

発表者への質問・コメント・議論・感想など google doc に書き込まれたものを記録しています。口頭での質疑は含まれていないものがありますのでご注意ください。

セッション1： 大型計画と次世代技術

9:05 TMT の技術概観 早野裕 (国立天文台)

(本原)：追尾性能なのですが、最後は AO で補正されてしまうのでシーイングサイズで決まっていた（ので、すばると同じでいい）のですが、なにか他に条件があるのでしょうか？

(上塚)：膨大な仕様やインターフェースの管理はどのようなツールや人員体制で行われているのでしょうか。

=>(本原) <https://www.openmbee.org/projects.html#> こういうのは使っているみたいです

=>(上塚) TMT も紹介されていますね。使ってみないと様子がわかりませんがありがとうございます。

=>TIO に多数のシステムエンジニアが雇用されています。また、仕様やインターフェースの依存関係を管理するツールを使っています。

=>(上塚) ありがとうございます。やはり規模が大きいと人員体制も重要になりますね。

(本原) モリブデンスパッタベアリングは自作なののでしょうか？

=>(上塚) MoST というのがモリブデンスパッタリングなのですか？

=>(本原) だとおもったのですが...ちがうのかな？昔は売っていたけど

=>(上塚) 商標ついてるものなのでしょうか。

=>(浦口(NAOJ)) <http://www.teercoatings.co.uk/index.php?page=39> こちらの処理を国内で行っています。処理済みのものを購入するのではなくボール等任意の部品を提供して処理だけを行うことができます。TM とありますので、商標かと思います。

=>(上塚) ありがとうございます。後処理でできるのは良いですね。昔モリブデンコーティングスプレーにまみれながら塗装したことがあります、それも二硫化モリブデンだった気がします。基本的にはそういった市販のスプレーと同じようなものなののでしょうか。

=>(浦口)専用機材を用いたスパッタリングとみられます。国内の処理業者 <http://www.e-coating.jp/most/most.html> により詳細な情報がありますのでご参照ください

=>(上塚) ありがとうございます。大変参考になります。

(本原) ウォームギア、ポリエチレン側も摩耗しなかったのでしょうか？

=>(清水莉沙(NAOJ)) まったく摩耗していないとはいい切れませんが、粉が落ちているなどあからさまな摩耗はありませんでした。

=> (本原) なのと、それは優秀ですね。他でも使えそうなの。

(秋山) アストロメトリの仕様達成にあたって、運用中に装置を開けないという観点で寿命実験の説明などありましたが、装置の光学系仕様やキャリブレーションにおいて開発・実験要素として特別に進めていることはありますか？

=> (早野) 焦点面の **distortion** を正確にキャリブレーションする方法は検討しました。**Astrometry** の **error budget** 表があるので確認してお知らせできればと思います。

9:45 イメージスライサー型 IFU の光学レイアウトの変遷と WFOS IFU の光学レイアウト 尾崎忍夫(国立天文台)

(坂野井) マイクロレンズ、ファイバ、スライサの選択は、結像面の大きさや視野、波長によってきまるのでしょうか？ スライサは軸外し鏡を集めたものなので、一つの素子の精度はもとより、素子の取り付け時や熱変形の公差がとても厳しいと感じました。

=> (尾崎) どのタイプを利用するかは目的によると思います。スライサータイプは受光面を有効利用できるのも、同じ検出器のピクセルフォーマットなら一番多くの情報を得られるので、**FOCAS IFU** ではスライサータイプにしました。**KOOLS IFU** のように、ナスミス台のスペースの関係で離れた場所に分光器を置かなくてはならないような場合には、ファイバタイプが良いともいます。またファイバタイプなら複数の 2 次元ファイバアレイを一つの分光器につなげて、多天体面分光も容易にできます。マイクロレンズアレイタイプは技術的に一番容易に実現できると思います。

おっしゃる通り、公差が非常に厳しいです。**FOCAS IFU** ではギリギリを狙いすぎたので、ケラレが生じてしまいました。その反省から、**WFOS IFU** ではなるべく公差が緩くなるように心がけています。

(秋山) **FOCAS-IFU**, **TMT-WFOS-IFU** でも薄く広がった輝線成分の検出に特化したパラメータになっているように思いますが、特に夜光の差し引きや迷光除去などの観点で工夫している点はありますか？**TMT** などではターゲットとしたい暗い淡い広がりに対して背景光の成分が強くなると思いますが、特にこれまでの面分光器と違う点はあるのでしょうか？**KCWI** もなにか工夫はありますか？

=> (尾崎) **FOCAS IFU** ではオブジェクトから 5.2 分離れた位置のスカイスpekトルも同時に取得できるようになっています。連続光成分は問題なさそうですが、明るいスカイ輝線は残差が残ってしまいます。この残差は **ZAP** というソフトで綺麗に除去できることを確認しています。

