

宇宙の観測と技術

第7章 なゆた望遠鏡

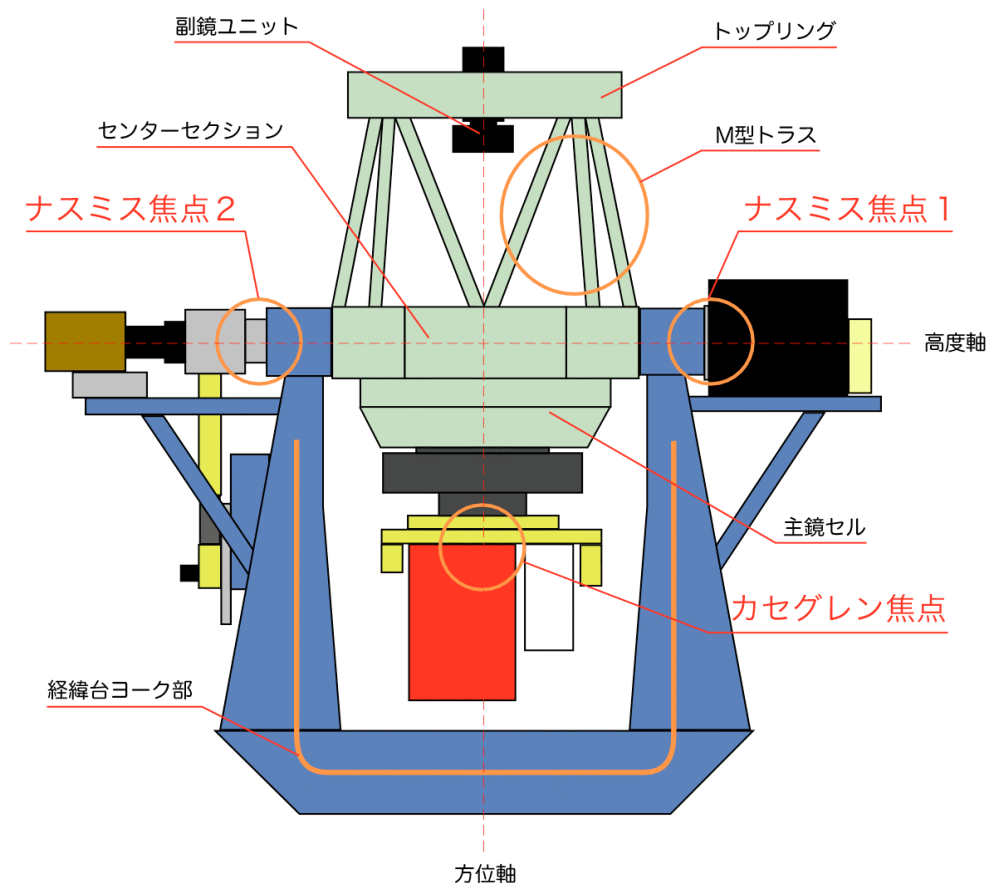
15. なゆた望遠鏡のコンセプト

望遠鏡を計画する際には、その仕様を決めるために天文台側が明確なコンセプトを持つことが必要である。西はりま天文台が、なゆた望遠鏡に対して求めた要件は次の4つであった。

- 教育・普及用に印象的なデータが取得できる
- 比較的少数のマンパワーで運用できる
- 気象条件に応じて短時間で観測ができる
- 一流の研究観測が可能である

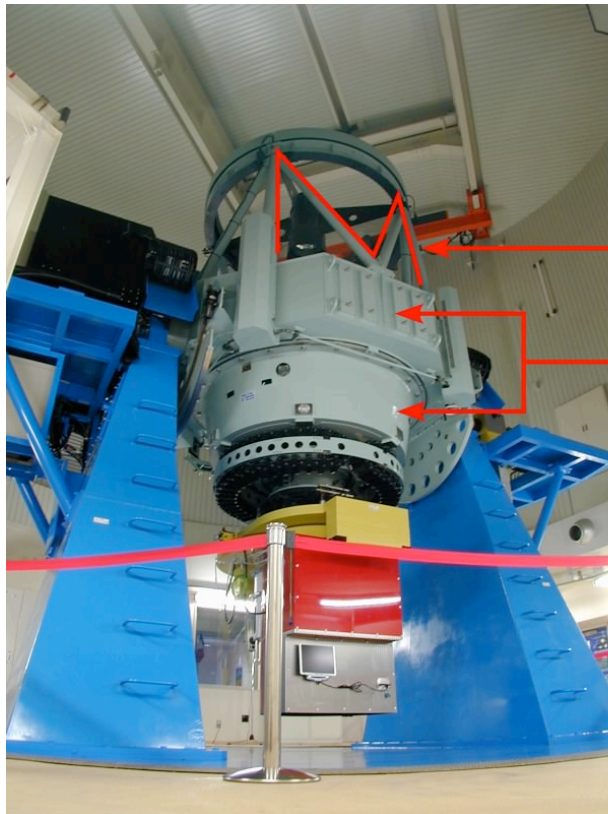
このため、なゆた望遠鏡には3つの焦点（光が集まる場所）を持たせ、合計5つの観測装置を搭載して、目的に応じて観測装置を焦点切り替えで変更する方式を採っている。これにより重量物である観測装置（100～500kg）を頻繁に載せ換える必要がなくなる。

さらに統合制御システムという望遠鏡と観測装置を制御する計算機システムを設け、複雑なシステムにもかかわらず、観測者は使いたい装置を選び観測したい天体を選ぶだけといった操作が行える工夫をしている。ここでは、なゆた望遠鏡の特徴を各部に分けて説明していく。



16. なゆた望遠鏡の鏡筒

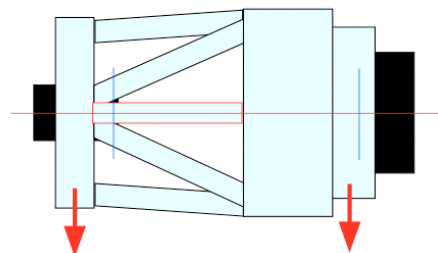
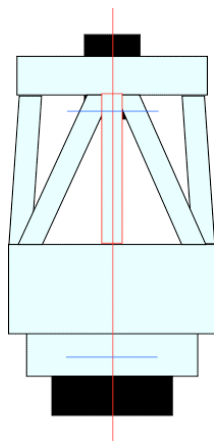
なゆた望遠鏡の鏡筒は一般的な大型望遠鏡とは異なる特徴を持っている。



