

## 地震の事前情報の役割と災害軽減に役立てるための展望

福島 洋（災害科学国際研究所 災害理学研究部門）

### 1. はじめに

人類にとって、地震とは建物や街を破壊させるものであった。そして、その恐怖は、建物が崩壊する前に逃げればよいという考えから、地震予知願望を生んだ。しかし、地震学が進展した今、我々は、いつ・どこで・どのくらいの地震が起きるのかを確度を持って予測すること（地震予知）が、現時点の科学的な知見や観測技術では不可能であるということを知っている。少なくとも現在の地震学の知見では、短期的地震発生予測に関しては、これまでの確率から比べてどれくらい発生確率が増加したかという相対的な確率の変化（確率利得）でしか地震発生の予測ができない。地震による被害を減らすためには、このような不確実性の大きい情報に頼って命を守るのではなく、その地域で発生しうる地震について知り、いつ起きても大丈夫なような対策を取るべきである。以上のような主旨のことを、カナダ地質調査所の **Kelin Wang** と **Garry C. Rogers** は述べている<sup>1)</sup>。

筆者は、**Wang** と **Rogers** の主張に賛同する。彼らが主張するように、建造物の耐震化が地震災害対策の基本である。我が国では、阪神・淡路大震災の教訓を踏まえ 1995 年に制定された地震防災対策特別措置法などにより、全国どこでも突発的に起こりうる地震への対応を基盤とする対策が進められて現在に至る。理想を追えばきりががないものの、他国との比較で見れば、地震に対して強靱な国が出来上がっている。いわゆる東海地震については、大規模地震対策特別措置法による予知の枠組みが維持されてきたが、これは「もし予知できた場合に被害を減らすための枠組み」であり、長期的な視点での対策が疎かにされていたわけではない。つまり、少なくとも法体系と行政のレベルでは、**Wang** と **Rogers** の主張に沿う地震災害対策が行われている。

一方で、当勉強会のテーマである南海トラフの大規模地震（以下、南海トラフ地震）に関しては、津波対策も大変重要な課題である。津波に対しては、それを完全に防御する環境の構築や完全に回避する対策は困難であるため、問題は地震の揺れに対するものより複雑になる。状況を的確に判断したうえでの避難等による対応が重要になるという点で、事前情報の重要性も地震の揺れに対する対応に比べて大きい。地震時の建物やインフラの破壊によって生じる火災なども、津波と同様に、的確な判断の有無が生死を分けることになる。巨大地震を巨大災害にしないためには、未曾有の事態に対する的確な判断力・臨機応変な対応力というものが事前の準備に加えて必須である。

南海トラフ地震に関しては、中央防災会議防災対策実行会議での検討を経て、気象庁が「南海トラフ地震に関連する情報」を発表する仕組みが 2017 年 11 月 1 日より運用されている。この「南海トラフ地震に関連する情報」には、定例情報と臨時情報があるが、臨時情報は大規模地震の発生の可能性が平時と比べて相対的に高まった場合などに発表される。

現在、このような情報に基づく社会の対応の仕方についての検討がされており、事前情報の発表から社会の対応までの仕組みが整備される予定である。今後、南海トラフの大規模地震に関しては、突発的に起こる地震の対策を基本としつつも、当仕組みの運用により一層の災害リスク軽減を目指すことになる。

以上を踏まえた上で、本稿では、南海トラフ地震の予測に関する事前情報（気象庁の「南海トラフ地震に関連する情報（臨時情報）」の類の地震の予測に関する情報）を災害軽減に有効に活用するにはどうしたらよいか、勉強会で考えたことを整理して述べたい。

## 2. 事前情報の潜在的可能性

まず、地震災害軽減における事前情報の位置づけを整理する。

図1に示す通り、地震防災対策には、防潮堤の建設や建物の耐震化などのいわゆるハード対策と、避難訓練や地震発生時の防御行動・避難などのいわゆるソフト対策がある。ハード対策の多くは、地震発生時に、個人が特別な行動をとらなくても被害を防ぐ・軽減する性質を持つ。住民の避難を前提にした津波タワーなど、ハードとソフトが連動した対策もある。ソフト対策には、ハード対策で防げない被害をカバーする側面がある。例えば国による南海トラフ沿いの巨大地震想定では、最悪ケースにおける津波による死者数は迅速な避難等の最大限の対策により約23万人から約4.6万人に減らすことができると見積もられている<sup>2)</sup>。また、一般的に、ソフト対策はハード対策に比べて大きな投資額を必要としない。突発的に起こる地震への対応はハード対策とソフト対策が両輪であるのに対し、事前情報に基づく対応はソフト対策が中心となる。

