

TMMTプロジェクトについて

東北大学 板 由房

TMMTプロジェクトは、以下の方々の協力によって続けてこられました

国立天文台：筒井寛典さん、柳澤顕史さん、泉浦秀行さん、田實晃人さん、前原裕之さん
東谷千比呂さん、本原顕太郎さん

東北大学：市川隆先生

研究費協力：津村耕司さん、諸隈智貴さん

サイエンス協力：上塚貴史さん、松永典之さん、中田好一先生

歴代の板研究室所属の学生さん達：

ハードウェア開発担当：花上拓海君、小宮山貴洋君、森田亮介君、幅崎裕太君

ソフトウェア開発担当：小野里宏樹君、花輪美穂さん

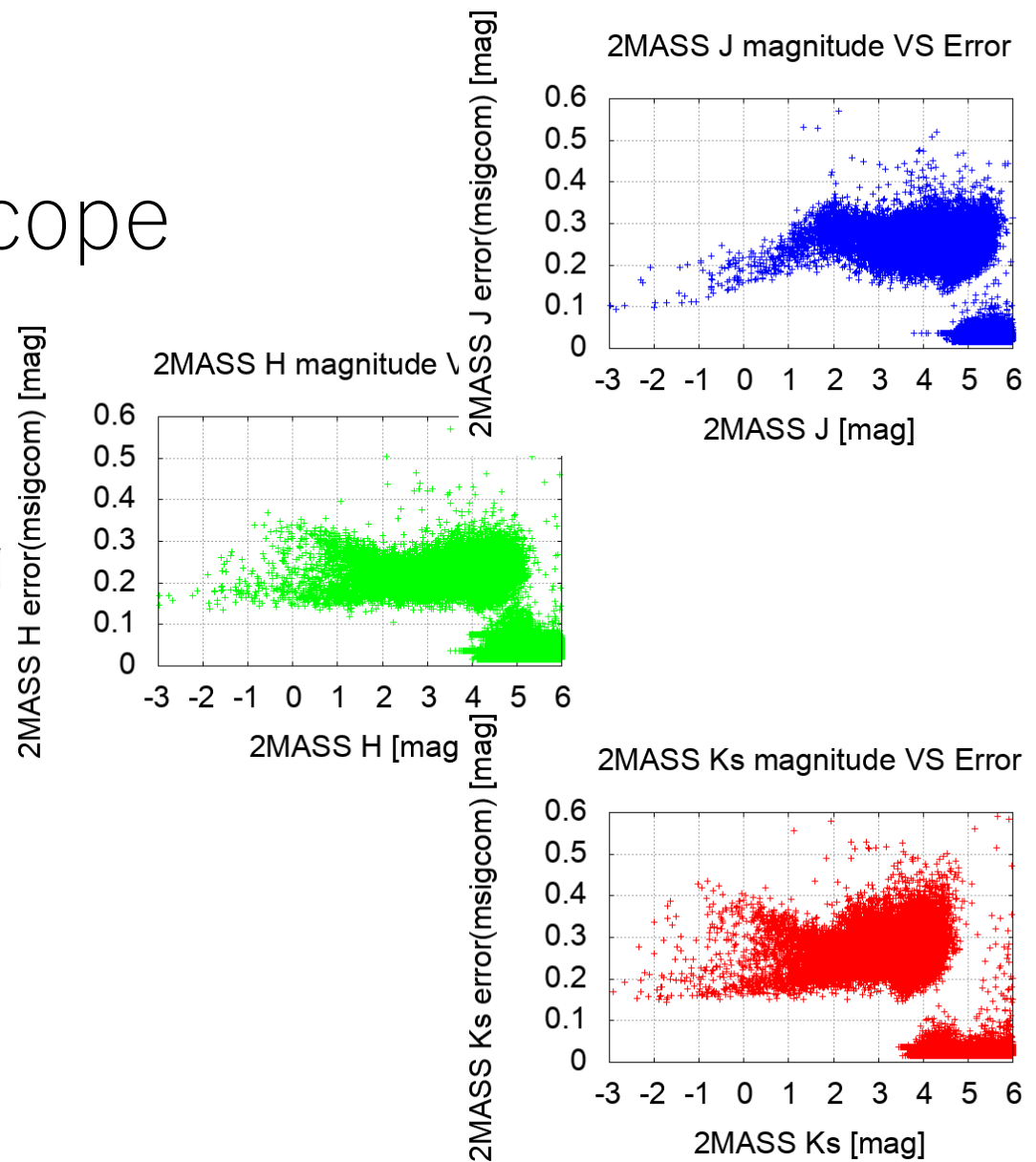
メンテ&観測担当：岩崎仁美さん、岩松篤史君、雨宮竜登君、関野葵さん

~10年前、2013年頃の板の頭の中

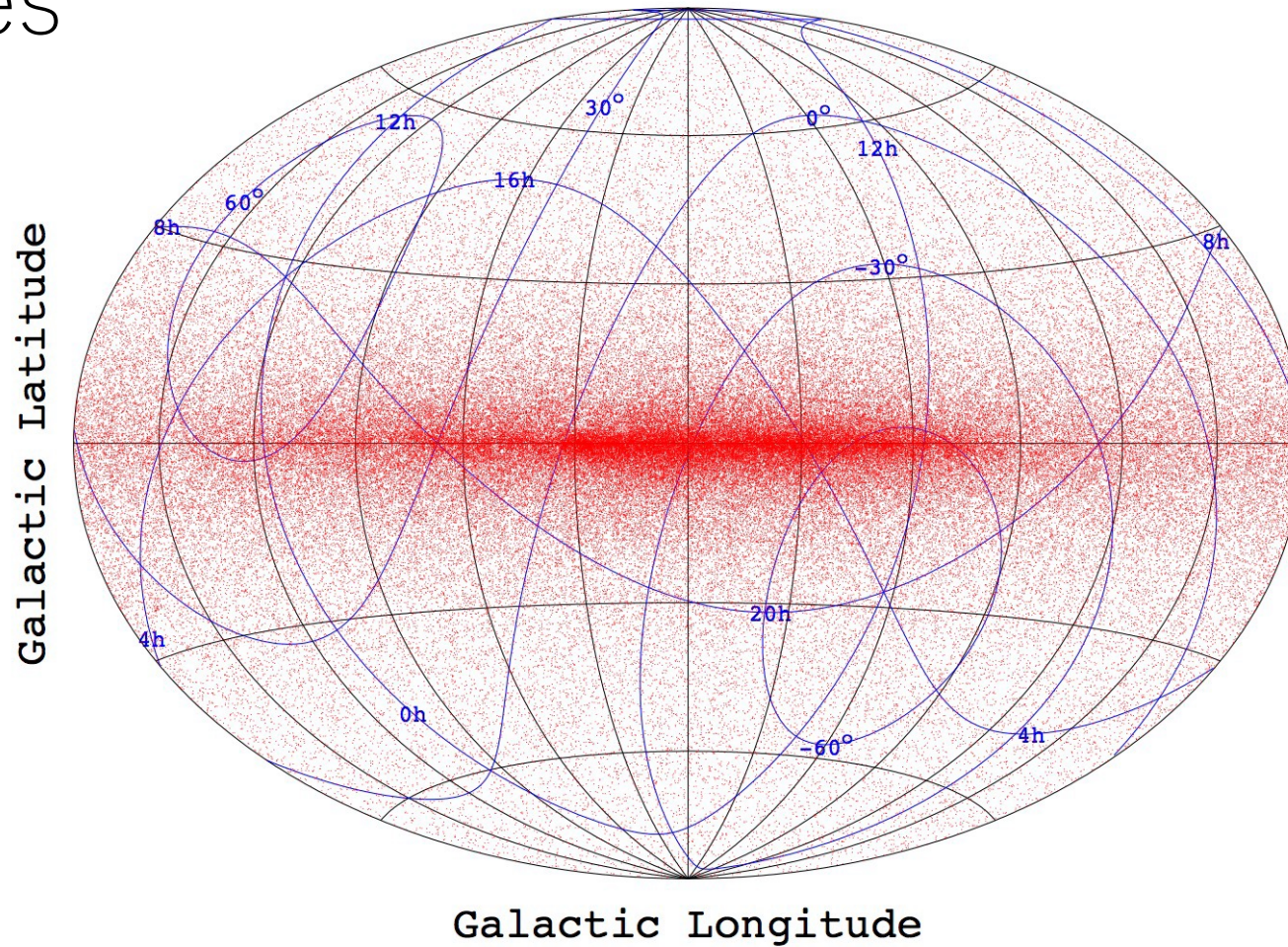
- GAIAのデータが出てきたら、おそらく銀河系内天体の研究が盛んになるよね、Hipparcosの時もそうだったみたいだし。
- 高精度距離データを活かそうと思ったら、その精度にマッチした高精度のデータが必要になるよね。
- 系内天体の詳細な研究が進むかな。それならきっと明るい天体が研究のメインターゲットになるよな。
 - 干渉計で観測できるし、高分散分光もできるし、遠方天体で感度が問題になる観測波長や観測手法でも観測できるもんね。
- 明るい天体の高精度観測データを持っていたらGAIA時代に生き残れるかな。

TMMTプロジェクト Thirty MilliMeter Telescope

- 2014年に本格始動。あれからもう10年も。。(遠い目)
- モチベーション
 - 明るい星の、均質な赤外の高精度測光データが無い
 - TMSSカタログ IとK
 - 北天の限られた領域
 - 2MASSカタログ JHKs
 - もはやデファクトスタンダード
 - 5~6等より明るい星は(短時間積分のデータでも)サチった
 - 裾野にPSFをフィット、サチった部分を予想。



Spatial distribution of 2MASS $K_s < 6.0$ sources



How many bright stars are there?