M字型のトラス

主鏡セルとセンターセクションが
一体化

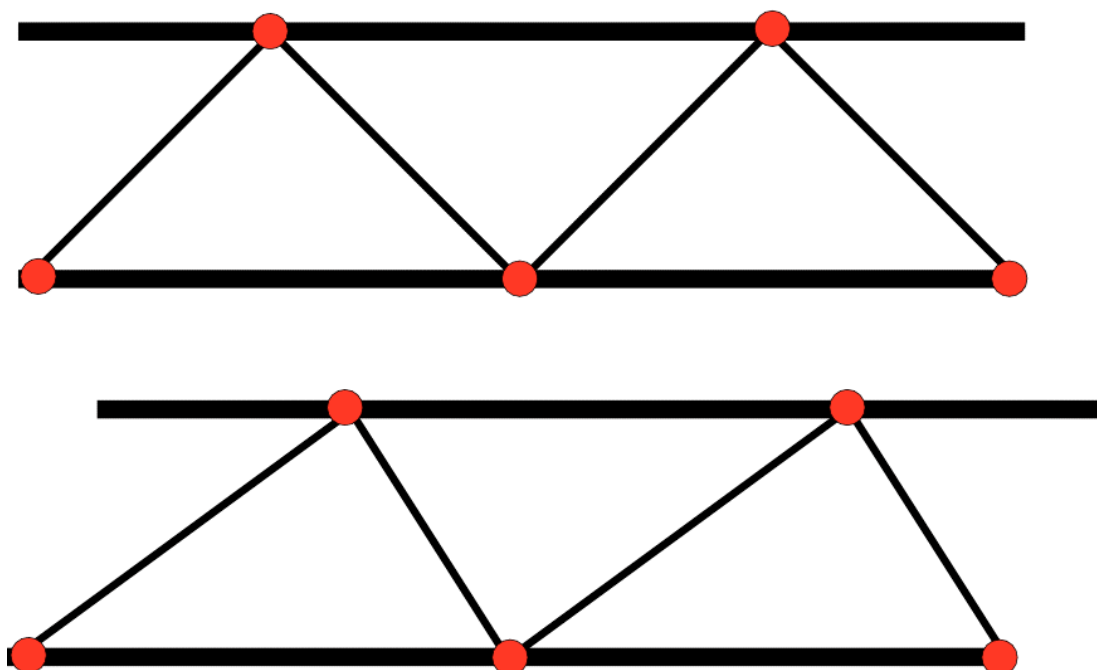
まず主鏡セルとセンターセクションは直接結合されており、一体のモノコック構造になっている。これは高い剛性を意図した構造である。これに対応してセンターセクションとトップリングを結合しているトラスもM型トラスと呼ばれる特殊な構造を採用している。これはセルリエトラスに変形を抑制する「つかえ棒」を追加した形である。このような変形を抑制した骨組みをラーメン構造という。



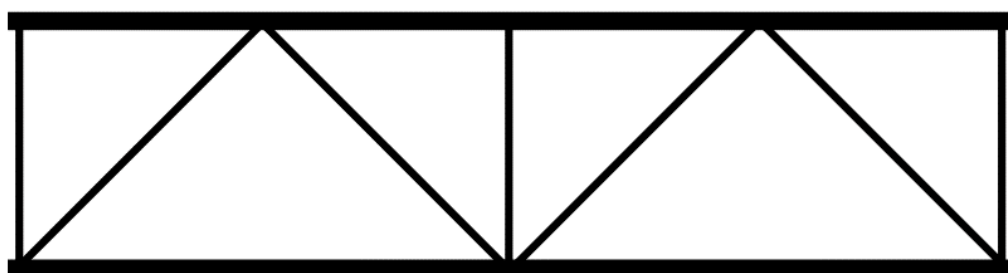
なゆた望遠鏡はF 1.5という極めて短焦点の主鏡を採用し、鏡筒を短くさせている。鏡筒が短くなれば筒両端にかかる変形モーメントは小さくなり、変形したとしても主鏡と副鏡の軸の変位量は小さくなる。変形が小さいなら、むしろ剛性を高めて、変形量が無視できるまで追い込んだ方がよいという考え方である。

トラス：三角形の頂点を支点にして変形をさせる骨組み

● 支点

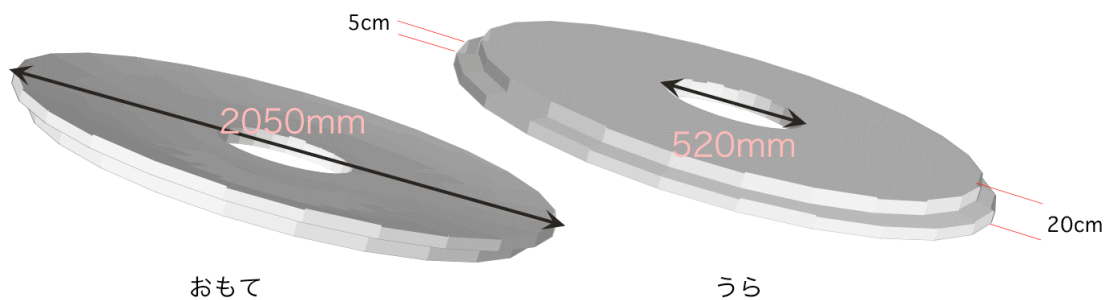


ラーメン：三角形の頂点を固く接合して変形させない骨組み



16-1. 主鏡と主鏡セル

なゆた望遠鏡の性能を決める直径2メートルの主鏡は、主鏡セルの中に収められて鏡筒の後端に取り付けられている。主鏡はフローティングで支持されており自重やセル外壁からの接触力による変形が生じないようにになっている。なゆた望遠鏡の主鏡は、自重で歪まない剛性（厚さおよそ20cm）を保ちながら軽量化するため、外周部を薄く（5cm）肉抜きしたガラスを使っている。この軽量化によって通常1.5～2トンになる主鏡を1.05トンに減らしている。



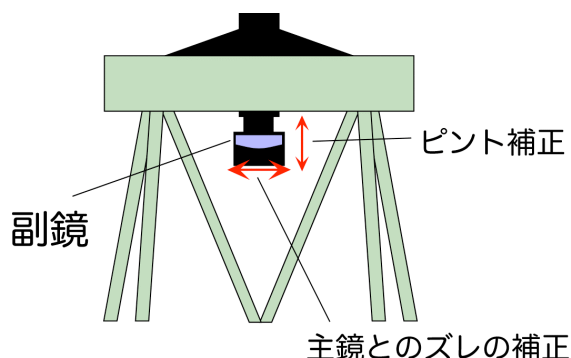
主鏡の焦点距離は3m（F比1.5）と非常に短焦点となっている。これは鏡筒を短く軽量化することに貢献している。材質はゼロデュアーという低膨張ガラスである。鏡面は平均26nmの精度で磨かれ、天体からの光を反射して望遠鏡の筒先に集める。



