

第9期津波評価小委員会（2024年度第2回）議事録案

1. 日 時 : 2024年11月22日（金）9:00～12:00

2. 場 所 : WebEXによるオンライン会議

3. 出席者 : 高橋委員長、今村委員、蛭沢委員、金戸委員、川村委員、菅野委員、後藤委員、サッパシー委員、嶋原委員、柴田委員、菅原委員、高川委員、田島委員、富田委員、馬場委員、福谷委員、松山委員、森委員、八木委員、米山委員、清木氏（家島委員代理）
川真田常時参加者、重光常時参加者、西坂常時参加者、野原常時参加者、村上常時参加者
木原幹事長、荒川幹事、石島幹事、石原幹事、稲葉幹事、小川幹事、長田幹事、甲斐田幹事、加藤幹事、木村幹事、栗田幹事、木場幹事、佐藤幹事、志方幹事、芝幹事、鈴木幹事、土屋幹事、南部幹事、東幹事、藤井幹事、保坂幹事

4. 議 題 :

(1) 2024年度第1回津波評価小委員会議事録の確認

資料-1

(2) 津波解析手法の高度化に関する検討

—津波水位の確率論的評価手法に関する検討—

・計算ケース数の縮減手法に関する検討

①ガウス過程回帰に関する検討

資料-2-1

②機械学習（ディープラーニング）に関する手法の基礎的な調査

資料-2-2

(3) 地震を要因とする津波に関する検討

—地震性津波の確率論的評価手法の高度化に関する検討—

・津波の再現性指標に関する検討

資料-3

(4) 地震以外を要因とする津波に関する検討

1)地すべり津波解析手法の高度化の検討

・模式地形による比較検討

①模式地形の設定

資料-4-1-1

②3Dモデルによる計算方法

資料-4-1-2

2)地すべり津波の確率論的評価手法の高度化に関する検討

資料-4-2

(5) その他

5. 議 事 :

(1) 2024 年度第 1 回津波評価小委員会議事録の確認

資料-1

- 疑義等あれば幹事長および幹事団に連絡のこと。

(2) 津波解析手法の高度化に関する検討

ー津波水位の確率論的評価手法に関する検討ー

- ・計算ケース数の縮減手法に関する検討

①ガウス過程回帰に関する検討

資料-2-1

- Q ガウス過程回帰を行っており、ハイパーパラメータをちゃんと求めているということは、尤度が求まっているはずである。その場合は、カーネル関数として指数関数と RBF のどちらが良いかという議論をしていた。適合性を K 、 κ で見ているが、尤度で比較はしないのか。
- A おっしゃるとおり、ハイパーパラメータを求める時には尤度を求めている。尤度での比較を行っても良いとは思いますが、今回は一般的な K 、 κ で評価している。
- C 尤度で比較する時は、ハイパーパラメータの自由度が異なるため面倒だと思われるが、情報基準量が分からないが、本来は尤度が近いもので評価するべきである。
- Q 2 つ質問がある。今回は一つの波源に対して、複数の地点のデータを使って学習している。説明変数で緯度経度を入れることで場所の情報が入るため、地形の影響も入るという話があった。元の目的からすると、単地点に対して多数の波源があるということで、だいぶモデル化が変わると思うが、その辺りはどうなのかということが 1 点目である。2 点目は、標高を入れると再現性が上がるということだが、標高を与えた時に、そこが浸水しないという条件もあると思うが、そこについては今回の扱いはどうなっているのか。
- A まずは 1 点目についてだが、今回とは逆のような考え方となる。確率論的ハザードの場合は波源の方が動き、評価地点は 1 つだけで動かなくなってしまうため、どちらかと言うと、その地形効果などは共通情報になるため効いてこなくなる。波源が移動したことによる位置関係を説明変数として今度は入れて、ガウス過程回帰のモデルを作っていくというような流れになると思う。
- Q 波源の方が入れる情報が多くなると思うがいかがか。
- A パラメータスタディを行うときに何をパラメータとするかによると思う。ある程度万能なものにしようすると、説明変数が増えていくため、そこはある程度波源の種類ごとに絞っていけばそこまで多量にはならないと考えている。
- 標高については、今回は津波が到達している地点を使用している。
- Q 浸水している地点だけを対象としているため今回は良いと思うが、逆の使い方をするときには、浸水しないというケースが出てくると思うため、標高を入れたことで、標高以上の値が予測として