図1において抑えておくべきこととして、ハード対策がないと防げない被害、ソフト対策がないと防げない被害、事前情報に基づく対応でないと防げない被害がある、というこ

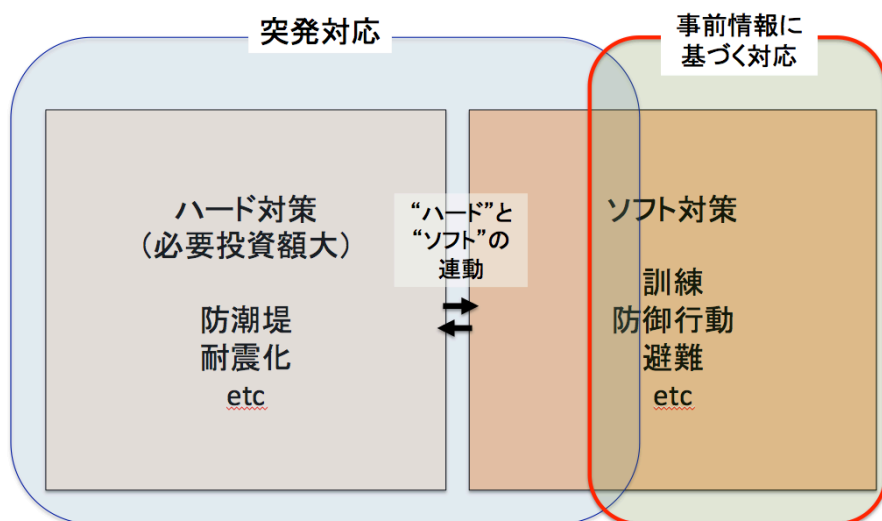


図1：地震防災対策の模式図。

とがある。上の例で言えば、迅速な避難があったとしてもなお残る 4.6 万人の見積り死者数は、事前情報により住民がさらに早く避難できれば一層減らすことができる。ここに、事前情報が災害軽減に貢献できる潜在的可能性がある。

### 3. 「4つのケース」についての私見

国の報告書<sup>3)</sup>では、南海トラフで観測され得る異常な現象のうち、大規模地震につながる可能性があるとして社会が混乱するおそれがあるものが、典型的な4つのケースとして整理された。この4つのケースとは、

- 1) 南海トラフの東側の領域で大規模地震が発生した場合
- 2) 南海トラフ沿いで M7 クラスの地震が発生した場合
- 3) ゆっくりすべりや前震活動などの現象が多種目で観測されている場合
- 4) 東海地震予知情報の判定基準となっていたような前駆すべり・大きなゆっくりすべりが見られた場合

である。

ケース1については、報告書に記載の通り、過去にある程度の時間差を置いて西側で同規模の地震が発生した事例が知られており、この先に発生する地震においても十分に考えられるシナリオである。また、一般的に後発の地震の発生確率は先発の地震の発生直後が最も高く、時間とともに減少していくことが知られていることから、このようなケースにおいて大地震発生直後には先発の大地震への対応と次の大地震への警戒態勢の仕組みを準備しておくことは明らかに必要であると考えられる。

その他の3つのケースについては、考え方が難しい。定量的な計算がどこまでできるかは置いておいて、どれも確率が相対的に高まったという評価は可能な事例ではあるが、ケース1と比べて確率利得は小さいし、南海トラフにおける明確な先行事例はなく根拠にも劣る。対策を取ることのコストと対策を取らないことのリスクを天秤にかけて対応方法を選択しなければならないが、この天秤の塩梅に正解はないし、考え方には個人間で大きな幅があるだろう。ステークホルダーを巻き込んだ丁寧な合意形成が必要な典型的な事例だと思われる。いずれにしろ、不確実性が大きく、対応をしても空振りに終わる可能性のほうが高いことを考えると、思い切った対策は取りづらいだろう。仮に有効な対策はあまり取れない（にもかかわらず事前情報の発表は行われる）なら、社会の混乱によるマイナスの効果のほうが大きいのではないかという心配もある。

