

ベイズ理論に基づく感度係数を用いた行動形成因子の係数調整手法

Adjustment method with sensitivity coefficient based on Bayesian theory for performance shaping factor

*竹田 敏¹, 北田 孝典¹

¹大阪大学

ベイズ理論に基づき、さらに感度係数を活用することで、人的過誤確率を算出する元データとなる行動形成因子の係数を調整する方法を開発した。開発した手法を用いる場合は、異なるシナリオ・文脈の実績データを用いて特定の行動形成因子の係数を調整できるため、シナリオ・文脈に応じた実績データが乏しい場合でも合理的な調整が期待できる。

キーワード：ベイズ理論，人的過誤確率，行動形成因子，感度係数

1. 緒言

シミュレータを用いた実験データを活用することで、ベイズ理論に基づいて人的過誤確率を調整する手法が近年検討されている。従来の研究では、SPAR-H等の手法で求める人的過誤確率を調整することが検討されており、対象となるシナリオ・文脈が多岐にわたる場合は、シナリオ・文脈に応じて多数の実績データを用意する必要があった[1]。そこで本検討では、ベイズ理論と感度係数を活用し、行動形成因子の係数を調整することで、シナリオ・文脈の実績データが乏しい場合でも合理的な調整が可能となる手法を開発した。

2. 手法

この検討においては、この行動形成因子の係数が正規分布でばらつくと仮定して導出する。行動形成因子の係数 p_{psf} の確率密度関数 $P(p_{psf})$ と、 p_{psf} が与えられた場合の試行回数 N のうち k 回が失敗となる実験結果の確率密度関数 $P(N, k | p_{psf})$ は

$$P(p_{psf}) \propto \exp\left(-\frac{(p_{psf} - E(p_{psf,0}))^2}{2M}\right), \quad P(N, k | p_{psf}) = \frac{N!}{k!(N-k)!} p_{psf}^k (1 - p_{psf})^{N-k} \quad (1)$$

となる。ここで、 $E(p_{psf,0})$ は行動形成因子の事前分布 $p_{psf,0}$ の期待値、 M は p_{psf} の分散、 p_{hep}^{psf} は p_{psf} が与えられた時の人的過誤確率を示す。ここで、 p_{hep}^{psf} を次式のとおり展開する。

$$p_{hep}^{psf} = p_{hep}^{E(p_{psf,0})} + S_{p_{hep}}^{psf} (p_{psf} - E(p_{psf,0})) \quad (2)$$

ここで、 $S_{p_{hep}}^{psf}$ は p_{hep} に対する p_{psf} の感度係数である[2]。ベイズ理論より、実験結果が得られた場合の p_{psf} の確率密度関数 $P(p_{psf} | N, k)$ は $P(p_{psf})P(N, k | p_{psf})$ と比例関係となる。このため、式(2)を式(1)に代入すると、 $P(p_{psf} | N, k)$ は p_{psf} の関数として求められる。

3. 適用結果および結論

SPAR-Hの行動形成因子の一つである Procedures を対象とし、Halden 炉のシミュレータ実験で実績のあるシナリオ IA[1]を用いて本手法を適用した。試行回数 N を4とし、失敗回数 k を変化させて、行動形成因子の確率密度関数を評価した(図1)。調整前のSPAR-Hでの人的過誤確率は0.001である。 $k=0$ の場合は調整量が小さく、 k の増加に伴い行動形成因子の確率密度関数も正側に移行することから、定性的に妥当な調整が施されることを確認できた。

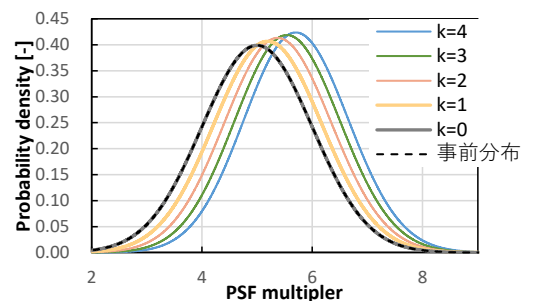


図1 行動形成因子の確率密度関数

参考文献

[1] Katrina M.G., et al., Reliability Engineering & System Safety, vol. 128, 32-40, 2014.

[2] 竹田他, 日本原子力学会 2020 年春の年会.

*Satoshi Takeda¹, Takanori Kitada¹, ¹Osaka Univ.