2022年度 第1回 国立天文台TMT科学諮問委員会 議事概要

■日時

2022年5月11日(水)9:00-12:00

■場所

国立天文台(三鷹)すばる棟2階TV会議室 / Zoom

■議題

1. プロジェクト報告 (臼田・青木)
2. 幅広いコミュニティ向けセミナー開催の検討 (富永・田中)
  - a. 他分野での宣伝 (富永)
  - b. 天文分野内での宣伝 (田中)
3. 次世代装置開発ロードマップについての記述説明と質疑 (川端)
  - a. 高分散分光宇宙論 (川端)
  - b. 系外惑星分野 (成田・村上・上塚)

■資料

1. 20220511_01TMT-Project-Report.pdf
2. 20220511HB2024報告TSAC.pdf
3. 次期装置実現に向けてのロードマップ

■参加者(所属別名前順、敬称略)

TMT科学諮問委員会委員(TV会議):

<出席>秋山、大朝、川端、小山、田中、田村、富永、住、長尾、成田、藤井、吉田

<欠席>なし

国立天文台TMTプロジェクト(TV会議):

<出席>青木、臼田、尾崎、倉崎、早野、安井、山下

北海道大学 : 村上

東京大学 : 上塚

書記 : 中島

■次回TMT科学諮問委員会予定

2022年6月9日(水)9:00-12:00

<凡例> Q = Question, A = Answer, C = Comment, ◆ = Action Item

<発言者> 長 = 委員長, 委 = 委員会メンバー, プ = 国立天文台TMTプロジェクトメンバー

1. プロジェクト報告

1-1. TMT計画の現状（臼田、資料1）

- TIO評議員会(2022/4/13-15 JST)報告内容の共有
  - 構成メンバー・参加者
    - メンバー・評議員（ボード）
      - カナダ(NRC)、中国(NAOC)、インド(DST/DAE)、日本(NINS)、Galtech、UC、US(AURA/NSF)から構成される。
      - 日本は、NINSがメンバーであり、代表はNINS機構長である。
      - メンバー配下にTMT International Observatory LLC(TIO)があり、TIOボードメンバーとして日本からは国立天文台台長、副台長とTMTプロジェクト長が就任している。
    - 各国のメンバー・ボードの就任者変更状況および評議員会参加者
      - 日本 : 下記変更を報告・紹介した。
        - 小森彰夫氏の後任として、NINS機構長に就任した川合眞紀氏
        - 井口聖氏の後任として、副台長に就任した吉田道利氏
      - カナダ : 評議員のK. Venn氏が退任。後任は未定。
      - AURA : J. Weirich氏の退職に伴い、P. Puxley氏がオブザーバーとして今後評議員会等に参加する。
      - NSF : 今回の評議員会には、NSF Mathematical and Physical Sciences (MPS) のDivision of Astronomical Sciences (AST) から、Program Director のD. Boboltz氏とC. Davis氏の2名が1日目のみ参加した。
  - 米国国立科学財団(NSF)関連
    - NSFの大型施設予算(MREFC)申請(NSFのBoboltz氏からの報告)
      - 国際パートナーの予算要求日程を含むタイムラインをNSFと直接会合し共有する予定。日本も調整中。
    - NSFの設計・開発予算申請(TIOのF. Liu PMIによる報告)
    - その他NSF関連
      - NSF AST DirectorのFischer氏が5月9日の週にマウナケア(Gemini-NとVLBA)とマウイ島(DKIST)を訪れる予定。
      - カナダNational Research Council(NRC)は2月4日にNSFと会合を持ち、カナダにおけるTMTの重要性等を伝えた。
  - ハワイ関連
    - マウナケア管理体制に関する法案HB2024
      - 現状と見通しに関する報告
        - ハワイ大学(UH)G.Chun Center for Maunakea Stewardship所長、D.Simons Institute for Astronomy所長、弁護士から、USの立場からの問題点が指摘された。
    - アウトリーチ活動(TIOのF. Liu PMIによる報告)
      - 地元コミュニティと密接に連携して、学習支援や職業訓練のプログラム提携など、地元の要望に沿った活動が国立天文台職員と共に進められている。
  - メンバー会議開催

- 前回開催が2021年2月であり1年以上未開催であることを受け、川合NINS機構長からメンバー会議開催の要請があった。現在日程を調整中。
- パートナー報告
  - 日本(臼田氏より報告)
    - NSF審査の遅延がTIOだけでなく、日本にも著しい影響を及ぼすことをNSFに認識してほしい旨をNSF出席者に訴えた。
    - 2023年度と2024年度に焦点を当て、ハワイの状況やNSF審査(基本設計審査など)で進展が必要な時期を含む予算要求過程について詳細に説明した。
    - 日本の現物貢献(望遠鏡本体、観測装置)についても進捗を報告した。
  - インド(Ramaprakash氏より報告)
    - Department of Science & Technology (DST)の長官に就任したChandrasekhar氏が評議員と協議する日程を調整している。
- その他
  - ビジネスプランワーキンググループ(常田台長より報告)
    - 現物貢献の実コスト額算出作業では、技術進捗度等に応じたリスクの見直し等を含めて評価していくことを議論している。
    - インフレと為替レートの問題については今後慎重に検討していく。
    - MREFC予算については、NSFのBoboltz氏が2月にTIOに対して示したタイムラインを維持し、米国NSF予算の早期確保を目指してワーキンググループが引き続き活動することを提案した。
  - ラパルマの状況(T. Soifer評議員より報告)
    - 土地利用許可に関する訴訟の判決は2022年3月末とされている。3週間後を目処に通達されるはずだが、現在正式な通達を待っている状況。全体的に進捗が遅く、このスケジュール通りになるとはあまり期待できない。
    - 原告の環境団体とTIOとの直接対話を進めている。

質疑応答・コメント

Q長)原告の環境団体との直接対話とはどのような意図・内容か。

Aブ)環境保護団体からの訴えで裁判になった。その環境保護団体(Ben Magec)代表者とTIOスタッフが直接会話をしている。具体的な交渉ではなく、問題事項の認識合わせの対話活動という位置づけである。

Q委)原告の論点は何か。純粋に環境問題か、他に何らかの懸念事項があるか。

Aブ)環境保護団体であるため、天文台建設によってラパルマの環境に与える影響を訴えている。

Cブ)原告について補足すると、TMT建設に反対するために作られた団体ではなく、ラパルマで活動している環境保護団体である。そのため、ラパルマにおいてTMT建設のみを訴えているわけではなく、ハワイでの反対活動とは無関係。

Qブ)現物貢献額については元々米ドルで合意しているのか。

Aブ)観測時間の見積もり根拠は、ワールドマーケットプライスで(TIOが発注した場合の金額)計算している。そのため、為替変動は関係ない。例えば100Mドルとの見積もりに対し、実際200Mドル

