

TMT観測装置提案

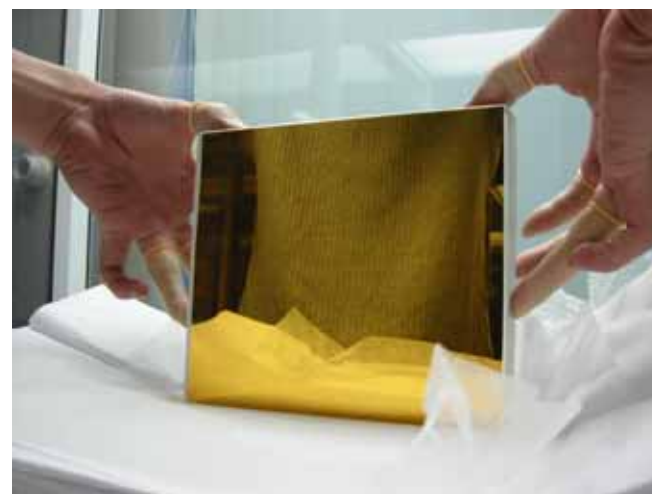
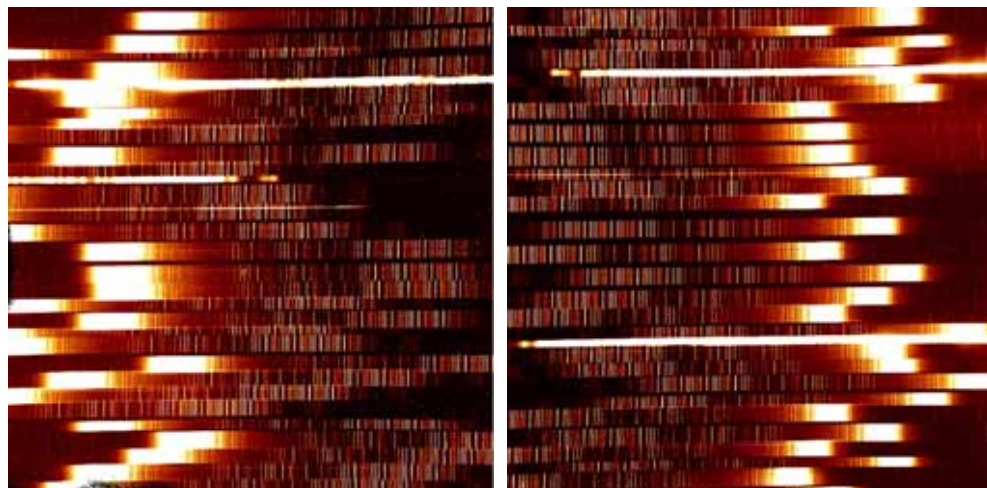
NIR Wide-Field Imager and Multi-Object Spectrograph for TMT 近赤外広視野撮像多天体分光装置

東谷千比呂 (ハワイ観測所)
大内正己 (STScI)

概念

Subaru/MOIRCSのTMT版という位置づけで、MOIRCSで培った技術と人材を最大限活用できるようにする。また、TMTに対しこれまでに提案されていないような日本独自の装置を作る。

MOIRCSとは



**8m級望遠鏡の赤外カメラでは
最も視野が広く、また唯一の
多天体分光器（共同利用装置）**

目標

TMT用 近赤外撮像・分光サーベイ装置

- ・ 撮像

- 検出器数を他のTMT装置の10倍程度に増やすことで、効率が一桁高い広視野撮像を実現
- AOを用い、JWSTより高い空間分解能での撮像探査を実現
- 他のTMT装置やJWST/NIRCamと比べ、点源で数倍から数百倍のサーベイ効率。広がった天体($\sim 0''.2$)でも同等かそれ以上の効率を維持。

- ・ 分光

- Slit spectroscopy + VPH を採用し高感度分光を実現
- Throughputおよび同時分光天体数を最大化（検出面の広さを活かす）
- 点源に対しては1天体および多天体の中分散近赤外観測において他TMT装置およびJWSTより高い効率の分光を実現
- 点源に対し、世界最高感度の分光を実現。さらに、点源に対する多天体分光では最大の効率（感度 \times 天体数）を達成。（c.f.広がった天体 $\sim >0''.1$ ）