必ず出てくることになると思うがいかがか。

- A そこは考える必要があり、予測性能との兼ね合いだと考えている。計算上はそのようなこともあり得るので、その場合は取扱いについて注意する必要があると思う。

②機械学習（ディープラーニング）に関する手法の基礎的な調査

資料-2-2

- Q 文献調査をされているが、昨今ハゲタカジャーナル等がある。文献の選定方法について、着眼点等があれば教えてほしい。
- A Roger et al.（2024）がディープラーニングについて非常に良いレビューを行っており、先行研究のリストがまとめてあるため参考にしている。論文検索は Web 検索がメインになる。アブストラクトを読んだり、キーワードを拾ったりした後、一つ一つの論文を確認し、参考文献としている。
- Q この委員会を通してそういう共通認識ということでもいいのか。もう一点、この委員会では過去どのくらいの範囲までをターゲットにしているのか。十勝沖地震や南海地震についても、歴史地震まで遡るとパラメータを作成するのがやや難しく思える。100 年、1000 年、有史等の明確な基準があるのであれば教えてほしい。
- A 今のところディープラーニングのターゲットとして、どこまで遡るかについての議論にはなっていない。現在は、Web 上の履歴や仮想モデルにおける適用性の検討に留まっている。来年度は実際のものに適用したいと考えており、南海トラフといった、解析の信頼度がある程度確保されているものを対象にする予定である。
- Q その意見は、委員会全体の考えという認識で良いか。
- A 機械学習に関しては先ほどお答えいただいたとおりだが、過去どのくらいの範囲までをターゲットにするかは委員会全体として特に決めておらず、それぞれのテーマにより決めている。この委員会は、原子力発電所の安全性の確認に必要なものを追っていくというスタンスのため、どれぐらい昔まで考えるといった話は特段していない。
- C 承知した。その点も含めて全体で議論しているということで理解した。
- A どういった観点でハゲタカジャーナルを見分けるかについては、日本の大学では共通の認識ができてきていると思う。色々な大学の図書館でハゲタカジャーナルの取扱いについては出てきており、この委員会でもそういったものを参考にしていきたいと思う。
- Q 14 ページの汎化性能のところにデータとあるが、これはテストの際に使うという認識で良いか。モデルを作成した後に、新しいデータを入れて予測結果がどうなるか確認するものという認識で良いか。
- A 具体的な認証パラメータとして使うのは、断層パラメータと断層位置である。標高はモデルを作

成して回してみた時に使ったものである。

Q モデルを組むときは、パラメータと断層位置を入力し、目的が津波高ということで良いか。

A そのとおりである。

C 私も似たような研究をしており、課題としてあるのが新しいデータが入る際に、波高が高いところの予測が難しいということである。

A 現在、2500 ケースぐらい検討しているが、おっしゃるとおり、一番高いところの波高がモデル上一番高くないということが多い。津波高が小さいケースがその傾向が強いためだと推測している。

(3) 地震を要因とする津波に関する検討

—地震性津波の確率論的評価手法の高度化に関する検討—

・津波の再現性指標に関する検討

資料-3

Q リアス式海岸と単調な海岸があった場合に、そこを一直線に並べても良いのか。リアス式海岸の特性などに重みが出るような気がする。この評価によってそのようなことは解消できるのか。リアス式海岸だと一直線に延ばすので点が増えるのではないかと思う。