かかったとしても、為替の問題で日本円換算した場合に金額が増えたとしても、価値が100MDドルであることは変わらない。

Q委) 為替変動の問題で円建でのコスト増やプロジェクト進捗の問題で予算超過しても、貢献額としては変わらないという理解でよいか。そのようなリスクは元々見込まれていたものか。

Aプ) 日本の現物貢献については、為替が変わってもワールドマーケットプライスの価値は変わらない。現地組み立ての場合、現地雇用になるため人件費が為替の影響を受ける。メーカーもプロジェクトもコンティンジェンシー・プランとしてリスクを見積もっているが、為替が30%上昇したとなると想定を越えてくる。もともと組み立て時のリスクは大きいと想定されていたが、その想定値も越えそうなため懸念事項である。

Q委) 今後、慎重に検討していくとされている内容は具体的に何か。

Aプ) 各国の為替変動を現物貢献額の考慮に入れるか否かを議論する予定である。現在の合意書では為替変動は考慮されていない。

Q長) カナダのボードメンバーであるK. Venn氏退任の理由は何か。

Aプ) 他業務で多忙のためと聞いている。

1-2. マウナケア管理の新組織設立（青木、資料2）

2022年5月3日、州議会でマウナケア管理を先住民代表を含む新組織に移す法案(HB2024CD1)が圧倒的多数で可決された。(下院 賛成 45 反対 2、上院 賛成 25 反対 3)

- 背景
  - これまで「先住民の声がマウナケア管理に反映されていない」、「望遠鏡が建設されても地元への還元が無い」等の強い批判があり、先住民や地元関係者が入ったマウナケア管理の必要性が指摘されてきた。
  - 2021年に州議会のもとに、新たなマウナケア管理を検討するワーキンググループが先住民代表を含めて設置され、報告書がとりまとめられた。それを元に作成された法案が多数の修正を重ねたうえで成立した。
- 意義
  - マウナケア管理を巡っては多様な意見があるなかで法案が審議され、方針が決定されたことは画期的である。
  - ハワイ文化の関係者やハワイ島居住者を含めた管理体制を具体化するものとなり、長年の課題の解決に一步を踏み出す内容といえる。
- 法案(HB2024CD1)の内容
  - これまでハワイ大学が行ってきたマウナケア管理を2028年までに新管理組織(Authority)に移行する。
  - 新管理組織の目的は、マウナケアでの生態系、環境、天然資源、文化の実践、教育、科学が調和のとれた形で共存できるようにすること。
  - 新管理組織のメンバーに文化関係者、ハワイ島居住者を含める。(下記11名、少なくとも3名はハワイ島居住者)
    - ハワイ州土地天然資源委員会委員長
    - ハワイ郡長
    - ハワイ大学評議員会議長

- ハワイ島の土地問題の専門家
  - 教育問題の専門家
  - マウナケア天文台からの推薦にもとづき知事が指名する1名
  - 民間での経験を有するビジネス・財務の専門家
  - マウナケアに関するハワイ先住民の文化実践者の直系子孫
  - ハワイ先住民文化の実践者
  - 上下院議長からの推薦にもとづき知事が指名する2名
- 州の方針としてマウナケアでの天文学を支持
- 14M米ドルをスタートアップ予算として措置
- 毎年350k米ドルのK-12教育プログラムをイミロア天文センターに予算措置
- 既存のリースは維持されるが、移行期間は新たなリースは行わない。
- ハワイ大学に最低7パーセントの観測時間を付与する。
- ハワイ大学はCSOとUHH Hoku Kea望遠鏡の撤去を進める。
- 新管理組織への移行スケジュール
  - 担当行政部局
    - 引き続き土地天然資源局 (Department of Land and Natural Resources: DLNR) が担当
  - マスターリースおよび管理
    - 2028年以降、土地の貸し手および管理者がUHからAuthorityへ移行
  - 管理計画
    - 2023年以降、UHからAuthorityへ移行
  - 観測時間
    - リース契約が2033年までであるため、観測時間の扱いは2033年までは確定、2034年以降はAuthorityとの交渉によって決まる。
  - リースについて、移行期間(2023年以降)は発行されないが、プロセスについての議論は非公式に進められる。
- 法案可決までの経緯
  - 2021年
    - 5月ハワイ州議会のもとにワーキンググループ設置
    - 12月ワーキンググループ報告書が提出される
  - 2022年
    - 1月24日下院に法案(HB2024)提出
    - 2月19日下院委員会(WAL/JHA/FIN※)で公聴会
    - これに先立ち意見書が募集された。MKO所長からも提出
    - 3月2日下院委員会(WAL/JHA/FIN)で修正案(HD1)を可決
    - 3月8日下院でHD1を可決
    - 3月23日上院委員会(HRE※)で修正案(SD1)を可決
    - 4月8日上院委員会(WAM※)で修正案(SD2)を可決
    - 4月12日上院でSD2を可決
    - 4月29日両院協議会で修正案(CD1)を可決
    - 5月3日上下両院でCD1を可決
  - ハワイ観測所やAURAを含むマウナケア天文台(MKO)は法案に対しては中立の立場を取ってきたが、マウナケアの管理にハワイ先住民が関与することなど、マウナケアの新しい管理に関する原則を支持することも表明。

- 今後明らかにされるべき疑問点・懸念点
  - 法案の内容について
    - 移行期間(2028年まで)の新たなリースが禁じられていること
      - 2034年以降のマスターリース、すばる望遠鏡やTMTへのサブリース等の確定が数年先(2028年以降)になることの影響。
      - 2028年より早くなることを希望しているが、それほど早く進められるかは懸念。
    - 望遠鏡数の上限はどうか、法案では明確にされていない。
    - Authorityの財政的自立が法案に書かれているため、各天文台のリース代金等の負担増が大きくなる可能性(どの程度の負担になるか)。
  - 今後の動きについて
    - 先住民をはじめ地元コミュニティの受け止め方かどうか、今後のTMT建設にむけた合意形成にどのように影響するか。
      - OHA(Office of Hawaiian Affairs)は、提案段階では反対の立場も表明していた。最終案については意見を聞けていない。
      - マウナケアWGにおいては、方針がまとまったことに対しては好意的。
    - 行政やハワイ大学の連携に混乱が生じないか
      - これまでにDLNRとハワイ大学が反対意見・懸念を表明している。
- TMT関係者の反応
  - AURAはマウナケア天文台と同じで指示する立場であることを表明。
  - TMTプロジェクトも方向性についてはポジティブに受け止めている。
  - 否決で何も残らないというのが最も大きな懸念だったが、このような形で方向性がまとまったことはポジティブに受け止めている。
- 今後の予定
  - 知事は法案HB2024を拒否することは可能だが、現時点でその意向は出ていない。知事が拒否した場合、議会に審議が戻ることになるが、議会の支持を得ている法案であるため拒否することは難しいだろう。