講演中に話したスライサー段差で生じる迷光が問題になるような気がしています。

FOCAS IFU ではスライサー、瞳ミラー、スリットミラーともに曲率を持っているので、レイアウトの自由度が結構あって、スライスミラーのファンアングル（スライス幅方向を軸とした回転角）のステップをできるだけ小さくすることで段差を低くしています。講演で見た **WFOS IFU** のフラット 2 面構成はレイアウトの自由度がほとんどなく、ファンアングルのステップが大きくなってしまふのが欠点です。**KCWI** も同様のレイアウトで、段差部分を黒く塗って対応しています。**WFOS IFU** でもそのようなことをしなければいけないと思っています。

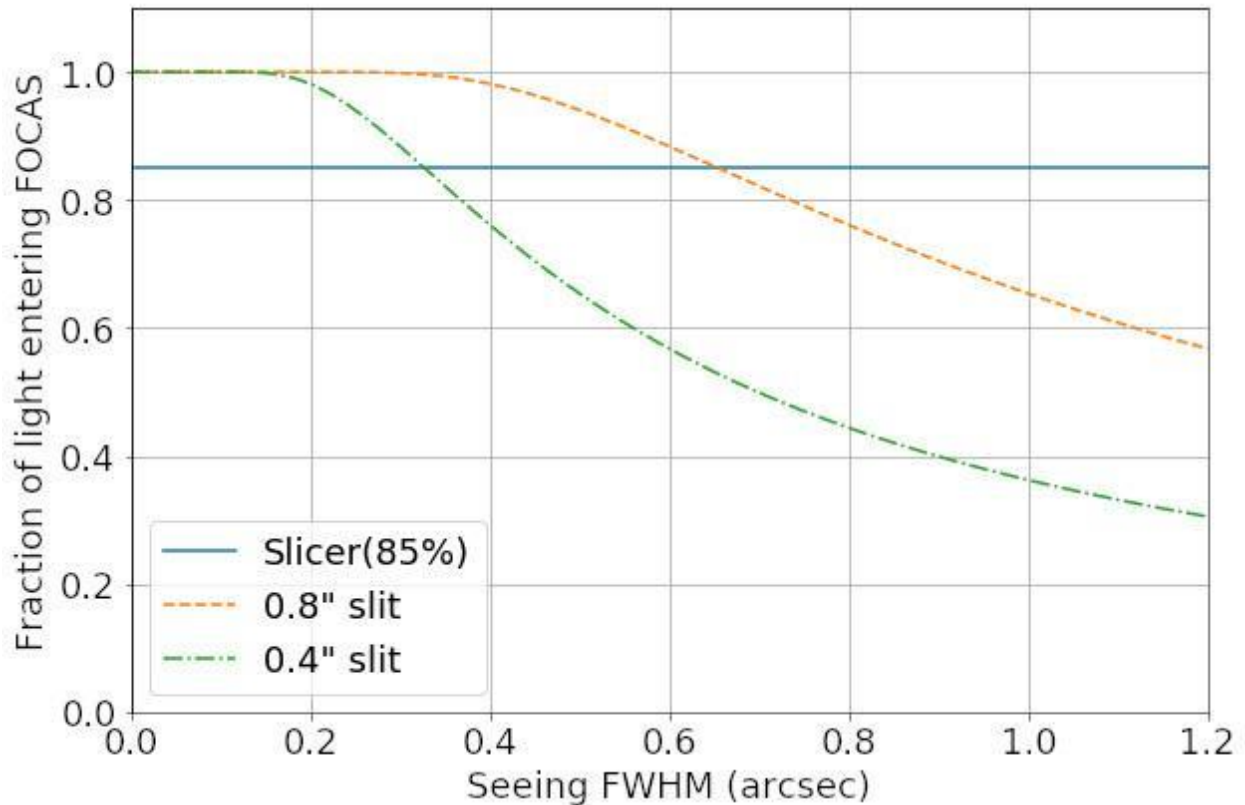
これまでの面分光器と異なる点はとくにはありませんが、**WFOS** 本体が暗い天体を意識して高い安定性（～1%）を目指しています。**WFOS IFU** でも、これを損なうことないようにすべきと思っています。

(上塚)：面分光の普及について、点源観測であってもスリットロス心配も緩和でき、大気吸収較正の不安も多天体同時観測できれば回避できるので、精度の良い観測をしようと思ったときの観測コストは大幅にできる気がするのですが正しいでしょうか。もしそうであればタイムドメインのような話でも有効性を強調できますし、もっと広まればよいのにと考えた次第です。

=> (松林)：面分光の普及はせいめい/**KOOLS-IFU** が目指しているところです。中口径望遠鏡で萌芽的・挑戦的な提案もいくらか受けられますし、望遠鏡の機動性の良さを活かした即時分光観測をする計画もあります。光学系や解析ソフトウェアはまだまだ改善する必要があると考えています。