気象庁は、南海トラフ沿いで異常な現象が観測されたら調査を開始するとしており、その基準は以下の通りである<sup>4)</sup>。

- ・ 想定震源域内でマグニチュード 7.0 以上の地震が発生
- ・ 想定震源域内でマグニチュード 6.0 以上の（或いは震度 5 弱以上を観測した）地震が発生し、ひずみ計で当該地震に対応するステップ状の変化以外の特異な変化を観測

- ・ 1カ所以上のひずみ計で有意な変化を観測し、同時に他の複数の観測点でもそれに関係すると思われる変化を観測している等、ひずみ計で南海トラフ沿いの大規模地震との関連性の検討が必要と認められる変化を観測
- ・ その他、想定震源域内のプレート境界の固着状況の変化を示す可能性のある現象が観測された等、南海トラフ沿いの大規模地震との関連性の検討が必要と認められる現象を観測

これらの基準では、1～4までの全ケースが含まれていると解釈できる。著者の現段階での意見としては、ケース1については事前情報の発表と対応の仕組みを整備することに賛成だが、2～4のケースについては本当に仕組みの対象とすべきかどうかは今のところ判断がつかない。正直なところ、すべてのステークホルダーを交えた議論をしたうえでこれらを対象とするかどうかを決めてほしかった。ただ、情報を出すことになったのなら、せめてできるだけ有効に活用できる方策を考えたいものである。以下は、そのような観点から考えたことを整理したものである。

#### 4. 事前情報の発表と対応の仕組みについての検討

東海地震の「東海地震に関連する情報」については、ひずみ計データに基づく明確な情報発表基準とともに、発表される情報の種類（切迫性のレベル。「青」「黄」「赤」の三段階）に応じた対応や準備行動があらかじめ定められていた<sup>5)</sup>（以下では、切迫性のレベルに応じて発表される事前情報をアラートと呼ぶことにする）。南海トラフ沿いの地震についても、現在すでにデータに基づく基準が設けられているところであるが、レベルに応じた対応行動の指針についても今後定められることになる。

後述の論旨の理解の助けのために、アラートの種類と対応の枠組みに関し筆者が持って

アラート種類	緊急度	M8以上の3日以内の発生確率	対応	アラートが出る頻度
赤レベル	高	10%以上程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要な人の避難</li> <li>鉄道:減速運転</li> <li>高速道路:速度制限</li> <li>交通規制</li> <li>休校など</li> </ul>	今後30年内にあるかないか
黄レベル	中	1～10%程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>沿岸沿い社会福祉施設や高齢者避難など</li> </ul>	数年～10年に1回程度?
青レベル	低	0.1～1%程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>沿岸沿い施設等避難スタンバイ</li> <li>備蓄確認など</li> </ul>	年に数回

図2：アラートの種類と対応に関する筆者のイメージ。

いるイメージを図2に示しておく。赤レベルのアラートは、最大限の警戒を要する場合で、南海トラフ沿いの一部でM8の地震が起こった直後を想定している。黄レベルのアラートは、それに次ぐレベルで、M8発生の3～7日後や、M7レベルのプレート境界型地震発生後など、それなりに緊迫感のある状況を想定している。青レベルのアラートは、地殻活動に変化はあったがそれが大地震につながるかはよくわからないといった状況に出されることを想定しており、アラートが出る頻度が年に数回となるようなレベルのものを想定している。

従来の東海地域を対象とした仕組みでは、気象庁が一定の基準をもとに異常を確認した場合、地震防災対策強化地域判定会が招集され、そこでデータの検討が行われることになっている。この仕組みは、本稿執筆時点において、新たな「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」において踏襲されている。赤レベルと黄レベルのアラートにおいては、このような検討会を通じた慎重な検討が必要であろう。