A リアス式海岸だと点が増えるが、海岸線に沿った距離で累積しているため、分析上はリアス式海岸であれば、直線状に伸ばした海岸という扱いにはなる。リアス式海岸を直線状に並べるものと、本当に元から直線で並んでいるものを同じにして良いのかということかと思う。おそらく同じ海岸に面している点は同じような津波の出方をするが、直線状で同じくらい離れている点であれば、空間的な伝播過程が異なるものが入っているのだとすると、厳密には区別した方が良いように思う。同じ海岸に面している、同じ湾であるという点を何らかで評価できれば、今指摘いただいた点を考慮できると思う。現時点では具体的には分からないが、検討する。

C このまま行くと、リアス式海岸に重みがつくような気がするため検討して欲しい。

C 理論値と観測値を比較するときに、その差は何に依存するかということを考える必要がある。それは主にモデル誤差と観測誤差であるが、観測誤差がどのような分布特性を仮定しているか、例えば、ガウス分布を仮定している場合は、残差の二乗和が最小になる結果が一番良い解である。誤差の分布が指数分布に従うと仮定した場合は、観測と理論値との誤差の L1 ノルムが最小になれば良い。先ほどのガウス過程回帰も同じだが、ガウス過程の場合は、誤差はガウス分布に従うとみなしているはずである。例えばバリエンスリダクションの場合は、分母が観測値 O の二乗和で定数になるため、結果的には L2 ノルムの最小化とみなせる量が評価基準になってくる。こういった観点からは、Allen and Greenslade(2013)の考え方は全く理解ができない。統計学的なリテラシーからは全くよく分からないことをやっていると思う。相田の K などは log で取

ったときに、モデルと観測の差がどのように表現されているのかということを考えて、差が非常に大きいことから log を使ったと考えている。誤差にはモデル誤差と観測誤差があり、それらがどのようになっているのかということを考えることは非常に重要である。例えば、空間にモデルデータのポイントが多数ある場合、一番の正攻法は共分散行列である。共分散行列を入れてモデルを評価すれば、本来良いはずである。今までの経験の積み重ねもあると思うが、所謂統計学的な発展を取り入れて、評価基準を考えた方が良いと思う。

- A 今いただいた意見を踏まえて、反映できるところは反映したいと思う。
- C K、 κ は歴史的にも使ってきており良いところもあると思う。それを基準としているが、様々な統計的な手法を考える必要があることはそのとおりである。まだ足りないところもあるかと思うので、アドバイスをいただきながら今後進めて欲しい。
- Q 今回妥当性確認ということで、新しい指標を導入している。例えば K、 κ を見る中でも、信頼性で問題がある異常値、あるいは、メッシュが細かく今の数値モデルではどうなのかということがある。異常値を検出し、合理的に排除できるものがあれば良いが、その辺りはどうか。
- A 統計的にそのようなことができれば良いと思うが、実際の現象としてそのようなことがあり得るのか、単なる誤差であるのかという判断は今のところは人がしなければならぬところがあると思う。
- C 異常値の異常さにもよるが、明らかな異常値については統計的に処理するというよりは、人が処理する方が向いていると思う。
- C 主観的に取り出すことを今まで行っているが、それを補助する合理的なものが提案できれば良いと思う。目的としては、例えば波源モデルの妥当性で、それがどれくらいのレゾリューションなのか、何を目指しているかということも前提で評価できれば良いと思う。
- C 異常値を処理する観点では、指数分布はテールが大きい。テールが大きい分布を使うと、少数の異常値に過敏に反応しなくなる。逆にバリエーションにするとガウス分布を仮定したことになるので、テールが小さい釣鐘型の分布になり、異常値があると結果が非常に大きな影響を受ける。さらに異常値に対する感度を小さくしたければ、スチューデントの t 分布のような分布関数を使うと、異常値に対してロバストとなる。相田の K、 κ は良く考えられており、log で取っているため、大きな値の異常値にロバストに反応する関数であると認識している。
- C K、 κ を置き換えるのではなく、K、 κ が苦手なところをきちんと把握をして、どういった指標が良いのか考えていると思う。

