

島袋隼士さん（清華大）

パネルディスカッションテーマ案ですが、私からは以上の2点を提案致します。

①SKAは異なる波長間でのsynergyもサイエンスの一つに考えているが（ex. CII, CO, Lya with 21cm）、日本のSKAやALMA、すばる望遠鏡などのコミュニティー間でも協力してsynergyを推進していくプロジェクトを立ち上げてみるのはいかがでしょうか？（既に、MWAとHSCはコラボレーションしている）

（参考論文 <https://pos.sissa.it/215/004/pdf>）

柏野

銀河・銀河間ガス研究会がまさにそうだと思うのですが、より具体的かつ明確な目的と戦略を議論して、プロジェクトとしてデザインして行くことも今後重要になってくると思います。

田村

非常に重要な観点だと思います。CO/[CII] に関しては、視野の狭いALMAよりは次世代の単一開口望遠鏡プロジェクトによるサーベイが有効でしょう。日本からは LST (= Large Submillimeter Telescope, <https://lstoobservatory.org/>) という将来計画が学術会議マスタープランに手を挙げています。また、欧州（ESO主導）ではALMAと相補的な位置づけとして AtLAST (Atacama Large-Aperture Submillimeter Telescope) の検討が始まっています。サブミリ波でのサーベイの検討は、私を中心に数年前から行っているのですが、SKA/すばるとのシナジーは十分に検討が進んでいません。ぜひこの研究会を軸に、検討を発展させたいですね。

長谷川

実は、MWA(SK A)-HSCコラボレーションの発端はこの研究会でして、すでに成果が上がっているのは非常に喜ばしいことです。今回新たに研究会に参加していただいた方もいるので、これを期に他のシナジーもぜひ検討していきたいですね。

矢島

日本でも理論家、観測家を巻き込んでMWA(SK A)-HSCコラボレーションの結果が出てきているのはとても喜ばしいと思います。今回のような研究会を利用して島袋さんなど若手研究者を中心にシナジーの新プロジェクトなどもどんどん立ち上げていけば、さらに大きな流れに発展していく気がします。

②サイエンスの話題とは少しずれますが、例えばSKAに関してはSKA-East会議の様にアジア規模での会議が開かれ、アジアでの協力を密にするという試みがあります。同様に、銀河、銀河間物質、再電離のテーマをアジアの人々で盛り上げていくにはどうしたら良いか？現状、これらの研究テーマは欧米に勢いがある様に見えるので、是非、アジア、引いては日本の存在感も強めていくにはどうすればよいかの議論をしていただければと思います。

長谷川

SKAの場合はちょっと特殊で、そもそも日本がSKAに正式参加できておらず、同様にSKAに参加できていない韓国、台湾などと一緒に、例えば東アジアSKAコンソーシアムなどを形成してSKAに参加する可能性を踏まえて、連携を深めている段階です。このように、「SKAに参加する」という共通した目標があるために足並みを揃えることができているのかなと思います。他のテーマでのアジアの連携を深める場合、やはり共通の目標、連携することのメリット(協力しないと達成できないような目標)がはっきりしないとうまくいかないのかなと思っています。個人的にはですが、そもそも研究の質として現状でもアジアで連携しないと太刀打ちできないほど、日本の研究が欧米に比べて遅れている、勢いが無い、とはあまり感じませんが、他の方々はどうでしょう？

橋本大輝さん（名古屋大）

- ・ 遠方AGN、銀河の観測とそれらの再電離への寄与
- ・ 初期の銀河団の進化とその内部環境の発展の関係性について：  
特にAGNのpopulationやSMBHの生成について
- ・ 中性水素ガスを用いたプロトクラスターの探査の現状（質量関数や空間的なスケールの赤方  
偏移進化について）

矢島

遠方のfaint AGNや銀河団はまだまだ観測が難しく、モデル化が難しいところです。だからこそ、まだ黎明期とも言える非常に面白いテーマだと思います。現在、理論シミュレーションの方も徐々にfaint AGNや原始銀河団に目を向けた研究がなされつつあるので、シミュレーションの示唆をうまく使いながら、観測プロポーザルを通して観測サンプルを増やしていき、モデルを確立していくというのが行われていくと思います。

小島崇史さん（東京大学）

JWSTで見つかる天体の予測と、その天体を「実験場」として行えるサイエンスについて議論してほしいです。

上でいう「JWSTで見つかる天体の予測」という意味ですが、赤方偏移いくつのLBGがどこまでの暗さまで見つかるのか、赤方偏移いくつの狭帯域フィルター天体が見つかるのかといったことを考えてみたいです。(いろいろな特徴量で) 業界に明るい先生方は、もちろんどのようなデータが出てくる予定なのかはご存知だと思います。しかし、若手としてはどのような天体が観測されるのか、情報不足な部分もあるかと思っています。