そのほか

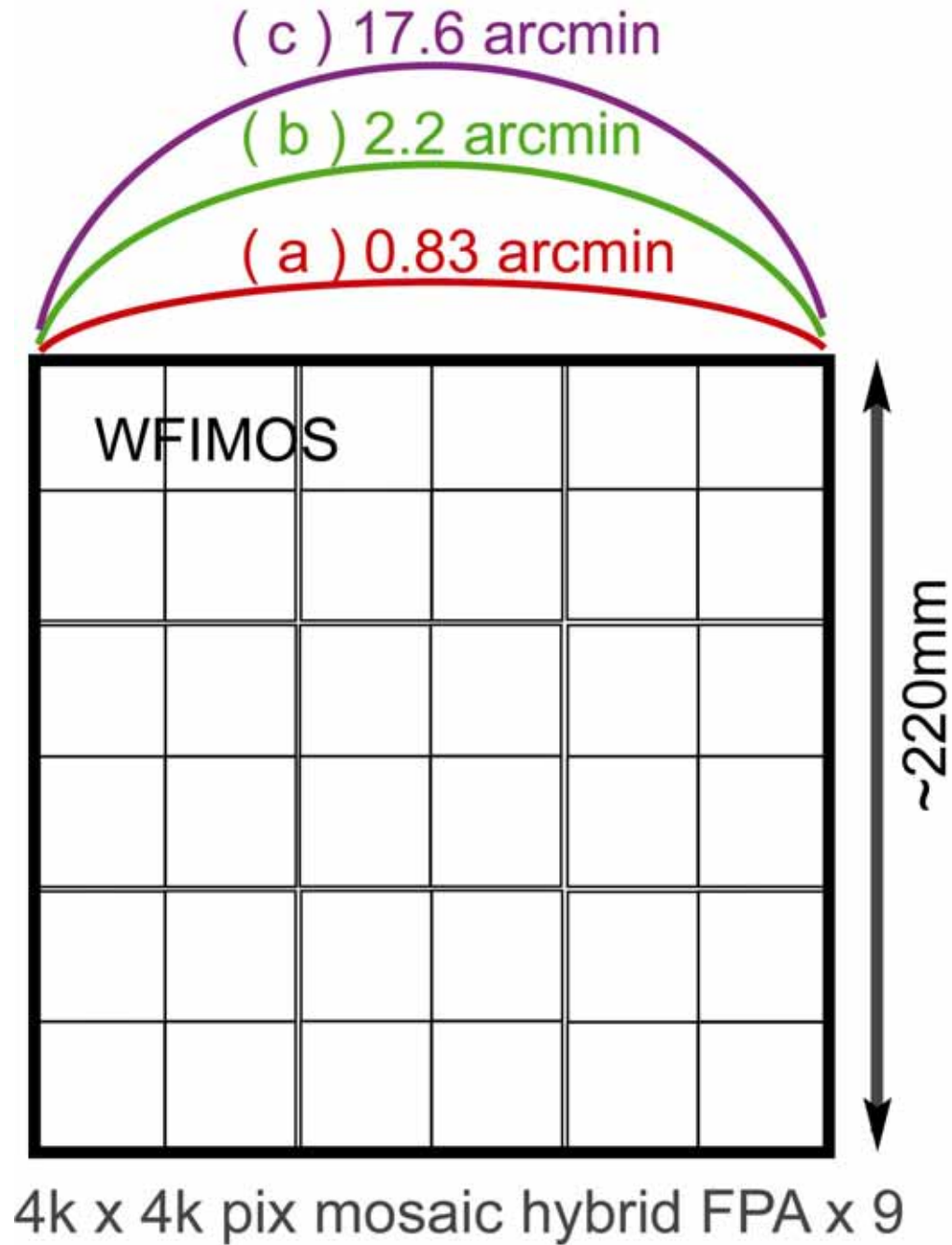
- * AO以外の機能はなるべくシンプルに。
- * 装置立ち上げ期間を短く。
- * 立ち上げ段階において、一部分の機能だけ (long slit modeなど) でも意味のある装置になるようにする。これにより、一部機能に限った first light装置としても使えるようにする。

WFIMOS (仮名)

仕様

モード	スケール	視野	視力
(a) 高空間分解能	4 mas/pix	0.7 arcmin ²	NFIRAOS
(b) 広視野・中空間分解能	11 mas/pix	5 arcmin ²	MCAO
(c) 超広視野撮像	90 mas/pix	310 arcmin ²	GLAO or SL

仕様



サイエンスドライバー

1) 第一世代天体の誕生と宇宙暗黒時代の解明

- 初代天体はいつ現れ、それはどのような姿だったか？ $z=7-18$ の銀河とAGNを広視野・高感度撮像と高感度分光で探る。

2) 銀河形態の発現から現在に至る銀河史の解明

- 現在見られる多様な銀河はいつどのように形成されたか？広視野・高空間分解撮像と多天体分光機能により、 $z\sim 0-4$ における形態発現、化学進化、星形成、質量集積など銀河形成に関する疑問を一毛打尽にする。

3) ダークエネルギーの性質の解明

- 宇宙論最大の疑問であるダークエネルギーとは何か？広視野・高感度撮像と高感度分光により $z\sim 1.5-3$ のSNIaを検出・同定し、 w に制限を加える。

