

巻頭言

自然災害のメカニズムと不確実性—地震の発生確率とその取扱いに関して—

会長
東京大学
目黒公郎

災害のメカニズムと不確実性の原因

災害のメカニズムは、「入力 (I) → システム (S) → 出力 (O)」の関係として考えると理解しやすい。入力是一般的にはハザードと呼ばれ、外力の大きさ(強さ)と広がりにより発生確率をかけたものである。システムは、対象地域の特性であり、大きくは地域の自然状況の特徴づける自然環境特性(気象/気候、地理、地形、地質/土質など)と社会状況を表わす社会環境特性(人口分布や密度、都市システム、インフラ、政治・経済、文化/教育、歴史/伝統、宗教・思想、防災対策など)から構成される。さらに地域特性には、発災時の季節・曜日・時刻などの時間に関する条件が入ってくる。出力は、結果として発現する物理的・社会的な現象で、これが閾値を超えると被害や災害となる。ゆえに災害の規模と質は、入力とシステムの関係によって決定されることになり、結果としてその不確実性も、入力としてのハザードとシステムとしての地域特性から生じることがわかる。すなわち、入力に依存する「外力の大きさと広がり」と「発生確率」、システムに依存する「地域特性」と「発災の時間的条件」が有する不確実性である。

私たちの関与しうる度合いを、入力とシステムに分けて考えると、人工的にハザードを変えることは難しいので、一般的にはシステムに依存する不確実性の方が減らし易い。ゆえに、最後まで残る不確実性の多くは入力に依存し、その代表は発生するハザードの規模と場所、そして発生確率になる。特に地震防災を考える上では、地震の規模と場所に比べ、発生確率の不確実性の取り扱いがより難しい。そこで本稿では、紙面の制約上、地震災害を対象として、地震の発生確率の不確実性と防災上の取り扱い方について、少し私見を述べたいと思う。

地震の発生確率と防災上の取り扱い

(1) ポアソン分布と BPT 分布

確率統計学では、サイコロの目のように、次に起こる事象がそれ以前の事象の影響を

受けない状況をポアソン過程に従うという。一方、特定の断層による大きな地震は、それまでに蓄積された歪（の多く）が解放されることで発生し、その後また徐々にひずみが蓄積され、次の限界に達すると次の地震が発生するので、サイコロの目とは異なる。ある再現期間（回帰周期）の中で事象が起こる回数が1回である事象はBPT分布（Brownian Passage Time 分布）に従うと仮定できる。BPT分布に従う地震では、今年大地震が起これば来年の発生確率は低下し、起こらなければ高くなる。来年も起こらなければ、再来年の発生確率はもっと高くなるが、ポアソン過程に従うサイコロではいつも一定である。

現在一般的に地震を確率論的に扱う場合は、特定の断層（明確な内陸活断層、南海トラフ沿いの巨大地震など）を対象とした地震の発生確率はBPT分布、首都直下地震のように、どの断層の破壊現象かが特定できない地震はポアソン過程に従うと仮定している。

（2）回帰周期が大きく異なる地震（活断層型とプレート境界型）の発生確率とその取扱い

活断層のトレンチ調査から、「過去、少なくとも5回ほど地震を起こした形跡が確認され、最後に地震を起こしたのは約2,400年前である。その前には概ね、2,600年、1,600年、1,500年、2,800年の間隔で地震が発生している。」という過去の活動履歴が判明したとする。この事例は平均発生間隔も間隔のばらつきも標準的なものである。

この状況を以下の3通りの方法で説明する。いずれも物理的にも数学的にも間違っていないが、一般市民には大きく異なる印象を与える。この印象の差は防災対策の推進に大きな差を生むと考えられるが、現在、この点への配慮は乏しいと言わざるを得ない。

1）今後30年間の地震発生確率は4.66%である。

2）過去の5回の地震の発生周期の平均は2,125年であるが、最後に地震が起こってからすでに2,400年経過している。

3）最後の地震から現在までに地震が発生してもおかしくなかった確率（ここではこれを累積確率と呼ぶ）は70.8%である。

1）では地震が発生する可能性は随分低いと感じるのに対して、2）と3）ではかなり起こりそうな感じがする。また、1）と3）は共に確率論的な説明であるが印象は全く異なる。

この活断層の過去の活動履歴からBPT分布を仮定して、確率密度関数（年ごとの地震が起こる確率の分布）を作成すると、図1（上段）のようになる。横軸と曲線で囲まれた面積が1（確率100%）となる。過去2,400年にわたって地震が発生しない状況で、今後の30年間に地震が発生する確率は、2,400年以降の確率全体に対する2,400年～2,430年間の発生確率の比になる。すなわち、図中のaの面積を(a+b)の面積で割ったものになり、これが4.66%になる。一方で、最後の地震から既に2,400年経過しているが、この間に地震が起こってもおかしくなかった確率は、図1（下段）の累積確率から求められる。この値が

70%を超えることはグラフからもわかる。

一方、平均変位速度の大きなプレート境界型の地震ではどうだろうか。例えば、南海地震が最後に発生したのは1944年であるが、遡ると記録が残っている範囲でも、684年の白鳳地震から、203年、209年、265年、137年、209年、147年、92年の間隔で8回地震が発生し、その平均は約180年である。さらにこの地震に関しては、プレート境界で蓄積される平均変位速度と過去の各地震における変位解放量（隆起量から評価）の関係から、次の地震までの時間を予測するモデルが提案されている。これによると、直前の地震による変位解放量が小さかったため、次の地震までの時間は88.2年と予想されている。これらのデータに基づいて BPT 分布による確率密度と累積確率の関数を作ると図 2 のようになる。

