

核融合プラズマ解析における情報量規準の活用 Utilization of Information Criterion in Analyses of Fusion Plasmas

横山 雅之
Masayuki YOKOYAMA

核融合研、総研大
NIFS/NINS, SOKENDAI

プラズマ物理とデータ駆動型研究の相補性の例として、核融合プラズマに関するデータへの情報量基準の適用に関して報告する。大型ヘリカル装置 (LHD) の熱輸送係数データベースを活用した取り組みである。情報量基準が、プラズマ物理学とは異なる視点から、核融合プラズマにおける複雑な絡み合った現象を紐解くための強力な手段となりうることを示す。

核融合プラズマデータは、プラズマ物理学における視点で整理、解析されることが通例である。例えば、熱輸送の問題の場合、温度勾配長、温度比、衝突頻度などがグラフの軸としてよく利用される。しかし、このアプローチでは、視点は少数の次元 (例: 平面グラフの場合は2 ([Y]対[X])、または3 ([Z]対([X]および[Y]))) となり、データに含まれる豊富な情報のごく一部しか抽出することができない。

そこで、実験的または数値的に多大な努力を払って得られた情報を「十分に」活用することを目指して、【情報量基準に基づく「統計的に」重要な変数の選択】という視点を取り入れようとするのが本研究である。その端緒は、[1]にて示されている。

具体的な説明のために、関連する図表を右段に示す (論文[1]の図表を若干改訂)。LHDでのいわゆる高イオン温度放電に対して、統合輸送解析スイート TASK3D-a [2]によって構築された熱輸送係数データベース解析対象である。図表に示した解析では、プラズマコア部のデータのみ (約400) に限定したため、「少数データ」に対する補正を加えた修正赤池情報量規準 (以下、AICc) [3]を評価した。AICc極小、あるいは、最小の状態が、「統計的に当てはまりのよいモデル」に対応する。

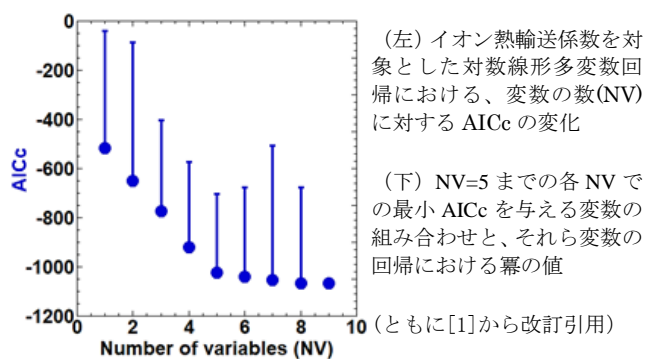
目的変数である熱輸送係数の尤もらしい説明変数として、9変数 (プラズマパラメータと磁場構造に関する変数、通常のnotationであるが、詳細は講演にて) を用意した。これら9変数を利用したAICcの全状態探索 (全ての可能な組み合わせ) を実行した結果を図示している。変数の数 (NV) ごとのバーは、そのNVに対するAICcの変化幅を示している。AICcの最小値はNV=5まで単調に減少し、それ以降はほとんど変化しない。従って、6変数にしてモデルを複雑にするよりも、(ほぼ) 最小のAICcを与える5変数の組み合わせが「統計的に当てはまりのよい」モデルに対応すると考えられる。これは、プラズマ

物理学に基づくモデルとは異なり、統計的考察に基づいて「当てはまりのよい」モデルを獲得するというアプローチである。

次に、NV=5までに選択された変数と、対数線形多変量回帰におけるそれらの指数を表で示す。温度勾配長さや温度比など、物理的にも納得できる変数が高順位で選択されており、しかも、それらの指数が収束傾向にあることも見て取れる。このように、データが持つ情報を統計的に効率よく記述するための重要変数 (データを整理する際の次元) を見出すことができる。

講演では、示している図表の半径位置ごとの違いや、それらの物理的解釈との関係についての考察を試みる。

- [1] M. Yokoyama and H. Yamaguchi, Nuclear Fusion 60(2020)106024.
[2] M. Yokoyama et al., Nuclear Fusion 57(2017)126016.
[3] Akaike H. 1973 Information theory and an extension of the maximum likelihood principle Proc. of the 2nd Int. Symp. on Information Theory, ed. B.N. Petrov and F. Caski (Budapest: Akademiai Kiado) p 267, and Sugiura N. 1978 Commun. Stat.—Theory Methods 7 13.



NV	ρ_i^*	R/L_π	T_e/T_i	ϵ_h	ϵ_t	$\iota/(2\pi)$	AICc
1		-1.43					-516.6
2		-1.08			-1.00		-650.05
3		-0.92	0.55	-1.08			-772.83
4	3.64	-0.89	2.63		-1.06		-918.43
5	3.79	-0.84	2.88		-1.37	1.97	-1023.9