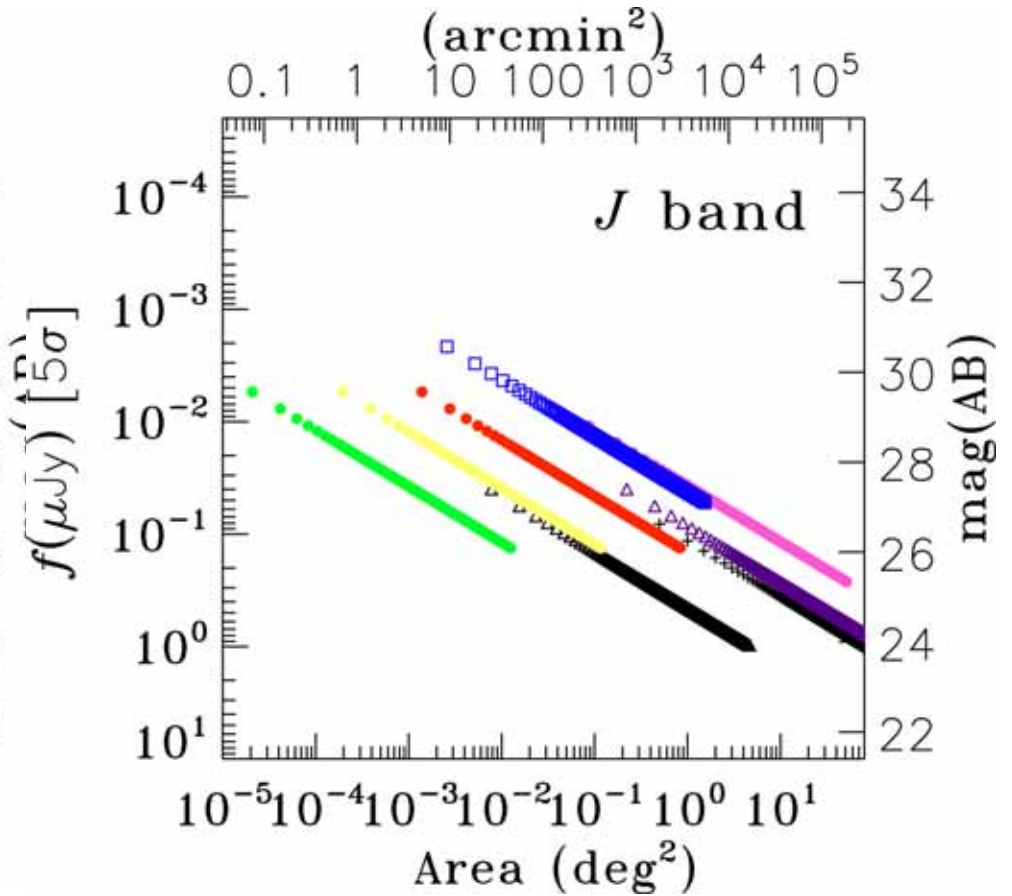
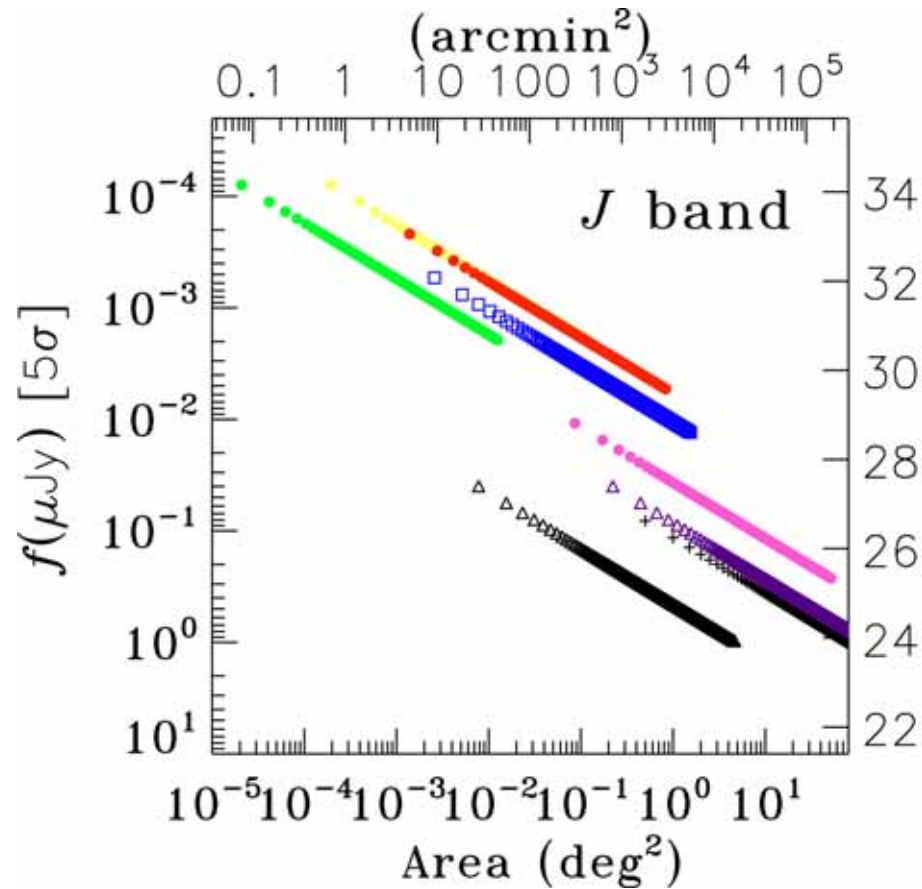
- 主要なもののみ。その他、星形成領域、球状星団、近傍銀河から宇宙論まで多様な研究に有用。→高い汎用性。