JWST打ち上げ前にどのような天体が見えるのかを予測しておくことで、将来どのようなサイエンスをしていこうか、と考えるいい材料になりそうです。JWSTサンプルを実験場としてできるサイエンスを中心に考えてみたいです。

柏野

JWSTについての講演でも触れましたが、NIRCamのフィルター構成では原理的には赤方偏移20を超えて、ライマンブレイク法を適用することができます。現実的には光度関数 (LF) の intrinsic な進化を滑らかに外挿した場合、 $z \sim 14$  くらいまではLF進化を制限し、意味のある議論をするというのが当面の期待ではないかと思います (たとえば領域は  $200 \text{ arcmin}^2$  深さ  $\sim 31.5 \text{ mag}$  相当)。ただ、HSTがそうであったように思いがけないhigh- $z$ 天体が次々に見つかるということも期待したいですね。分光では、NIRSpecを用いれば、現在HSTで見つかった全ての $z > 8$ 候補銀河について、 $\text{Ly}\alpha \sim \text{H}\beta + [\text{OIII}]$ を含むスペクトルを、reasonable (数十分～数時間) の積分時間で得ることができます。実験場という意味では、やはりこれらの輝線が重要になってくるのではないのでしょうか？スペクトルが得られることによって、再電離におけるAGNの役割を検証したり、金属量進化 (たとえばmetal-free =  $[\text{OIII}]5007$ が極端に弱い銀河がいるか？とか) などをこれまで以上に詳細かつロバストに議論することができるようになると思います。また、静止系可視光の面分光は $\text{Ly}\alpha$  blobの発光原理や金属量、kinematicsなどを調べる非常に強力なツールになるでしょう。

岩下 昂平さん（愛媛大学）

テーマ「ダストに覆われた天体の研究」

ダストに覆われた天体（星、銀河、活動銀河核など）を可視光線を用いた観測で研究しようとする、減光を強く受けることから探査の不完全性が高くなってしまったり測光データや星形成率の議論の際に不定性が大きくなってしまいます。そこで、「ダストに覆われた天体」の統計的性質や進化を研究する上で、どのような手法や戦略が有効なのか議論したいです。

田村

「ダストに覆われた天体」は、それらを選ぶ波長によって、選ばれる天体の種族・性質も、手法・戦略も変わってきます。逆に言えば、「ダストに覆われた天体」のどのような種族・性質を調べたいかによって、手法・戦略を考える必要があるとおもいます。岩下さんは、どのような種族・性質をしらべるのが面白いとおもいますか？（質問を質問で返してすみません！）

なお、私の興味は、dust SED の R-J 側のスロープを使う、すなわちサブミリ波の dust continuum や [CII], CO 等の line を使うことによって、可視光に強く依存しない物理量（redshift, gas mass, dust mass, ISM 物理状態）や統計量（number count, clustering）を導くことにあります。この場合、比較的遠方で、ダスト温度の低く ISM を大量に持つ銀河にバイアスされる傾向にある点には注意が必要です。

Haibin Zhang (東京大学)

As for the panel discussion, I'm interested in the next generation telescopes including JWST, LUVOIR, and PFS. For example, what we will learn (physical origins, etc.) from the integral field spectroscopy of Ly $\alpha$  blobs (LABs).

柏野

As for your example, JWST will enable IFU spectroscopy in the rest-frame optical, with which we can expect to distinguish the candidates of the origin, and learn about kinematics, metallicity, chemical composition, etc.

### 安藤梨花さん（名古屋大学）

・ planck2018の結果(optical depth  $\tau$ )とその再電離シナリオなどの影響について  
・ simulationで用いられているAGN feedback modelについて、実際には観測(や理論)からどの程度制限されていて、そのモデル(への制限)はどれくらい信頼できるものなのでしょうか？

柏野

Reionization historyへの制限という意味では、Planckの $\tau$ も重要ですが、Ly $\alpha$  forestやQuasar near zoneの解析から得られる制限も重要であり、Planck 2015以降それらは概ね無矛盾に、 $z=6$ でほぼ終わりということを示していると思います。2015から2018でも結構変わってますが、再電離シナリオを見直す必要があるというほどではないでしょう。

長谷川

Planckの結果は、現状銀河だけで簡単に達成できるOpt. depthになっていますので(もちろん銀河のescape fraction次第ですが)、より初期の星形成の制限が強くなった感じだと思っています。MWAPの結果が出た当時は、 $z_r=17$ とかでしたので初代星やその残骸などからの放射でなんとか $\tau$ を説明しようとしていました。今は逆に初代星形成時の星形成率などを抑えるfeedbackなどでなんとか電離への寄与をおさえなければなりません、EDGESの結果で示されたような21cm線 global signalの吸収線を出すためにはある程度の星形成活動が必要となりますので、これら両方の条件を満たすような理論モデルが望まれます。今後21cm線の追観測にも要注目です。まあ個人的考えですので参考程度に。