=> (上塚)：ありがとうございます。点源観測の観点で面分光の使用をあまり考えたことがなかったので、何かできないか考えてみたいと思います。

=> (尾崎) スリットロスに関して、**FOCAS IFU** について下の図を作っていました。横軸シーイングサイズ、縦軸 **FOCAS** へ入っていく光量です。オレンジ点線と緑点線はスリット幅 **0.8", 0.4"** のときの状況です。青実線は **IFU** を使ったときで、スリットロスがないので、**IFU** の透過率 **85%** で一定です。これを見ると、天源でもスリット分光の代わりに **IFU** を使うことでゲインがあることが分かります。スライス幅は **0.435"** です。



=> (上塚): 確かに感度という点でも得するケースはありますね。最近スリットロスによる色変化みたいな話があったので、色の変化に意味があるといったときに IFU で観測をしておけると安心して議論のできるデータになったりするかと思った次第です。ありがとうございます。

(質疑の記録) 散乱光解析はどの様に行っているのか？

LightTools を用いている。光学系のパラメータ(表面反射率など含む)を入れると計算される。

=> (都築): **LightTools** の設定、解析（特に不要光路をいかに抽出するか）にもノウハウがございまして、もしお困りのことがございましたら先端技術センターまでご相談ください。共同利用、共同研究開発の申請が通ればご協力することができるかと思います。

=> (上塚): ありがとうございます。ATC 共同利用には CAD の利用というのがあったと思いますが、**LightTools** なども含まれているのでしょうか。リストが見つからなかったのでご教示いただけますと幸いです。

=> (都築): ご回答が遅くなりました。ATC の「共同利用」に関してですが、CAD そのものの共同利用（貸し出し）というのは、かつて行われていた時代がありますが、現在は行っておりません。背景としては、CAD ライセンスの組織を越えた利用については、

CAD の契約上問題があることと、ネットワークライセンスなどの場合は、ネットワークのポートを開けてもらう必要があり、セキュリティの関係上困難なためです。ただ、「共同研究開発」の場合は、ATC 内の共同研究開発者の裁量の中で CAD ソフトが使用できる可能性がありますので、もし必要となりましたらご相談してみてください。

10:40 超高効率光スイッチを可能にする自動光ファイバー交換機の開発 小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター)

(本原): シングルモードファイバの RV 安定性が MMF にくらべて 2 桁ほど悪化するのはどういう理由によるのでしょうか？

(小谷) すいません、これはタイポですね。現在は同じぐらいの安定性になると言われていますが、原理的にはシングルモードのほうが安定性が高いと思います。

(早野): スクランプラーによる波長分解能への影響（劣化）は定量的に記述できるものなのでしょうか。それとも経験的なキャリブレーションをするのでしょうか。

(小谷) スクランプラーを動かしても、コア直径以上に光は広がらないので、波長分解能の変化は起こらないです。

(早野) なるほど、分光器側から見て、マルチモードファイバーのコアが固定スリットのように見えているから波長分解能は変わらないのですね。

(早野): MODHIS は NFIRAOS(MCAO)が必要ないぐらいの狭い視野の観測装置だと思います。NFIRAOS を ExAO 的（2つの DM をうまく使う）に動作させることは可能かもしれませんが、意味がないかもしれませんが、検討してみる価値がありそうです。

(小谷) なるほど、それはおもしろそうです。特に短波長側の効率向上に役立つなら価値が高そうです。

(栗田) マルチコアファイバって？

(小谷) クラッド直径よりも小さいコア間隔でファイバーを束ねたものです。今使っているマルチコアファイバーは、コア間隔が 37 μ m しかありません。

(栗田) クラッドを共有しているのでしょうか。素線を束ねた状態でしょうか

(小谷) クラッドを共有していますね。

(松林): シングルモードファイバの入射部に小さいレンズを付けて、広い視野 (直径 30 μ m とか) の光をファイバに入射することはできますか？ 補償光学側の仕様が緩くなるかと思いました。

(小谷) 入射部に小さいレンズを付けても、広い視野を取ることはできないですね。がんばっても、 λ/D ぐらいの視野しか光が入らないです。

(菅井) シングルモードファイバについて：像サイズ？、F？、取り込める光の割合、を教えてください。ー>回答あり。

(小谷) 像サイズは、**SMF** のコアと同じぐらいになったときに入射効率が最大になります。そのときの **F** はだいたい **4~5** の間です。入射効率は、大まかにいうと **strehl 比×0.8** ぐらいです。

=> (早野) シングルモードファイバーから射出した **TEM00** モードのビームから **F** 値に類似する数値が測定あるいは計算できると思います。**Airy** パターンの **PSF** と **TEM00** モードパターンの相関をとると確か **80%** だったはずで、それがすとレーン比のあとのファクター**0.8** ということでしょうか。

(小谷) はい、そうなると思います。

(秋山) **SCEXAO** と組み合わせてもシングルモードファイバーへの入射効率が **1.7%** という説明だったと思うのですが、想定より低かったりするのでしょうか？ **NFIRAOS + MODHIS** だとさらに入射効率が悪くなりそうですが、そのようなことは無いのでしょうか？