- Ks < 6 mag -> 189,416 sources
 - breakdown list

Ks [mag]	m ≤ -5	-4 < m ≤ -3	-3 < m ≤ -2	-2 < m ≤ -1	-1 < m ≤ 0	0 < m ≤ 1	1 < m ≤ 2	2 < m ≤ 3	3 < m ≤ 4	4 < m ≤ 5	5 < m ≤ 6	
Number	0	3	5	11	48	1068	555	1948	5346	13900	46751	119781

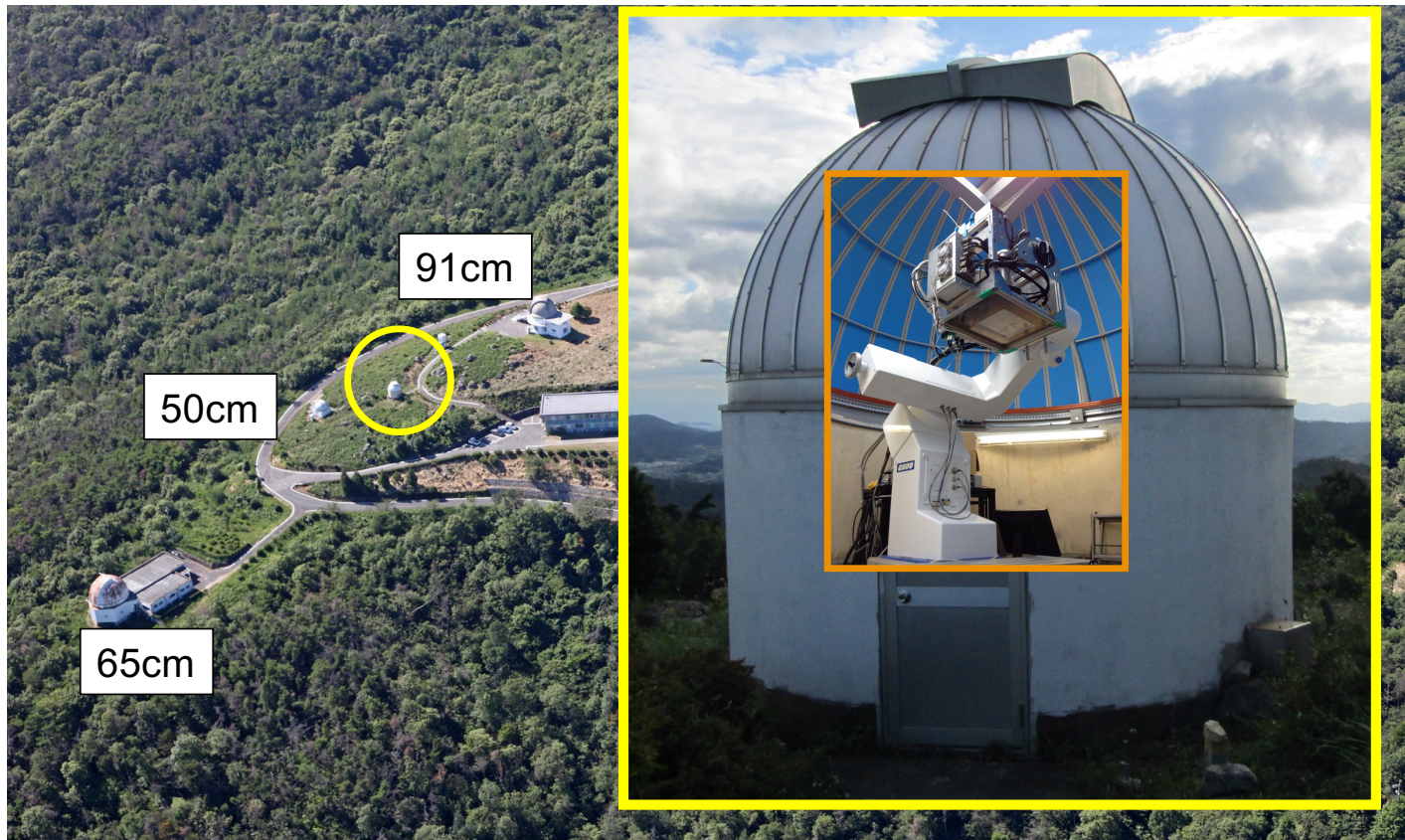
- Can be seen from the northern hemisphere ($\delta > -30^\circ$)
 - > 120,539 sources
 - breakdown list

Ks	m ≤ -5	-4 < m ≤ -3	-3 < m ≤ -2	-2 < m ≤ -1	-1 < m ≤ 0	0 < m ≤ 1	1 < m ≤ 2	2 < m ≤ 3	3 < m ≤ 4	4 < m ≤ 5
----	--------	-------------	-------------	-------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