限界等級(撮像)

- 黄 ● TMT 0.7 arcmin² w/NFIRAOS (WFIMOS:a)
- 赤 ● TMT 5 arcmin² w/MCAO (WFIMOS:b)
- ピンク ● TMT 310 arcmin² w/o AO (WFIMOS:c)
- 緑 ● TMT 0.075 arcmin² w/NFIRAOS (IRIS)
- 紫 ▲ Subaru 800 arcmin² w/o AO

- 黒 △ Subaru 28 arcmin² (MOIRCS)
- 黒 ◇ Subaru 6400 arcmin² (HyperSuprime; zのみ)
- 黒 × VISTA
- 黒 ☆ Spitzer (Lバンドのみ)
- 青 □ JWST

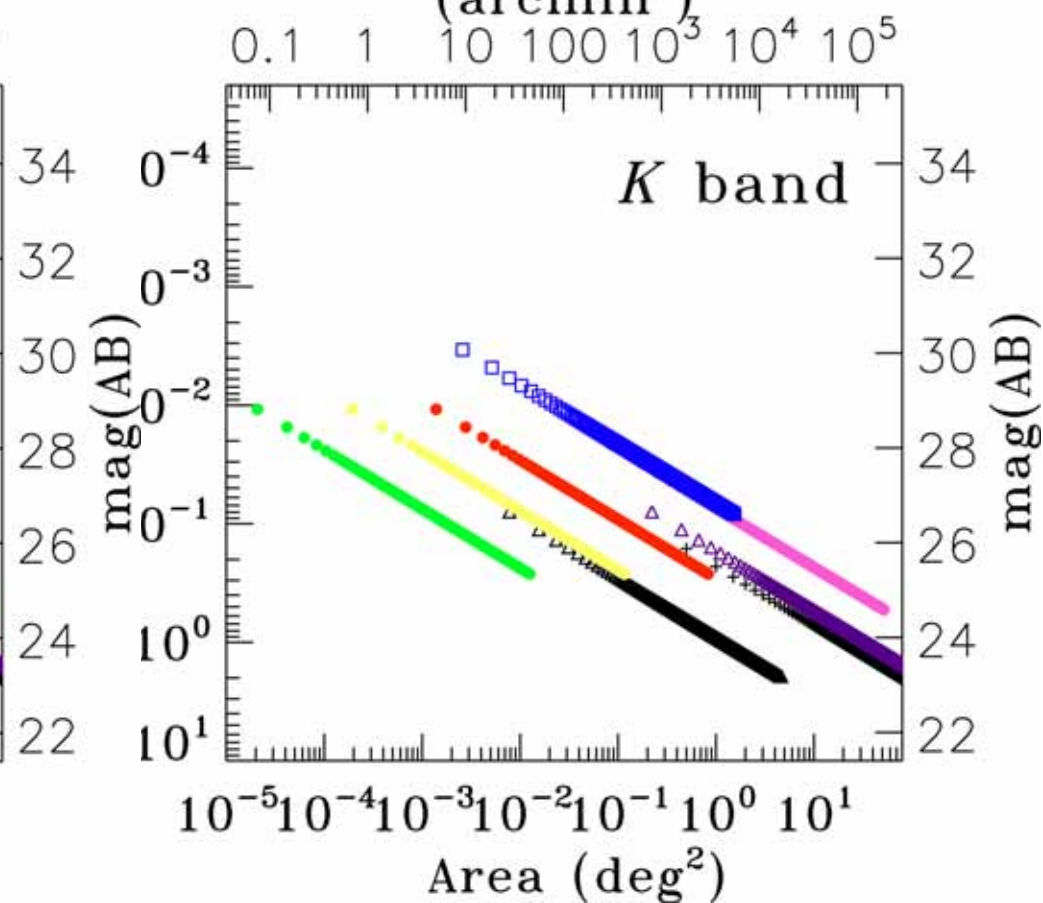
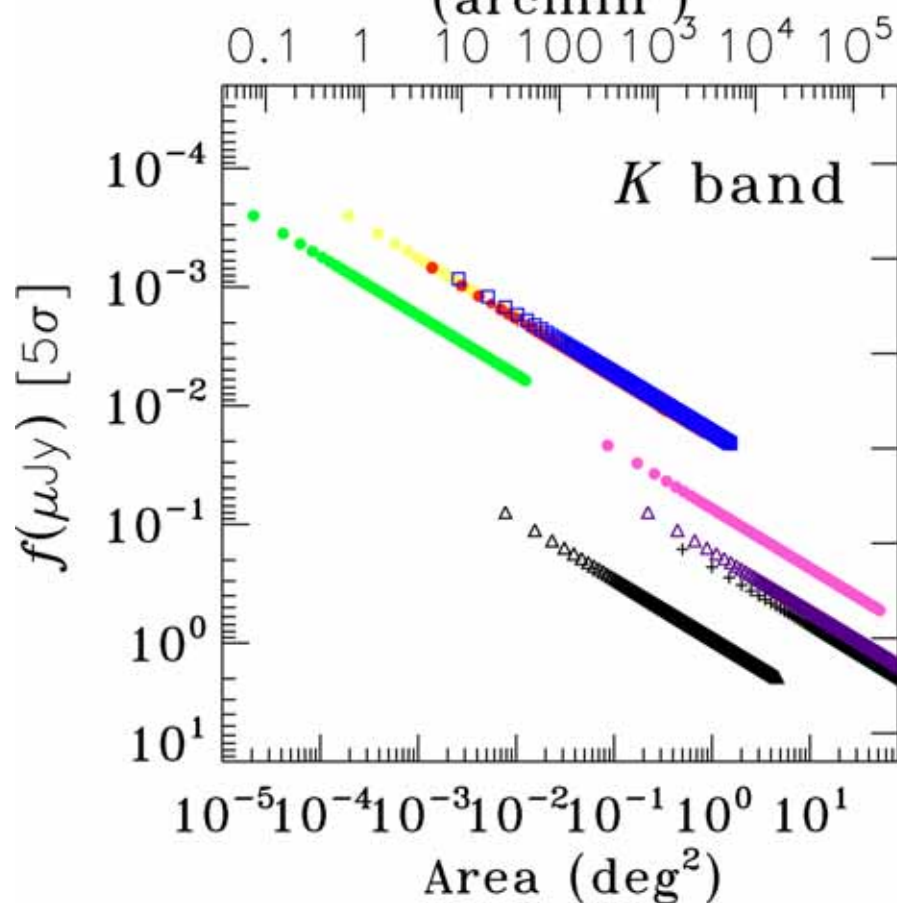
Point Source J-band Extended source