16-2. 副鏡ユニット

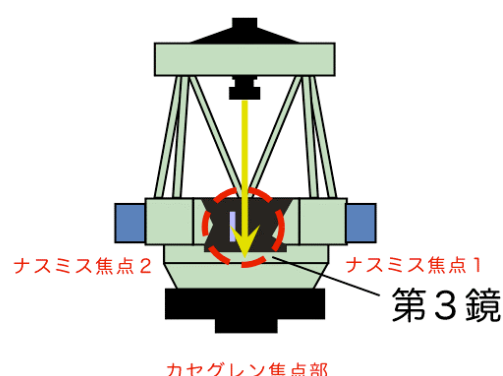
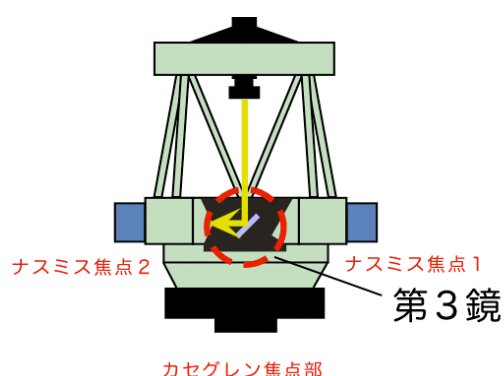
トップリングに取り付けられている副鏡は主鏡によって筒先に集まりつつある光を折り返し最終的に1点に集める。副鏡の凸面は主鏡の焦点距離を8倍に延ばし焦点距離を24m（F比12）にする。鏡筒には自重変形や熱膨張が起こるため主鏡と副鏡の位置関係は、その時々、あるいは一晩の観測中であっても微妙にズレが生じることがある。このズレによる星像の劣化を調節

するために、副鏡ユニットには副鏡を主鏡に向かって前後させたり左右・上下にスライドさせる機構が付いている。



16-3. 焦点を切り替える第3鏡部

なゆた望遠鏡には焦点が3カ所ある。鏡筒のセンターセクション内には第3鏡があって3つの焦点から1つを選んで光を導くことができる。



左は副鏡で折り返された光を直角に曲げセンターセクションの高度軸に通すようにした状態である。鏡筒の高度軸（赤道儀の場合は赤道軸）を通して導き出した焦点のことをナスミス焦点という。なゆた望遠鏡は第3鏡の向きを左右に回転させてナスミス焦点1とナスミス焦点2とを切り替えて使用できる。右は第3鏡を引き込んだ状態で光は主鏡中心の穴を抜けて焦点を結ぶ。主鏡の中心の穴を通して鏡筒下部に導き出した焦点のことを、由来であるカセグレン光学系にちなんでカセグレン焦点という。

なゆた望遠鏡は3つの焦点に5つの観測装置を振り分けて搭載しているが、この第3鏡の動きによって、90秒で観測装置を切り替えて使うことができる。

17. なゆた望遠鏡の3焦点部と5観測装置

なゆた望遠鏡は3つの焦点に5つの観測装置が振り分けられている。これらの観測装置を簡単に紹介する。

17-1. カセグレン焦点部

カセグレン焦点は2メートル望遠鏡の3つの焦点の中で、望遠鏡本来の性能が最も発揮できる焦点である。主鏡と副鏡以外の鏡がなく、この焦点で映し出される像の広さは約20分角の円になる。

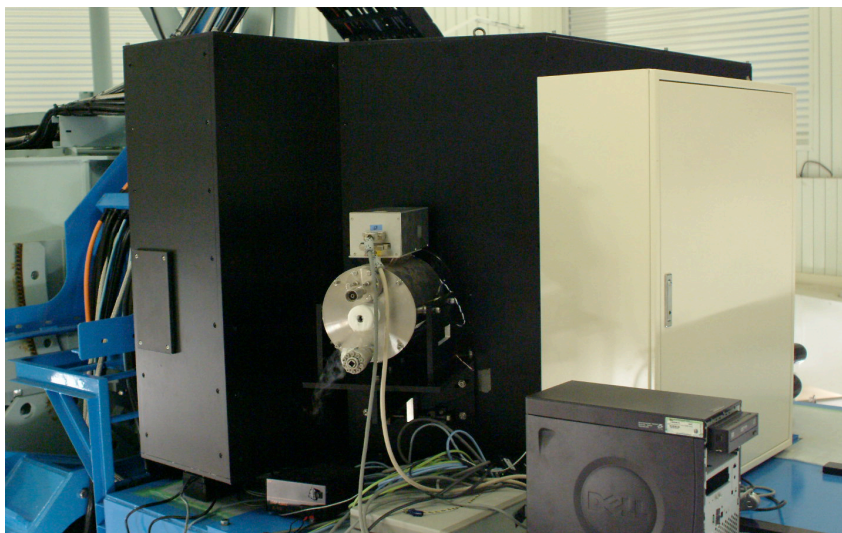
ここには2台(100kgと250kg)の観測装置が常時搭載される。MINT(可視光撮像装置 100kg:天体観測に特化されたデジカメ)とVTOS(可視ターゲット観測装置 250kg:大気揺らぎの様子を撮影できる高感度高速カメラ)またはNIC(3波長同時観測近赤外線カメラ 250kg:3素子方式近赤外線カラーデジカメ)のどちらかを載せておける。2台は装置交換機構によって簡単に切り替えて使うことができる。



