともあるんでしょうけれども、どうもよくわからない状況でありまして、結局積み重ねていくと、例えばすばる望遠鏡の10年間の建設を通してどれだけの特許があったかという、何十とかいう数になるのはわかるんですけども、その申請の時期と、それからどれと組み合わせて、どれが新しいことかというふうにメーカー側で評価して出すとかいうことは、やっぱりある程度時間がたたないとなかなかわからないというのが今現状なんですけれども。先生のほうがよくご存じかもしれませんが、今、我々が調査した中ではそういうことです。

【有識者議員】

これはどういう契約。単に随契で発注しているという、随契でこういうものをつくってくださいと発注していると、先ほどおっしゃったような企業に。

【説明者】

はい。あくまでも私どもは仕様をきちっとつくるところまでですので、自分たちが特許に参加するということは、よほどのことがない限り……技術調整の中で私どもも計算に参加したり、それから実際評価を担当したりして、やれば特許に参加する場合がありますけれども、そういうことでなくて、あくまでも仕様で渡すという段階では特許には参加しないことが基本ですので。

【西尾先生（外部有識者）】

まず、最初の方で、望遠鏡をつくられるところの技術的ところで気になっていたところと

して、特にインターフェース部分が非常に気になります。複数の国でつくったものが本当に上手くつながるのかということです。先ほどの説明で、予算的により大きな負担することで、この共同プロジェクトの主導権を日本が握って全体的な調整を図っていく方がその当たりの懸念を解消できる可能性が高いということで、安心しました。

今後の日本のこの分野のサイエンスを考えたときに、この8メートルの望遠鏡に対して、同様の国際協力プロジェクトで30メートルのTMT計画があります。これら二つのプロジェクトが、もし、将来実現したときに、本プロジェクトの位置というか、棲み分け、さらに両者の連携をどのように行うのか、ということを知りたく思います。

私は情報系を専門としておりますけれども、ビッグデータと言われる、最近の情報分野における世界の大きな潮流の中で、本プロジェクトはサイエンティフィックな応用分野の典型例の一つと考えられます。

そこで、先ほど来おっしゃっているように、超大量の観測データが獲得されますが、それに対する処理をどれだけ高速に行うか、検索をどれだけ効率的に行うかということは、該当分野の科学の発展の上では非常に重要なことになってきます。そこら辺がどうなっているかということを知りたく思います。

以上、3つのことをお伺いします。

【説明者】

まず、日本がリードする体制ということで、それを本当に目指して体制をつくってきました。先ほどの組織図でも、真ん中にあるプロジェクトオフィスというのはこれは基本的に日本で、ほとんどがIPMUのメンバーで、実際に同じ場所においてプロジェクトをマネージし、それぞれのパートナーにしょっちゅう実は出かけて行って、様子を見て、ちゃんとやっているのか、工程を守っているのか、予算の範囲内であるかという管理をして進めていくということにしていて、非常に大変ですけれども、唐牛さん、それから下農さん以下、みんな非常に頑張っています。それでこういう工程表の、これは概要ですけれどもつくって、2014年3月の終わりまでに分光器の最初のものをつくるのであるという方向で進んでいるわけです。

2つ目の質問は、TMTとの関係ですね。TMTは30メートル望遠鏡ですから、もちろんはるかに光を集める力が高く、当然遠くのものを見ることができます。ところが、視野に関していうと非常に狭いものです。つまりTMTで何かを観測しようと思ったときに、視野が狭いということは、何も無いところに向けてしまったら完全に無駄になると。何か見るものがあると

いう確実な方向に向きたい。そのときに視野の広い（サブテーマ2の）ハイパー・スーパーリム・カメラ（を使って）、イメージングでとったデータというのは非常に有効で、一遍にばーっと見ますから、何かおもしろいものがあるだろうかと大きな網をかけるのに非常に適しているわけです。

ですから、TMTがピンポイントであるとする、まず、すばる望遠鏡のサブテーマ1と2と両方使って、大きな網をかけておもしろいものを拾い出し、それをつぶさにTMTで観測するという、そういう協力関係が非常に重要になってくると思います。