赤・黄レベルのアラートだけだと、「異常が検出されたので、～の対応をしてください」という情報が出て、社会でそれに応じた対応が取られるという意味で、従来の東海地震対応の枠組みと基本的に変わらない。新たな仕組みは、「予知はできない」という地震学の等身大の知見が反映されたという意味で「改善」ではあるのだが、それだけで実際の災害リスク軽減にとってプラスの効果を得られるわけではない。「不確実な予測しかできない」ことを前提にするという対応の難しさも相まって、仕組みが社会に浸透せず、この仕組みが何ら有効に活用されない（最悪、混乱を引き起こす）危険性も認識しなければならない。リアリティのある準備なしに、いきなり赤・黄レベルのアラートが出て、仕組みは有効に働かないであろうから、仕組みの理解・準備（計画や対応方法の立案）・訓練が必須であろう。

そこで筆者は、青レベルのアラートを理解・準備・訓練のためにうまく使えないものだろうか、ということ考えた。具体的には、年に数回の頻度で発出される青アラートを、社会が南海トラフ沿いの地震に関する情報の発表と対応の仕組みや、根拠となるデータ（異常な地震の発生の様子やゆっくりすべりの発生状況）の適切な解釈の仕方を知る機会として活用するのがよいのではないかということである。青アラートの発表時に、社会に広く周知し、根拠データをわかりやすく説明する。さらに、その都度、黄レベル・赤レベルについて、さらにアラートなしに突発的に地震が発生する可能性も十分にあるといったことについても丁寧に説明する。社会の各構成要素では、来るべき地震への準備を確認し、足りないことについて検討をすすめるきっかけとする。このような仕組みを作ることで、いざ具体的な行動が必要なときのための訓練の機会となるのではないか。青レベルのアラートが出たときに、黄・赤レベルのアラートが出たと想定して避難等の訓練をしてもよい。青アラートを、事前準備強化と対応力（リテラシー含む）強化のためにうまく活用する、ということである。

青レベルのアラートを足がかりとして「事前情報」に基づく対応の仕組みを災害軽減に有効に活かすために、以下の3点をポイントとなる要素として考えた。

- 1) アラートの根拠データを示すデータ開示の仕組み
- 2) 「空振り許容社会」への誘導に資する仕組み
- 3) 突発的に発生する地震への対応の強化にも資する仕組み

#### 1) アラートの根拠データを示すデータ開示の仕組み

東海地震に関連する情報の枠組みでは、前兆すべり（プレスリップ）の有無が情報発表の判断基準となっていたため、基本的に前兆すべりに高い感度を持つひずみ計データにおいて基準が定められていた<sup>5)</sup>。しかし、ひずみ計は計器の特性上の見かけ上の変動など観測点ごとの「癖」があり、その適切な解釈には専門的観点からの検討が必要である。南海トラフ地震については、ひずみ計はもちろん活用しつつ、地震活動やGNSS、あるいは海底観測など、より多項目の観測データを一層活用していくべきであろう。観測（生）データは広くアクセス可能な状態で公開される必要があると考えるが、異常現象自体は地震活動やゆっくりすべりであるため、高精度の地震震源分布やゆっくりすべりの有無・規模・場所がわかりやすい可視化システムによってリアルタイムで公開されることが極めて重要であるとする。このような処理結果をリアルタイムで公開するとすると、データに含まれるノイズにより見かけ上実際には起こっていない現象がシステム上に表示されてしまう危険性もあるが、これはAI（機械学習）の活用等によりノイズとシグナルの分離手法を改良していくことで解決可能な問題であるとする。専門家が精査しないとシグナルの信頼性を判定できないようなデータは、そもそも判定基準として用いるのに適さない。

社会においてコストを伴う行動が想定される赤レベルや黄レベルのアラートについては自動的なアラート発表はそぐわないと考えるが、青レベルのアラートについては、気象庁担当職員によるチェックはあるにしても、検討会での検討なしにほぼ自動的にアラートが出るようなシステムがよいと考える。また、アラートを自動的に出すシステムには、明確な定量的基準を設置する必要があるが、その基準は以下のようなシステムに求められる仕様とセットで考えるとよいと思われる。

- 南海トラフ沿いのXXの領域内に発生するマグニチュードXX以上の地震について、XX以内の精度でXX分以内に震源決定する
- 南海トラフ沿いのXXの領域内に発生するマグニチュードXX相当以上のゆっくりすべりをX以内の精度でXX分以内に同定する  
(XXには具体的な記載が入る)