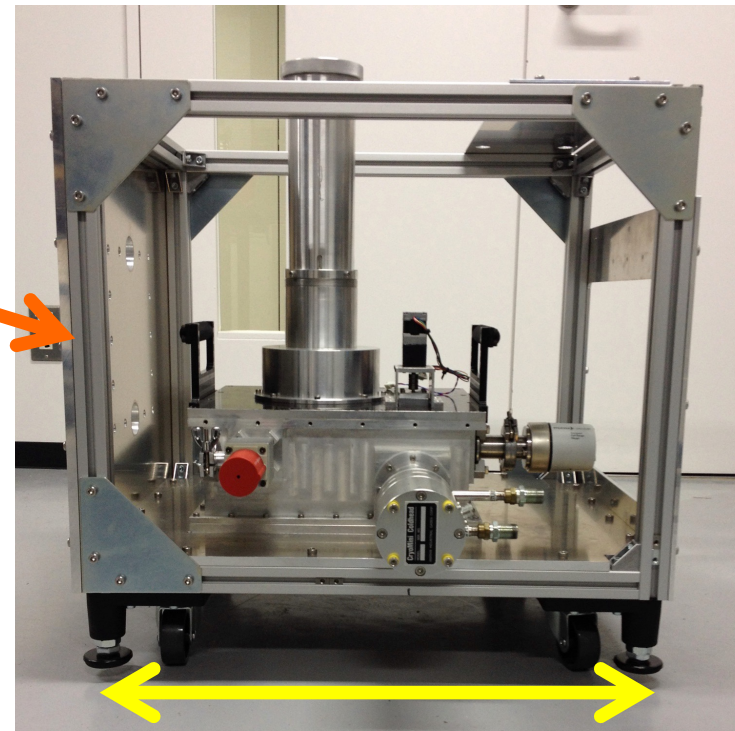
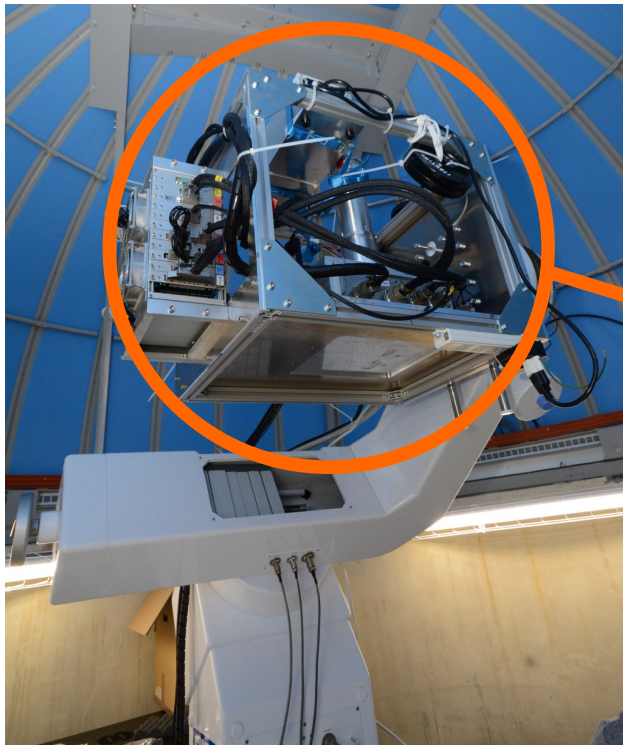
Note: The completeness specification focuses on the faint end of the 2MASS source flux distribution function, where declining sensitivity impacts completeness in a significant way. Implicit in the specification is that 2MASS is virtually 100% complete for brighter objects. This assertion is testable for stars as bright as magnitude 10, based on the figures above. Validating completeness for even brighter objects is a difficult prospect. Positive completeness tests have been made against visual bright star catalogs. Data do not exist to evaluate internal completeness for bright stars in the manner discussed above using the calibration fields. One source of bright star incompleteness involves a blind column in

注：2MASSはKsでざっくり14.5等までCompleteというので有名ですが、明るい星のCompletenessは実は誰も評価できていません ⇒ 実際に6等より明るい星で点源カタログに載ってないのが少なからずある。

Okayama Astrophysical Observatory, NAOJ



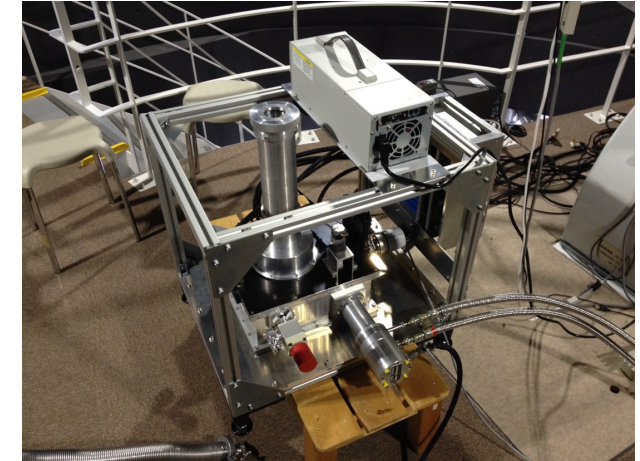
TMMTの外観



60cm

TMMTの諸元

Location	OA0, 4m dome
Aperture	30mm
Filters	J, H, and Ks
Focal Length	~500 mm
Saturation/Detection Limits	~1/7 [mag] @ Ks, 70sec (7secx10 dither), 10 σ
Detector	Virgo-2K 2K x 2K engineering grade, 20um/pix
Pixel scale	8.7 arcsec/pix
Field of view	5 deg x 5 deg



Camera



OAO 4m Dome

1つの研究室が赤外望遠鏡を持つ意味

注意：一つの研究室「で」持てているわけではありません。様々な方々のご協力があってなんとか1つの研究室「が」持っています。

- **サイエンスドライブ**

- **装置設計**

- 光学設計ソフト、CADソフト、板からの無茶振り

- **装置開発**

- はんだ付け、透過率測定、真空引き & 冷却、各種実験の段取りと報告書の作成、性能評価

- **ソフトウェア開発**

- 装置制御、ログ取りとDB化、ブラウザでリアルタイム表示
- 遠隔制御、自動観測
- データ解析

- **観測 & メンテ**

- 観測マニュアル作成、トラブルシューティング
- 観測計画の立案と実行

- etc..