それから、最後の情報のことに関しては、実は下農がサブテーマ1のほうでデータのパイプラインづくりをやっていますので、ちょっとそこら辺コメントしてもらえますか。

【説明者】

サブテーマ2もそうなんですが、サブテーマ1のパイプラインは、プリンストンとかほかの研究機関とも共にやっております、例えば今、サブテーマ1、サブテーマ2とも1次処理と呼ばれる画像が二次元で出てくるわけなんです、それを処理して、例えばひずみとかをどうやるかというのをプリンストンが、それこそ2025年に向けてL S S Tとかのために開発しているとか、もっと前のB O S S だとか、先ほど出てきましたが、そういうプロジェクトで既に開発の経験がある人々もサブテーマ1、2とも参加して、一緒にパイプラインをつくるということをやっております、そこら辺の……

【外部有識者】

まず、このデータはどこに格納されるのですか。

【説明者】

基本的にはまず一時すばるにストアされて、その後……

【外部有識者】

より詳しく説明いただけますか。

【説明者】

すばる、山頂と山麓がありまして、山麓には一応データセンターがありますので、そこに一時的にストアされます。

【外部有識者】

その山麓に置かれているデータに対して皆が総がかりで分析するというのでしょうか。

【説明者】

それを1次解析、2次解析と幾つか繰り返しまして、その整約されたデータとして最終的に公開しますので、そこまでのプロセスは、例えばI PMUに処理センターを置きまして、1次解析、2次解析をするなど、そういうことを行いまして、その整約済みの、例えば座標と明るさなどの整約されたデータで世界中で公開して、それを解析していただくというような。

【外部有識者】

I PMUにはそれだけの計算リソースというか、必要な設備は全部あると考えてよいですか。

【説明者】

サブテーマ2について既にI PMU内に設置してあります。サブテーマ1についてですが、まだ装置が製作中ですので、その装置ができ上がるときに向けて今整備しようとしております。

【説明者】

補足いたしますと、TMTにつながる技術的な側面から申し上げますと、やっぱり私どもがやっている装置開発と、装置づくりという面からも、そういった装置をつくる上での技術開発体制という面でも、できるだけつながるようなパスを切りたいなと思ってまして。例えばこの辺からあまりメーカーのノウハウにかかわる問題もありますので、この部屋からなるべく出させていただきたくないものもあるんですが、例えば先ほど申しましたオハラというところは、多分30メートルの主鏡の鏡材を受けるだろうと思っておりまして、世界中でこのガラスに関して、世界の最先端であるショットとかコーニングなんかと負けないぐらいの性能で、しかも価格で多分半分以下に開発に成功しているようです。

それから当然、我々の分光器のような、なるべく天文学者のフォトンに近いところと我々は呼びますが、そういうところの開発もぜひ日本でやろうではないかということで、今走っている中では多少2つ目、3つ目の装置になるかもしれませんが、そのような観測装置を日本で主体となつてつくと。これは金額からいっても大きさからいっても、今、私どもがやっている

装置と非常によく似たものになると思うので、今の私どものノウハウは必ず生きるだろうし、つないでいきたいなと思っているところです。

【説明者】

あと多分もう一つ大きいのは、人間、人材だと思うんですけども、こういう大きな国際協力というのは日本の天文学では今までなかったことかと思います。それをこれだけの大きなグループ、大きな装置をつくるプロジェクトを、日本の、しかも30代、40代の若手がこうやって引っ張っているということですので、彼らがこれからそういう国際協力を引っ張る、TMT自体の装置をつくる、さらに次のプロジェクトにつなげていくという、本当に大きな力になるんじゃないかというふうに思っています。

【有識者議員】

どうぞ。

【外部有識者】

先ほども指摘があったんですけども、これだけのハードウェアが多国籍で来るということ、質問書にも書きましたけど、多国籍で来るというときにインターフェースのチェックとか。実際イメージング装置のほうの組み込むところで問題が発生したりしましたよね。そういうところが大変心配な気がします。これ1年間で、例えば人工衛星の場合だったら1年かけて組み上げて、チェックをして、で、アラインとか全部チェックをして初めて打ち上げるわけです。それと一緒に、今この工程で本当に、さっき時間はちゃんと間に合うようにしたいとおっしゃっているけれども、そこの体制を少しやっぱり強化しないと。

