



可視15色同時撮像カメラ(DMC)の開発 II 光学系

諸隈 智貴、土居 守、酒向 重行、高梨 直紘、時田 幸一、井原 隆 (東京大学)、古澤 久徳、小宮山 裕、岡田 則夫 (国立天文台)、山室 智康 (ジェネシア)、岩村 哲 (アストロリサーチ)

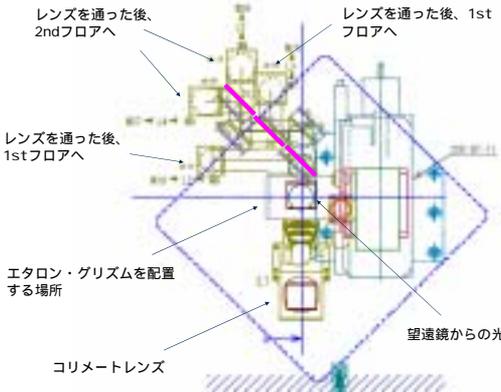
本講演では、我々の製作した可視15色同時撮像カメラ(Dichroic Mirror Camera; DMC)の特徴的な部分である光学系の詳細について報告する。

DMCでは、16種類のダイクロミックミラーと15種類のリークカットフィルターを用いることにより、可視光(380nm-950nm)を、非常にシャープな波長特性を持った15バンド(波長分解能R-10)に分けている。この他にも反射ミラーを46枚用いた非常に複雑な光学系であり、各光学素子での光の損失の積み重なりによる効率の悪化が懸念されるが、ダイクロミックミラーとリークカットフィルターによる最終効率は、どのバンドでもピーク波長で40-80%という高い値が得られており、1バンドずつの観測と比べると、約5倍程度の高い観測効率を得られる。

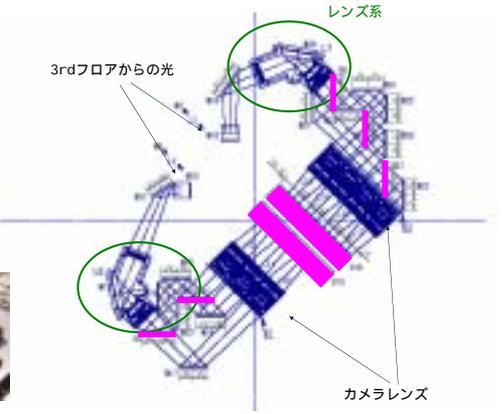
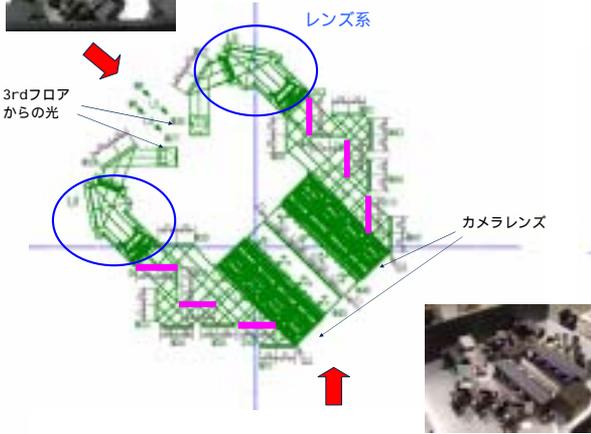
本装置(F/9)は、1-2m級の比較的小型の望遠鏡に取り付けることができるよう軽量化を目指し、各ミラーは、一部を除いて台座に接着するという方式を採用している。ミラー基板のBK7と熱膨張率の近い純チタン材を加工して台座を製作し、比較的軽量かつ温度変化によるミラーのたわみの少ない光学系を実現することができた。全62枚のミラーのうち、約4割にあたる24枚は2自由度の方向調整が可能となっており、これらのミラーを、レーザーと小型CCDカメラを用いて調整し、各バンドでの視野を揃えた。また、実験室での光学調整や、2005年8、9月に行った国立天文台三鷹の口径1.5m赤外シミュレータ(広島大学)での観測において、大きなゴーストは見られなかった。

- 光路 (3層ビル構造の詳細はV19b参照)