矢島

近年の観測でAGNがある銀河からホットガスとコールドな分子ガスを含んだ多相ガスの銀河アウトフローが多数見つかりつつあります。銀河アウトフローによって星形成は抑制されると考えられますが、このような銀河アウトフローがAGNによって駆動されたものなのか、まだ不定性が大きいです。理論的にもAGNからのdisk windやジェットと銀河スケールは空間スケールが大きく離れているため、モデル化が難しいのが現状です。また、銀河シミュレーションでは以前、星質量-ハロー質量比の観測やパッシブ銀河を再現するためにAGNフィードバックを導入していますが、観測データに合わせるための現象論モデルに留まっています。逆に言うと、分かっている点が少ないので、今後発展が望まれる興味深いテーマとも言えます。

### 播金優一さん（東京大学）

・ 2020, 2030年代の銀河形成・宇宙再電離研究はどのようなものになるのか  
(2020年代:PFS, JWST, WFIRST, SKA, TMTの登場。2030年代: ?。すばる、ALMAとのシナジー。数値シミュレーションの役割)

・ 重力波天文学、系外惑星探査など、今後革新的に進むであろう分野とのシナジーは可能か  
(重力波だとBHのmass function? Kinugawa et al.のようなPop-III起源の重力波?)

・ NASAの次世代望遠鏡計画 (LUVOIR, HabEx, Origins space telescope, Lynx)  
それぞれの場合の銀河形成・宇宙再電離研究のサイエンスケース、スイートスポット

矢島

現在のシミュレーションではフィードバックなどを取り入れながら、分子雲スケールも分解しつつあります。今後のシミュレーションでは分子雲内での星団形成と銀河進化を同時に解くことが可能になるかと思っています。また、初代銀河内の大質量ブラックホールについてはボンディ半径やダスト分布についても同時に解くことが出来るようになるかと思っています。したがって、これまで別分野であった銀河、星、ブラックホールの研究者が密接に議論し、統一的なモデル化に挑戦出来るかもしれません。観測も銀河観測と同時に、星間ガスの物理状態、分子雲の状態、ブラックホール周辺の物理状態を描き出すことが望まれるかと思っています。

現在、重力波や惑星が新しい観測によって盛り上がっていますが、次は銀河形成分野が革新的に進み盛り上がる時代が来るように真剣に考える必要があると思います。少なくとも、銀河内でのみ理解されるような面白さではなく、分野外、もしくは一般人にも分かりやすくインパクトのある結果がだせるかが重要だと思います。そのような状況になれば自然と他分野とのシナジーは進むと思います。

伊藤凌平さん（東京大学）

21cm線観測と再電離について議論できればと思います。  
(1日目の島袋さんたちのトークで尽きてしまうかもしれませんが)  
個人的にYajima+18で議論されていたような、  
再電離期のionized bubbleの検出可能性等に興味があるので、  
そのあたりを取り上げていただけると嬉しいです。

長谷川

bubble size分布は、Ionizing luminosity function (UVLFにLyC escape fractionの重み付けしたようなものですね)の情報を反映すると思いますのでsize分布がわかればどのような銀河が再電離に寄与したかの情報が得られると期待しています。この場合、clusteringなども考慮してbubble size分布とIonizing LFを結びつける理論モデルが重要になると思います。ただ、やはりimagingでバブルサイズ分布を導出するのは難しいそう(SKA2以降になると思います)現在は銀河の周りの21cm輝度分布をstackして検出できるか、ということも考えています。この場合、対応する銀河(例えばLAE)周りの平均的なバブルサイズがわかります。ここから、多少のモデルを挟みますが、平均的なescape fractionを出すことはできるかな、と考えています。他、観測の方からの提案もお待ちしています。

矢島

SKA2の時代になれば、電離バブルのサイズ分布や空間分布の観測が可能になりそうですので、初期宇宙の銀河形成の理論、観測研究家にとって非常に面白いデータが得られると思います。まずは、すばるHSCやJWSTによる $z>8$ の銀河の大域的分布と理論モデルを組み合わせる事でSKA時代前に予言モデルを作成するのが急務だと思います。また、電離バブルの情報からどのような情報が引き出せるのかを十分に議論しておく必要があると思います。それに加えて、クエーサーなどのレアな天体がどれくらいhigh- $z$ に存在していそうか、それが21cmで観測出来るかというのも個人的に興味があります。