(4) 地震以外を要因とする津波に関する検討

1) 地すべり津波解析手法の高度化の検討

- ・模式地形による比較検討

- Q 今後、OpenFOAM や二層流モデルといった数値モデルで計算してパラメータを比較するということは分かった。結局真値は何になるのか。
- A OpenFOAM による計算結果を真値と仮定して検討を進める。OpenFOAM の計算がどれくらい確からしいかは、次の資料で説明させていただく。
- Q Watts 式を検討される際に、スライド型を想定されていたが、スランプ型の検討はしていないのか。
- A スライド型の方がスランプ型と比較して、実現象としての津波が大きくなる。そのため、スランプ型は考慮せず、スライド型で現象を確認している。
- Q 地すべり体の移動を一定距離で止めるとのことだが、実際の海底地すべりは進展していくものだと思う。硬い、或いはベトベトしたものが移動して、止まるというより拡散して消えるイメージがある。この基礎実験はどのようなモデルを意識して作られているか。
- A 今回、地すべり体は剛体としているが、本来は柔らかいものが地すべり体であると思う。しかしながら、水位上昇は剛体で止まる方が大きくなるため、剛体としている。
- Q 停止しないでその場で剛体が終わるという動きはどうか。
- A 海底地すべりの場合は、これまでの検討より初期の地すべり体の動き、特に最終速度に到達するまでの動きで概ね津波の振幅や形状が決まることが分かっている。最終速度に到達した以後は、それほど津波の造波に寄与しないと考えている。そのため、初期の造波に影響が出る可能性のある途中で剛体を止めるケースについても検討を行う。

- Q 三次元になっていると思うが、平面から見ると同じような説明で良いのか。それとも、三次元的な渦のようになっているのか。三次元の説明で不安要素が解消されるのかと思い質問した。
- A その辺りについては着目していなかった。
- C 基本的には、例えば混濁流だとらせん流がある。そのため、二次元で見るとただ渦を巻いているように見えるが、三次元的に見ると、螺旋の流れになるため、もしかしたら説明が上手くつく可能性がある。
- A まだらせん流についてイメージできていないので、今後その辺りについても確認し分析する。
- C データはあると思うので、しっかり活用し確認してほしい。

- Q 今回は地すべりの動きは決めて行うということか。
- A そのとおりである。
- Q 実際に水とインタラクションがあるということが考えられるので、当面は今のやり方でやっていくということか。
- A 今フェーズでは今のやり方でやっていこうと考えている。今の解析方法でも動きに自由度を持たせて、流れによって重力などの外部の力を受けて、地すべりが動くような計算もできるのだが、物体と物体の反発や摩擦などは考慮できておらず、自由な物体とすると、空隙率が小さいところに斜面を突き抜けて落ちていくことがある。
- Q 真下に落ちるのだと思うが、先ほども境界部で無理な計算をやっていたと思う。結局、水からの影響をどれくらい受けるのかは分からないこともあるので、今回はルートと速さを決めて行い、それで合うのか、合わないのかを進めていく話ということか。
- A そのとおりである。

2)地すべり津波の確率論的評価手法の高度化に関する検討

資料-4-2

- Q 検討対象のところで、地すべり発生確率について解析を実施すると記載がある。ロジックツリーを見ていくと、海底地すべりの解析は陸上地すべりが参考になるのではないか。陸上地すべりは目に見えるため、定性的な検討ができる。確率論を高度化する上で、陸上地すべりを参考にされているか伺いたい。
- A 津波そのものの検討対象は、海底地すべり、陸上地すべりの両方である。
- C 陸上地すべりは見えるため、確率論という話では、どういう風なメカニズムで起きているのかを確認しておくという意味で、十分参考になるのではないかと思い、質問した。
- C 確率全般の話としては十分参考になる話だと思う。

(5) その他

- 特段の議論はなし。

以 上