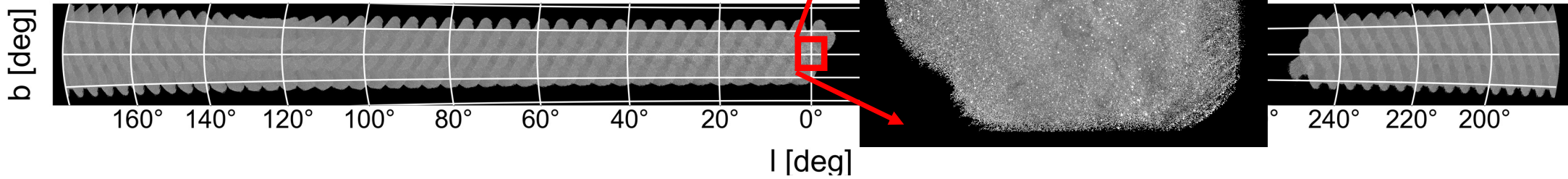
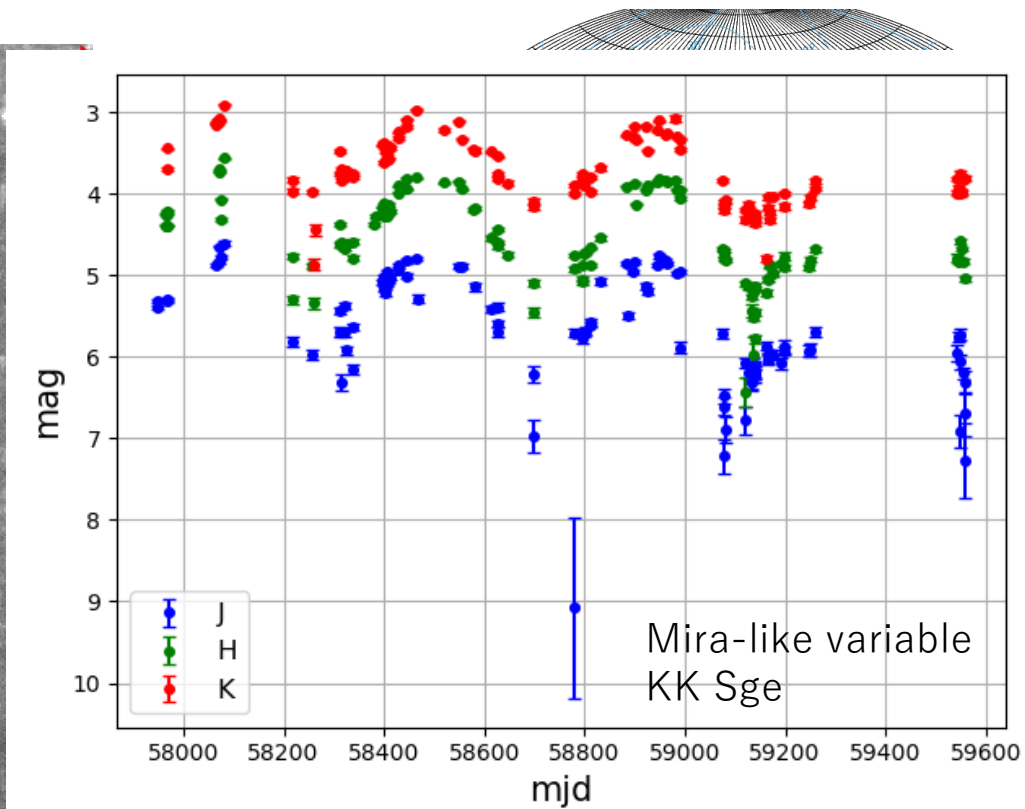
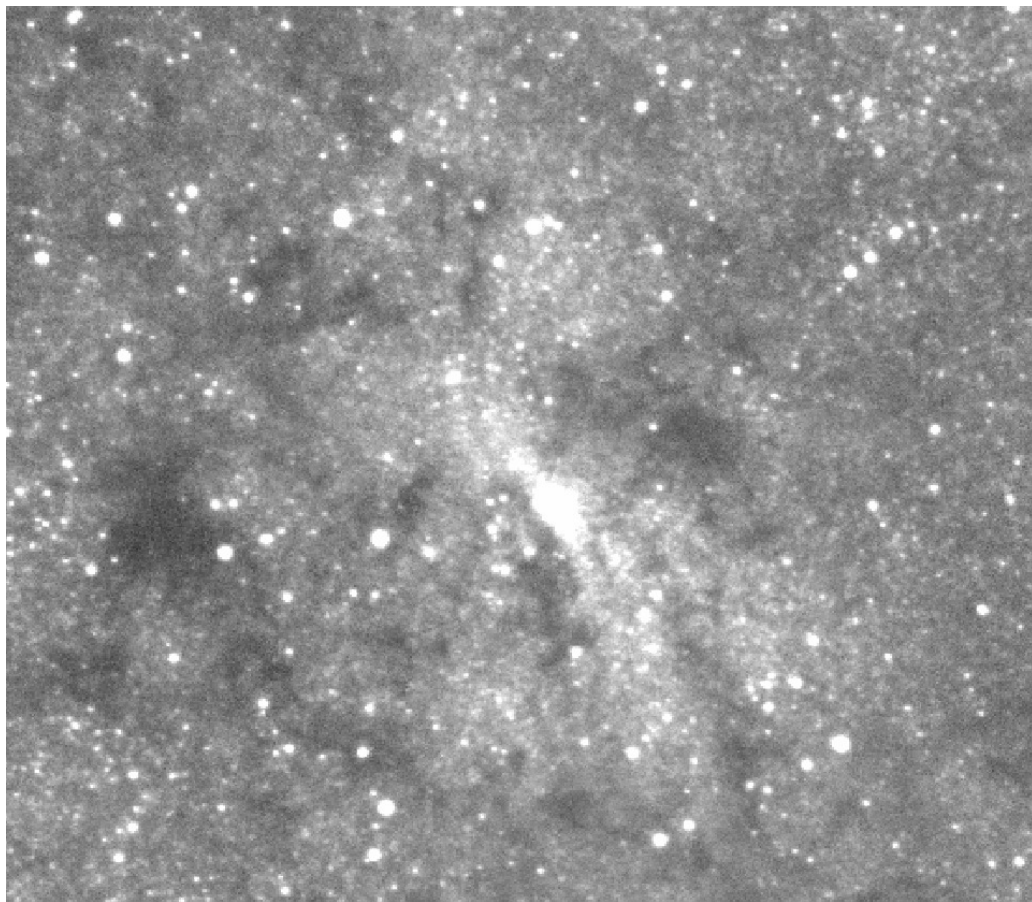
大望遠鏡はオペレーターさん任せ。
こういう、ハンズオン望遠鏡を企画して運用する事は、教育効果が非常に高いのではないかと思います。
大学間連携の仕組みは、学生さんの教育を狙っているのだと理解しています。
板研の学生さん達には是非D進して研究職に就き、さっさと僕より偉くなって欲しかったのですが、、、

