

放射線工学部会セッション

放射線工学におけるアンフォールディング研究の現状と将来展望
Current Trends and Future Prospects on Unfolding Techniques
in Radiation Science and Technology

(1) 放射線計測におけるアンフォールディング手法の過去・現在・未来？

(1) Unfolding techniques in radiation measurements - past, present, future?

*井口 哲夫
名古屋大学

放射線計測における情報復元問題は、いわゆる結果を観測して原因を推定する「逆問題」の範疇にあり、スペクトルアンフォールディングに限ると、次のような積分変換（Fredholm 第1種積分方程式）の近似的な逆変換問題として定式化できる。

$$C(E) = \int R(E, E') \phi(E') dE' \quad (1-1)$$

ここで、 $C(E)$ ：測定スペクトル、 $R(E, E')$ ：応答関数、 $\phi(E')$ ：放射線のエネルギースペクトルである。一方、実際の測定スペクトルデータ（例えばマルチチャンネルアナライザーの波高分布や放射化箔の反応率など）から放射線のエネルギースペクトルを推定するとき、式(1-1)を差分化して、以下のような多元連立1次方程式を解くことになる。

$$\sum_{j=1}^N R_{ij} \phi_j \approx c_i \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (1-2)$$

式(1-1)に対応して、 R_{ij} ：応答関数、 c_i ：測定データ、 M ：測定データの離散化のビン数、 N ：放射線エネルギースペクトルのエネルギー群数である。この逆問題では、あらゆるデータに対して、解の①存在性、②一意性、③安定性の3つをすべて満たしているとき「適切」、ひとつでも損なわれていれば「不適切」と呼ばれ、逆問題解析の研究課題は、いかにしてこの「不適切性」を克服して妥当な解を得るかにあると言ってよい。

放射線計測で用いられるスペクトルアンフォールディングには、これまで多種多様な手法が開発されてきたが、大別して決定論的手法と確率統計論的手法に分けることができる。決定論的手法には、優決定問題($M > N$)でよく使われる最小二乗法や劣決定問題($M < N$)に適用できる一般化逆行列法などの定式的に単純明解な直接解法と、ある条件下で実測データと推定値の残差を最小とする解を探索するような最適化手法があり、この中には、現在の機械学習の前世代に当たるニューラルネットワーク法や遺伝的アルゴリズムなども含まれる。この決定論的手法の欠点は、一般に安定的な解を得られにくいことと解の不確定性の推定が困難なことにある。一方、確率統計論的手法は、数学的な推定ロジックが明解であることに加え、解とともにその不確定性も推定できることから、放射線計測のスペクトルアンフォールディングにおける王道となっている。現在のところ、ベイズ推定と情報理論の最大エントロピー原理に基づく多数の計算コードが開発され、実用に供されている。ベイズ推定では、推定スペクトル候補の事前確率分布の中から実測データを満たす条件付き確率密度分布との掛け合わせで得られる事後確率分布を最大化することで解を決定するのに対し、最大エントロピー原理では、解スペクトルを確率分布とみなし、(1-2)の拘束条件の下で、曖昧さの指標である情報エントロピーを最大とする、即ち最も曖昧さの度合いの大きな確率分布を解とするものであるが、適用する問題によっては、推定解に大きく影響する事前確率分布の与え方に本質的な制約がある。

本講演では、雑駁ながら、これら過去から現在まで放射線計測で用いられてきたアンフォールディング手法の原理と特徴をレビューするとともに、計算機能力の格段の向上に伴って期待される次世代アンフォールディング手法？の可能性にも言及したい。

*Tetsuo Iguchi
Nagoya Univ.