なゆた望遠鏡をカセグレン焦点部から見たところ。赤い矢印のように回転させて二つの観測装置を交換する。

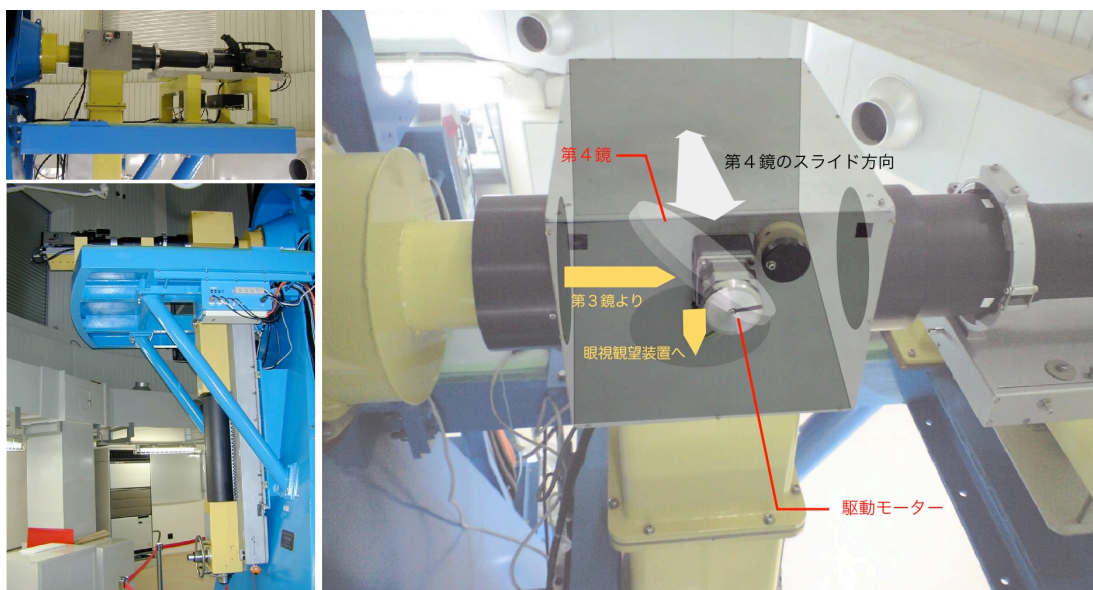
17-2. ナスミス焦点部

なゆた望遠鏡にはナスミス焦点が二つあり、光が出てくるところに観測装置を設置する荷台（ナスミス台）がある。ナスミス焦点1には、MALLS（可視光分光器：天体からの光を色の成分に分解して分析する装置）が搭載されている。



ナスミス焦点1にある可視光分光器。目に見える可視光を $\lambda / \Delta \lambda = 1000$ または 7500 に分解して天体の性質を調べることができる。

反対側にはナスミス焦点2があり、ナスミス台には眼視観望装置とHIVIS-CAS（超高感度ハイビジョンカメラ）が搭載されている。眼視観望装置とHIVIS-CASは第4鏡の挿抜によって切り替える

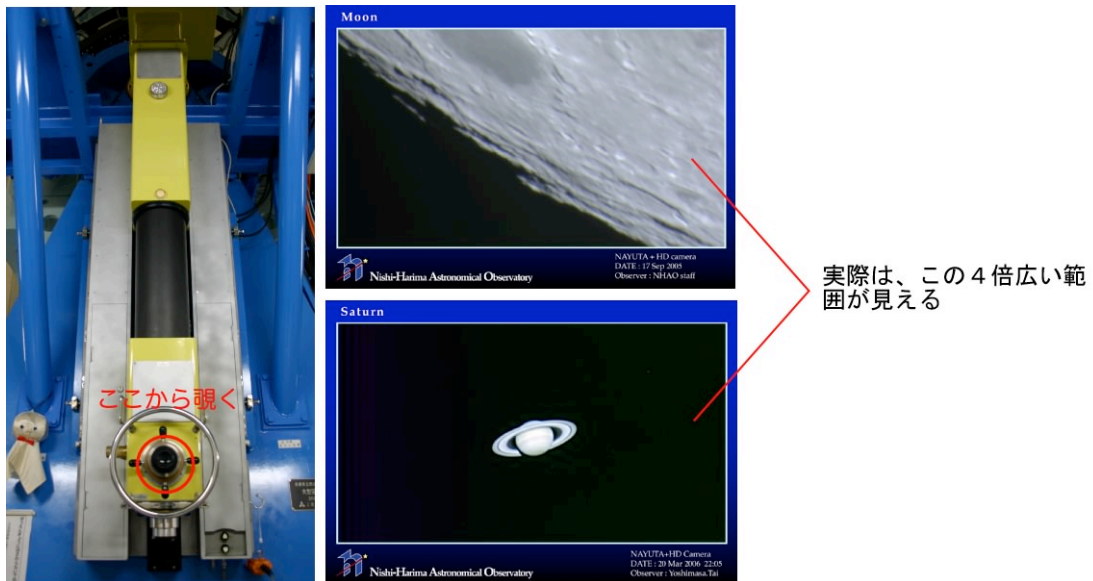


18. 主要観測装置と観測例

なゆた望遠鏡の主要観測装置と観測例を紹介する。

18-1. 眼視観望装置

眼視観望装置は主鏡で集めた光をもれなく目に送り込むことができ倍率300倍である。視野1/4度が目の前70~80度に広がって見える。目でのぞいて確認できる星の明るさは16.5等級になる。

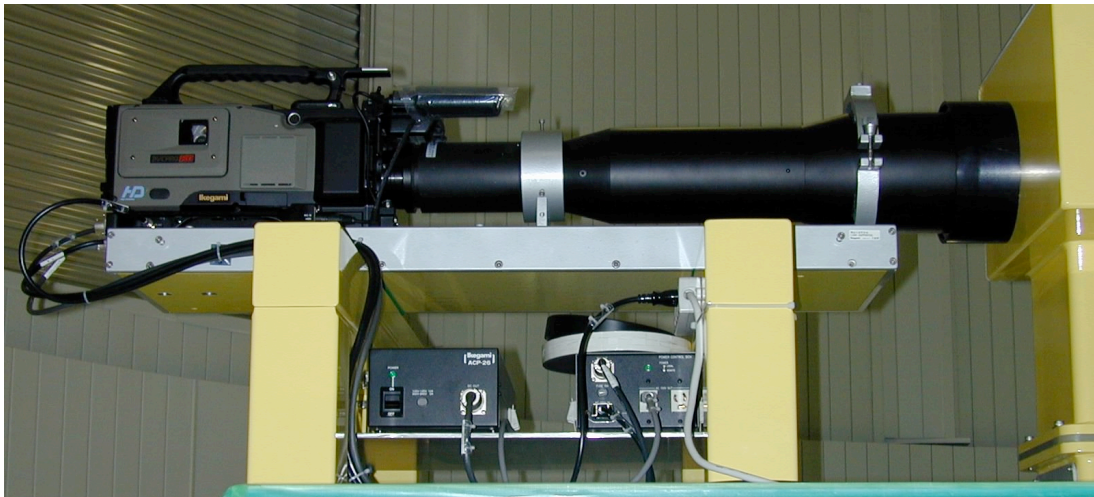


口径2mで眼視観望ができる望遠鏡は世界最大の大きさである。なゆた望遠鏡で見える最も遠い天体は、太陽系天体では冥王星、距離で言えば120億光年先にあるクエーサーを確認できている。



18-2. HIVISCAS

HIVISCAS は映像増強管を使った超高感度（暗視）ハイビジョンカメラで、眼視観望装置とほぼ同じ視野を放送局品質のフルカラーで撮影できる。日本の天文台では西はりま天文台だけが所有している。