今この表は確かに出ていますけれども、これで本当にそのインターフェースのこのちゃんと確認しながら、というフローチャートとかそういうところ、手順、それからどういう手法でやるかというところの検討を十分されないと、実際のファースト・ライトなり、特にスペクトルコピーですよね。そこのところは時間がかかるんじゃないかなと思うんです。表は出していたいたんですが、そこら辺のタイムスケジュール、いつ、どこで何ができて、どこでチェックをして、いつごろにそれが納入されて、そのタイムスケジュールは準備はいただけたでしょうか。

【説明者】

テクニカルデザインというこのドキュメントの……ああ違う、すみません、マネジメントのドキュメントのアペンディックスC、これが概念設計当時での工程表です。一番最後の表です。このページです。担当チャート。

【外部有識者】

これを見てすぐに質問はできないんですけども、そういうインターフェースをとる時間とか場所とかは一応考えられているとっていいですか。

【説明者】

そのつもりです。それを踏まえて先ほどの概念設計の審査を受けていますので、審査員の目から見て、少なくともクレージーではないというのが現在の判断です。

【外部有識者】

往々にして甘いことが多いので。

【説明者】

それは重々承知しております。

【外部有識者】

もともとスケジュールが、ファースト・ライトが1年おくれたということもあるので、そこは特に慎重に計画をしていただくことと、やっぱりこれは言葉の違う人たちとやることになるというところで、かなり気をつけていただかないといけないのかなという気がしました。

【説明者】

実際問題、例えば分光器の中のカメラ部分と分光器本体とのインターフェースが一番、しかもフランスとプリンストンの連中がやり、分担しているというので、大変なところの一つなんですけれども、ほんの小さいインターフェース条件一つ確認するのに、時間もかかるし、実際にはやっぱり我々が引っ張っていて、どっちかがどっちかに連れて行って、3者で会議するというので解決するのが結構たくさんあるし、そうしなければいけないものもあるなど実感して

いるところですので、時間はかかりますけれども、労力は惜しまないつもりでいます。

【外部有識者】

とend-to-end テストというのが最終的には搭載する前にきちんと計画されるというのが重要なという気がします。

【外部有識者】

先ほどから出ている繰り返しですけれども、もちろんこのプロジェクトは科学技術対話との取り組みということで、マスメディアとも非常におつき合いがあると思うんですが、先ほどの記者発表、新聞記事でF I R S Tの記事がなかったのは、やはり発表の仕方の問題があるのではないですか。

【説明者】

これは手違いだと思うんですけれども、天文台と我々のところでプレスリリース部門をつかって、会見日を設けて、ちょうどきのう出したところだったんです。ところが、たまたまその直前に研究者の1人がインタビューを受けてしまって、恐らく会見日のことをよく知らずに内容を話してしまったと。それでスクープされたというのが今回の実は残念な顛末です。これは天文台長にも抗議しまして、こういうことはこれからも絶対防ぐようにしなければいけないということなんですけれども。

【外部有識者】

I P M Uも細かいですので、国立天文台も。

【説明者】

非常に我々も歯がゆい思いをしているんですが。

【外部有識者】

もちろんこの推進チーム会合としてはF I R S Tというのがやはり出てどうのこうのというのがポイントで、それが先ほどから言われていることの社会に見せる一つの、また別の側面であろうと。それは非常に大きなミスですよ。

【説明者】

そのとおりです。

【説明者】

両方で準備した記者発表文というのは、最後につけていますので、ごらんいただければと思いますが、使われないでスクープされちゃったんですけれども、ちゃんと両者とも担当者はケアしてあったんですが、ちょっと残念なことになりました。

【説明者】

そういうことも隠さずに申し上げておきますが、確認していただければありがたいと思いますが。

【外部有識者】

ほとんど私の思うことを質問して載っているんですけども、ヒッグス粒子の発見で騒がれたCERNでは、例えば膨大なデータをグリッドを使って結構あちこちで分散して計算するとかということをやりながらデータを解析していったと聞きます。今、先生のところで取ろうとしているデータというのは、そういう規模ではないということでしょうか。