ここで、活断層型地震と同様の説明を行うと次のようになる。

- 1) 今後30年間の地震発生確率は約74%である。
- 2) 次の地震までの期間は88.2年と予想されているが、すでに74年が経過している。
- 3) 累積確率は25.3%である。

(3) 一般市民が受ける印象と両者の違いが発生する理由

前節で紹介した3種類の説明の中で、どれが最も地震の切迫性と対策推進の重要性を市民に感じてもらえるだろうか。私が講演会などで聴衆の皆さんに質問した際の回答の平均は、(活断層型, プレート境界型) の順で、概ね 1) が (0, 4 割強), 2) が (7 割, 5 割強), 3) が (3 割, 0) である。しかし、現在採用されている指標は 1) であり、プレート境界型はもとより、活断層型に至っては、市民が地震の切迫性や対策推進の重要性を全く感じない指標を使っているということである。

さて、同様の説明であるにもかかわらず、活断層型とプレート境界型で印象が大きく異

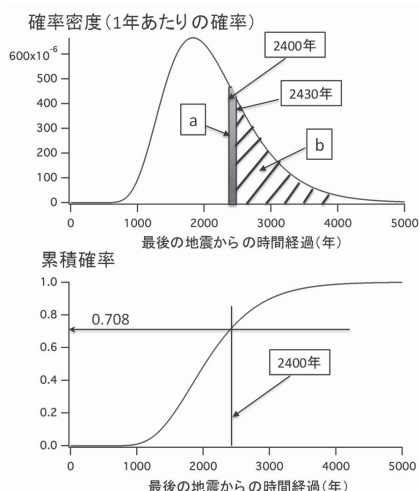


図 1 活断層による地震の発生確率

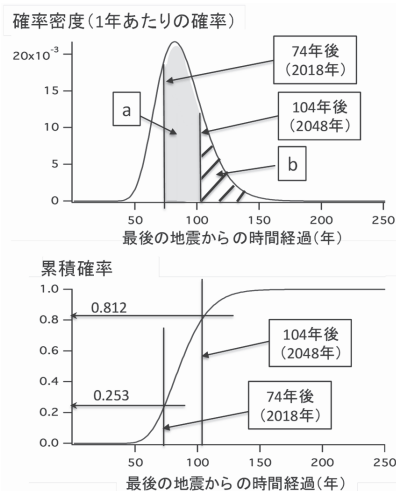


図 2 プレート境界型地震の発生確率

なるのはなぜか。最大の理由は回帰周期が大きく異なる事象の発生確率を、同じ長さの時間を対象として評価して比較するからである。確認のために、2つのタイプの地震の発生確率の時間経過に伴う変化の違いをしてみる。今（2018年を仮定）から30年前と30年後（話を簡単にするために、今後の30年では地震が起こらないと仮定する）の時点を基準に、両者のタイプの地震発生確率を求め現在と比較する。活断層型の30年地震発生確率は「30年前→現在→30年後」の順で「4.60%→4.66%→4.72%」、プレート境界型では「23.3%→73.9%→89.1%」となる。同様に、累積確率は、活断層型で「69.3%→70.8%→72.1%」、プレート境界型で「0.1%→25.3%→81.2%」となる。

回帰周期が大きく異なる事象の発生確率を、同じ長さの時間を対象として評価して比較する問題についてご理解いただけたであろう。その点、累積確率を評価し、これを1から引いた残余確率（BPT分布で次の事象の発生までに残された確率）を比較すると、回帰周期の影響が考慮され、両者が比較しやすい値になる。本稿で取り上げた活断層型とプレート境界型の2つの地震の30年発生確率は、現時点で（4.66%、73.8%）、30年後には（4.72、89.1%）と大きく乖離しているが、残余確率は、現時点で（29.2%、74.7%）、30年後には（27.9%、19.8%）となり、両者の差はずっと小さくなる。

まとめ

本稿では、災害発生のメカニズムに基づき、不確実性の発生する原因を解説するとともに、地震災害を対象に、入力としてのハザードが有する不確実性として、地震の発生確率の取り扱い方に関する私見を述べた。以下に課題をまとめる。

政府地震調査研究本部は活断層のリスクを、今後30年間の地震発生確率を指標として、0.1～3%のものを「やや高い」、3%以上のものを「高い」として啓発に活用している。活断層の活動度としては高いので、地震リスクが高いと言われても、一般的な生活の中での確率と比べると非常に低いので、実際の備えにはつながりにくい。例えば天気予報で、本日の降雨確率が3%と言われて、確率が高いから傘を携帯する人は稀であろう。しかも活断層地震は30年確率なので、同じ3%でも実際の確率は1万分の1（ $1 / (30 \times 365)$ ）以下である。また一方で、同じ地震の発生確率として、「南海トラフのプレート境界の巨大地震の30年発生確率は70～80%」と言われると、同様に危険性が高いと言われても戸惑ってしまう。

一般市民に適切な危機感を持ち、対策を推進して欲しいと思うのであれば、説明の仕方をもっと工夫すべきだ。回帰周期の大きく異なる地震の危険性の説明においては、未発生の累積確率から、切迫度を評価する方法（の併記）も考慮に値すると著者は考える。これと深く関係して、現在の確率的地震動予測分布図に関しても課題があるが、これについてはまた別の機会に説明したい。