(小谷) すいません、**1.7%** は全て含んだ（大気から検出器まで）効率です。入射効率は、おそらく **40%** ぐらいではないかと思います。**MODHIS** では、確かに短波長側は何もしない入射効率は悪いと思います。今は、**photonic lantern** というデバイスを使って、短波長側の効率を上げることを検討しているようです。

(秋山) 了解です、分光器の効率なども含んでいたわけですね。

(秋山) あと、レーザーコムを用いると **1m/s** で安定な波長光源が得られるという説明だったと思うのですが、その場合でも装置側での安定性を追求する必要はあるのでしょうか。レーザーコムをいつも参照するようにデータを取れば、装置側は安定していなくても良い、ということはないのでしょうか？

(小谷) これは僕も思っていることで、コムを同時参照すると、装置側が不安定でもある程度その影響（絶対 **RV** 変動）を取り除くことはできますが、完璧には取れず、残った成分が最終的な **RV** の安定性を決める可能性があります。ただ、**IRD** では **2m/s** ぐらいの安定性では、絶対 **RV** 変動と相関した相対 **RV** の変動は見つかっていません。一方、天体のほうも地球の自転と公転運動によって、年間で **±12km/s** 動くので、装置由来の絶対変動をどのくらい小さく抑えるべきかは、明確な結論は出ていないと思います。

[セッション2：目的特化型・中型小型計画：大学の取り組み](#)

11:20 [せいめいプロジェクト奮闘記](#) 栗田光樹夫(京都大学)

(林 S) 「せいめい」の主鏡セグメントは、扇形の外形に切った後に研削研磨したのですか？ー> 説明に出てきました

(栗田) 現在インドネシアように鏡を製作しているのですが、そこでは研磨後に切断する予定です。切断すると撓むのですが、撓みが小さくなる技術と簡便な切断方法の開発中です(TMT は切断後に IBF で修正しますが、その必要性がない手法の開発です。)

(林 S) (TMT の主鏡セグメントの IBF 加工は、切断による撓みもさることながら、そもそもの研磨面の精細修正が主な目的。切断方法が難しい。こちらについてもお話を伺いたいものです。)

(上塚):ある急ぎのタスクが出てきたときに、チームメンバーが他のタスクの処理に手一杯になっている場合はどう対応するのが良いのでしょうか。

(栗田) 基本的にはアドバイスで済めばあとは担当者本人が進めました。人手やお金などリソースが必要になる時もあり、その場合は報告会の議論の中で自然発生的にチームができました。ただ、そのチームが緩すぎると見えたときはあえて報告会の場でアサインを明確にしました(勇気のいる作業です)。エフォートがさけないときは遅延しか選択肢がありません。ただプロジェクトは時間というリソースを使うと結果的に人もお金も消費される点に注意がいと痛感しています。

(上塚) ありがとうございます。確かに最後の観点も重要ですね。気になったのは新たなタスクをアサインされる人は、前から進めていたタスクを行うことで、ある時期にある成果を出すことを期待して進めていたと思うのですが、それができなくなることでキャリアに影響しないかなどケアが必要な気がします。そのあたり、学生・ポスドクがメンバーとなる大学プロジェクトではなかなか難しそうな気がしました。

(菅井)シーイングサイズに収束していく動画は印象的でした。先のことで申し訳ないのですが、AO などへの発展はあるのでしょうか？

(栗田) はい。明日の津久井君の講演にもありますが、惑星探査用の補償光学装置を開発中です。それまでに分割鏡のフェーシングを達成したいと思います。

(小谷) どうでも良いことですが、溶接って資格はいるのでしょうか？

(栗田) ご商売する場合は要るでしょうね。DIY なら不要だと思います。。

セッション 3：先端光赤外技術の融合分野

13:00 理研におけるサイエンスのための超精密加工 細畠拓也(理化学研究所)

(池田)CFRP ミラーのニッケルメッキ層の最終的な厚さはどの程度でしょうか？また、ニッケルとの線膨張係数の違いは、温度変化に対する面形状の歪に影響したりするものでしょうか？

(細畠) 試作したミラーのニッケルメッキ層の厚さは約 $300\mu\text{m}$ です。薄くすることは今後の課題ですが、下加工の精度を改善することで可能になると考えています。

(細畠) 線膨張係数の違いによる歪についてのご指摘はごもっともです。ニッケルメッキの線膨張係数は約 12ppm/K であり、CFRP (線膨張係数ほぼゼロ) との差が大きすぎるという問題があります。今回は短繊維 CFRP の鏡面化のための手っ取り早い手段としてニッケルメッキを選択しましたが、他の手段で樹脂表面を平滑化して金属薄膜を付けた方が高精度化できると思います。

(菅井)短繊維 CFRP について：湿気に対する特性／耐性（膨張係数の観点から）はどうでしょうか？（例えば宇宙と言えどもプラック衛星のように湿気と無関係ではない場合がありますので興味がありました）→回答あり。

