

## 2019年9月 日本原子力学会 秋の大会 リスク部会企画セッション

### 「リスク評価におけるベイズ手法活用について」の議事録

日時： 9月11日(水) 13:00-14:30

場所： 富山大学 共通教育棟 3F A34 会場

参加者： 75名

座長： (JAEA) 丸山 結

定量的なリスク評価は、原子力施設の特性と脆弱性を定量的に把握する有効な方法として、事業者の自主的な安全性向上活動、及び、その評価の届出、新検査制度での指標などに活用されつつある。定量的なリスク評価においては、様々なパラメータを利用するが、パラメータ算出において十分なデータを集められないケースが存在する。データ数が少ない場合のパラメータの確からしさを高める手段としてベイズ手法の適用が多様な分野で検討されている。本セッションでは、リスク評価に活用するパラメータにベイズ手法を適用した活動を紹介し、ベイズ手法の有効性、課題に関して議論を行う。

各発表における質疑応答を以下に記載する。

#### 「1 ベイズ流アプローチのリスク評価への応用」 東大 山口 彰

(質問) ベイズ流アプローチを使う限界、使うときの注意点があれば教えほしい

(山口) 注意すべき点はないと思う。あらかじめ変なバイアスを入れないこと。例えば、予防原則の乱用。天然痘でないという証拠がないときにあなたは天然痘だと言って隔離してしまうとか。ベイズはバイアスをなくして評価する方法。断層変位の生じる可能性があるかないかについてデータを集めるがその証拠がなかなか見つからない時に、だから安全とはいえない、だから安全ではないという論理を皮肉っている。ベイズの式を使えば、当初の予想通り、問題である可能性がきわめて低いという結論が出るはず。論理的に、数学的に正しいベイズに従って我々は判断していく。その時に、確率に従って、ALARP という考え方で判断していく事を粛々とやればよいというのがベイズ流だと思う。

(質問) 問題の証拠が見つからないという事象を積み上げていけば、問題がないという確率が変わっていくのでしょうか?

(山口) 問題がないという確率がだんだん減っていく。問題がないのであれば、問題がないという証拠がどこかにあるはず。全部ひっくり返してもないという事は問題がないという前提を疑わざるをえない。ところが現実には全部ひっくり返すことが無理なので何らかのジャッジメントが必要。限定したデータで評価をしていく。重要なのは、この段階で問

題ありという説を棄却するわけではなくて、他のデータでもなんでも何か懸念することがあれば、それはきちんと反映されて、問題ありという確率がぐっと増えて、新たな ALARP としての判断を求められる。

(蝦沢) SSHAC との比較でコメントを聞かせて

(山口) アウトライヤーという平均値をとる方法では、一人だけの非常にアウトライヤーがいると影響されて、いろいろな知識を反映しなければいけないというところが発想してきたところ。SSHAC の考え方は、ベイズの考え方と非常にマッチする。頻度論とかそういうものだけに頼らないで統合的な意思決定をしていこうというものを具体化する方法で非常に密接に関係していると理解している。

---

## 「2 ベイズ統計による信頼性パラメータ評価」 電中研 吉田 智朗

(質問) 日本のプラントは故障する前に交換するから故障率のデータが少ないと聞いたことがある。そういう事も検討しているという事でしょうか。

(吉田) 交換するかしないかで比較ができない。交換したものと交換しないものとの事例がないので実際にはそういう検討はしていない。交換する、しない、に関わらず、正直にデータを取るという事しかやっていない

(質問) アメリカと日本では比べにくいという事になる

(吉田) 例えば、ある期間、日本のプラント要員がアメリカのプラントに研修に行き、同じくアメリカの要員も日本に研修に来て、お互いどういう保守をやっているかなどを経験すると、故障率が自国より高いか低いかという感覚みたいなものが掴めると思う。しかしながら、実際に具体的に数値化して、これだけ保守やるとこれだけリライアビリティが減る/増えるということの評価する手法はないので、比較評価なかなか難しい。

(質問) 早く予防保全的に交換するから故障データがないというのであれば、予防保全的に交換するデータをベイズにして、経験ベース的にやれば国内データの良いところを説明する根拠になるのではないか。

(吉田) どのような確率モデルを作るかが重要であるが、どのようなモデルにしてよいかはわからない。

(質問) 機器に故障が発生するとそれが二度と起こらないように電力は対策をうってしまう。そうすると過去のデータが全部リセットされる。実績を得て、それを反映して発生確率に関する信頼度を上げていくという事ができないようなことについてどのように考えるか。

(吉田) 米国の一般故障率評価では、5年とか10年でデータをローリングして評価している。あまりに古い昔のデータは使わないで新しいデータを用いて推定すると、例えば、昔は信頼性が悪かったものが、新しいデータによりだんだんと良くなっていく。つまり、ベイズのモデルの中に信頼度の上がる仕組みを組み込むのではなくて、新しいデータを与えて信頼性の評価を更新する、という事をしている。

