

天文観測技術の最前線 (13)

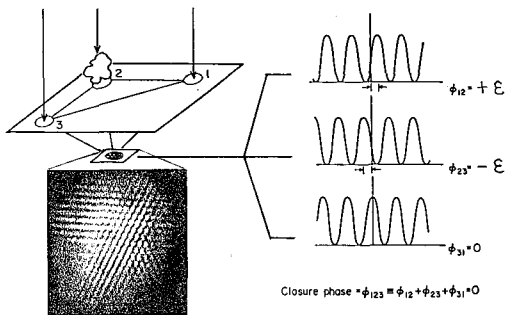
光干渉計

—光学望遠鏡による開口合成—

光から赤外域にかけての望遠鏡は、現在口径 8~10 m のものが建設される段階にきています。電波干渉計のようにいくつもの望遠鏡を並べて超大型の光学望遠鏡を作るといのは、最近ようやく実現の見通しが付きつつあるところです。波長 5 mm のミリ波の電波に比べると、光の波長 $0.5 \mu\text{m}$ というのは 1 万倍も短く、光干渉計の構築にいろいろな困難を投げかけているのです。

光は、電波のように波の性質を維持したまま電気信号として取り出すことが出来ませんので、各開口からの光を、光波のまま光路長を調節しながら 1 箇所に導いて焦点を結び、像の中に生じた干渉縞の強度と位置を撮像することによって、開口対ごとの相関（フーリエ成分）を得ます。このように、計測方法に違いはありますが、天体の輝度分布のフーリエ空間の値を測り、画像とそのフーリエ変換は 1 対 1 に対応することを使って、後で逆フーリエ変換して画像を求めるといふ干渉計の基本は、波長によらず共通です。光干渉計では、別々の開口からの光路差を波長の 10 倍~100 倍程度以下に抑える必要があり、高度な技術を要します。

最も厄介な問題は、密度分布にむらのある地球の大気中を電磁波が通った結果起こる波面の乱れです。大気圏外から来た平面波が望遠鏡まで来ると、平面波だったものが平面でなくなります（波面収差、波の位相誤差）。望遠鏡の角度分解能（回折限界）は、波長÷口径で決まりますので、口径が 1 m の光の望遠鏡では約 $0.1''$ になります。ところが、地上の光学望遠鏡による観測では、上述の波面収差のせいで平面波が入射しているとみなせる範囲 r_0 が望遠鏡の口径より小さく、いくら大きな望遠鏡で点像の星を見ても、口径 r_0 の望遠鏡での角度分解能程度の範囲に複雑に広がった像しか得られません。この像の見え具合をシーイングと言い、これが精密な光の天体観測を常に邪魔しているわけです。一般的には、 r_0 が 10 cm、シーイング $1''$ 、シーイングの変わるタイムスケール 10 ミリ秒、同じシーイングに見える角度範囲は $7''$ 程度と言われています。シーイングによる制限を越えるには、高い所へ上がる（高山、気球、衛星）、波面の形を実時間で修正する（アダプティブオプティクス）、10 ミリ秒以下の短時間露出での観測画像データに含まれている回折限界までの高分解能情報を抽出して像



3 開口の光干渉計による焦点面干渉縞とクロージャーフェイズの模式図

再生する（スペックル干渉計、光干渉計）、の 3 法が可能です。光干渉計は、超大型の干渉計を作る以前に、シーイングで広がった像の分解能を望遠鏡の口径で決まる回折限界の高分解能まで引き上げることに使われるわけです。

口径 10 cm 以下の望遠鏡を並べるなら、各開口面内で波面収差の問題がないので、電波干渉計のように純粋に開口合成を行うことが可能なのです。大望遠鏡の主鏡の前方（相当位置）に、干渉計のために考慮した配置にいくつかの穴を開けたマスクをかぶせ、望遠鏡自体はそれぞれの小開口望遠鏡の対物主鏡複数枚の望遠鏡からの光を 1 点に集める光相関器として使うと、小型の光干渉計ができあがり、これをアパーチャマスキング (AM) 法と呼んでいます。大気による各開口どうしの光路長誤差は、電波干渉計で使われているクロージャーフェイズを使うとほぼ取り除く事ができます。クロージャーフェイズとは、3 つの開口でできる 3 角形を 1 周するように順にとった 3 つの開口対によって測れる 3 つのフーリエ成分に含まれる位相誤差は、その 3 つのフーリエ成分の位相をたせばキャンセルされるというものです。AM 法は短時間露出の上に小さな開口を使うので、明るい天体に限られますが全開口を使った場合に比べて高い S/N 比の回折限界像を再生できる手法です。将来は、アダプティブオプティクスの開発によって、大気による波面収差が無いと見せるサイズが現在の 10 cm から望遠鏡の口径まで大きくなり、そのような望遠鏡を幾つか並べた光干渉計ができ、15 等以上の暗い天体も超高分解能観測のターゲットになるでしょう。AM 法は将来のいろいろなスタイルの光干渉計の前身として、世界で幾つものグループで研究に取り組んでいます。

西川 淳（郵政省通信総合研究所）

平成 2 年 12 月 20 日

印刷発行

定価 470 円

(本体 457 円)

発行人

印刷所

発行所

電話

〒181 東京都三鷹市国立天文台内

〒162 東京都新宿区早稲田鶴巻町 565-12

〒181 東京都三鷹市国立天文台内

(0422) 31-1359

社団法人 日本天文学会

啓文堂 松本印刷

社団法人 日本天文学会

振替口座 東京 6-13595