(高橋(ABC)) 短繊維 CFRP は、3D プリンターの材料として使えるようなものなのでしょうか？あるいは、注型を 3D プリンターで製作可能でしょうか？

(細畠) 短繊維 CFRP の 3D プリンティング技術についても、理研の田島右副氏が企業と共同開発しており、すでに実装段階に入っていると聞いております。注型の方はシリコンの型に注ぎ込む方法ですので、3D プリンターでは製作できません。

13:40 共用クリーンルームにおける研究支援と微細加工プロセス技術の開発 松谷晃宏(東京工業大学)

(坂野井) Lithography の紫外線は $300\text{-}400\text{nm}$ ということでしたが、加工できる最小ピッチはどれくらいでしょうか。また、より短波長にすると、より微小加工できる可能性はあるでしょうか。

(松谷)ご紹介した密着露光では $1\mu\text{m}$ くらいです。世の中では縮小投影露光やさらに短波長の光を使った技術が使われていますが、大学で所有（維持）するのはたいへん難しい装置となります。電子線露光では $1\mu\text{m}$ 以下でもパターン形成できるので、サブミクロン領域、 nm 領域で使われます。

14:20 次観測装置用の新しい回折格子の開発状況 VII 海老塚昇(理化学研究所)

(坂野井) InGaAs 検出器は冷却するのでしょうか、する場合何度まで冷却するのでしょうか。

(海老塚) 電子冷却素子有りと無しがあります。電子冷却は室温- 30° 程度でしょう。

(本原) 昨年の IEDM2019 での発表がありました。

<http://image-sensors-world.blogspot.com/2020/01/iedm-2019-sony-swir-imager.html>

InP 基板でなくて、Si 基板上に InP レイヤを作って、その上に InGaAs 成長しているようですね。

IEEE 論文見つけました

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8993432>

(坂野井) ありがとうございます。

14:50 高輝度・波長可変テラヘルツ波光源の開発 南出泰重(理化学研究所)

(早野) 位相反転結晶に要求される温度安定度はどの程度でしょうか。

(南出) お返事遅くなりました。テラヘルツ周波数は、温度に関しては約 30MHz/K~大きくても 100MHz/K (発振周波数による) で、発振線幅が約 6GHz です。温度変換に関してはほとんど影響ないものと考えています。夏と冬で外気温度に依存するとなると温調が必要ですが、高精度のものは不要と考えています。ご参考ください。

15:30 波面誤差の小さい高精度鏡について 早野裕(国立天文台)

(池田) 設計時に膜ストレスをできるだけ小さくするような膜材の選択はされているのでしょうか？

(平原) 低温で使える接着剤について、上塚さんから質問がありましたが、私も教えていただきたく存じます。 yasu@nagoya-u.jp #懇親会には別の用務があつて参加できませんので。

=> (浦口) 型番は Armstrong A-12 となります。2 液混合のエポキシ接着剤で、混合比 1:1 で用いています。Keck の MOSFIRE で使用実績があり、TMT/IRIS でも採用されました。

=> (上塚) こちらでしょうか <https://axis.company/product/3569/>

=> (浦口) そのとおりです。我々もその会社から購入しています。

(菅井) 見間違いかもしれませんが、歪まないはずの条件時 (平板: コーティング無し) の実験結果を基準としていったん見てみる可能性は無いでしょうか？これを測定系 (窓そのものやその抑え方) による系統誤差と考える (引き算になるのかな)。もし、デュワを開け閉めしてもコーティング無しの実験結果に再現性がみられるのであれば、資料を何十度 (°) か回転させて配置してみるにより資料の歪みか測定系による影響かを区別できるかもしれないと思いました。もちろん、窓を小さくするなどの改良をするのが得策で賛成ですが、上記方法が万が一手軽にできるのであれば今後の方針が見やすくなるかとも思いました。

(林左) 成膜工程がコーティングに異方性を生じる可能性はありますでしょうか？

セッション 4 : 大学での研究開発活動

16:00 高精度トランジット測光観測のためのディフューザー開発とオンスカイ試験 西海拓(総合研究大学院大学)

(秋山) イン트로で示されたトランジット測定時の測光データのばらつきが生じる原因はどのように考えられていますか？シンチレーションの効果が効いているのですね。その場合、相対測光をしてもシンチレーションの効果は消えないのでしょうか。

(西海) ご質問ありがとうございます。

はい、相対測光をしても消えません。シンチレーションはその恒星までの大気のパスに関係しています。すこしズレたところの恒星を参照星とするので、取りきれないのだと思っています。

(早野) とても明るい星の測光精度が重要で、恒星の2次元情報は必要ないのであれば、フォトダイオードのような感度の高くない普通の単素子検出器の方がいいのではないのでしょうか。

(多分そうではないから、diffuserなどの工夫が必要なのだと思います。)

