

# EM アルゴリズムに基づくミュオン散乱法のロバスト性改善

## Improving Robustness of Muon Scattering Method Based on EM Algorithm

\*大塚 純二, 山本 琢磨, 三島 直, 杉田 幸, 宮寺 晴夫

株式会社東芝

観測したミュオンの散乱角から物体を透視する散乱法は、観測数の不足に頑健でない。そこで、観測数の不足に対して精度低下が少ない EM アルゴリズムに基づく新たな散乱法を提案する。

**キーワード:** ミュオントモグラフィ、散乱法、EM アルゴリズム

### 1. 緒言

散乱法は物質固有のミュオンの散乱角の分散を推定して、ミュオンが透過した物体の種類と位置を特定する技術である。ウラン等の重い物質で分散が大きいため、核物質の検知に利用される。代表的な従来法に、散乱位置を 1 点と仮定して分散を推定する最近点法[1]と、複数の散乱位置と分散を EM アルゴリズムで交互推定する ML-EM 法[2]がある。ML-EM 法は最近点法より高精度な推定ができるが、散乱位置も推定するため観測数の不足に対する精度低下が大きい。そこで、観測数を増やすことと同様の効果が期待できる事前分布を最近点法とロバスト推定を用いて求め、ML-EM 法に導入することでロバスト性を改善する。

### 2. 提案法

ML-EM 法では平均  $\mu = 0$  の正規分布  $N$  で表した角度分布の分散  $\mathbf{v}$  を最尤推定する。一方、提案法では正規分布  $N$  と自然共役な逆ガンマ分布  $\Gamma^{-1}$  を分散の事前分布として導入してベイズ推定する。事前分布は最近点法における散乱角の 2 乗平均による分散推定を、標準偏差のロバスト統計量である平均絶対偏差 (MAD) に換えて推定した分散を用いて定義する。分散  $\mathbf{v}$  のベイズ推定は、次のコスト関数の最小化によって行う。

$$f(\mathbf{v}) = -\log \prod_i \prod_j N(\theta_{ij} | \mu = 0, \mathbf{v}_j) \Gamma^{-1}\left(\mathbf{v}_j \middle| a_j = \alpha M_j, b_j = \frac{\pi}{2} \text{MAD}_j^2 \times (a_j + 1)\right) + \beta \|\nabla \mathbf{v}\|_1^1 \quad (1)$$

$\theta_{ij}$  はミュオン  $i$  の点  $j$  での散乱角、 $\beta$  は平滑化項  $\|\nabla \mathbf{v}\|_1^1$  の影響力を決める定数である。 $\Gamma^{-1}$  の形状母数  $a_j$  と尺度母数  $b_j$  は、点  $j$  のミュオン通過数  $M_j$  と最近点法に基づいて求めた  $\text{MAD}_j$ 、事前分布の影響力を決める定数  $\alpha$  で決定する。事前分布の導入は、 $\text{MAD}_j$  で定義した角度分布から  $2(a_j + 1)$  個の散乱角を事前に得たと解釈でき、観測数の追加と同様の効果が期待できる。なお、散乱位置の推定は ML-EM 法と同じ方法で行う。

### 3. 実験結果

ウランを設置した原子炉压力容器に対するシミュレーションデータを用いたウランの検出実験をした。図 1 は ML-EM 法で適切な推定が難しい観測数 170 万で推定した分散の可視化結果である。しきい値処理でウラン検出した際の誤検出率は ML-EM 法が 61.4%、提案法が 14.1% であり、ロバスト性が改善された。

### 4. 謝辞

この成果は経済産業省「平成 25 年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金（原子炉内燃料デブリ検知技術の開発）」により得られたものである。

### 参考文献

[1] L. J. Schultz et al., "Image reconstruction and material z discrimination via cosmic ray muon radiography," Nucl. Instrum. Meth. Res. A, vol. 519, no. 3, pp. 687-694, 2004.

[2] L. J. Schultz et al., "Statistical reconstruction for cosmic ray muon tomography," IEEE Trans. Image Process., vol. 16, pp. 1985-1993, 2007.

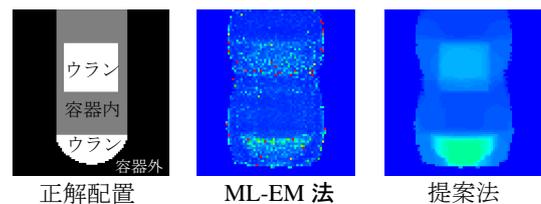


図 1 推定した分散の可視化結果

\*Junji Otsuka, Takuma Yamamoto, Nao Mishima, Tsukasa Sugita, Haruo Miyadera  
Toshiba Corporation