【説明者】

その規模ではないですね。もちろん何百ギガバイトとか、そういう単位がありますけれども、データ・リダクションした後はかなりポータブルに、それぞれの研究所で持てる単位になるはずですので。数を覚えてないですが、覚えていますか。

【説明者】

リデュースする前が1晩に何ギガバイトというレベルで、リデュースした……テラじゃないですよ、ギガです。1晩ですよ。みんな知識がないのですみません。

画素数が800メガ、約1ギガですので、それがこまとしては何百個も出ているわけではありませんので、それにいわゆるキャリブレーションのフレームとかいっぱいあって、まあまあそんなに膨大なものではない。何十ギガかな、何百ギガ。

【外部有識者】

そこからダークマターとか計算するときは、相対論的な話を使うわけですね、多分。そういう計算というのは、計算量が莫大にならないですか。

【説明者】

その相対論の計算自身はそれはあまり大したことではないです。むしろ問題はいわゆる逆問題というやつで、相対論の結果、ゆがんでしまったイメージから、もともとのそういう分布を逆算するもの、それがかなり時間がかかりますけれども。

【外部有識者】

それもだから、手持ちのというか、ローカルにできる範囲。

【説明者】

それはローカルにできます。

【外部有識者】

もしそういう全宇宙のダークマターの地図ができたとしたときに、その後は何が起こるんでしょうか。

【説明者】

ダークマターの地図ができたなら、まずそれが持っている情報があるわけなんですけれども、そもそも宇宙の進化がどういうふうになってきたのか、との考えになるのかというと、もともとほとんどのっぺらぼうであった宇宙、10のマイナス5乗しか歪みがなかった宇宙から、ちよっところこういうところにダークマターが重力でさらに集まって、コントラストがはっきりしてきて構造ができてきたと言われているわけなので、ダークマターの地図が三次元的にできると、確かに昔はもっと平たんであった。今はもっとでこぼこになっているということが観測的に証明できるようになります。

そのことが証明できるようになると、これはかなり間接的なんですけれども、ダークマターの構造がどう成長してきたかというのは、むしろ重力で引き合う力とダークエネルギーが引き

裂く力のバランスの中で決まってきたことなので、引き裂く部分がどのくらいあったのかという情報もその中に実は入っているということで、ダークエネルギーの性質についても知見が得られる。それが実はサブテーマ2での研究テーマになっています。

【外部有識者】

他に、バックグラウンドの温度のゆらぎという話がありますね。それとも密接に絡んでくるんでしょうか。

【説明者】

非常に密接に絡んでいます。最初、宇宙はほとんどのっぺらぼうであるということの観測的な証拠は、マイクロ波背景放射を見ることで、確かにゆらぎはマイナス5乗しかなかったということが既に観測的にわかっている。それがいわば宇宙の初期条件で、その初期条件から今のようまでこぼこの星や銀河、銀河団にある宇宙はどうしてできたのか。それは暗黒物質が担っているわけなので、その分布の時間的進化を見るというところに一番興味がある。

【外部有識者】

暗黒物質があるからなのか、アインシュタイン方程式が間違っているからなのか、というのは何か議論があるのでしょうか。

【説明者】

ええ、その議論もあります。アインシュタイン方程式が間違っている考えでいろいろやっている人ももちろんいたんですけども、なかなかうまくいかないんです。というのは、暗黒物質がある証拠というのは銀河スケールでもあるし、銀河団スケールでもあるし、宇宙論的スケールでもあると。アインシュタイン方程式をちょっと小細工していじってもらって、どこかをフィットするとやった場合に、全部のスケールでうまくいくってなかなかうまくいかないわけです。さらにもう一つ、うまくいったかなと思った瞬間に、太陽系の運動というもともと古典的な重力の結果が再現できなくなったりということが多いので、今のところ成功しているのありません。

でも、もちろんそういう可能性も考えているので、実はこの分光を後でやる理由の一つは、アインシュタインの重力理論を2つの方法で調べたい。1つは力学的な方法で、宇宙の膨張の

方程式そのものです。もう1つは動力的な方法で、構造が成長するグロースファクターというのをこれを間接にはかることができる。それを比較すると、入れ物である宇宙のアインシュタイン重力と、物が本当に引っ張り合うアインシュタイン重力が両方とも合うのかというテストができるようになるので、あまりここで触れていませんけれども、実は一番おもしろいサイエンスの一つだと思っています。