(西海) ご質問ありがとうございます。

単素子の検出器が2つある場合だと、もしかしたら精度が高く出る可能性もあるのではないかと思います。というのも大気の影響を取り除くためにトランジット観測では相対測光をしており、その参照星が必要となるためです。また複数の星を参照星にすることで、精度が上がる場合もあります。

あと単素子のinnerの感度差はどの程度あるのでしょうか。

(高遠) 単素子の問題は、スカイ引きが難しいことだと思います。ピクセル毎の感度ムラの問題は無くなりますが、2次元アレイが使えるようになる前は、単素子観測しか出来なかったですよ。

(西海) なるほど。ありがとうございます。

(小谷) 単素子の検出器は、チップ内の感度ムラがかなり大きいので、むしろ多数のピクセルに広げて平均化させたほうが良いと思います。

(西海) やはりそうなのですね。ありがとうございます。また質問いただきました、ライトカーブがいつでもディフューザーで高精度化されるか調べたいと思います。

(坂野井) ディフューザーの仕様は、ターゲットの明るさやトランジットの深さにより変わるように思われますが、最適化するためにどのような試験・観測が必要でしょうか？

(西海) ご質問ありがとうございます。

ディフューザーの特性から、恒星の光度によってディフューザーが他の方法より良い場合と悪い場合があると考えられます。onfocus, defocus, diffuserA,Bでさまざまな光度の恒星を測定し、その光度でのもっとも精度の良いものを見つけるということをする予定です。diffuserの種類自身はこれ以上変えられないので、今あるものでもっとも良いものを調べることになります。

(高遠) 光度だけでなくシーイングにも大きく依存するように思います。

(西海) はい、その通りだと思います。理想的な環境というのは難しいので、さまざまな状況の観測を行い、傾向をみるのがよいと思っています。

(上塚) デフォーカスよりディフューザーが安定する理由は为什么呢？

(西海) ご質問ありがとうございます。

まずデフォーカスは円環状に **PSF** を広げます。もともとの **PSF** が少しでも歪んでいると、それが元で、円環上の非常に偏った場所にピークがきたようなものになります。そのため非常に元の **PSF** の形に依存し、時間変化が激しくなります。

ディフューザーではオンフォーカスの画像を均等に拡散させるので多くのピクセルに光を広げます。ですので、時間変化でシーイング等によりフォーカスの値が変わってしまっても、多くのピクセルでその変化をなまします。そのためオンフォーカスよりも安定します。

(上塚) ありがとうございます。デフォーカスで安定化を図ったのに円環の中で偏りが生まれて動き回るので、実効的に使うピクセルが移動するので安定化の効果が薄い一方で、ディフューザーはそれが無いので良いということですか。納得しました。

(西海) はい、その通りです。ありがとうございます。

(西川) デフォーカスとディフューザーを対等に比較するには、その平均直径を同じに合わせるようにデフォーカスする必要があると思いますが、ややディフューザーが大きかった気がします。

(西海) はい、その通りです。

(西川) デフォーカス後にデフォーカス量がドリフトしていないでしょうか。ぼかし加減が同じなら、同じ露出時間になり、総ホトン数は透過率で決まり、測光精度はほぼ同じになるような気もするのですが、アイソプラナティックアングルがピクセル分解能を超えれば、それ以上ぼかしてもシンチレーションノイズの受け方は改善しないと思いますが、そのぐらいのぼかし方になっていますか。各ピクセルの強度安定性を調べると、ディフューザーではすべての場所で電場が良く混ざって安定になっているか分かるのでは。ディフューザーでの像直径は **OnFocus** 像とディフューザーパターンの畳み込みで、デフォーカスの場合は主に外周の光線の揺らぎで決まると思いますが、さあ、どちらが直径が安定でしょうか。直径が安定な方が **Encircle** 測光直径を小さくとれるので有利になるかもしれません。ピクセル間ギャップとかムラとかは確かに大きくぼかした方がよいと思いました。

(西海) デフォーカスは確かにドリフトしています。というのも **seeing** の変化や温度変化等による鏡の距離変化などで時間変化してしまいます。自動でこれらを調整して同じデフォーカス量（ベストフォーカスからの同じデフォーカス量）にする機能がないので、連続でデフォーカスとディフューザーを交互に撮像する際には最初に指定した絶対値のものになってしまいます。

おっしゃる通りで理論的な **SN** 計算であれば、ほぼ同じになります。トランジット観測では時間変化のノイズが気になっていて、それらは星像が時間変化で偏って **CCD** に載ったり、望遠鏡のガイドの問題で違う感度のピクセルの上を移動していくことなどで、時間的なライトカー

ブの変動が出てしまいます。それらを見るために絶対的なフォトン数ではなく、相対測光したライトカーブの変動の大きさが改善されたかをみたというのが今回の結果になります。直径の安定性を見たものが FWHM の結果となります。これで答えになっていますでしょうか。

