

L1 正則化を用いたトモグラフィアルゴリズムの開発 Development of tomography algorithms using L1-regularization

上原 耀¹, 藤澤 彰英^{2,3}, 永島 芳彦^{2,3}, 山崎 広太郎², 稲垣 滋^{2,3}, 糟谷 直宏^{2,3},
小菅 佑輔^{2,3}, 佐々木 真^{2,3}, 荒川 弘之⁵, 山田 琢磨^{3,4}, 金 史良¹, Zhang Boyu¹,
挾間田 一誠¹, 松尾 士¹, 荒木 健¹, 丸井 一生¹, 星野 智¹

H. Uehara¹, A. Fujisawa^{2,3}, Y. Nagashima^{2,3}, K. Yamasaki², S. Inagaki^{2,3}, *et al.*

¹九州大学大学院総合理工学府, ²九州大学応用力学研究所,

³九大極限プラズマ研究連携センター, ⁴九州大学基幹教育院, ⁵島根大学

¹IGSES Kyushu Univ., ²RIAM Kyushu Univ., ³RCPT Kyushu Univ., ⁴FAS Kyushu Univ., ⁵Shimane Univ.

プラズマ乱流は磁場閉じ込めプラズマの輸送を決定づける重要な要因である。近年プラズマ乱流の研究ではマルチスケール相互作用と呼ばれる微視的な揺動と巨視的な揺動の相互作用が重要な役割を果たしていると考えられている。そのため乱流輸送の理解を実験的に深めるためには、ミクروسケールの現象を観測できる程度の空間分解能でプラズマ全体を計測することが必要である。この条件を満たす計測法の実現を目的として、我々は直線プラズマ装置PANTAにおいてプラズマ自身の発光を再構成するトモグラフィシステムを開発している。

現在発光量分布の再構成にはML-EM法を用いている。この手法は (i) 基底関数を用いない、(ii) 正の値のみを出力する、など乱流計測に好ましい性質を持っているが、逐次近似により再構成を行うため計算に時間がかかる。そのためモニターなどに適した高速なトモグラフィアルゴリズムの開発を行なっている。より早いアルゴリズムの一つとしてL2正則化に重み関数を用いた最小二乗法が挙げられる[1]。この再構成手法は評価関数

$$\chi^2 = \sum \|g - h\epsilon\|^2 + \gamma \|W(r)\epsilon\|^2 \quad (1)$$

を最小化するような発光分布を出力する最小二乗法に基づいたアルゴリズムである。しかしこの手法では局所発光量が負になることがあるという問題を抱えている。そこで本研究では負の局所発光量を返す性質を改善することを目的として、右辺第二項のペナルティー関数を以下の式のように1次の形に変更したL1正則化を用いたアルゴリズムの開発を行った。

$$\chi^2 = \sum \|g - h\epsilon\|^2 + \gamma |\epsilon| \quad (2)$$

L1およびL2正則化それぞれの場合について、 χ^2 誤差の γ に対する依存性を図1に示す。その結果、L1正則化による再構成を行った際の χ^2 誤差は

L2正則化を用いた時と同程度のオーダーになることがわかった。 χ^2 誤差が最小となる γ におけるそれぞれの手法で得られた再構成像を図2に示す。L1正則化を用いることによりL2正則化よりも負の値をもつ最小発光量のオーダーを小さくでき、改善することができた。本講演ではML-EM法、L2正則化、L1正則化を用いたトモグラフィアルゴリズムを用いたそれぞれの再構成像についての比較を行いL1正則化の特長について議論する。

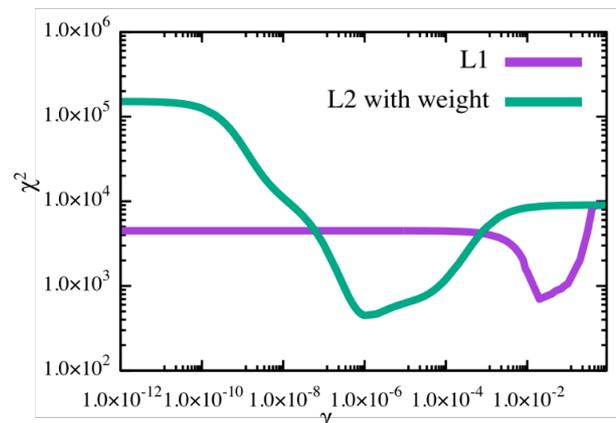


図1 γ に対する χ^2 誤差の依存性

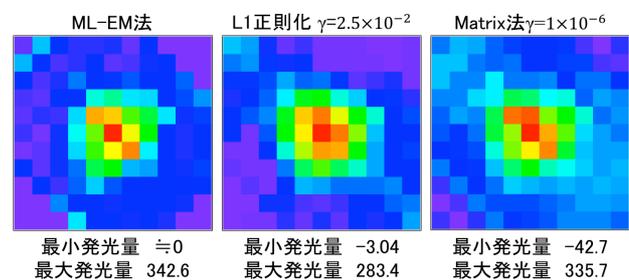


図2 χ^2 誤差が最小となる γ での再構成像の例

参考文献

- [1] K. Yamasaki, *et al.*, Plasma and Fusion Reserch Vol.12, 1201045(2017)