質疑応答・コメント

- Q委) 法案の議論に参加している先住民の方は、TMT反対者と同一か。TMT反対者からの合意を得るために、今回の法案可決はプラスだと思ってよいものか。
- Aブ) TMTでなくマウナケアの管理組織の話ではあるが、TMT反対派の方も含まれている。その方たちを含めこのような合意ができたことは、TMTとしても望ましい流れと受け止めてよいと思う。
- Q委) 反対派の権利が強くなり、よりTMT批判を強く打ち出せるようになることはないか。TMTも容認する、という内々の合意のようなものはあるのか。
- Aブ) 合意があるわけではないが、流れとしては後者になることを期待している。今まではハワイ大学(UH)だけで行っていたことを、先住民を含めた多様な人が入った上でリースについて決定されれば重みは違ってくるだろう。
- Q委) 反対派は一つにまとまった組織ではないと聞いていたので、反対派の一部が含まれているだけであってそれ以外の人たちは未知数という理解でよいか。
- Aブ) 全員の合意は不可能だろう。事実、反対と言っている人はいる。ハワイ州議会もそれを理解した上で、より多くの合意を得られそうな内容でまとめている。これがうまくいけばすべてうまくいく、という話ではない。

Q委)「移行期間は新たなリースは行わない」ということについて、すばる望遠鏡の次のリース手続きは移行期間中は行われぬという理解でよいか。

Aブ) 2028年6月30日までは新たなリースは発効しないことになっているが、それまでの期間に交渉し2028年7月早々にすばる望遠鏡が新しいリース契約を締結することはありえる。2028年以降、すばる望遠鏡にとっての貸主はAuthorityになる。2033年までの現行リース契約を継続するか、2028年段階でAuthorityとリース契約を合意してその内容で2034年以降も継続とするか、という内容についてはAuthorityとのリース契約の交渉次第。

Q委) UHが持っているすばる望遠鏡の観測時間(52夜)についても白紙になるか。その内容は、Authorityと今後協議していくことになるのか。

Aブ) そういうことになる。UHの観測時間は減るかもしれないが、その分お金も出さなければいけなくなる。

Q長) TMTのリース契約は既に有効になっているのか。

Aブ) サブリース契約は有効である。従って、移行期間であっても現地工事を始めることはできる。

C長) 法案化されたことは前向きに受け止められるが、今後どのような影響が出てくるか不透明な部分もあり、TMT建設に向けた制約が一段と厳しくなる可能性もありうる。

Cブ) 当初批判の矛先はTMTだったが、具体的な不満内容を聞いてみるとUHに対する不満が大きいと聞いている。UHの管理不備に対する批判についてUHは反論しているが、UHが思っていることと地元住民の感じていることには開きがあることがわかった。法案が圧倒的多数で可決されたのは、この法案ができたことで自分たちの意見も通るようになって感じてもらえているからと言える。報道では反対意見が取り沙汰される傾向にありポジティブな反応は取り上げられにくいですが、様々な意見を聞いていると、この法案が通ったことはポジティブに捉えられていると受け取っている。

2. 幅広いコミュニティ向け説明会報告

他分野への宣伝(富永)

- JAXA
  - コロキウムを開催予定。スピーカーは青木氏。詳細は今後検討する。
- 埼玉大学
  - X線と可視光に関する研究室がそれぞれあるため、コロキウムや談話会などを開催できるか埼玉大学の朝氏と検討する予定。

質疑応答・コメント

C委) 埼玉大学においてX線と可視光での連携は弱く、コロキウムや談話会も開催経験がない。これを機に開催するのはよいが、どのように進めるものか富永さんにうかがってから相談したい。

C長) まずはそれぞれの研究分野のオーバーラップの部分にこだわることなく、XRISM、TMTのそれぞれのサイエンスの展開について情報を交換していただく形でよいと思う。富永さんにご相談いただきたい。

物理分野での宣伝 (田中)

- 東北大学において、物理学専攻と合同談話会を継続している。TMTに限った話をしているわけではないが、長期的な交流になればよいと思っている。交流についてはノウハウが溜まってきたので、他大学でも興味があれば、声を掛けていただければ情報提供する。
- 前回、物理学会でTMT計画について発表するのもありだという話をしたが、秋の物理学会の年会締切が6月にある。今回でなくてもよいが、もし秋の発表を検討するならそろそろ動き出したほうがよい。

質疑応答・コメント

Cブ) 資料共有希望があったので、東北大学で使用した説明資料を資料置き場に格納してほしい。

C長) OwnCloudは使用期限が限定的であるため、よりアクセスしやすい共有場所が望ましい。アクセス権限は設定する必要があると思うが、今回の資料に限らず今後も共有資料を貯めて置いておける場所があるとよい。

Aブ) 検討する。

Qブ) 物理学会は春と秋のどちらかが主ということはあるか。

A委) 秋は素核宇宙と物性は別々で、春は合同で行う。そのため春のほうが年会規模としては大きい。いずれにせよ物性の研究者はTMT計画の話は聞きに来ないであろうからどちらでもよいだろう。

Qブ) 物理学会で話すとしたらどのセッションになるだろうか。特別シンポジウムなどのテーマに合えばそこで発表させてもらうのがよい気はする。

A委) 素核宇宙のいずれかのセッションの一般講演枠か、シンポジウムであればニュートリノやマルチメッセンジャー関連のものが最近多いのでそこで発表するか、だろう。

Q委) 一般向けの講演でTMTの話をしてよいのか。科学館など天文に関する小さな集まりでたまに講演を依頼されることがある。これまではTMTの話を含めていなかったが、そこで話してもよいものか。

Aブ) 是非お話いただきたい。話をTMTに限る必要はなく、すばる望遠鏡からの流れなどでTMTだとこのようなものが見えるようになる、といった話をさせていただくとよい。

Q委) 国立天文台TMTプロジェクトへ都度報告はした方がよいのか。

Aブ) 義務付けるつもりはないが、情報共有いただけるとどのような動きがあるかわかるのでありがたい。お話いただくにあたり、最近の状況をプロジェクトから情報提供できるため必要であれば言ってほしい。

C長) 国立天文台TMTプロジェクトに報告しておく、HPのブログに外部広報活動内容として掲載してもらえるかもしれない。大学を含めた発信は重要と思う。

C委) 講演会で話した場合一報するようにする。

3. 次世代装置開発ロードマップについての記述説明と質疑（資料3）

- 本日5月11日と次回6月9日に、分野毎に説明と議論を行い、文書として取りまとめた。6月初旬に想定される戦略的基礎開発研究経費の公募説明会にて内容の説明と意見募集ができるとよいと考えている。
- 公募時期や予算枠は基本的に昨年と同様。スケジュールはまだ決まっていない。