- 黄 ● TMT 0.7 arcmin² w/NFIRAOS (WFIMOS:a)
- 赤 ● TMT 5 arcmin² w/MCAO (WFIMOS:b)
- ピンク ● TMT 310 arcmin² w/o AO (WFIMOS:c)
- 緑 ● TMT 0.075 arcmin² w/NFIRAOS (IRIS)
- 紫 ▲ Subaru 800 arcmin² w/o AO

- 黒 △ Subaru 28 arcmin² (MOIRCS)
- 黒 ◇ Subaru 6400 arcmin² (HyperSuprime; zのみ)
- 黒 × VISTA
- 黒 ☆ Spitzer (Lバンドのみ)
- 青 □ JWST

Point Source *K-band* Extended source



技術的検討と課題

光学系

- MOIRCSの時の光学系にくらべ数倍大きいシステム
 - イメージローテータ(or装置回転)、素子の製作可能性、ミラー系の場合の非球面製造技術、アライメント技術、視野分割？
- 高いthroughputをどう実現するか？
- Aモード(diffraction-limited mode)
 - 空間分解能 $\sim 0''.01$ を実現するためには非常に精度の高い光学系が要求される。高いスキルを持ったオペティシヤンの協力が不可欠。
- Cモード(20分 ϕ 視野)は実現可能か？
 - 直径3mのビームをクライオスタットに導入することは不可能に近い
 - 補正光学系をかます？(Kバンドは捨てる)
- ナスミス焦点での超広視野モードのfeasibilityについての検討はこれから。補正が可能かどうか、光学素子の製作可能性、あくまでオプションなので、実現の目処がたたなければ諦める。

検出器

- **HAWAII2RG (18um pix)**
- **もしくは4096X4096 FPA with 9um pixels。**
 - array状にパッケージされたもの。
 - 装置価格の多くを占める。
 - 納入のタイムスケール。
 - Raytheon等他の企業との競合。

クライオスタットとメカニカル

- クライオスタット
 - 大きい装置。多数の巨大な熱源がある。
 - イメージローテータ。
 - ただし、同様な大型近赤外装置は WIRCAM, VISTA などにもあり、原理的には可能。
 - 冷却技術、遮光・遮熱対策。
 - しかし、Cモードはデュワーの大きさの問題、実際に高い分光効率にするための工夫、などをまず検討して解決する必要がある。

