

天体スペクトルのノイズフィルター

北海道教育大学旭川校 長谷川俊雄

スペクトルのコントラストを劣化させるゆがみやボケは様々な要素によって引き起こされますが、装置輪郭 (instrumental profile) を測定してそれと天体のスペクトルの間に数値的な操作 (フーリエ変換) をすることによってある程度の補正が可能です。また、スペクトルデータには避けがたいノイズが含まれますが、これもフーリエ変換によって除去することが出来ます。以下にこれらのプロセスを簡単に述べます。

装置輪郭は理想的にはデルタ関数となるべきものですが、現実にはある幅と形を持っています。天体の Flux によるスペクトル $F(\lambda)$ とこの装置輪郭 $I(\lambda)$ の「たたみこみ」が、実際に測定されるスペクトル $D(\lambda)$ です。

$$D(\lambda) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(\lambda - \lambda_0) F(\lambda_0) d\lambda_0$$

σ を振動数/Å を単位としたフーリエ領域に、 $D(\lambda)$ 、 $I(\lambda)$ 、 $F(\lambda)$ をフーリエ変換して $d(\sigma)$ 、 $i(\sigma)$ 、 $f(\sigma)$ とすると、

$$d(\sigma) = i(\sigma) f(\sigma)$$

となります。ここで、 $i(\sigma)$ は装置輪郭がデルタ関数の時はどこでも 1 の値を取りますが、現実には σ の増加とともに輪郭の形状に従った形で減少します。従って測定値のフーリエ変換 $d(\sigma)$ はフーリエ領域の高周波数部分で天体そのもののスペクトルの変換 $f(\sigma)$ よりも減少しています。(図 3 と図 4 を比較)

$$f(\sigma) = d(\sigma) / i(\sigma)$$

この $f(\sigma)$ をフーリエ逆変換することによって装置輪郭の影響の取り除かれた天体本来の Flux によるスペクトル $F(\lambda)$ を得ることが出来ます。

一方観測されるスペクトルには Flux (signal) のほかにノイズが含まれているので、フーリエ変換にもノイズによるもの $n(\sigma)$ が現れます。従って、

$$f(\sigma) = \frac{d(\sigma)}{i(\sigma)} + \frac{n(\sigma)}{i(\sigma)}$$

フーリエ領域で signal による部分より高周波部分に現れるノイズ部分をカットするのがフーリエノイズフィルターです。そのためにこのフィルターはシグナル部分については 1、ノイズ部分は 0 にすればよいのですが、カットした後ノイズを含まない $F(\lambda)$ を出すのにフーリエ逆変換しなければなりませんので、1 からいきなり 0 にならないような関数を使わなければなりません。例えば、

$$fil(\sigma) = \frac{1}{1 + (B/A)^2 10^{2\alpha_0^2 \sigma^2}}$$

この関数の係数を適当に選び $d(\sigma) / i(\sigma)$ と掛け合わせることによってノイズ部分を切ることが出来ます。但し、 B/A は S/N 比の逆数に相当する係数、 α_0 はフィルター関数の肩の落ち具合を決める係数です。signal 部分と noise 部分の境は $d(\sigma)$ の値が落ちきったところ（それより σ が増加しても $d(\sigma)$ が増加しないところ）の σ が目安です。

このプログラムは、次の部分からなる。

- 1) オリジナルのデータを FFT 用に整える。
 - a) 天体 (D)、装置 (I) 両方のデータアレイの両端にダミーデータを加えてデータの個数を 2^N 個にする (この例では 512 個)。
 - b) 吸収線の場合コンティニュームへの立ち上がりの不連続を消すためにコンティニュームの値を差し引く
- 2) D、I それぞれをフーリエ変換 (FFT) して d 、 i を求め d/i を計算する。
- 3) 画面上で d/i を見ながらノイズ部分をカットするようフィルターの係数を決める。
- 4) 3) で決めたフィルターで加工した d/i をフーリエ逆変換して $F(\lambda)$ を導出する。
- 5) それぞれの過程をグラフィックで表す。