高分散分光宇宙論（川端）

<観測課題>

- クエーサーのスペクトルに見られる銀河間ガスの赤方偏移の長期モニター観測によって、10年間で $v = 0.03 \text{ m/s} (= 3 \text{ cm/s})$ の速度変化を直接検出し、宇宙の加速膨張を直接測定する。

<性能仕様>

- 10年間で $v = 0.03 \text{ m/s} (= 3 \text{ cm/s})$ の速度変化を直接検出するため、赤方偏移3程度の明るい複数のクエーサーで複数のラインを測定し、速度の決定精度 $v = 0.01 \text{ m/s} (= 1 \text{ cm/s})$ を実現すること。
- 装置性能としてはランダム誤差 $v = 0.1 \text{ m/s} (= 10 \text{ cm/s})$ を実現し、10年間に渡って $v = 0.01 \text{ m/s} (= 1 \text{ cm/s})$ の安定性を実現すること。
- 赤方偏移2-3付近の吸収線がターゲットになる。観測を可能にするため紫外線波長域での高分散観測を実現すること。

<性能仕様を満たすにあたって鍵となる技術仕様>

- 視線速度の測定精度としてランダム誤差 $0.1 \text{ m/s} (= 10 \text{ cm/s})$ 、および10年間に渡って $0.01 \text{ m/s} (= 1 \text{ cm/s})$ の測定安定性を実現し得るTMT用高分散分光装置として、紫外-可視域のHROS、近赤外域のMODHISが挙げられる。このうち、遠方のクエーサーの観測により赤方偏移2-3付近のライマン α 吸収線系が観測できるのはHROSのみとなる。
- 第2期観測装置として提案されているHROSは、入射光を4波長域に分けてそれぞれ高効率の高分散分光を達成する構成となっており、波長分解能50,000のStandard Modeに加え、波長分解能100,000のHigh Resolution Modeが提案されている。High Resolution ModeにおけるHROSの主たる要求仕様は以下の通り。
  - 波長域: $0.31\text{--}1.1 \mu\text{m}$ (goal $0.31\text{--}1.3 \mu\text{m}$)
  - 波長分解能: 100,000
  - Seeing limited観測において Fiber Slicing $1'' \text{ sky} / 0.2'' \text{ sampling} / 19 \text{ fibers}$
  - GLAO観測において Fiber Slicing $0.6'' \text{ sky} / 0.2'' \text{ sampling} / 7 \text{ fibers}$
- 波長分解能 100,000程度の分光器において、 $0.1\text{--}0.01 \text{ m/s}$ の視線速度測定精度と長期安定性を得るためには、分光器本体を真空チャンバー(内圧 $\sim 10^{-5} \text{ mbar}$)に入れて断熱しつつ、複数の熱エンクロージャーに分けてミリKレベルの温度制御を行うこと、および十分な波長域をカバーする安定した波長較正基準を用意することが肝要である。この技術は、既にESO HARPSやVLT 8.1m-ESPRESSO等で実現しており、ESPRESSOでは 0.1 m/s 以上の視線速度精度が達成されていることから、その技術に倣うことにより早期の実現が見込まれる。
- なお、ファーストライト装置への編入が検討されているMODHISは、TMT-AOによる回折限界像を活かして 0.1 m/s という視線速度安定性を達成しようとする近赤外線高分散分光器である。MODHISの波長域は $0.95\text{--}2.4 \mu\text{m}$ 、波長分解能は $>100,000$ である。同類の観測装置であるSubaru-IRD ($\sim 1 \text{ m/s}$ レベルの装置安定性を達成)の開発経験から、分光器の1ミリKの温度変化により 1 m/s の絶対変動が生じること、その大部分は波長基準光源の同時参照により補正できるものの、検出器ピクセル間の感度ムラやピクセルサイズの不均一性、天体光と参照光とのPSFの

違いなどの影響で、絶対変動の100分の1程度の不定性が残ることが判っている。このことから、日本のMODHISチームでは0.01 m/s (= 1 cm/s)の視線速度精度を達成するため、分光器の温度変動を1000分の1K以下に抑えようとしている。これと同程度の温度制御要求は可視域のVLT-ESPRESSOにおいても指摘されていることから、本テーマにおいて鍵となる技術仕様として、一つは

- HROS分光器本体の1000分の1K以下での温度制御に集約されよう。また、十分な波長較正基準として、赤方偏移2-3のライマン α 線は波長0.36-0.48 μ mに来ることから、
  - 0.36-0.48 μ m帯をカバーし、波長安定性が $\sim$ 0.01 m/sに達するレーザー周波数コムの実現も求められる。

質疑応答・コメント

Q委) HROSの視線速度の精度は系外惑星にも関わる。HROSの会議では視線速度を1cm/sを目指すか、10 cm/s - 1 m/s程度を目指すかは確定していない。TIOとして作成した第二期装置に対する系外惑星観測に関するリコメンデーションとしては、10 cm/s - 1 m/sくらい ultra stable ~ stableの間くらいでよい、と出しているため、HROSとしてどこを目指しているか確認したい。これをやるためには系外惑星でも1cm/sを目指すならHARPS型が必要になるが、それが必須なものになるか。また、そのことはHROSチームに伝わっているか。

Aプ) HROSの検討が直近で大きく進んでいるとは聞いていない。1cm/sという精度を追求することは検討しておらず、波長域についてもこれでファイバーを使うのは、0.3 μ mは厳しいので、青と赤に分ける。赤は分解能10万までで安定化をどこまでやるか、青は直接スリットに光を入れて分解能を抑えて観測する、というアイデアは出ていた。

A長) HROSの検討グループは、インドをメインに中国も加わり、日本からも参加するという検討グループがある。そのグループのコンセンサスとしてはあまり高い安定性を達成することは目指さないと理解されていると思う。日本コミュニティとしてこの機能を実現することが必要と位置づけるなら今検討されているHROSに対してここを変えていかなければいけないと提案していく必要があると考えている。

C委) 必要な早めにインプットすべき。仕様が決まってからではできなくなる。

Aプ) SACでもまだHROSをチームとして位置づけてPIやサイエンスチームをつけてといったオーソライズはされていない。きちんとした組織になっていないから幅広く検討しておくべきだと思う。

C長) サイエンスケースをどれだけ重要なものと位置づけるかにもよる。そのあたりを含めて議論を深め、それによってこの数字を達成することがクリティカルだと示していくことも重要。

Q長) レーザーコムではこの波長安定性を達成するにあたって十分なものが既存の技術で用意できると理解している。その内容は書いてあるか。

A委) 近赤外のIRDは0.1cm/sで安定した結果が得られている。可視域でもすばる望遠鏡で観測してそこそこできている。技術として枯れているとまではいかないが、合わせて作り込むことはできるようだ。突破すべき事項はそれほど多くないと思う。その部分は記述してある。