AO

- 最終的にはMCAOが目標。ただし、MCAOが立ち上がる前はNFIRAOSを使わなくてはならない。両者を共存させられるか？
- OIWFS
- AOの専門家が必要

分光モード

- 高効率をどう実現するか
 - 光学設計の工夫、光学素子の材質、遮光（遮熱）対策、、、
- MOSマスク交換方法
 - MOIRCSの手法を応用できるか。
 - なるべくシンプルに。

スケジュール

- TMTのFirst Light 2015年为目标（部分運用可）
 - 30m AO 撮像・分光の一番乗りを目指す
 - 8m望遠鏡の時代では見えなかったものを世界に先駆けて自分たちの装置で検出する
 - 高い科学的価値
- 2015年以降、多天体モード、広視野、超広視野モードを順次立ち上げ、装置をバージョンアップ。
 - 近赤外線サーベイを実現

(c.f. JWST First Light 2013年以降)

これから

- * Feasibilityの検討
- * 仲間募集
- * コメント大歓迎

www.naoj.org/staff/tokoku/tmt/

END

FAQ <撮像編>

Q: 撮像をTMTでやる意義が分からない。TMTの撮像はJWSTに劣るのではないか？

A: TMT/WFIMOSは、JWST/NIRCamと比べて以下の3点に関して優れている。

- (1) point sourceに対する感度が数倍高い
- (2) 空間分解能が2-5倍高い[WFIMOS(a)~0".01, WFIMOS(b)~0".03, vs.. JWST~0".05]。
その上、サンプリングレート(arcsec/pix)も圧倒的に良い[WFIMOS=0".004 or 0".01, JWST=0".03]
- (3) 1平方度を超える広領域サーベイが可能[WFIMOS(c)において。「限界等級の比較」を参照。]。
また>0".2のextended sourceに関しては0.1-1平方度の探査でもJWSTより有利に行える。

このようなTMT/WFIMOSのアドバンテージにより様々な課題に関して有利に研究を進められる。例えば、(1),(2)により、銀河形態の発現($0 < z < 4$)に関する研究は、TMT/WFIMOSが最も有利である。(なお同様の結論は、将来計画検討会でも得られている。)また(3)により、広視野を必要とする系内天体、近傍から中遠方銀河探査($0 < z < 1$)や大規模構造、宇宙論的観測、さらに遠方QSOやSNeなど天球密度の低い天体の探査に用いることも可能である。(+暗い天体のアストロメトリーにも有用。)

さらに、JWSTは5年程度しか寿命が無いため、JWST後に見つかったターゲットのフォローアップや新たな科学的課題に応える観測ができないという点も特筆すべきであろう。

Q: seeing limitの超広視野撮像モード(c)は無意味ではないか？AO無しではJWSTには勝てないのではないか？

A: 超広視野撮像モードの科学的用途はかなり多い。詳しくは上記の回答の(3)に書かれている。
(また超広視野分光のメリットは<分光編>を参照のこと。)

最も重要な点は、広視野(>1deg²)で高感度(26-27mag)の探査を実現できる装置は、現在計画中のものを含めて存在しないということである。WFIMOSのモード(c)は、他の装置では検出できないような天体现象を捉えられるという点でポテンシャルがある。

FAQ <分光編>

Q : なぜ面分光にしないのか？視野が狭い場合、ファイバー面分光の方が効率が良くなるのではないか？

A : スリット分光および面分光を比較してみると

	スリット分光	ファイバー面分光
情報量	1次元空間x波長	2次元空間x波長
感度	高い	低い (fiber throughput x 1/[fiber-filling factor])
同時観測天体数	多い(200-400個)	少ない(~20個)

したがって、スリット分光によって1次元の空間情報を捨てる代わりに、高い感度を実現しつつ同時天体数を桁で増やすことになる。

明るい天体は面分光が向いているが、非常に暗くて検出限界ギリギリの天体には1天体および多天体を問わずスリット分光が向いている。

一方で、狭い視野においての200-400天体もの多天体機能が役に立つかという問題を考えてみる。

まず、空間密度が高い系内天体(銀河中心領域など)をはじめ、近傍銀河の内部構造などに対して有効であることは言うまでもない。さらに、blank fieldの天球密度は、200個/FoV(=5arcmin²)である。

(TMT1時間分光で到達できる>24magの系外天体。ここでextended source~0".2を仮定。)

したがって、1時間かそれ以上の分光を行うのであれば、多天体機能を余すことは無い(特にredshift survey等に向いている)。さらに、超広視野モード(c)を使えば、点源に対する感度は落ちるが天球密度が極めて小さい天体(>1個/100arcmin²)にまで威力を発揮できるだろう。

