

最近の技術から

天体スペckル分光法

馬場 直志・桑村 進

北海道大学工学部応用物理学科 〒060 札幌市北区北 13 条西 8 丁目

1. ま え が き

地上で天体を観測すると、大気揺らぎのためシャープな像を得ることは難しい。大気の時間的揺らぎを凍結するように短時間露光 (約 10 ms) すると、スペckル状のパターンが観測される。これは大気の屈折率分布が空間的に一様でなく、天体からの光波面が乱されて像面上でランダムな干渉を起こすためである。しかし、このスペckルパターンには、望遠鏡の回折限界までの分解能で天体の像情報が含まれている¹⁾。このことを利用して、天体の回折限界像を得る技術がスペckルイメージングといわれる。ところで天体の各点から発せられた光は、像面上でスペckルパターンとして重ね合わされる。このため、天体を各点ごとに分光するのは困難のようにみえるが、ここで紹介する方法を用いることでこれが可能となる。天体スペckル分光法とは、スペckルイメージングの技術を応用して、地上においても望遠鏡の回折限界までの空間分解能で天体を分光する方法である。

2. スペckル分光カメラ

我々は、スペckル像と分散スペckル像を同時に撮像することで天体のスペckル情報を得る方法を開発してきた^{2,3)}。現在使用している装置の概要を図 1 に示す⁴⁾。天体からの光は望遠鏡で結像された後、レンズ L_0 でコリメートされビームスプリッタ BS で二分される。透過光は干渉フィルター F を通過後スペckル像を形成する。ビームスプリッタで反射された光はグレーティング G で分光された後、分散スペckル像を形成する。スペckル像および分散スペckル像を検出する 2 台の ICCD-TV カメラは、コントローラーによって制御されており同時刻のパターンが得られるようになっている。この TV コントローラーは、二つの像を図 2 のように同一画面上に合成する機能も担っている。データ処理は、合成像をビデオテープに記録した後、オフラインで行われる。

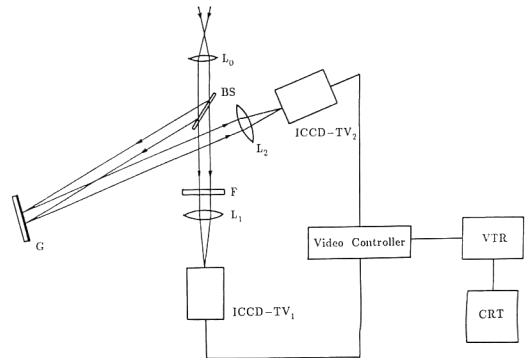


図 1 天体スペckル分光装置

3. スペckトル再生

分散スペckル像から天体のスペckトルを再生するには、スペckル像を参照して行う。この解析は SAA (shift-and-add) 法⁵⁾か相互相関法⁶⁾に基づいて行っている⁷⁾。

広帯域低分散分光には、SAA 法を適用する。スペckル像中のいくつかの明るいスペckルは、天体像のレプリカ (歪んではいるが) と見なせる。このようなスペckルに対応する分散スペckルパターンを抽出して加算すれば、天体の対物プリズムスペckトルに相当する像が望遠鏡の回折限界分解能で浮き上がってくる。

一方、比較的狭帯域な中分散分光には相互相関法が使える。スペckル像には、各瞬間の PSF の情報が含まれている。この PSF が分光帯域内で一定と見なせるならば、分散スペckル像を同一時刻の PSF でデコンボリューションすることで天体のスペckトルを望遠鏡の回折限界の分解能で再生できることになる。ただし、スペckル像は物体と PSF とのコンボリューションであるため、PSF を求めるには物体がわかっていなければならない。しかし、スペckル像から天体像を再生する方法はいろいろあり^{5,8)}、いずれかにより像再生できるので問題はない。

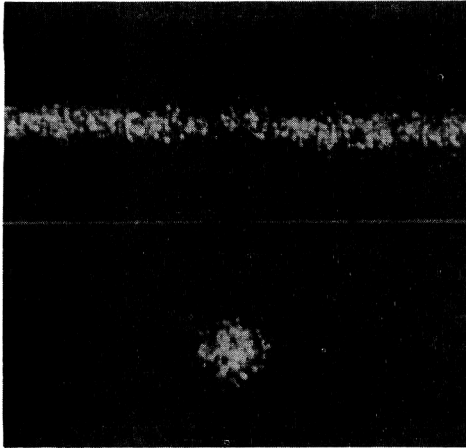


図2 2重星 ADS 12973 の分散スペckル像(上)とスペckル像(下)