(質問) 時間をずらしていく事も方法だがこのようなトラブルは二度と起きないという事でカウントしないというのも対策ですね。

(吉田) トラブルが起こらなければ、故障データとして挙がってこない、ということである。

### 「3 ベイズ手法を用いた機器フラジリティ評価」 東大 高田 孝

(質問) フラジリティへの活用という観点では、データが少ない断層変位フラジリティで活用できるのではないか。地震フラジリティはこの15年間で限界試験やっており、耐力のデータが全部あり、PWR, BWR のあらゆるプラントのリスク評価した結果、支配する機器は大体CDFに効く95%が5~6個という事がわかっている。CDFを支配する機器の不確かさは、耐力は中央値、応答、 $\beta_u$ ,  $\beta_r$  という事がわかっている。この考え方は津波も一緒。活用する先を明確にしたほうがよい。

(回答) ご指摘のとおり。データが十分なものは不要と思う。地震の場合、個々の機器については多分大丈夫、しかし、これから先システムの機能そのもののフラジリティをどのように見るかという点で課題があると思う。

(質問) いろいろな手法が提案されているが、まるで今の手法が未成熟のようにみえる。手法が成熟してないからリスクを実践しないという先送りの議論に使われかねない。実践という観点でここは使える、ここはもういいよという形でメリハリをつけないとリスク先送り論になってしまう。28の教訓の最も重要なリスクを使えなかったという人を楽しませてしまう。やれるものはやるという観点で検討頂きたい。

(回答) まさにその通りと思う。ここで言いたかったのは、「こういう不確かさを減らさないと使えないよ」ではなく、ちゃんと不確かさを考えたうえで使いましょう、でもこれから先、この不確かさをどのようにしていくのかという一つの考えと理解してほしい。学協会でもこういう不確かさを考えたうえでリスク評価ができているのだという事を示していきたい。

#### 「4. Application of Bayesian Statistics to Source Term Analysis」 JAEA 鄭 嘯宇

(質問) ひとつのパラメータで予測する場合はこのモデルを使うと思うが、他のパラメータを増やす場合は、パラメータを増やすのか、それともファンクションとして扱うのか。

(回答) 予測する出力が1次元の場合、Single-output のガウス過程で対応できるが、出力が多次元の場合、Multiple-output のガウス過程で予測できる。しかし、多次元の出力に相関がない場合であれば、独自のガウス過程モデルを構築してもいいと思う。

(質問) ソースタームの評価は大変難しく、メカニスティックシミュレーションはたくさん不確かさを含んでいる。正しいシミュレーションをできているかどうか自信がないと思う。それで、サロゲートモデルという手法を使っていると思うが、そういう方向でよいのだろうか。もっとメカニスティックシミュレーションの精度をあげる事に尽力すべきではないか。

(回答) まずはあるコードを使って不確かさの幅を計算している。それはシミュレーションコードを使う。その不確かさをどう減らしていくかに関し、重要度評価としてどういうところを狙っていくかを決めるときに、サロゲートモデルを使って何ケースか解析し、相関とかを考えて、ここのモデルを精緻化すれば不確かさが下がるというのを評価したい。本研究では、まずは不確かさ解析をやって、そのあと重要度解析をやって、そのあと不確かさを減らすには何をすべきかを検討する事を目指す。

(質問) サロゲートモデルの考え方についてだが、いまの説明では、例えば MELCOR とかのコードをファンクションとして与えると聞こえる。コードの中のモデルをサロゲートモデルとして考えて、コードの中にいくつもサロゲートモデルを作るほうが合理的ではないか。質問は、THALES のサロゲートのファンクションを作ろうとしているの、それとも THALES の中にある物理現象のサロゲートモデルを作ろうとしているのか。どういう方針か？

(回答) THALES 全体、及び、部分の両方のサロゲートモデルを検討している

(コメント) THALES 全体のサロゲートを作ろうとするとどの不確かさと結びつけていいのかが極めてあいまい。何を評価しているかがわからなくなってくると思う。シンプルなコードならよいが THALES のようなコードだといろいろな事が結び付けている。ちょっとしたイベントのタイミングとかトランジションの違いによってガラッとフェーズが変わるといふ事がある。THALES 全体のサロゲートには限界があるように思うが面白いアプローチなのでサロゲートと実際に扱っている不確かさの関係を明らかにできたらよいと思う。

(質問) 数値計算の方を正しいとしているから、エビデンスのアップデートの影響が無茶苦茶エビデンス側に動きますよね。エビデンスのトレーニングデータはベイジアン更新終わった後ほぼイコールになっている。

(回答) データが既にある所は、エラーが無いようにしている。

(質問) それはガウシアンプロセスの特徴なのか、それともそうなるようにガウシアンプロセスの中のエビデンスの容認をかなり大きくした結果なのかについてはどうか。

(回答) 説明した解析では、エラーが0になるように設定しているが、シミュレーションコードの不確かさをガウス過程の Mean function へ反映することは可能である。

(コメント) そういうことをやるのもともとコンピュータコードが持っている不確かさに対してあまりに無視したような表現になっている。その不確かさについてどのような影響が出るかを調べたらよいのでは。