また、他のTMT装置が面分光に固執するあまり、分光効率(個数x感度)が軒並み低くなっている点は特筆すべきである。高い分光効率によってWFIMOSの独自性を出せる可能性が高い。

ほかの候補装置との比較(撮像)

IRIS@TMT	視野が広い分、9倍のサーベイ効率。
NIRCam@JWST	点源に対してWFIMOSは約60-700倍。一方で、0".15より十分広がった天体に対しては0.3倍。(遠方銀河~0".2の場合はおそらく両者の中間だろう。また、銀河の形態をやる場合には0".1以下の空間分解能が必要なため、WFIMOSの方が有利。)ただし、2.5um以上ではNIRCamの感度が圧倒的に高くWFIMOSでは歯がたたない。
VISTA	点源に対してWFIMOSは約90-200倍。また、1"より十分広がった天体に対しても約10倍。
WIRC@TMT	WFIMOSはWIRCの効率の約3倍

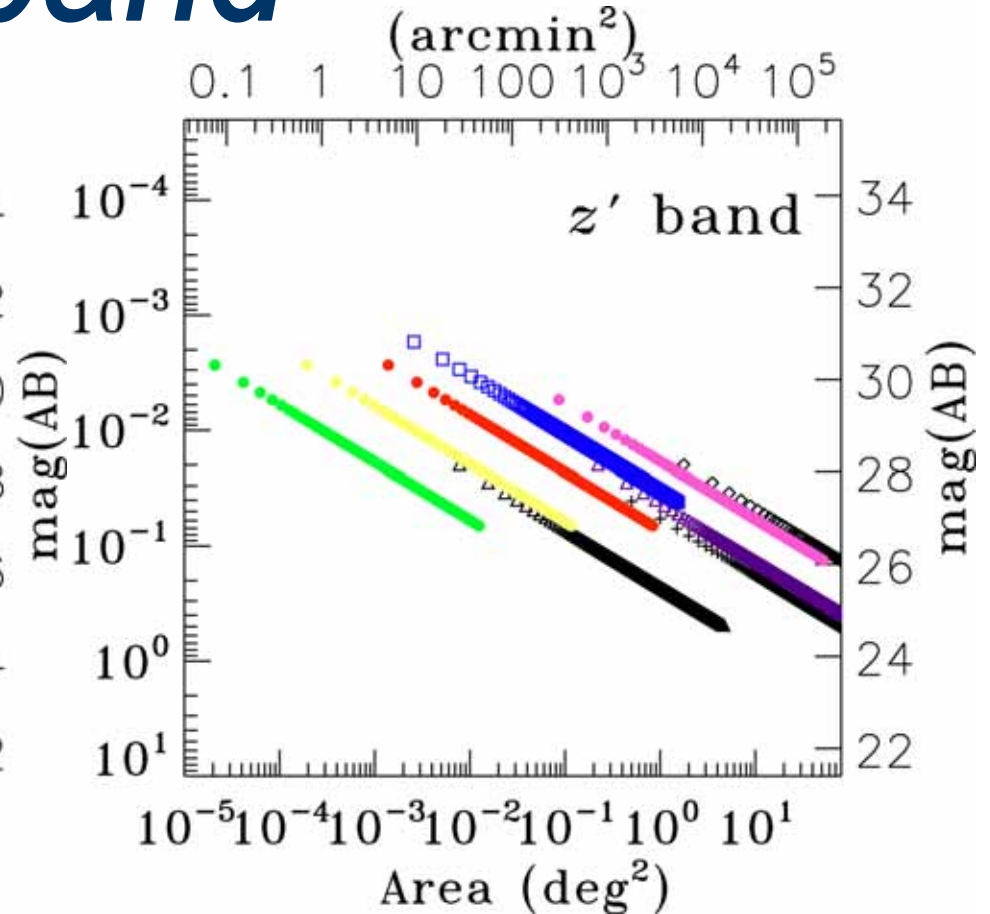
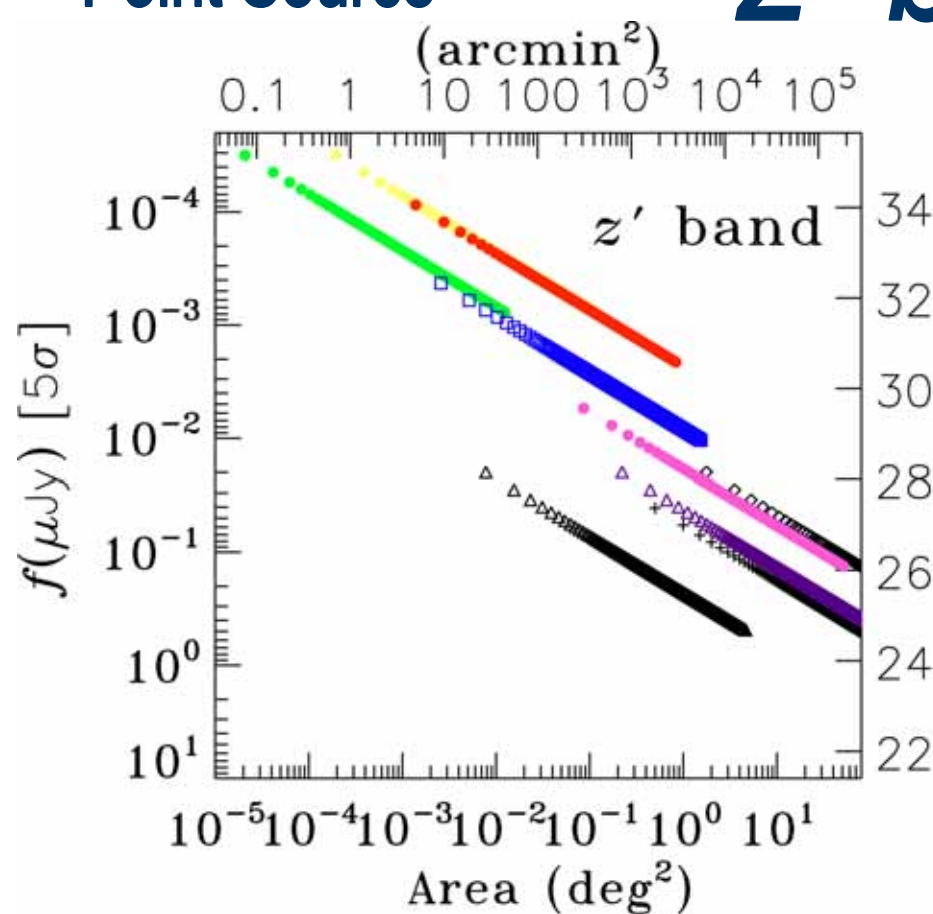
ほかの候補装置との比較(分光)