ご質問ありがとうございました。

(西川) シンチレーションノイズという言葉から、大気揺らぎによるシンチレーションがそのままか本来より大きく出ることをイメージしたのですが、各時刻に望遠鏡開口に入るエネルギーは焦点面でも保存されていて積分時間を延ばす以外に手のつけようはなく、感度分布が非一様な検出器上で強度分布が変わったり動くことが新たな「シンチレーション」を引き起こしていて、その解決策は、トップハット型（裾野は滑らかな方が良くかもしれない）のディフューザーで広い面積を照射するのが最適である、ということになりますか。ピクセル間ギャップムラとかピクセル内感度ムラは補正出来ないとしても、ピクセル感度ムラ（フラット）補正を行っていないのですか。

(西海)

はい、そのとおりです。ピクセル間の感度ムラは通常の観測と同じようにフラット補正を行っております。しかし、フラットの補正では完全に感度ムラを取り除けていないというのが現状です。系外惑星のトランジット測光観測を行っている他のところでも取り切れていないのが現状のようです。

16:20 深宇宙探査機に搭載予定の宇宙背景放射観測装置の開発 橋本遼(関西学院大学)

(秋山) 実際に測定された形状の情報を入れて、光学設計の評価をするようなことは可能でしょうか？

(橋本)測定された像を入れて、逆方向シミュレーションを行って光学設計を評価するのは難しいと考えます。

3枚とも自由曲面のミラーによる設計のため、試作機のどこに光学設計からのズレがあるかを知るのは難しいと思います。

できることとしては、できたミラーの測定データをシミュレーションに反映し、測定と比較することはできると思います。

そのほかには主鏡の半分を隠して得られる像をシミュレーションと比較し像の対称性からアライメントにティルトの狂いがあるかなどを知ることはできると思います。

(秋山)測定データの形状をシミュレーションに反映させることを想定していました。了解です。

(上塚) 星マスクからはみ出てしまうところの (エンサークルされない方の) エネルギーが背景放射観測に影響しないかどうかというのも、点源撮像実験結果の評価のしどころかと思ったのですがいかがでしょうか。

(橋本) 設計では点光源が 3pix に 100% のエネルギーが収まるように設計しました。実際にはそれよりもエネルギーが滲みでているため、どの範囲までマスクするかというのは、星のカタログによる明るさレベルと背景放射の明るさ比から決定することになります。したがって点源撮像実験において重要なことは、各々の視野においてどのような PSF を持つかを知ることにあると考えています。

(上塚) 確かに影響は相手の明るさにもよりますね。だとすると PSF の裾野の方まで素性を抑える実験が重要な気がしました。ありがとうございます。

16:40 テラヘルツ光子計数型検出器のための 0.8 K 小型吸着式冷凍器の開発 丹羽綾子 (筑波大学)

(坂野井) コンプレッサー型の冷凍機よりもコンパクトにできるということが特徴でしょうか？もしくは低電力など特長はありますか。また、衛星搭載に応用可能でしょうか？

(丹羽) 吸着式冷凍器本体の運用には 1 W 程度の電源があればよいので、低電力と言えるかもしれません。干渉計は南極での運用も視野に入れているので、消費電力の高い機械式冷凍機に頼らない本冷凍器を開発しました。無重力状態で液相・気相・超流動相のヘリウムがどう振る舞うかにもよると思いますが、重力によって液だまりに液体ヘリウムをためる今の構造に工夫が必要だと思います。

(秋山) 今回開発された冷凍器は他の物と比べてどの様な特徴があるのでしょうか？(口頭で質問した内容を記録しておきます。)

(丹羽) 吸着式冷凍器の開発はあまり数が多いのですが、例えば Lau+2006 との比較では全長が 4 分の 1 サイズでより優れた冷却能力になっています。この他に、ヘリウム 3 を使用しないことや操作が簡単なことが特徴として挙げられます。

(高遠) 活性炭のポットの形は何故あの形 (球っぽい) などでしょうか？

(丹羽) 常温で He4 を 100 気圧封入するため、肉厚を増やさず耐圧を高めるために球面形状にしています。

16:50 可視 3 色同時広視野カメラの開発 円尾芽衣(京都大学)

(坂野井) レンズはすべて球面でしょうか？ あと、もしわかれば、望遠鏡の収差とカメラの収差の区別はどのようにすれば区別できるか教えてください。評価アライメント評価方法参考になりました。ありがとうございます。

(円尾) ご質問ありがとうございます。はい、レンズは全て球面です。望遠鏡の収差と装置の収差を区別するために、装置自体の評価実験を室内で実験しております。

(菅井) バレルの中身の組み立て方・安定性（・再現性）はどうでしょうか？（例えば、動かないようにいったん固定したつもりでも、少し衝撃（や温度変化）のあった際にカタっとなってずれたところでまた止まってしまうような可能性が心配です）→回答あり

17:00 せいめい望遠鏡可視 3 色同時 CMOS カメラ TriCCS の絶対時刻精度の評価 西野耀平(東京大学)