以上

プログラムは FORTRAN で書き、NEC-PC-9801 用の PC-FORTRAN でコンパイルした。これにはグラフィック機能がついているので、特に 3) の作業には便利である。

比較のため単純平均 (4 点) を取ったもの (図 6) と、7 点ずつの running mean (図 7) を示す。

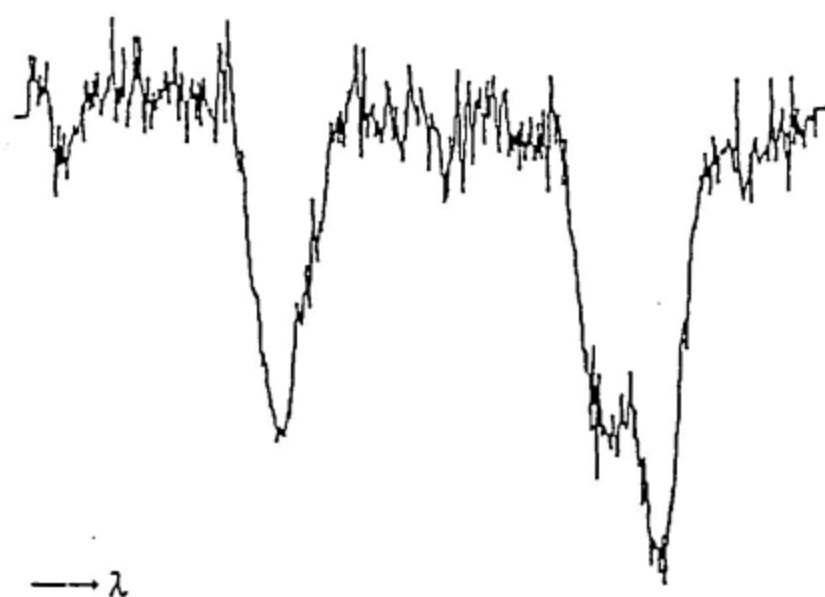


図 1. plate density の生データ $D(\lambda)$