4. 観測結果

スペckル分光カメラを岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡に取り付けて観測を行った結果について述べる。2重星 ADS 12973 の観測データの一例を、図2に示す。下にスペckル像、上に中分散モードでの分散スペckル像が表示されている。ただし、スペckル像と分散スペckル像の相対的結像倍率は3:2である。大気空間的揺らぎのため、スペckル像は約1秒角程度に広がっている。このようなデータ 3430 フレームを処理することで得られた結果が図3である。2重星の再生像とそのスペckルが $H\alpha$ の吸収線 ($\lambda=656$ nm) 近辺で再生されており、主星と伴星のスペckルが空間的に分離(角距離 0.27 秒)して求められている。図3(b)に、主星(上の曲線)と伴星(下の曲線)のスペckルプロファイルを示す。

5. むすび

天体の諸現象を詳しく調べるには、高空間分解能での分光が不可欠であり、地上からの天体観測においてスペckル分光法は有用な方法と思われる。特に、現在建造が進んでいる大型望遠鏡で観測できるようになれば、今まで達成できていなかった空間分解能での分光が可能となり、その成果が期待される。

文 献

- 1) A. Labeyrie: "Attainment of diffraction limited resolution in large telescopes by Fourier analysing speckle patterns in star images," *Astron. Astrophys.*, **6** (1970) 85-87.

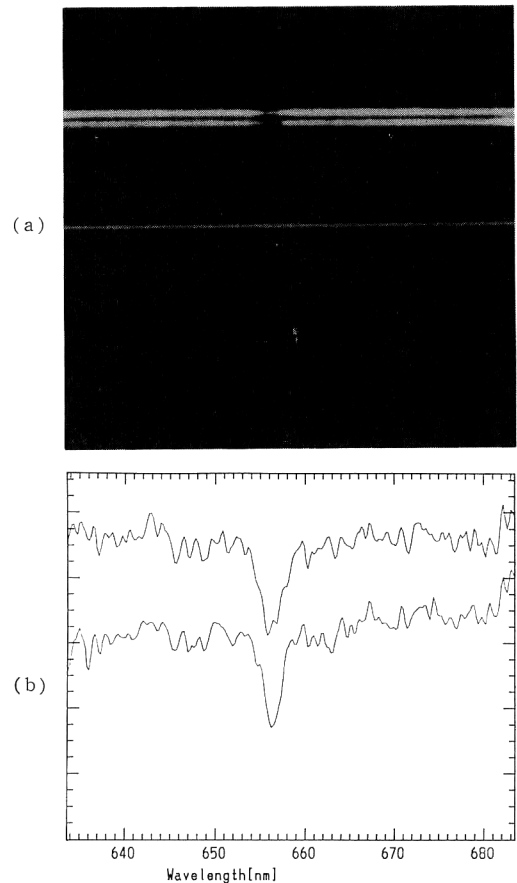


図3 (a) 2重星 ADS 12973 の再生分光スペckル(上)と再生像(下)、(b) 分光スペckルプロファイル ($\lambda: 634\sim 683$ nm)

- 2) N. Baba, M. Tabata and K. Murata: "Wideband speckle spectroscopy based on shift-and-add method," *Opt. Lett.*, **13** (1988) 616-618.
- 3) S. Kuwamura, N. Baba, N. Miura and E.K. Hege: "Stellar spectral reconstruction from speckle spectroscopic data," *Astron. J.*, **105** (1993) 665-671.
- 4) N. Baba, S. Kuwamura and Y. Norimoto: "Stellar speckle camera for spectroscopy," (submitted to *Appl. Opt.*).
- 5) R.H.T. Bates and F.M. Cady: "Towards true imaging by wideband speckle interferometry," *Opt. Commun.*, **32** (1980) 365-369.
- 6) J.C. Hebden, E.K. Hege and J.M. Beckers: "Differential speckle imaging with the cophased Multiple Mirror Telescope," *Opt. Eng.*, **25** (1986) 712-715.
- 7) S. Kuwamura, N. Baba, N. Miura and Y. Norimoto: "Stellar spectral reconstruction from speckle spectroscopic data II," *Astron. J.*, **106** (1993) 2532-2539.
- 8) G.R. Ayers, M.J. Northcott and J.C. Dainty: "Knox-Thompson and triple-correlation imaging through atmospheric turbulence," *J. Opt. Soc. Am. A*, **5** (1988) 963-985.

(1993年10月28日受理)