惑星状星雲 NGC7662

太陽サイズ（質量）程度の星が終末を迎えている姿が惑星状星雲である。星を構成しているガスが宇宙空間へと四散しつつあり、中心に残っている星の芯（白色矮星）から放射される紫外線が、この四散しているガスを発光させている。この星雲は青緑色をしているが、これはヘリウム原子や酸素原子の出す固有の色である。



散光星雲 M42

オリオン星雲と呼ばれるこの大きな星雲は、地球から 1500 光年離れたところにある星が誕生している現場。光っている星雲の背後には、光を通さないガスとチリの暗黒星雲が控えていて、その内部で星が作られている。星雲が放つ光は暗黒星雲から誕生した若くて大きな星が放つ紫外線が、その周辺に広がる薄いガスを発光させているものである。星雲の赤い部分は水素原子固有の色です。酸素や窒素の光、チリが反射している星からの光も混じって複雑な色の変化が見える。

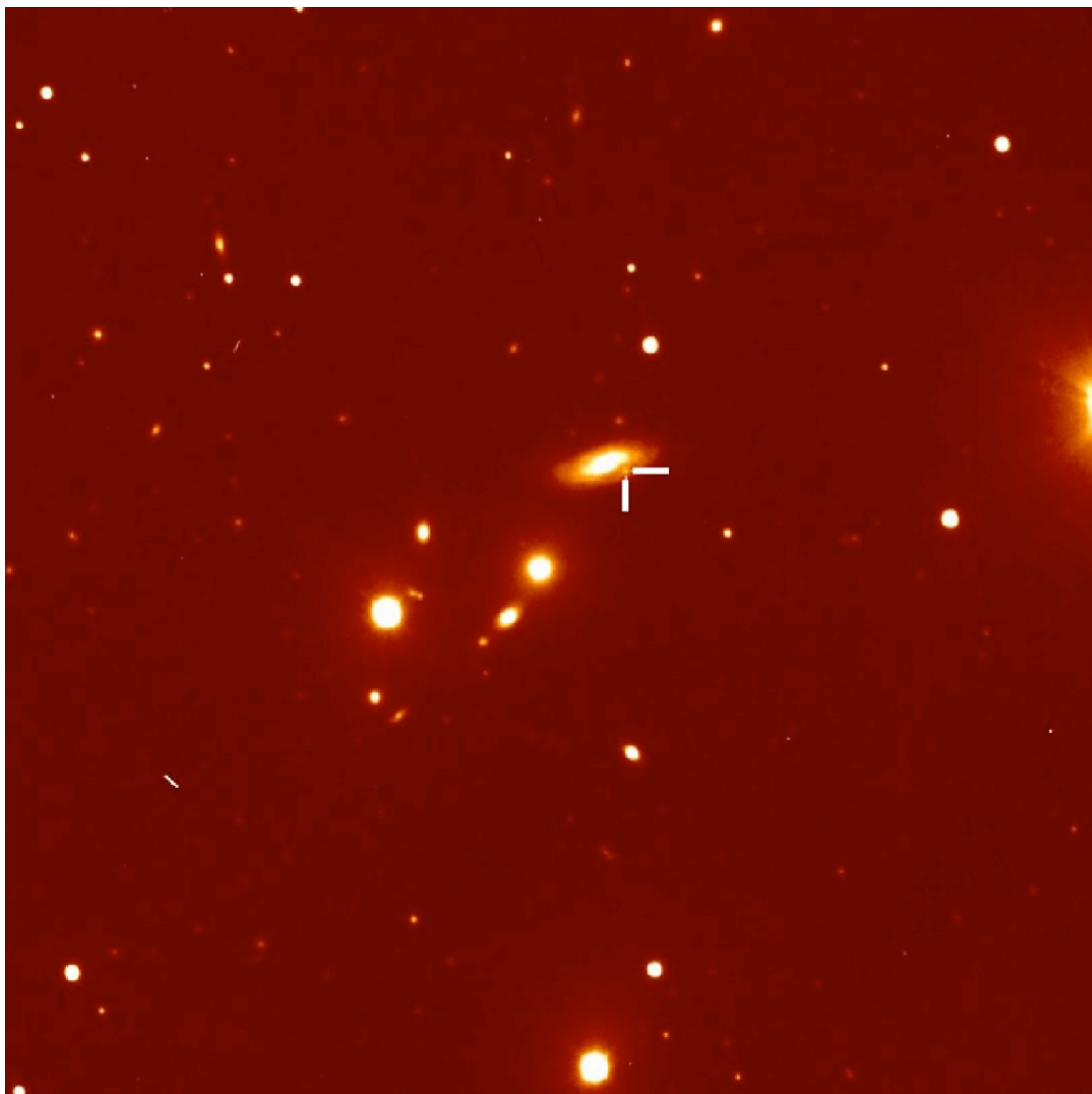
18-3. MINT

MINT はデジタルカメラである。ボディ内には広視野を確保するための縮小光学系とCCD受光素子（光に反応して画像を撮影する半導体部品）を搭載したカメラ本体が収められている。画素数は2000×2000ピクセルで画角は1辺が10分角である。カメラ本体は真空容器になっていて、液体窒素によりCCD素子を-100℃に冷却する。



系外銀河 M100（右）

かみのけ座にある渦巻銀河。銀河とは数千億個の恒星からなる星や物質の集まりである。私たちの太陽も天の川銀河という1個の銀河の中にある。このような銀河が私たちから見ることができる範囲の宇宙には1000億個存在すると言われている。MINTは白黒カメラであるが、青、緑、赤のフィルターで撮った画像に3色合成という手法を使えばカラフルな天体画像を得ることができる。