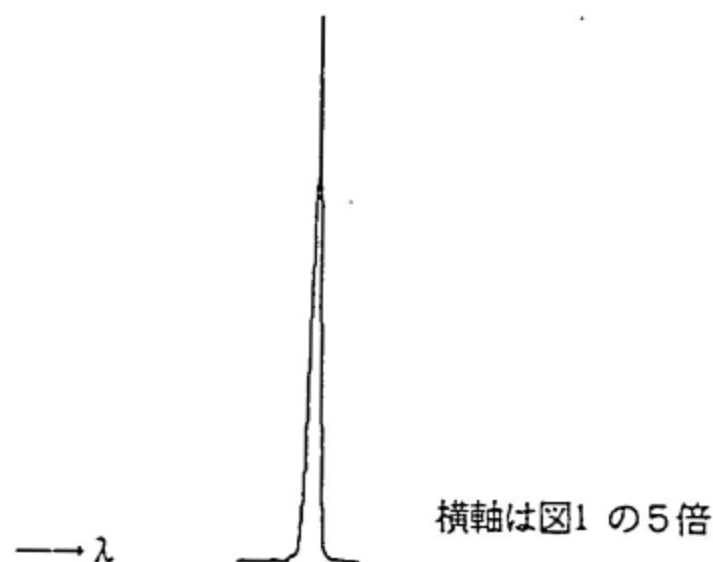


図 2. instrumental profile $I(\lambda)$

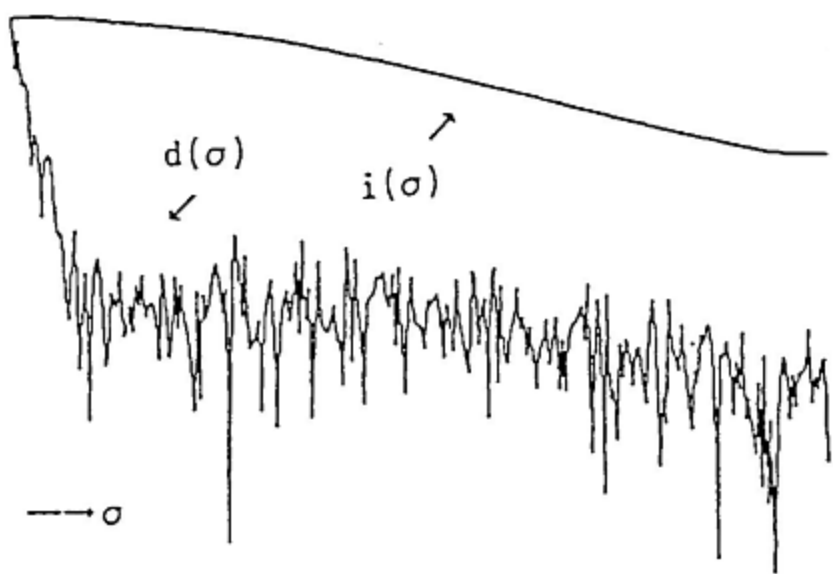
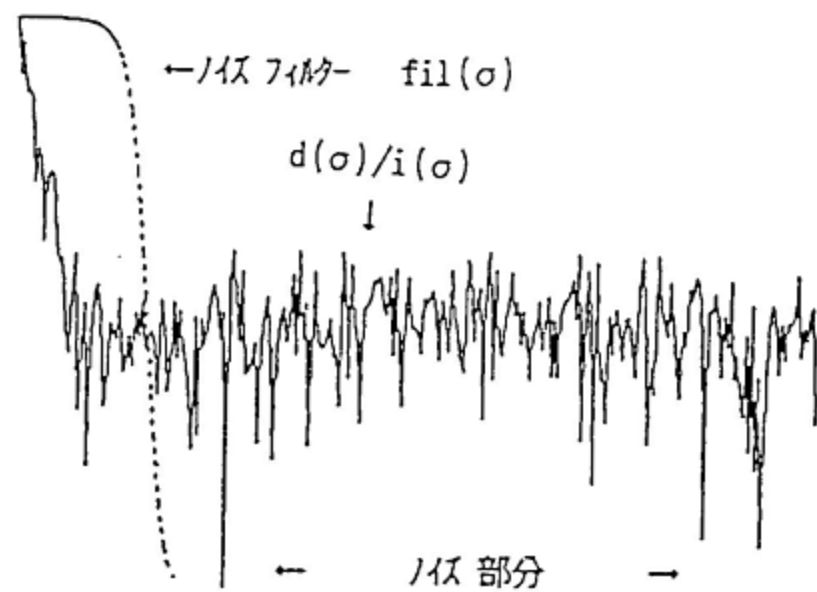


図3. $D(\lambda), I(\lambda)$ を変換した $d(\sigma), i(\sigma)$



→ σ (B/A=0.04, $\alpha_0=0.25$)