<技術仕様の実現にあたってこれまでの成果とこれからの開発のロードマップ>

- 近赤外分光器MODHISは元々、技術リスクの低い装置として選定された経緯があり、必要な技術の多くが実証済みであることや、Subaru/IRDの開発実績を活かせる強みがある。Subaru-IR

Dの開発経験から、MODHISにおいて0.01 m/s (= 1 cm/s)の視線速度精度を達成するには分光器の温度変動を 1000分の1K以下に抑える必要があるとされており、また可視分光器 VLT-ESPRESSO においても ~1000分の1Kレベルの温度安定化により0.1 m/s以下の視線速度精度が得られていることから、HROSにおいても分光器本体の1ミリK以下の温度均一化・安定制御をどのように達成するか鍵となる。温度安定化のための技術そのものはポピュラーなものであり、下記3点を実現・実証していけば良いと考えられる。

- 1. 分光器全体の真空チャンバーでの封入・断熱化
  - 2. 複数の熱エンクロージャ(放射シールド含む)に分けた設計とすること
  - 3. 十分な個数密度でセンサー・ヒーターを実装して分光器内温度を均一・一定に保つこと
- 3.に関して、Subaru-IRD では輻射シールドの導入や光学ベンチの断熱支持、ヒーターによる温度コントロールによって、光学ベンチの温度を数十ミリKレベルで安定化に成功していることを受け、MODHISにおいて1ミリK以下の安定化を目指すために、光学ベンチに設置する温度センサーとヒーターの設置密度の~10倍増(0.16個/m² → 0.01個/m²; ※ 正しくは、0.16m²/個→0.01m²/個と事後コメントあり)および輻射シールドの多重化と温度制御の導入が検討されている。HROSにおいては、ESO HARPS や VLT-ESPRESSO の関係者から温度制御のより詳細なノウハウを得ることに加え、IRD/MODHISチームによる温度制御のノウハウを引き継いで、HROS実機を模した小型試作機を用いた実験室での実証試験および結果に基づいた設計仕様の改良を繰り返すことが必要となろう。MODHISの分光器温度安定化を目指すグループとの協力も有効であろう。
  - レーザー周波数コム安定化の向上に関しては、Subaru-IRD用に ~0.1 m/s のレーザーコムが既に実用化されており、波長帯は異なるものの ~0.01 m/sの実機の実現の技術リスクはさほど高くないと考えられる。早めの実証を目指したい。

<開発した技術の他分野への応用、社会貢献>

- 様々な光学系の精密な温度制御と高精度な光測定(分光、イメージング)、小型・安定化レーザーコムの実現による超高精度分光学の広い実用化と周波数制御による原子冷却・量子情報への応用、MODHISアーカイブデータに基づいた地球高層大気定点モニタリング、等。

質疑応答・コメント

C長) 要求技術課題としては温度安定性との理解。温度コントロールについてはシステムの確立が重要であり、開発を進める上では実機テストが重要になると思う。既存システムの高安定性化というところを追求することでこの技術が確立する、という点は川端さんご提案のロードマップの通りかと思う。MODHISは比較的小さい分光器であり、真空にして冷却して安定になる。可視光での大きな分光器であるHROSを同じような安定性で実現することとは、大きな違いがある部分かと思う。

Q長) GAOSやHDSでは、そのギャップを埋めるような話しは出ていないか。

Aブ) HDSはコムを載せてみるという話はあるが、温度コントロールについては特に検討されていない。

Q長) HDSで温度コントロールはしないとしても、そもそも温度分布がどうなっていて、どこが安定性に影響するかという部分を評価することは含まれると思う。そのようなことも可能なアプローチとしてロードマップに含めてもよいかと思った。

C委) 具体例として、小型試作機や、試験として既存のものを使ってはどうかということを書くか。ただ、グループの了解を得ずに書くと無責任かもしれない。

A長)機会としてこのようなグループでも検討していただけるとよい、という表現にする、または、小型試作機・実証機を用いた試験観測および実証試験と書いておき、括弧書きで書くという書き方もあるかと思う。

Cプ)1 cm/sを目指すとなると装置安定性は最低限必要になるが、他の要因も挙げた上でどこを目指すのがよいかはよく考える必要があるだろう。個々の要素としては頑張っただけで目標を達成したとしても、何かで引っかかってしまう可能性もあるので大丈夫だろうか、と思っている。また、置き場所は、ファイバーを引いて地下に置く想定か。ナスミス台だと大丈夫なのかは気になった。

A委)置き場所は確かに検討が必要。外気に晒されたところだと追加で検討しなければいけない。

Cプ)問題提起として文章に入れておき、具体的な検討はこの場で行うというよりも高分散分光器の検討チームで議論したほうがよいだろう。

Q長)天体の光の入り方はスリットで良いか、ファイバーがあった方がよいか。

Aプ)IRDはファイバーを引いてスクランブラーに入れて安定化させる。そのあたりのノウハウもあるようで、色々試しているらしい。

Q長)そこも開発要素としてあるか。

Aプ)そうだと思う。

C委)書いておく。今は、ブルーは直接スリットに入れるようなやり方。スリットである必要はないがそのようなことが想定されている。

C長)赤方偏移の変動を調べるにあたり、zが小さいところだと紫外線に近いところになるため、安定性・効率性を求めるとハードルが高くなる。サイエンスの対象をそこに絞ってしまうとそうなるが、系外惑星では10 cm/sまでは目指さないということになるとそのあたりは調整が必要になる。ブルーでどこまで追求するかということも検討課題だと思う。

C長)サイエンスからの必要性が決定されていて、それを達成するにあたって何ができていないかを可視化することが必要だと考えている。ブルー側で、この高分散、この高効率で達成することに困難があり、何を解決しなければいけないか、ということが書かれていけばよい。課題を明確化することが重要なので、ロードマップはゴールが見えているものである必要はない。まったく開発目処がない点があってもよいのではないかと思う。

Q長)他分野への応用の部分の記述について、このような1mK以下で大型の装置を安定させて運用するほどの安定性が要求される業界は他にないか。

Q委)KAGRAも冷やして安定させるのだと思うが何度くらいか。

C委)確かにKAGRAは真空中で冷やして安定させる。その違いと共通性をチェックしてみてもよいかもしれない。

A委)どの程度か調べてみて、書いてみる。

C長)今日の議論に基づいて更新いただく。また、最初の観測課題の部分では、国内の議論をもう少し反映させる等、突き詰めることが必要かと思う。

Q長)理論の方を呼んで議論する可能性についてコメントはあるか。以前臼田さんは科研費でそのような検討をされていたので、コメントをいただきたい。

A) 新学術領域の科研費では、日大の千葉氏、マックス・プランク研究所の小松氏と議論させてもらった。

Q長) これができれば新しい何かが見えてくる、といったまとめた資料はあるか。

A) 科研費の成果としてまとめている。太陽系の運動を含めてシステム誤差がどの程度かということについては、小松氏と議論してPASJ論文にまとめている。精度を出すためのシステム誤差はこれくらいにおさえる必要がある、という内容。