それなりに苦労はあります。 愚痴っぽくなりますが。。。。

- 口径30mではなく口径30mmと言ったものの、、、
 - **開発費** 口径比通りに行けば1/1000かそれ以下なのかな？ それでも数百万円かかった。
数千万円する赤外検出器が手に入る機会は無かったにない。普通はそういうのって大望遠鏡につけるし。。。
市川先生の手元にVIRGO-EGがあった&国立天文台にHAWAII2を無償譲渡して頂いた、の2本連続ホームランは確かにラッキーかも。
 - **維持費** ざっくり>50万円/年
 - 施設使用料&電気代、冷凍機のメンテナンス代
 - 仙台から岡山へメンテナンスに行く旅費滞在費
 - **消耗品費** 10年でざっくり>100万円、>10万円/年
 - データ生成率 ~8Gb/快晴夜 (冬至と夏至あたりの平均)、このデータをコピーして保存&蓄積
 - 10年間に計算機が>4台、texio電源が1台壊れた。エアコン代をケチったせいだと思われる。
- 人的リソースの確保が中々難しい
 - 人は歳をとる。関わる研究者の所属、立場が変化し、興味も時間変化する。
 - 板研に入ってくる大学院生さんの興味
 - 絶対にTMMT関連をやれ、とは言えない。
 - D進率が低い (板研に限った話ではないのかもしれませんが)
 - (40代以上限定で刺さるか?) ファミコン版ドラクエIIIでいうと「ぼうけんの書」が消えて泣いたあの日の記憶
 - 毎回振り出しに戻って学生さんを育てる

2024年9月開始で向こう6年間の科研費を頂けたので2029年度末までは維持費や消耗品費が賄えます。

折角稀有な経験を積んだ優秀な学生さんが就職してしまう。



TMMTの守備範囲 意外と行ける

Star Type	Abs. Mag @K-band [mag]	Apparent Mag (assuming $A_k/A_v=0.1$, $A_v=1\text{mag/kpc}$)		
		100 pc $A_k=0.01$	1 kpc $A_k=0.1$	5 kpc $A_k=0.5$
Mira (P ~ 300 day)	~ -7.5	-2.5	2.6	6.5
Classical Cepheid (P ~ 5 day)	~ -4.5	-0.5	5.6	9.5
RR Lyr (P ~ 0.5 day)	~ 1.2	6.2	11.3	15.2
Red Clump	~ -1.6	3.4	8.5	12.4