(坂野井) 質疑で理解できました。ありがとうございます。

17:10 GPU を利用した高速画像一次処理パイプライン 庭野聖史(東京工業大学)

(西海)

・発表ありがとうございました。自分も **cupy** を使っています。画像一画像間のずれを計算する際にはどういうアルゴリズムを使っていますか。

・近年は多コアな **CPU** も増えてきていると思いますが、**MPI** などでも並列化するよりも **GPU** の方が高速なのでしょうか。

・3色カメラは **1K*1K** ですか。

(庭野)

・画像-画像の比較ですが、この研究に限っては同じアルゴリズムを使っていて原理的には全く同じ画像ができて然るべきだったので、単純に差分をとりました。異なる補間アルゴリズムを使っていたときは星を測光してカウントを比較していたりしました。

・**CPU** ベースのマルチプロセッシングはちゃんと検証していませんが、計算時間に限って見ると **GPU** は **CPU** のシングルスレッドの **10~100** 倍のオーダーで速いので、オーバーヘッド込でも **GPU** の方が速いと思います。(論文でちょっと扱っています。:

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020PASJ..tmp..249N/abstract>)

・**1024*1024** の **CCD** カメラを **3** 台使用しています。

(西海)

なるほど、ありがとうございます。

・画像のズレの検出についてですが、すみません質問がよくなかったです。新しいパイプラインと古いパイプラインとの比較ということではなく、どちらも同じとおっしゃっ

ているアルゴリズム自体がどのようなものを用いられているかをお聞きしたいです。よろしく願いいたします。

(庭野)

・画像の位置合わせのプロセスで画像を小数ピクセルずらす際に必要なピクセル間の補間に、3次スプライン補間(bicubic-spline とも)を使用しています。

17:20 TAO/MIMIZUKU に向けた冷却チョッパーの開発 道藤翼(東京大学)

(坂野井) ハードウェアリミットにぶつかると、びょーんと振動していますが、その継続時間が1sくらいあったようです。2Hzでチョッピングするのは難しそうに見えましたが、解決策はありますか？興味深い内容と、わかりやすく工夫された発表ありがとうございます。

(道藤)

質問ありがとうございます。実際にあの様な挙動で動かすというわけではなく、実際 Closed Loop で試験をしてみると静定時間が60ms程度でほぼ要求通りという感じなので、周波数に関しては大丈夫という認識です。紛らわしくてすみません。

(秋山) 冷却したときのうまくフィッティング出来なかった結果を見ると、ステップしたときの振動がずっとダンピングせずに継続しているように見えますが、より長い時間の結果をフィットするとうまくフィットできるということはないのでしょうか？

(道藤)

ご指摘・アドバイスありがとうございます。フィッティングに関しては自分たちも試行錯誤したのですが、後ろ側を長く含めてもあまり改善することはありませんでした。

(浦口) 鏡と呼ばれている部分が実際に動いた角度とセンサが検出している角度は常温と低温で一致しているのでしょうか。低温での高精度位置検出には大変興味があります。

(道藤)

質問ありがとうございます。今はチョッパー土台に取り付けられたギャップセンサを完全に信用している形になりますが、このセンサが嘘をついてないか検証する実験も実施予定です(デュワー外部からレーザー変位計を用います)。

(高遠) 運動方程式に速度に比例した抵抗が入っていますが、どんな事を想定しているのでしょうか？

(道藤)

質問ありがとうございます。空気抵抗的なものを想像していたのですが、真空にしても変化がみられなかったためそのようなものではなく、かといって無視できるような小さな項ではないので、正体はわからないが確かに存在している、という状況です。

(木野)電圧を入力値としていますがチョッパに働く力は電流に比例します。実際にコイルに流れている電流は測定されているのでしょうか？

(道藤)

ご質問ありがとうございます。何度か試験の一環で測ったことはありますが、電流を用いて積極的に制御することはしておりません。

(早野) いわゆるステップ応答を測定してから、モデルの微分方程式の係数をフィッティングしたいということだと思います。ステップ応答の **S/N** 比が悪そうですが、何度も計測して平均をとることで **S/N** を改善できないもののでしょうか。

(道藤)

ご指摘・アドバイスありがとうございます。回数を重ねることによる **S/N** の改善は考慮していませんでした。可能であればまた実施してみたいと思います。ありがとうございます。

17:30 これまで実施した **AGB** 星に関する研究紹介と **MIMIZUKU** を用いた今後の展望、及び開発計画 橘健吾(東京大学)

(秋山) 橘君頑張ってますね、検出器周りの開発楽しみにしています。

(橘) ありがとうございます！精進致します。

17:40 高感度近赤外線高分散分光器 **WINERED** : 分光スペクトル像にみられるゴースト光の対策 竹内智美(京都産業大学)

(菅井)ゴーストはやっかいですが回避が大切ですね。今回紹介されたゴーストはきちんと把握されはす方法があるようですが、このための変更による他のゴーストへの影響は大丈夫でしょうか？ー>回答あり。