このようなシステムの仕様を考えることで、必要な観測システムの仕様についても明確にし、観測機器を効率よく整備することにつながる。

#### 2) 「空振り許容社会」に誘導するための仕組み

不確実性のあるアラートを発信すれば、実際にその事象が起こらない「空振り」が発生するのは必然である。土砂災害に関しては、避難勧告の空振りがあれば次の情報発表時に

避難率が低下する、というオオカミ少年効果があった事例が報告されているし<sup>6)</sup>、同様の事例はおそらく多数あるであろう。南海トラフ沿いの地震の場合、赤レベルのアラートであっても土砂災害の的中率と同程度であり、そもそも青レベルのアラート（年に数回の頻度）は、そのほとんどが空振りに終わることになる。このような空振りが免れないことを前提としたアラートのシステムに基づいて社会で適切な対応が取られるためには、かなりの社会構成員のリテラシーの向上や巧い仕掛けが必要であることが想像される。黄レベルや赤レベルのアラートが出たときに適切な行動が取れることが重要であり、そのために、青レベルアラートが発出される機会を通じて、空振りが許容される（オオカミ少年効果が小さい）社会を作っていけるとよい。

### 3) 突発的に発生する地震への対応の強化にも資する仕組み

アンケート調査をしたわけではないので確たることはわからないが、地震学者の多くは、南海トラフで巨大地震が将来的に発生するのは確実なものの、前兆と判定可能な現象を観測することなく発生する可能性が高いと考えていると思われる。これまでに発生した巨大地震は、ごく一部の例外を除き、近代的観測網が敷かれて以降も、前兆だと判定できる現象は伴っていない。しかし他方で、何らかの前兆的現象が観測されてもおかしくないと考える地震学者も多くいると思われる。南海トラフは世界で最も稠密に観測が行われている場所のひとつであるし、普段、プレート境界型の微小地震がほとんど起こっていないことから、小さい地震がたまたま連鎖して大きい地震に発展する（これだと予測は困難）のではなく、大きい地震を起こす断層域があり、その断層域が破壊前に前駆的なすべり（プレスリップ）を起こす可能性は依然指摘されている。今後、地震学の研究は進展を続け、南海トラフ地震の予測可能性についても様々な知見が得られるだろうが、物性物理や化学などのように実験ができるわけではなく事前に理論の検証ができない以上、実際のところはその時になってみないとわからない。

突発的に発生する地震をまず前提に考えなければならないのには、上のような事情がある。本稿で提案するように、青レベルのアラートを契機として南海トラフ地震に関する理解・準備・訓練に活用するということは、突発的に発生する地震への対応の強化も狙った話である。

最低でも、事前情報の発表と対応の仕組みがあることで、突発的に起こる地震への対応の備えが進まなかったり、退化したりすることは避けねばならない。あくまでも、図1の「突発対応」をまず考えたうえで、それでもどうしても対応できないことについて、「事前情報に基づく対応」を考えるべきである。事前情報に基づく対応を社会構成組織・個人が検討する機会は、突発的に発生する地震に対するハード対策・ソフト対策を促進し見直すきっかけともなるはずである。新たな仕組みが社会に実装されようとしている今が、そのような見直しに適った時期である。

(参考文献)

- 1 Wang, K. & Rogers, G. C. Beating Fear with Hope: On Sustaining Earthquake Preparedness. *Seismol Res Lett* **88**, 171-176, doi:10.1785/0220160106 (2017).
- 2 中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ「南海トラフ巨大地震の被害想定について」(第一次報告)(平成24年8月)
- 3 中央防災会議防災対策実行会議南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応のあり方について(報告)」(平成29年9月)
- 4 気象庁ウェブサイト「南海トラフ地震に関連する情報の種類と発表条件」  
[http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/info\\_criterion.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/info_criterion.html) (最終アクセス 2018/4/3)
- 5 気象庁ウェブサイト「東海地震に関連する情報の発表基準」  
[http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/tokai/tokai\\_info\\_criterion.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/tokai/tokai_info_criterion.html) (最終アクセス 2018/3/26)
- 6 奥村誠・塚井誠人・下荒磯司. 避難勧告の信頼度と避難行動, 土木計画学研究論文集, No.18, pp.311-316 (2001).