変光星の研究だけなの？という方に。 back of the envelope calculation

- 太陽のKバンドでの絶対等級は ~ 3.3 等
- AGB星のKバンドでの絶対等級は ~ -7.5 等、太陽と ~ 10 等差で、太陽の ~ 1 万倍明るい。
- AGB星である期間 τ AGBは1太陽質量の星で ~ 100 万年
- 1太陽質量の星の寿命 τ lifeは ~ 100 億年
- 存在比 = τ life : τ AGB = 100億 : 100万 = 10000 : 1
- AGB星の存在比は小さいが、銀河のKバンドの明るさへの寄与は、AGB星1個と主系列星1万個が同じ。

例：遠方銀河の質量を決める時に使う、M/L関係。
銀河の L_K へのAGB星の寄与は真面目に考慮できてないはず。
AGB星の到達光度のM, Fe/H依存性 \rightarrow 実は誰も知らない

TMMTプロジェクト 世界進出決定！

- Araucaria Project

- 欧州、米国、チリの研究者が参加
- Hubble Tensionの解決が最終目標
- 局所宇宙の距離指標の較正を続けてきている

- 2023年春にAPのプロマネ、Grzegorz Pietrzynski氏から突然、板にメールが来る

- (なぜエセ関西弁かはさておき、実話ベースで以下のような感じでトントン拍子に話が進んだ)
- グ：お前が書いたTMMTの装置論文を読んだぞ。おもしろいことやとるやんけ。お前のTMMTみたいな赤外カメラ作りたいんやけど、協力してくれへん？
- 板：ちょっと前に国立天文台にHAWAII2検出器をもらえたんだ。今、それを使ってTMMTの後継機を作ってるところだよ。SGだからTMMTに比べて多分ノイズ性能良くなるよ。2023年度中に完成予定なんだよ。将来南半球の国に置けたらいいなって思ったところだったんだよね。チラッ。
- グ：えっ！マジで？それめっちゃええやん！そんならTMMT2専用のドームをチリにある俺達の天文台内に作ったる、赤道儀もこうたる、電気代も出したるから、TMMT2をチリにもってこいや！そんで長期で共同研究しようぜ。
 - # その後グレッグと僕との間でLOIを交わし、グレッグはサクッとポーランドの国内グラントに応募、2023年12月に採択された。
- 板：あんたは神か！じゃあ、僕もチリに持っていけるようにグラントに応募してみるよ、採択されたらいいんだけどなあ。。。
 - # チリへの望遠鏡輸送費、渡航滞在費獲得を目的に、板も国際共同研究加速基金(海外連携研究)に応募、2024年9月に採択された。
- 板：グレッグ、やったぜ、応募してた科研費が採択されたよ！
- グ：おめでとさん。ほんなら、2025年12月にドームが完成して赤道儀も納品される予定やから、それに間に合うようにTMMT2もってこいや！

岡山(TMMT North Station)とチリ(TMMT2 South Station)を同時運用して全天をカバーして研究することに。



NEWS IN THE TEAM OCTOBER 18, 2023

The winners of the Polish-French Science Award 2023

Grzegorz Pietrzyński and Pierre Kervella have been awarded a prestigious Marie Skłodowska-Curie and Pierre Curie Polish-French Science Award.

チリのどこ？



Future Telescopes [\[edit\]](#)

A new 2.5-m telescope is under construction at ASA, while its foundations and the telescope pillar have already been erected at OCM. Subsequent construction phases are expected in 2024-2026.

There are also plans to build the Thirty Millimetre Telescope (TMMT), which will be the smallest telescope in the world, equipped with a professional infrared camera. Its purpose will be to observe the brightest stars in the sky, which are saturated by larger telescopes.

Cerro Murphy Observatory (OCM)
のWikiに既にTMMTのことが書いてある。

ELTの隣にthe smallest telescope in the world
があるのは粋じゃないかと思うんですが。

それで、Hubble Tensionと TMMT/TMMT2とに、どういう関係が？

MilkyWay中の

- 明るいセファイド変光星 と Detached Eclipsing Binary (DEB)

これらの恒星標準光源について

- 赤外の周期光度関係
- 表面輝度-color(e.g., V-K)関係

#この方法でLMCの距離を1%の精度で決めたのがAPプロマネのグレッグで、Nature論文になっている。

を較正するため、できるだけ高精度な赤外の測光データが欲しい。

→宇宙距離梯子の基礎部分が強固に。

DEBの表面輝度-color関係を使った距離決定法は、干渉計で主星のangular diameterを決められるくらい近傍、つまり、明るいDEBの色の決定精度が重要。

AP計画がこれまで干渉計で観測してきた明るいDEBの高精度赤外測光データを得られるのは、実はTMMT/TMMT2のみである(#永山さんのLocal Attenuation Filterを使う場合を除いて)、というところにグレッグが目をつけ、板にお声がかかった。