Q長) その内容を紹介してもらうことは可能か。誰に依頼すればよいか。東北大での宇宙系談話会を行った際には二間瀬氏から興味が示されていた。

A) 千葉氏に声をかけていただいてもよい。いつ頃を想定しているか。

A長) 次回6/9にある程度時間をとり、観測課題と性能仕様の数字を確認したいと思っている。理論観点から最新動向を踏まえて報告してもらいたい。

C) 実際観測で達成するとすると、どれくらいの明るさのクエーサーがどの程度ありいくつあればこれくらい誤差を抑え込める、ということが鍵になってくるため、そういった内容に詳しい人でないとわからないのではないかと。三澤氏はそのあたりを調べた経験があると思うので、聞いてみる手はあると思う。そのほうが現実的かと思う。

C長) 理論の人に話してもらいたいのは、この観測課題設定の意義や、長期的な重要性。今後PSFも含め様々な宇宙論関係の研究が進むことも想定される中で、位置づけをもう一度確認しつつTMTに求められる数値目標をきちんと把握しておきたい。理論側面の話と、観測の難しさという観点からの話をそれぞれいただき、皆さんの間で理解を共有できるとよい。次回6/9に日程が合うかという問題もあるが、そのような機会を設けることについてはどう思うか。

A委) よいと思う。

系外惑星分野／低温度星周りの地球型惑星の直接撮像とバイオマーカーの検出

<観測課題> (成田)

- これまで可視光での太陽型星の系外惑星サーベイが中心だったが、最近では低温度星まわりの地球型惑星探査が進められている。視線速度サーベイなどでハビタブルゾーンにある低温度星周りの地球型惑星が発見されつつある。中心星近くが発見されてくると直接撮像も期待される。
- 低温度星周りのハビタブル地球型惑星でのバイオマーカーとしては酸素が代表的である。しかし酸素は偽陽性の可能性もあるため、メタン、二酸化炭素、水蒸気などの存在も網羅的に調べられることが重要。ターゲットとなる約10 pc以内にある低温度星は100個程度存在し、それら全ての星にハビタブル惑星があるとすると数十個程度だろう。

<性能仕様> (成田)

- 直接撮像の検出装置としては、TMT回折限界に近いところで8桁程度のコントラスト比を達成する装置が必要で、そのためには極限補償光学と、高分散分光器あるいは分光器の組み合わせが必要だと言われている。

<性能仕様を満たすに当たっての鍵となる技術仕様> (村上)

- 高コントラスト観測を実現するため、補償光学、低次と高次を切り分ける波面制御、低ノイズ波面センサー、高速なフレームレートが必要。
  - 高次波面誤差を補正するための120x120素子のTweeter可変形鏡
  - 低次波面誤差補正のための50x50素子のWoofers可変形鏡
  - 可視・近赤外線で広帯域光をくまなく利用できる高速読み出し(数kHz)低ノイズ波面センサー
  - 数kHz以上の補正頻度が可能なextreme adaptive optics(以後、極限補償光学)

- 恒星近くでハビタブル惑星が見つかる高コントラストを実現するために新技術が必要。
  - Predictive control、焦点面波面センシングとspeckle nullingなどの先進的な波面制御方法の開発
  - 波長1.27 μm 付近で、主星から15ミリ秒角の位置において広帯域で5桁以上のraw contrastが達成できる極限補償光学とコロナグラフ
- 惑星のキャラクタリゼーションに高分散分光が必要。恒星の高分散スペクトルの中にわずかに含まれる惑星の高分散スペクトルを相関処理をして抽出する。
  - 1.0-2.5 μm の惑星光を波長分解能 $R=100,000$ 以上で高分散分光観測し、かつ空間フィルター効果によってスペックルを1桁以上低減させるための、近赤外線シングルモードファイバー高分散分光器
- 面分光で三次元スペクトルを処理し、残留スペクトルを除去する。
  - 波長範囲 1.0-2.5 μm 、波長分解能 $R=50-1000$ 、視野1-数秒程度の面分光器
- コロナグラフと補償光学をかけた後の生コントラストだけではハビタブル惑星の検知に必要な8桁が達成できないため、ポストプロセスによる3桁以上のコントラスト改善が必要とされている。
  - ポストプロセスとしては、高分散分光スペクトルのテンプレートとの相互相関解析、低分散面分光器とADI (Angular Differential Imaging)、SDI (Spectral Differential Imaging)、PDI (Polarization Differential Imaging)、CDI (Coherent Differential Imaging) などの差分撮像技術との組み合わせなどがある。
- 低ノイズ・高感度な大フォーマットな検出器が必要。
  - 残光などの電氣的なアーティファクトが小さい、大フォーマット高感度・低ノイズ近赤外線検出器(高分散分光器、面分光器用に $4\text{K} \times 4\text{K}$ ピクセル)

質疑応答・コメント

Q委)AO仕様は、建設地がラパルマになると変わり得るか。

A委)AOの効き具合自体はラパルマになっても悪くならない。建設地がマウナケアかラパルマかで大きく変わる可能性があるのは中間赤外観測の場合。

C長)技術仕様の書き方で1点補足して欲しい。120x120素子でまず5桁以上の低コントラストを実現し、ポストプロセス含めて8桁以上のコントラスト比の観測を実現するというステップがあると理解した。それぞれを実現するためにどの技術が必要なのか、例えば120という数字はどこからでてきたかということも含め、明確につながりが見える書き方にさせていただけるとよい。

A村上)従来のAOでは8桁の達成が厳しい。どのようなエラーが支配的か解析し、何を元にどのような技術が必要かまとめられたproceedingsがある。whitepaperに要求仕様とそれに必要な新規技術も記載されていて、120x120素子が必要と書かれている。主著者からインプットしてもらう必要があるかなと思う。

<技術仕様の実現にあたってこれまでの成果とこれからの開発のロードマップ> (村上)

- せいめい望遠鏡へ搭載する高コントラスト装置SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive optics)
  - 極限補償光学とコロナグラフ、ポストプロセス技術の開発が進められている。
  - SEICA用極限補償光学は、tip-tilt鏡、Woofers/Tweeters可変形鏡・波面センサーから構成される。新規技術としては、点回折干渉計(Point-Diffraction Interferometer: PDI) ベースの新規原理にもとづく波面センサーの開発が行われている。