【外部有識者】

それは5年後に物としてつくられるもので、それをベースにして議論できるものですか。

【説明者】

はい、そうです。

【有識者議員】

先生のお話は、最初できたときたしか一つの天文学と数学と融合するというお話だったと思うんですが、きょうのお話を伺っていると、天文学と何かエンジニアリングとの融合の話ばかりで、なかなか数学の香りがしてない。

【説明者】

それは実はあまり話さないようにしているところもあるんです。

【有識者議員】

何か秘密で。

【説明者】

そうじゃないんです。

【有識者議員】

お話しいただいても、我々実はわからない部分が多いかもしれないので、途中のプロセスでよろしいんですが、どういうところで数学の力が生きそうだということぐらい教えていただくと。

【説明者】

実はそれは全然難しい話じゃないんですけれども、例えば先ほど言いましたように、暗黒物質が集まっているところがあって、光が曲がる、重力レンズ効果がある。そのために向こう側にある銀河の像がゆがんで見えるわけですね。ある場合に一つの銀河が何遍も見えるということがあります。それがどういう格好で見えるのかというのは、これは実は数学の問題で、我々のところへ今度2人来るんですけれども、天文学の学位を取った人はアメリカのデューク大学の数学教室でしばらく仕事をして、このことに関する定義を幾つか出版した後で我々のところに来ます。

具体的にはどういう定義があるかということ、同じ銀河が何遍も見えるとしたら、必ずそれは奇数個であるというような定理がある。そういうことを研究している数学者の人が実際にいます。

【有識者議員】

最後の成果のときには、そういったことも触れていただいたほうがいいです。

【説明者】

わかりました。あと3分ですか。

もしお許しいただければ、これはアウトリーチに使っているんですけれども、分光器を何とか一般の人に興味を持ってほしいということで、コンピューターグラフィックスをつくりましたので、音楽もあります。もし聞いていただければと思います。

どうやって宇宙が始まったのか。これは暗黒物質に係る問題ですけれども。それから終わりがあるのか。これは暗黒エネルギーのその運命。どうして我々はここにいるのか。実は銀河がどうやって今の形に成長してきたかというのもこの研究でできるので、あまり触れていませんけれども、遠くの銀河からやって来る光の粒々が、もう何十億年と宇宙空間をさまよって我々の銀河にやって来る。太陽系を見つけて、太陽系の惑星を通り過ぎながら、地球をそこに見つけて、その上にやって来る。すばる望遠鏡のドームが開くと、そこから入ってくる光が鏡に反射して、光ファイバーに入り、光ファイバーを50メートルずっと通っていた後で、最終的に分光器に入ると。

その分光器に入る、実はアームが3つあるんですけれども、上下3つの波長に分解して、それぞれに分光を行い、それを最終的にくっつけることで全体のスペクトルが生まれる、そうい

うグラフィックをつくってゲームにしてあります。

実はアメリカのグループにとってこれは死活問題で、こういうビデオを見せることでお金持ちに興味を持ってもらって寄付をもらうということになって、何とかつくってくれと言われてつくったわけですがけれども、実際にこれを使ってそういう資金集めをアメリカではやっているということです。

お粗末さまでした、どうも。

【有識者議員】

それでは、先ほど来いろいろご質問なりコメントが出ております。それで、ぜひ中心研究者である村山先生におかれては、当初掲げた目標を何としてでも達成していただきたい。先ほどの1年おくれ云々のところも、そここのところは努力されて、非常に短縮されているようですので、ぜひ具体的な目標に掲げられたことを達成できるようにしていただきたい。

それから再三申し上げましたが、外から見てわかるような、説得力のある形で、最後のこのビデオはいいですね。非常にわかりやすい。そういうことで、この複雑な組織としてつくられているこのプロジェクト自体を、説得力ある形でアピールしていただきたいというふうにお願ひしておきたいと思います。

それでは、どうもありがとうございました。

【説明者】

ありがとうございました。

【事務局】

これでヒアリングを終了したいと思います。どうもありがとうございました。