- 46枚の銀反射ミラー
 - 16枚のダイクロミックミラー
- どのバンドもダイクロは3-5回透過/反射



2ndフロアの写真。この写真上では、天体からの光は下から入ってくる。



- ダイクロミックミラー・反射ミラー

高いthroughputと収差の少ない星像のためには、

- 波長特性のシャープなダイクロミックミラー
- PV1 程度の面精度が達成されたダイクロミックミラー、反射ミラー

が必要。

シャープな波長特性をもつダイクロミックミラー

ダイクロミックミラー自体はKeck/LRIS、IRSF/SIRIUSなど様々な装置で使用されているが、DMCでは、可視域を15ものバンドに分割するため、使用するダイクロミックミラーはシャープな波長特性が要求される

- イオンアシスト法による干渉膜の多層化 ↔ ミラーの面精度との兼ね合い
- リークカットフィルター 19枚 : レンズ系に装着により実現。温度・湿度などの環境変化による波長特性の変化・劣化がないことも確認。(縦横の偏光を分割すれば、波長特性はよりシャープにすることが可能。→ 波長分解能R-30達成可能)

光学系の軽量化(ミラーの台座への接着)

1-2m級の小型望遠鏡にも搭載できるように軽量化 → 各ミラーは台座に接着

接着、接着後の温度変化によっても面精度は悪化する可能性。

→ ミラーの材(BK7)と熱膨張率がほぼ等しいチタンを台座の材として使用

<接着方法>

チタン台座のミラー接地面に溝を掘り、その溝にあげた孔の裏側からエポキシ系接着剤を注射針で注入し1日放置。



ミラーの台座接着の様子。



チタン台座にあげたこの孔からエポキシ系接着剤を注入することで接着剤を溝に満ちなく広げる。

ミラーの面精度

有効面内で、接着前は0.5 (PV)程度、台座接着による劣化後も1 (PV)程度に抑えられた。



ZYGO干渉計による面精度測定結果。接着面は左側の辺。

国立天文台で製作した大型チタン台座(330x110x80mm、黒塗り前)

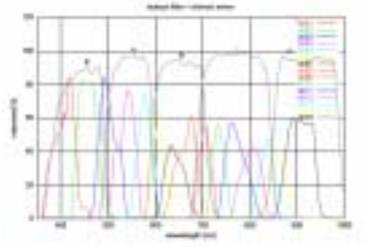


- throughput

Channel	λ _c (nm)	FWHM (nm)
1	406	45.3
2	455	46.3
3	505	36.3
4	558	46.4
5	566	21.9
6	602	32.2
7	607	45.3
8	654	42.3
9	712	34.6
10	738	33.6
11	771	34.6
12	806	46.4
13	838	33.4
14	867	35.3
15	919	42.6

Table 1: Effective wavelengths and FWHM of each channel.

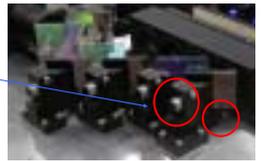
各バンドの中心波長とバンド幅。バンド幅(FWHM)は40nm程度 → R-10の波長分解能



ダイクロミックミラーとリークカットフィルターによるバンド特性(CCD、レンズ系の効率が含まれていない)をすばる望遠鏡主焦点カメラSuprime-Camで使われている broad-bandフィルターB、V、R、I、zと並べてプロット。どのバンドもピーク波長で40-80%と高い効率を得られており、15バンドを同時に観測することで約5倍の観測効率となる。

- 光学調整

- DMCには全部で24枚のミラーに2自由度の可動機構がついており、レーザーと小型CCDを用いることで各バンドでの視野を1分角の精度で揃えた。MAGNUM望遠鏡(F/9、口径2m)、赤外シミュレータ(F/12、口径1.5m)ともに、得られる視野は約6分角であり、十分な精度での視野調整ができた。



- 各バンドでの焦点合わせのための調整可能なレンズが19ヶ所(1stフロアの直後4ヶ所+カメラレンズの直前15ヶ所)に配置されている。
- 2005年8、9月には、国立天文台三鷹にて赤外シミュレータ(広島大学)での試験観測を行い、大きなゴーストがないことは確認できた。

- 今後

- 最終バンド特性の実測 → CCD、レンズ系の効率を含めた効率の評価
- 各バンドでの星像の評価(焦点合わせ、収差)
- 1stフロアのコリメート光中に、Fabry-Perotエタロン/グリズムを入れることで、より narrow-band/高分散でのSEDを取得することができる。現在、グリズムの評価を行っているところである。