

ガウス過程回帰を用いたLHDプラズマ中電子密度勾配の定量的評価 Quantitative evaluation of electron density gradient in an LHD plasma by Gaussian Process Regression

中村紀彦^A, 山田一博^B, 蓮尾昌裕^A, 藤井恵介^A
N. Nakamura^A, I. Yamada^B, M. Hasuo^A, K. Fujii^A

京大院工^A, 核融合研^B
Kyoto Univ.^A, NIFS^B

シミュレーションコードの入力としてプラズマ実験の計測データを使用するためには、ノイズを含む離散的な計測データ点から背後の関数を推定することが求められる。特に、輸送係数計算のような多くのシミュレーションコードは、電子密度のようなマクロな物理量の空間勾配に強く影響を受ける。

多項式曲線やスプライン曲線を用いた既存のフィッティング手法では、アンダーフィッティングやオーバーフィッティングを避けるために、何次の項までを用いるかのようなモデルの複雑さを人為的に制御する必要がある[1]。例えば、モデルが単純な場合(多項式の次元がデータの精度と比較して小さい場合)、背後の細かい構造は捉えられない(アンダーフィッティング)。反対にモデルが複雑な場合、フィッティング曲線はノイズによる高周波分散に過剰に従い、勾配は非常に大きな正負の値が細かく交互に表れる分布となる(オーバーフィッティング)。

ベイズ統計の枠組みでは、データの従う事前分布をパラメータ化し、周辺尤度を最大化する条件を見つけることで、このようなアンダーフィッティングやオーバーフィッティングを避けることができる。そのうちのひとつの手法であるガウス過程回帰では、計測データは多変量ガウス分布に従うとモデル化される。その共分散関数をパラメータ化することで、空間分解能と不確かさの最適なトレードオフを決定できる。加えて、ガウス過程は関数とその勾配の両方を不確かさとともに推定することが可能である。このような利点のため、近年はAlcator C-Modにおける電子密度や電子温度データのフィッティング[2]など、データから背後の関数を推定するために使われ始めている。

本研究では、ガウス過程回帰をLHDにおけるトムソン散乱計測結果[3]に適用した。図1に、推定された電子密度と勾配の空間分布を示す。計測時刻による、電子密度の大きさやその空間分布の形状の違いを定量的に推定できた。本講演では、ガウス過程回帰を拡張した外れ値に対して頑強なシステムについても触れる。

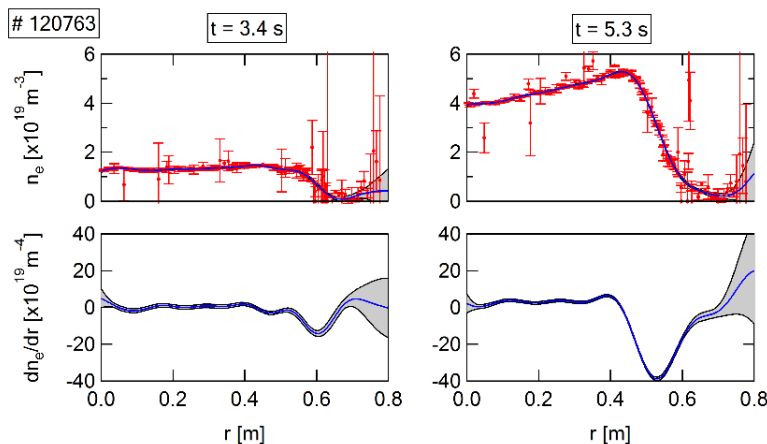


図1 解析に用いたデータ点と予測の結果。電子密度の空間分布を上図に、勾配の空間分布を下図に示す。トムソン散乱計測結果を赤丸で示す。灰色の領域はフィッティングの不確かさ $\pm 2\sigma$ を示す。

- [1] A. E. White, L. Schmitz, W. A. Peebles, T. A. Carter, G. R. McKee, M. W. Shafer, G. M. Staebler, K. H. Burrell, J. C. DeBoo, and R. Prater, Phys. Plasmas **17**, 020701 (2010).
- [2] M. A. Chilenski, M. Greenwald, Y. Marzouk, N. T. Howard, A. E. White, J. E. Rice and J. R. Walk, Nucl. Fusion **55**, 023012 (2015).
- [3] I. Yamada, K. Narihara, H. Funaba, R. Yasuhara, T. Kohmoto, H. Hayashi, T. Hatae, H. Tojo, T. Sakuma, H. Yoshida, H. Fujita, and M. Nakatsuka, Journal of Instrumentation **7**, C05007 (2012).