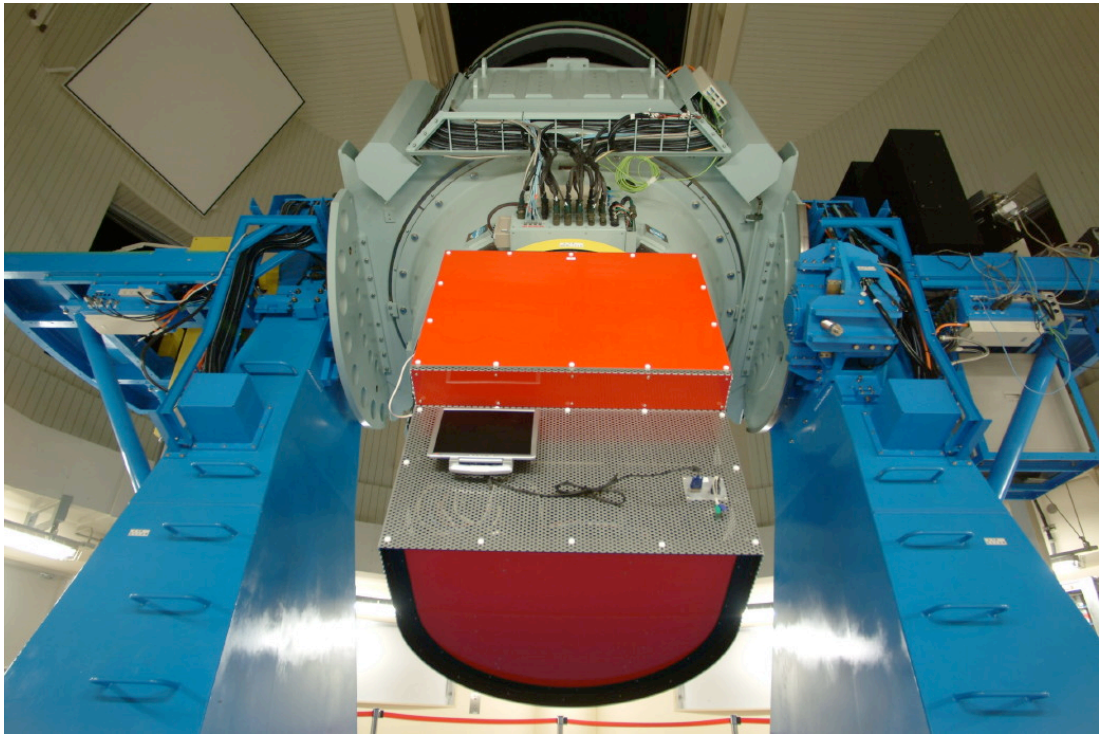


超新星 2007ig

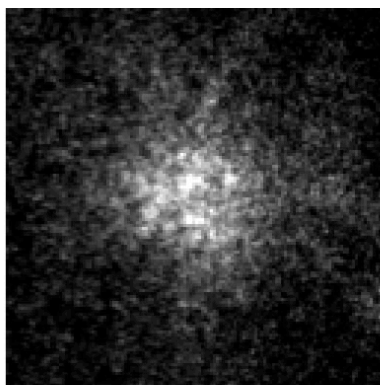
内藤博之（元・研究員／現・名古屋大学）が2007年9月11日2時45分（日本時間）、なゆた望遠鏡（国内口径最大）を用いて、くじら座にあるMCG -01-5-2という渦巻銀河に発見した超新星。日本国内の望遠鏡としては最も遠く（5億光年、明るさ18.6等）に出現した超新星を発見した記録である。国際天文学連合・天文電報中央局（CBAT）に報告後、チリのラス・カンパナス天文台で確認観測が行なわれ、9月12日に新天体は『超新星2007ig』と命名された。超新星とは重い星（太陽の8倍以上の質量）の寿命が尽きるときに大爆発を起こして明るく輝く現象。

18-4. VTOS

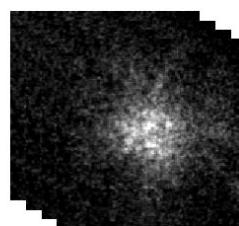
VTOS（可視光ターゲット観測装置）は今も開発が続いている発展途上の観測装置である。狙った天体を高速連写で撮影することによって、主に3つのことができる。



- 1) 地球の大気による望遠鏡のピンぼけを直す（高空間分解能イメージング）
- 2) 望遠鏡の光学性能を測る
- 3) 天体の明るさの速い変化（高速測光）

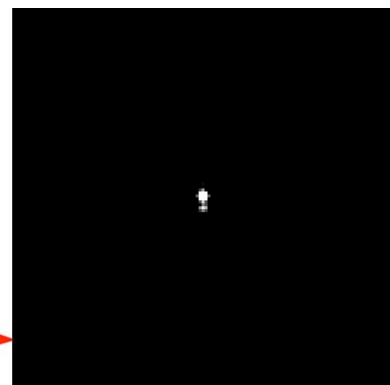


HP97961bという星のスペックル像



高速連写画像

画像処理



連星系として分離

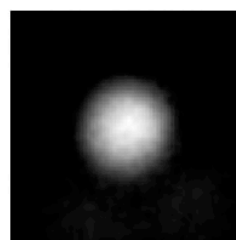
高速連写したスペックル像に対して、統計的な画像処理を施すことによって大気による望遠鏡のピンぼけを取り除くことができる。