図4. フーリエフィルターを掛る画面

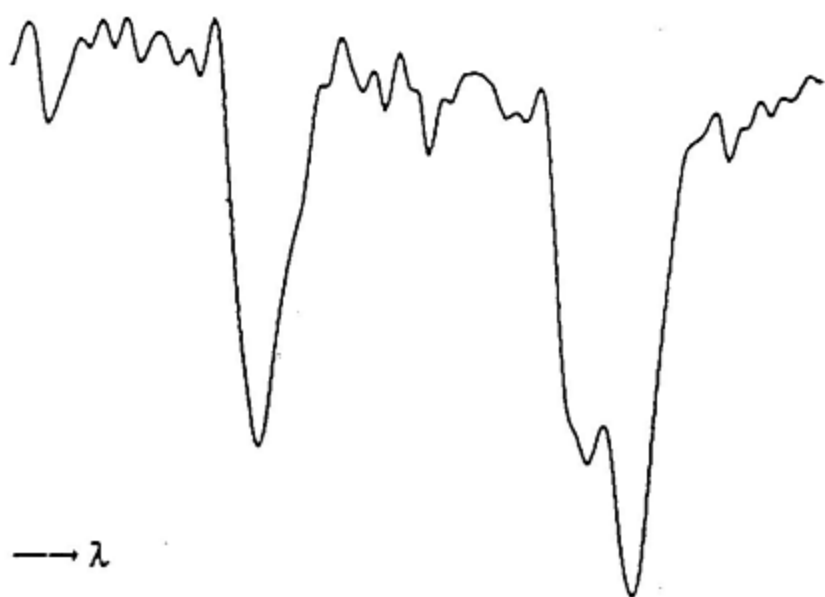


図5. 逆変換して再現された $F(\lambda)$

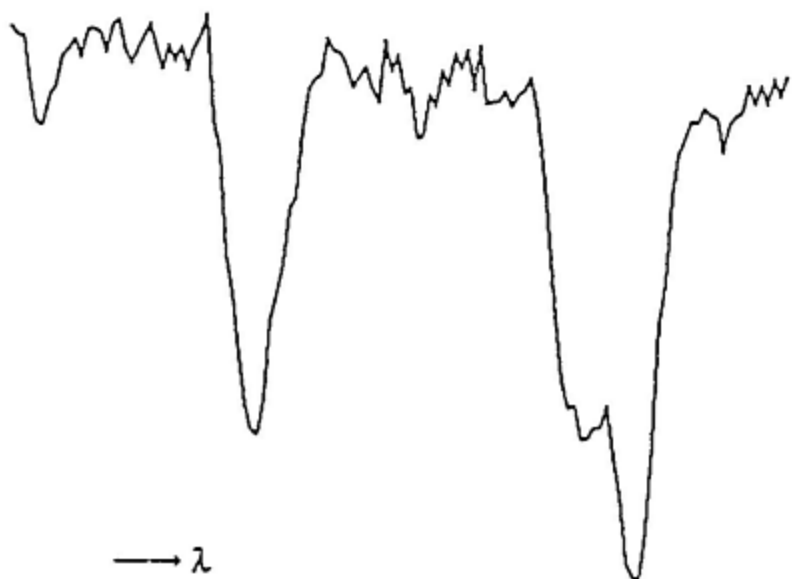


図6. 単純4点平均

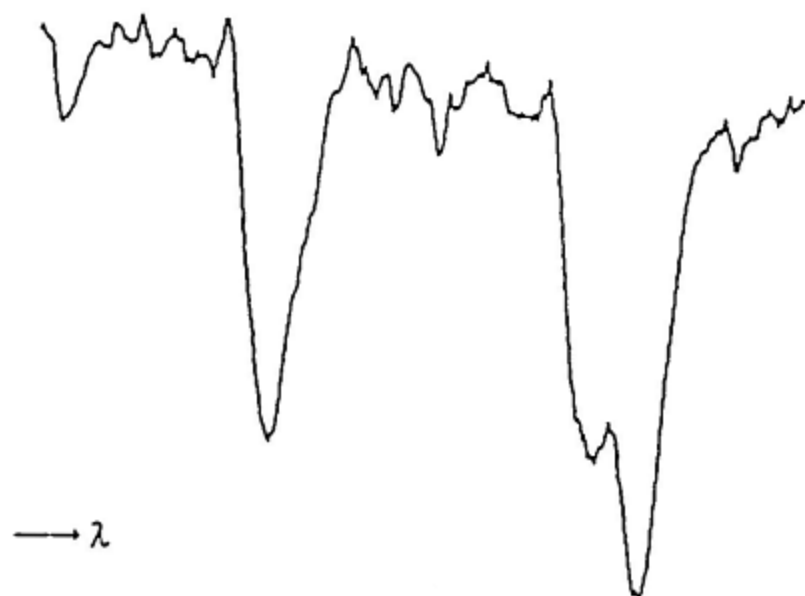


図7. 7点 running mean