IRMOS@TMT	<p>WFIMOSは、点源に対して1天体(多天体)モードで$160/f$倍($410/f$倍)の効率。$0''.05$より十分に広がった天体でも1天体(多天体)モードで$1/f$倍($20/f$倍)程度良い。ただし、WFIMOSより波長分解能が高いモードがある。</p> <p>※ここでfはIRMOSのファイバーのスループット(広がった天体ではファイバーのfilling factorも含む)</p>
NIRSpec@JWST	<p>WFIMOSは、点源に対して、1天体(多天体)モードで、90-350倍(200-700倍)効率が良い。一方で、$0''.1$より十分に広がった天体では、1天体(多天体)モードで、0.04-0.06倍(0.08-0.012倍)の効率になってしまう。また、OH skyが強い部分での検出効率は非常に低い。ただし、WFIMOSの波長分解能は1.3倍(4倍)程度良い。</p>
NIRES@TMT	<p>WFIMOSは、点源に対して、1天体(多天体)モードで$1/e$倍($30/e$倍)効率が良い。$0''.03$より十分に広がった天体では、1天体(多天体)モードで$1/e$倍($200/e$倍)効率が良い。ただし、中分散$R\sim 2000-4000$しか必要の無い観測に対して。</p> <p>※ここでeはechelleの効率/VPHの効率</p>

- 黄 ● TMT 0.7 arcmin² w/NFIRAOS (WFIMOS:a)
- 赤 ● TMT 5 arcmin² w/MCAO (WFIMOS:b)
- ピンク ● TMT 310 arcmin² w/o AO (WFIMOS:c)
- 緑 ● TMT 0.075 arcmin² w/NFIRAOS (IRIS)
- 紫 ▲ Subaru 800 arcmin² w/o AO

- 黒 △ Subaru 28 arcmin² (MOIRCS)
- 黒 ◇ Subaru 6400 arcmin² (HyperSuprime; zのみ)
- 黒 × VISTA
- 黒 ☆ Spitzer (Lバンドのみ)
- 青 □ JWST

Point Source z'-band Extended source



- 黄 ● TMT 0.7 arcmin2 w/NFIRAOS (WFIMOS:a)
- 赤 ● TMT 5 arcmin2 w/MCAO (WFIMOS:b)
- ピンク ● TMT 310 arcmin2 w/o AO (WFIMOS:c)
- 緑 ● TMT 0.075 arcmin2 w/NFIRAOS (IRIS)
- 紫 ▲ Subaru 800 arcmin2 w/o AO

- 黒 △ Subaru 28 arcmin2 (MOIRCS)
- 黒 ◇ Subaru 6400 arcmin2 (HyperSuprime; zのみ)
- 黒 × VISTA
- 黒 ☆ Spitzer (Lバンドのみ)
- 青 □ JWST

Point Source *L-band* Extended source

