

情報量規準に基づくモデル選択の不確かさ 燃料被覆管の LOCA 時急冷破断確率評価モデルに関するケーススタディ

Uncertainty of Model Selection Based on Information Criteria

A Case Study on Probability Estimation Model for Fuel Fracture during LOCA

*成川 隆文¹, 宇田川 豊¹

¹原子力機構

情報量規準を使えば予測精度やデータへの適合性の高いモデルを選択できるが、情報量規準は統計量であるため不確かさが伴う。燃料被覆管の冷却材喪失事故時急冷破断確率評価モデルを事例に、ブートストラップ法を用いた数値実験を実施し、不確かさを考慮してもなお同モデルが最適モデルと評価されることを示した。

キーワード: LOCA, 燃料被覆管, 破断限界, 不確かさ, モデル選択, 情報量規準, ブートストラップ法, ベイズ統計

1. はじめに

燃料被覆管の冷却材喪失事故 (LOCA) 時急冷破断限界をその不確かさを含めて定量評価するため、著者らは LOCA 模擬急冷破断試験結果に対するベイズ統計モデリングにより急冷破断確率評価モデルを開発した^[1]。同モデル開発では情報量規準 WAIC^[2]及び WBIC^[3]によるモデル選択を実施し、複数の候補モデルの中から予測精度及びデータへの適合性の観点で最適なモデルを選択した。統計量である情報量規準に基づくモデル選択は不確かさを伴う。そこで、ブートストラップ法^[4]を用いた数値実験によりこの不確かさを評価した。

2. 数値実験

2-1. 急冷破断確率評価モデルの概要

対象とした急冷破断確率評価モデルは、非照射ジルカロイ-4 被覆管に対する LOCA 模擬急冷破断試験で得られた燃料被覆管の破断・非破断に関する二値データがベルヌーイ分布に従うと仮定し、Baker-Just 酸化速度式^[5]より求めた化学量論的酸化量を説明変数とする 3 種類の一般化線形モデル (Probit, Logit, Log-probit) として構築した。同モデル開発時のモデル選択の結果、Log-probit モデルが最適モデルと評価されている^[1]。

2-2. ブートストラップ法

ブートストラップ法はリサンプリング手法の一種であり、疑似乱数を使ってデータからランダムにデータ点の復元抽出を行い、疑似標本 (ブートストラップ標本) を生成する手法である。LOCA 模擬急冷破断試験データから生成した 1000 通りのブートストラップ標本を使って、3 種類の急冷破断確率評価モデルについて情報量規準 WAIC 及び WBIC をそれぞれ計算し、これらの情報量規準に基づくモデル選択結果がブートストラップ標本の出方に依存してどのように変化するかを調べた。

3. 結果及び考察

表 1 に WAIC 及び WBIC が最小となる割合をモデル別に示す。これらの情報量規準の値が小さい程、モデルの予測精度及びデータへの適合性が高いことを示す。WAIC 及び WBIC が最小となる割合が最も高いのは Log-probit モデルであり、モデル選択の不確かさを考慮してもなお、同モデルが最適モデルと考えられた。

表 1 情報量規準に基づくモデル選択の不確かさ評価結果

急冷破断確率評価モデル	WAIC最小となる割合 (%)	WBIC最小となる割合 (%)
Probit	13	15
Logit	1	10
Log-probit	86	75

参考文献

- [1] Narukawa T. et al., JNM, 2018; 499: 528–538. [2] Watanabe S., JMLR, 2010; 11: 3571–3594.
[3] Watanabe S. JMLR. 2013; 14: 867–897. [4] Efron B., Ann. Statist. 1979; 7(1): 1–26. [5] ANL-6548.

*Takafumi Narukawa¹ and Yutaka Udagawa¹

¹IAEA