- 波面測定・補正の高速制御に向けて、FPGA (Field-Programmable Gate Array)回路の開発も進められている。現在は、制御周期100 μ s以下の性能を実証している。
- シャック・ハルトマン波面センサーによる制御装置実験を行っており、ゆらぎの抑圧の実証に成功している。
- TMTのセグメント主鏡が複雑でコロナグラフと相性が悪いとされているが、セグメント主鏡でも有効と期待される共通光路ナル干渉コロナグラフの開発が行われている。
- 残留スペクトルをさらに除去する波面補正技術であるspeckle nullingの基礎試験を行っているが、地上観測の可能性追求のためには、高速波面制御の検討や、波長依存性の調査などが必要である。現在は基礎技術研究段階にある。
- すばる望遠鏡SCExAO (Subaru Coronagraphic Extreme Adaptive Optics)
  - 高コントラスト観測、さらに、日本独自の貢献案は以下の通りである。
  - 第2期装置での120 $\times$ 120素子可変鏡の実証に向けて、SCExAOに64 $\times$ 64素子可変形鏡を導入し(国立天文台およびABCがサポート)、オンスカイ試験を世界で初めて実現する予定である。
  - フォトニック結晶技術にもとづく焦点面コロナグラフ位相マスクが開発中である。惑星探査領域で4-6桁のコントラストを得ている。近赤外線域においては、単一波長で設計値どおりのコントラストを得ている。
  - コロナグラフはセグメント主鏡と相性が悪いが、その補正のために瞳形状を変えてコロナグラフの効きをよくするマスクの設計アルゴリズムを構築している。せいめい望遠鏡やTMTに特化した瞳マスクもすでに設計がされている。今後、SCExAOでのオンスカイ実証の早期実現を目指す。
  - すばる望遠鏡では、高速偏光変調差分法が実用化しているが、さらに高速変調ポストプロセス技術を発展させる。宇宙でも地上でも応用ができるCDI-SAN という新技術が論文化されており、それをTMT向けに開発する。
  - SCExAOとIRD (InfraRed Doppler)を接続することで、惑星の高分散分光コロナグラフ観測を可能とする装置REACH (Rigorous Exoplanetary Atmosphere Characterization with High dispersion coronagraphy) がすばる望遠鏡にて実現している。REACHはマルチコア・シングルモード光ファイバー(7本)により高分散分光器に接続し、惑星の高分散キャラクタリゼーションのためすでに共同利用にてオンスカイ観測が行われている。

<開発した技術の他分野への応用、社会貢献>(村上)

- 波面センサーは、光路の媒質の屈折率が動的に変化するような環境でクリアな撮像を可能とする。系外惑星探査のためには精密波面センシング・補正技術が必要であり、これらの技術は、細胞イメージング、眼球内撮影、光空間通信、光学検査など多岐にわたる分野への応用が期待される。また極限環境(人が出入りできないリモートセンシングを必要とする環境)での応用として、災害要救助者の発見、廃炉技術への応用、火山の噴火口近辺の観測なども期待される。

質疑応答・コメント

Q長)他分野への応用についての記述は、極限環境での波面センシングをリモートで行うという意味か。廃炉技術とどのようにつながるか。

A村上)そういうことだと理解している。例えば噴火口では陽炎でゆらゆらしている状況で、そのゆらぎ補正をする、など。廃炉技術にはどうつながるかは理解していない。

C長)幅広く捉えるのもよいと思うが、具体的につながるところに制限しておいたほうがよいと思うので、内容を確認いただきたい。

系外惑星分野／低温度星周りの地球型惑星の直接撮像とバイオマーカーの検出

<観測課題>

- 低温度星は8桁のコントラストが必要だったが、中間赤外では星と惑星のコントラスト比が6桁程度に落ち、太陽型のハビタブルゾーンにある惑星がターゲットに入ってくる点がポイント。ターゲットは、30m望遠鏡でもごく近傍である5pc以内のGK型星が中心になる。その波長帯では、オゾンがバイオマーカーになる。メタンも観測できる。

<性能仕様>(成田氏)

- コントラスト比が7桁あれば地球型惑星をハビタブルゾーンで直接撮像できる。補償光学では4桁を実現すればよく、ポストプロセスでさらに下げる。オゾンを9.6 μm で分光するにはR=30程度の分光観測が必要。ハビタブル惑星のためには数秒角程度の視野角が必要。

<性能仕様を満たすにあたって鍵となる技術仕様>(上塚)

- 極低温下(～50K以下)で駆動できる50×50素子以上の可変形鏡、Tip-tilt鏡、近赤外線での高速読み出し(1-2kHz)・低ノイズ波面センサー、数kHz以上の制御速度を備えた極限補償光学
- 波長10 μm 近辺で、主星から0.33秒角(～5 λ /Dに相当)付近の位置において、4桁以上のraw contrastが達成できる極限補償光学とコロナグラフ
- 8-13 μm 帯での波長分解能 R=30程度の面分光器
- チョッピングなどによって3桁以上背景熱放射を差し引くポストプロセス方法の開発
- 背景熱放射、スペckルを抑えるための極低温・中間赤外線用シングルモード光ファイバー
- 残光などの電気的なアーティファクトが小さい、低ノイズ高感度の大型フォーマット中間赤外線検出器
- 地球大気の吸収を正しく補正し、系外惑星大気由来の吸収を検出する観測・解析技術

<技術仕様の実現にあたってこれまでの成果とこれからの開発のロードマップ>(上塚)

- チリ・アタカマに建設中のTAO (The University of Tokyo Atacama Observatory) / 中間赤外線観測装置MIMIZUKU (Mid-Infrared Multi-field Imager for gaZing at the UnKnown Universe)
  - 近くオンスカイ実証ができるため、TMTでの赤外線観測に向けた技術実証の場として開発を行っている。TMTでの高コントラスト観測へつながる各種キーテクノロジーを後述する。
  - 焦点面コロナグラフマスクとして、AGPM (Annular Groove Phase Mask) を開発
    - 中間赤外カメラで近年実用化されてきている技術で、日本でも取り組もうとしている。
    - 観測波長よりも小さな構造の繰り返しからなる同心円構造を焦点面におくことで、中心の星の光を分散し瞳のところでカットして消す。
    - 実観測する際には波面補償も合わせて必要になる。
    - 技術としては、表面に同心円状の構造を作り、裏面に反射防止加工を行う必要がある。これらにはシリコン上に微細加工を行う技術が必要だが、かつて裏面の反射防止加工ができた外注業者が現在その加工に対応できないため、自ら加工もできるようにすることが課題。現在加工試作中で、同心円状の構造は作れるようになったが、裏面の反射防止加工のモスアイ構造ARが難しい。それをどうしていくかが今後の課題。
  - 背景熱放射を差し引くための冷却チョッピング技術を開発
    - すばる望遠鏡では副鏡を動かし、ビームスイッチをして2つのビームスイッチで得た光を引き算して大気の光を引いていた。TMTでは副鏡が大きくそもそも動