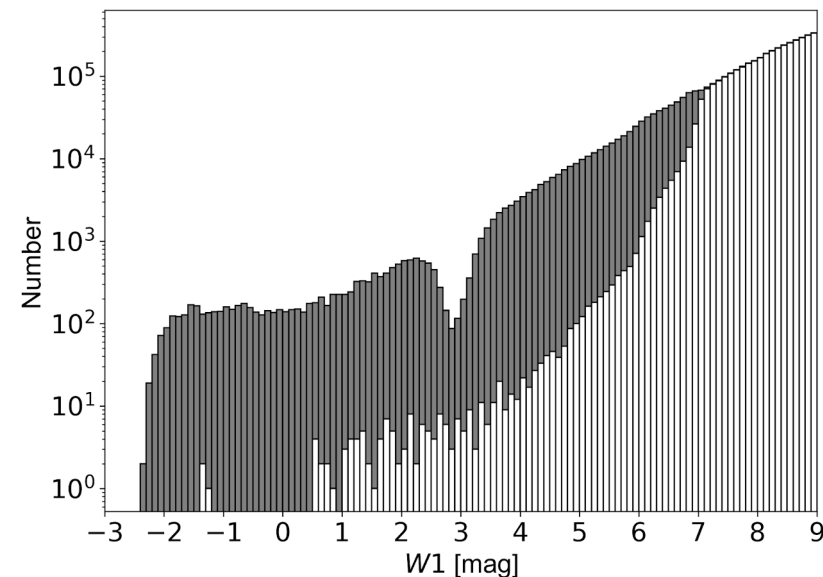
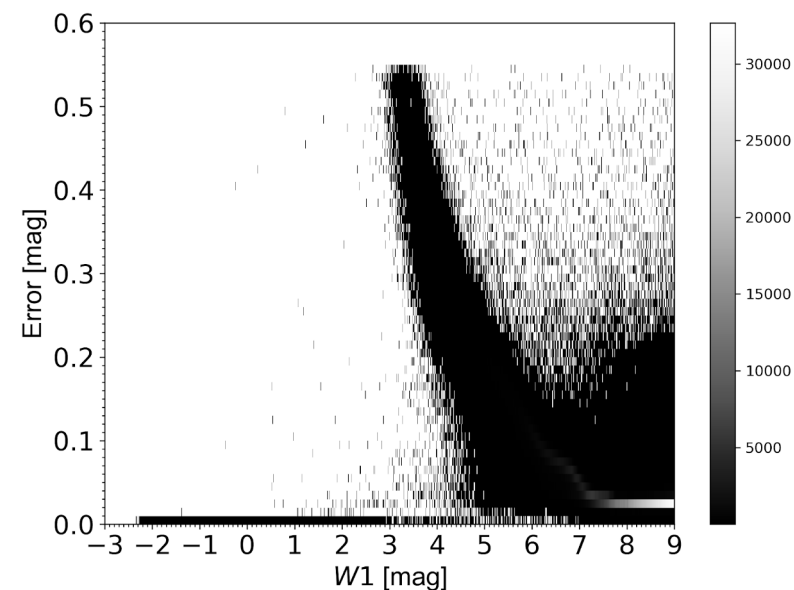
まとめ 1 :

Chance favors the prepared mind.

- 僕がprepared mindかどうかはわかりません
 - TMMTプロジェクトは最初誰にも相手にしてもらえなかったように記憶していますし、僕が悪いのですが科研費も何年も不採択が続き、津村さんや諸隈さんに助けて頂いたり、東北大の学内グラントをもらったり、貧乏を見かねた板研の優秀な学生さんが笹川財団の研究費を当ててくれたりして、なんとか続けられてきました。
 - でも結果的に、**なんかやってれば、誰かは見てくれている**んだなど。
 - 国立天文台からHAWAII2の無償譲渡を受けられたあたりから、流れが変わったように思います。その後TMMT2開発のための科研費も採択して頂きました。
- グレックからメールが来て世界進出が決まったのは、ラッキーではなくて、自画自賛気味ですが、2013年ごろの僕の「読み」と、読みにしたがつてTMMTプロジェクトを立ち上げた自分を褒めてあげたいなど。
- 粹に思いませんか、Hubble Tensionなんていう物理学の最先端の問題に、30mじゃなくて30mmの望遠鏡が役立つなんてね。

まとめ2： 勝手な板の意見 大学間連携

- 更に自由に連携してみては？
 - 今は「連携観測」が主な活動であるように板には見
- もうやってるのかもしれませんが、全ての垣根
 - 「**見ている人**」と出会う**出会い系サイト**と。同じ大学/近くにいらなくても、別の大学/遠くに
 - こんなこといいな♪できたらいいな♪、こんなデーについて、ゆる〜く、ざっくばらんいつでも誰で面白いアイデアが出たら興味がある人でグループを究を進めたり、必要であればお金をとってきてアイそんな連携の仕方があっていいんじゃないかなあ？という場合は板はハブられているのですか？。悲し
 - あっ、ちなみに板が今すっごい欲しいのは、Lバン遠鏡です。WISEのデータではあかんのですよ。



おわり

- ありがとうございます。
- TMMT2は成功裏にファーストライトを終えました。設計通りの性能が出ています。
- 今から1年後の2025年12月に、チリでTMMT2運用開始のスケジュールで動いています。
- もし協力してくださる奇特な方や、TMMT/TMMT2のデータに興味がある、TMMT/TMMT2で観測してみたいという人がいらっしゃれば、板までご連絡下さい。