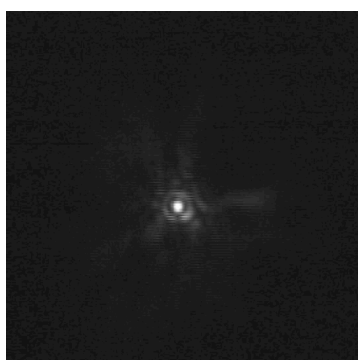
ハイビジョンカメラで撮った木星と衛星イオ



VTOSで撮った木星



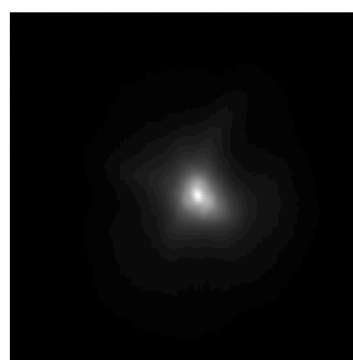
VTOSで撮ったイオ



なゆた望遠鏡の回折像（瞬間）



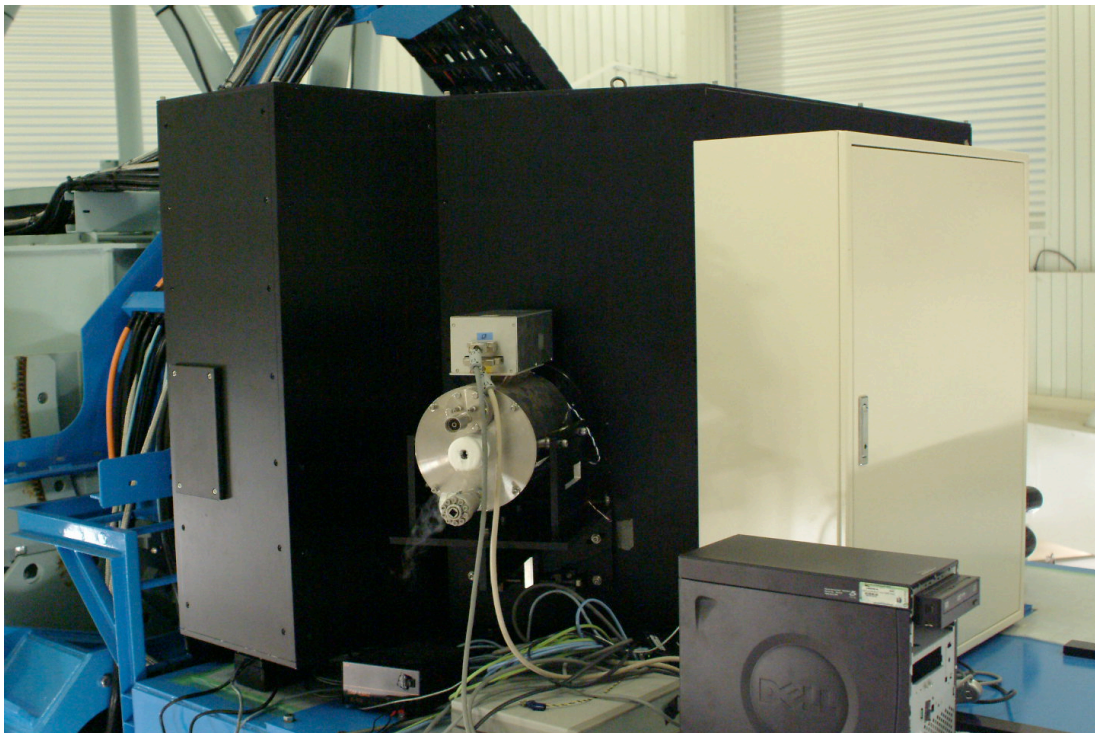
なゆた望遠鏡の回折像（良像平均：0.1秒角）



なゆた望遠鏡の回折像（全像平均：0.3秒角）

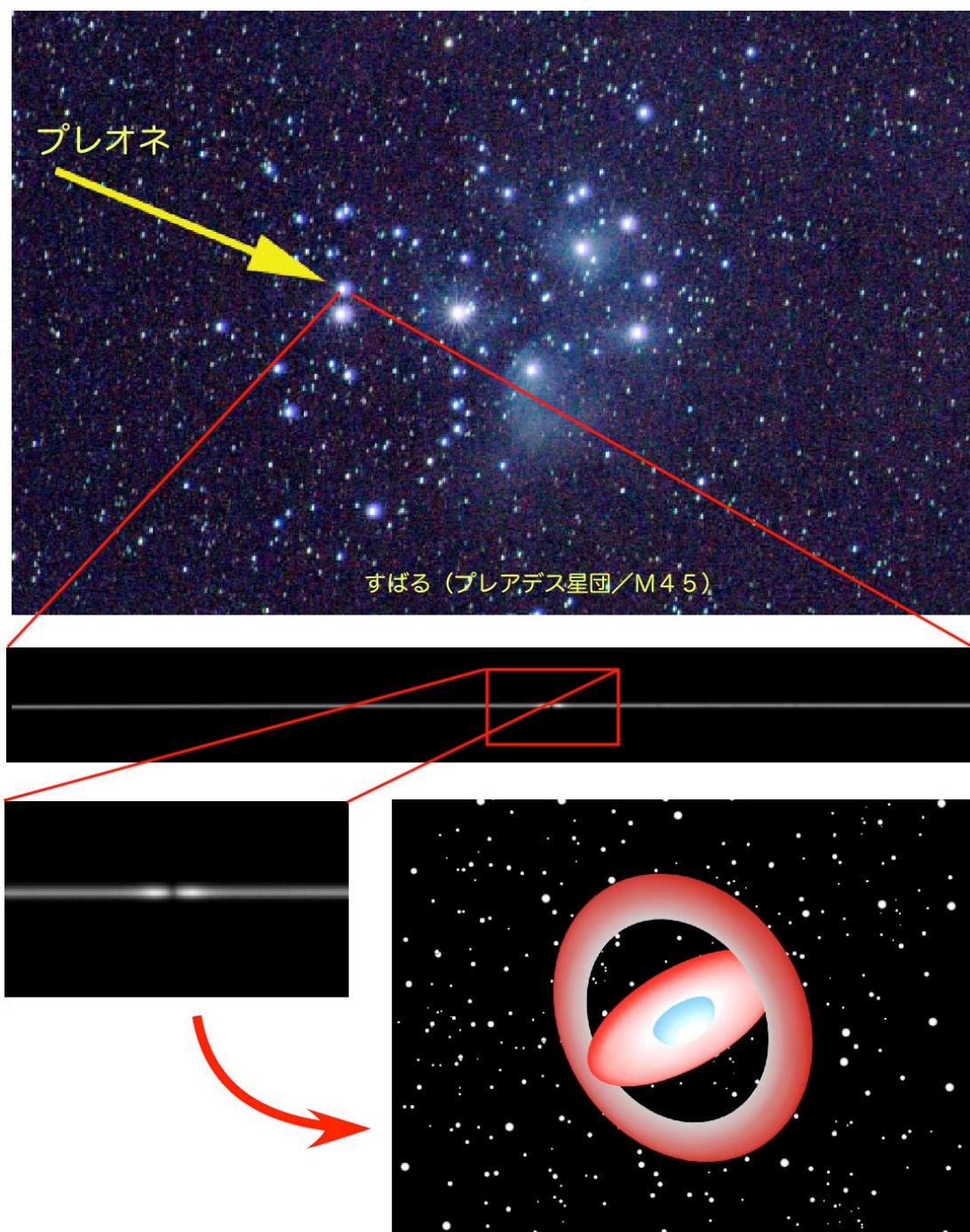
18-5. MALLS

MALLS は天体からの光を各色の成分に分解して虹を作り、それを画像として撮影することができる。このような装置を（可視光）分光器という。天体の虹の画像（スペクトル）には特徴的な模様が現れ、その模様を分析する事で、天体の様々な様子が想像できるようになる。天文学は他の科学分野と異なり試料を手にとって分析することは殆ど不可能である。分光器は遠く離れた天体の光から「組成、温度、運動」といった情報を得られる重要な観測装置である。