- かないため、それは難しい。そのため、観測装置内部に副鏡と共役な面で高速に駆動する小さな鏡をおく。これが冷却チョッピングという技術。
- 具体的には20Kの低温において2-5Hzの高速で矩形の動きをする鏡を作る。MIMIZUKU用に作成し、制御システムも開発した。今後MIMIZUKUに搭載し、2023年度後半のオンスカイ実証を目指している。
- 中間赤外線検出器 (Raytheon社製Aquarius)を動かすための中継バッファアンプの技術開発
    - 既に実用化しており、2018年にすばる観測所で観測も行われた。
    - 課題は、Aquarius検出器では顕著な低周波超過雑音(Low-Frequency Excess Noise: ELFN)の解消。MIMIZUKUでは明確には確認できていないがVLT/VISIRで問題になった。低周波数のため、10Hz程度の高速なチョッピングによってELFNを除去することができる。前述の2-5Hzという周波数は大気除去には十分だが、ELFN除去にはチョッピングの高速化が求められる可能性。
    - Aquariusの代替として期待されているTeledyne社製のGeoSnap検出器ではELFNが発生しないことが期待されたが、ミシガン大学主導の評価試験の結果、本検出器にもELFNが見られることが確認された。低ノイズ観測を実現するためにはチョッピングの高速化が重要になる可能性がある。
  - 地球大気の補正
    - 地上での中間赤外線観測で地球大気による吸収を補正するため、分光標準星と観測天体の観測スペクトルを割り算して補正する。通常同時に標準星と観測天体を観測することは難しく、異なる時間に観測して割り算を行う。観測時間差の間に大気変動すると割り算をした結果、実際にはないオゾン吸収線が見えてしまうことがある。そのため、正確な補正を行うためには標準星と観測天体の同時観測が有効である。
    - そのような観測を行うために、MIMIZUKUでは単一視野ではとらえられない二天体を同時観測するためのシステム「フィールドスタッカー」を搭載している。それによって、測光精度の向上と、分光観測でも単体毎の観測ではオゾン吸収線が正しく観測できないところの正確な観測が実現できることをすばる望遠鏡の観測で確かめた。TMTの系外惑星のバイオマーカー検出のためにはこのような工夫が必要になると考えられる。
  - 赤外線域での高分散分光には、イメージングレーティング技術も有効であると考えられる。GeやCdZnTe等のイメージングレーティングはCANON、京都産業大学、東京大学のグループが開発している。
  - 赤外線天文観測衛星SPICA (Space Infrared telescope for Cosmology and Astrophysics)
    - 赤外線コロナグラフの開発
      - 主星の回折光を除去して周囲の惑星探査を可能にするバイナリ瞳マスクを使ったコロナグラフの試験と冷却可変形鏡の試験が行われた。これらを組み合わせることで可視光・波面補償なしで7桁のコントラストが実証されている。冷却可変形鏡については極低温(4Kまで)対応型の開発と、動作実証がなされている。また、宇宙科学研究所にて、コロナグラフ関連技術に特化した可視光真空チャンバー-HOCT (High-dynamicrange Optical Coronagraph Testbed)、赤外線域極低温真空チャンバー-PINOCO (Prototype-testbed for Infrared Optics and Coronagraph)が構築されている。

<開発した技術の他分野への応用、社会貢献>

- 特になし。

質疑応答・コメント

Q委) GeoSnapでELFNが発生しないことが期待されていたのに発生した要因としては、物理的な要因を予想していたがその予想が違っていたということか。

A上塚) Aquariusでは、BIBやIBCというタイプの検出器であり、このタイプの検出器ではある加工をしないとELFNが起こると言われている。GeoSnapはそのタイプの検出器ではないためELFNが発生しないと期待されていたが、何故か発生している。同じELFNなのかはわからないが、何かしら低周波で大きくなるノイズが確認されている、という状況。

Q長) AGPMコロナグラフについて、ARコーティングに難しさがありコロナグラフマスクをつくることはできていると説明があったように思うが、コロナグラフマスクで高コントラストを達成する見通しはある程度ついているとの認識でよいか。

A上塚) 高コントラストを実現するためには、裏面からの反射を抑制するためにARが必要。30um帯でよいARがなく、より難しいモスアイという技術を使おうとしている。しかしモスアイを作ることがかなり難しいと聞いている。今までやってもらっていた業者の装置が動かない状況で難儀している。Nバンドでやるときには誘電体多層膜でよいかもかもしれないが、VLT/NEARではモスアイのようなARを適用していると聞くので、何かしら理由があってできないのかもしれない。

Q長) 冷却可変形鏡は、極低温でも可動については問題ないと思ってよいか。

A村上) 現在の記述の通りだとすると、動作実証されていると書いてあるため、4Kまで動くことが確認されているということだと思う。

Q長) 衛星用の開発では1回動けばよく、AOのようにリアルタイムに動き続けることを想定していないと聞いた記憶があるが、連続的に補償することも実証されているという理解でよいか。

A村上) 詳しくはわからないので、確認してみる。

C長) 他分野への応用について、範囲を広げて記述を追加できることがあれば検討していただくとよい。例えば、冷却チョッパーの開発要素は天文観測分野を越えて他に使えないか、など。

A上塚) 考えてみる。

Qプ) 中間赤外用のファイバーの進捗は何かあるか。

A上塚) 市販の10um用のファイバーが数年前からできた。それらが使い物になるか一度どこかで試したいという話は時々でている。

C長) 進捗はない、情報がない、ということに関しても開発ロードマップとしては必要項目として書いてもよい。技術仕様を書いてあればよいと思う。

Qプ) 中間赤外でシングルモードファイバーはあったほうがよいのだろうか、必須か。

A委) PSI10ではファイバーを想定していた。MICHIIはおそらくスリットで、シングルモードファイバーを想定していない設計を見た覚えがある。必ず必要というわけではないが、PSI10では青写真の中にファイバーが含まれている。

今後の進め方

- それぞれのパートで記述の仕方が大分異なる。系外惑星パートの記載方法がまとまっているので、他パートの書き方を調整していただきたい。

- 執筆者および情報提供者の氏名を記載する。協力者名の記載箇所について、まずは各パートの最後に記載いただき、最後に調整する。
- 次回(6/9)に、銀河・初期宇宙銀河の説明を受け、最終的なロードマップのドラフトとしてまとめる。宇宙論パートについては、サイエンスインプットについて話をしてもらい、記述内容を深められれば深める。
- 最終的には、戦略的研究開発経費のHPに国立天文台TMTプロジェクトから公開してもらうことを想定している。そのため、公開してもよい内容かも合わせて確認してほしい。参考文献も必要であれば追記してもらいたい。
- 日本語としてまとめた後で、英語版を作成することも相談させてもらいたい。公募説明会は日本語版に基づいて説明することを想定している。

以上