分光画像の特徴と得られる情報

特定波長に出る吸収線・輝線	→	組成
複数種にわたる吸収線や輝線の見え方	→	温度
吸収線・輝線のドップラーシフト	→	運動（視線方向の速度）

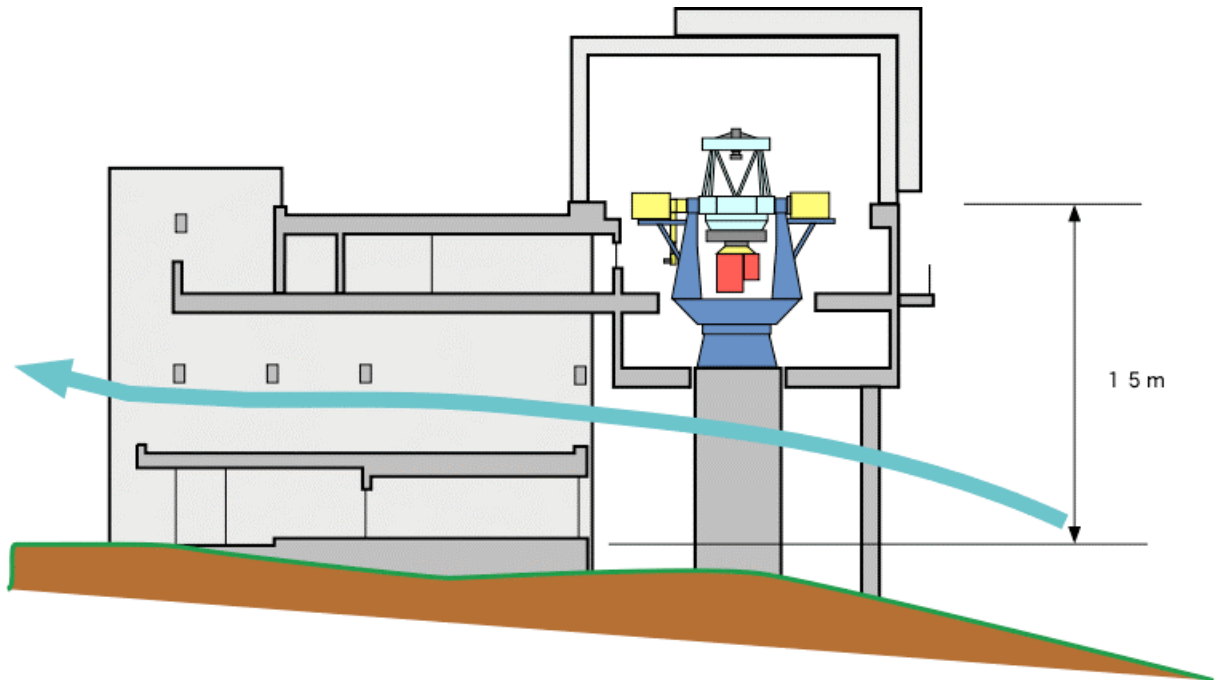


プレオネの傾斜二重リング

プレアデス星団の中にある星の一つにプレオネがある。この星は変わった星として知られていて、星の周りを円盤が取り巻いていて、その円盤が発生と消滅を繰り返していると想像されていた。なゆた望遠鏡は MALLS による観測で、このプレオネに新しい円盤が発生して古い円盤が消滅しつつあることを突き止めることができた。新旧円盤の交代劇が確かめられたことになる。

19. 西はりま天文台南館の建築デザイン

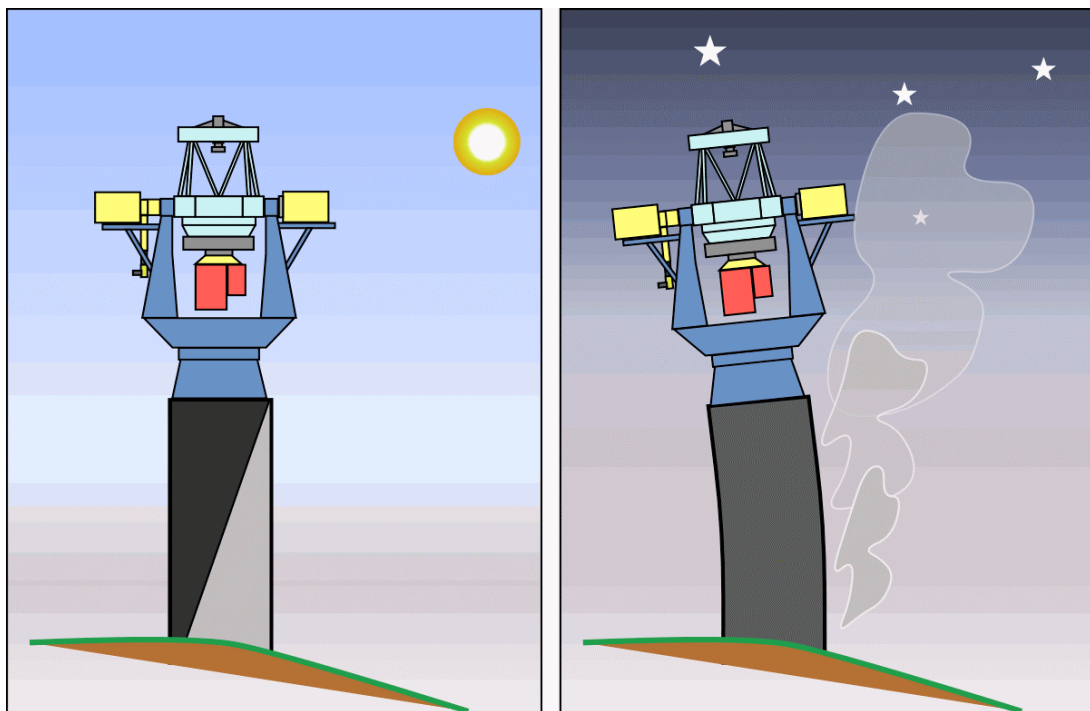
なゆた望遠鏡が設置されている天文台南館には、乱流を抑える様々な工夫が盛り込まれている。特徴としてまず上げられるのは、人間が活動する母屋と望遠鏡が設置されている観測室が熱的に分離されていることで、これはエアコン室外機のような熱源を望遠鏡から最も遠い場所に設置するといったところまで徹底している。



なゆた望遠鏡を覆っているエンクロージャは、すばる望遠鏡などに見られる円筒形である。望遠鏡は風と地面との摩擦で生じる乱流層よりも高い1.5mに設置され、高床式になった観測室は乱流を含む風が床下から母屋の中央に空けた空洞をスムーズに抜けていく。

20. 外壁の断熱処理

乱流を抑制するのに見落とされがちなのが建物の外壁である。外壁は日中は日光にさらされることもあり、蓄熱しているので、夜間になるとかげろうを出す。西はりま天文台南館は、望遠鏡が載せられている柱（ピラー）と観測室の外壁をルーバーで覆い、直射日光で熱せられるのを防いでいる。特にピラーは直射日光による熱変形が、なゆた望遠鏡の精度に影響を及ぼすため遮光は重要である。



またエンクロージャの外壁素材はガルバリウム合金という断熱性のある金属で作られている。さらに観測室とそれを支える5本の柱は断熱塗料で塗装されている。

