

災害要因となる自然現象の 解明と予測

—地震災害軽減のための予測研究を例として—

入倉孝次郎



1. 地球規模の自然災害

地球規模の自然災害は次の2つの観点からの検討が必要とされる。1つは災害の要因となる自然現象そのものが地球規模の大きさを持つ場合、もう1つは自然現象自体は地域的であってもグローバル化により経済的被害などの影響が地球規模に及ぶ場合である。

前者の典型的な例として、2004年のスマトラ沖に発生した巨大地震 (Mw 9.3) があげられる。この地震による津波はインドネシアのみならず、スリランカ、インド、タイなどの東南アジア諸国やアフリカ東岸諸国に死者22.6万人、被災者は500万人にも及ぶ大被害をもたらした。この地震は津波のみならず地震動、水・土砂などによるまさに地球規模の複合的災害を引き起こした。地震災害についてはその他にも、2005年のパキスタン北部地震 (Mw 7.6) は8万人に及ぶ死者、家を失った人250万人の被害を引き起こし、パキスタン周辺の中東諸国に経済的影響を引き起こすなど、近年大規模被害が頻発して起っている。気象災害についても、2005年の夏アメリカを襲ったハリケーン (カトリーナ、リタ) は死者は7人と少なかったが被害総額25億ドル～70億ドルにおよぶ大被害をもたらした。また、2002年にヨーロッパ、中国、韓国を襲った洪水では3000人以上が死亡、80カ国で1700万人が被害を受け、被災面積800万km² (ほぼ米国の国

土面積) に及んでいる。

後者の例として、2007年9月16日の中越沖地震は、マグニチュード6.8 (気象庁) で規模としてはあまり大きくなかったが都市域の直下に起こったため、自動車部品工場が大きな被害を受け日本全国の自動車生産が約1週間操業停止に追い込まれたり、直撃を受けた原子力発電所が変圧器の火災や放射能漏れなど被害を受けただけでなく、想定以上の地震動が記録されたため、日本の原子力発電所のみならず、地震国にある各国の原子力発電所の耐震安全性に大きな問題を投げかけている。同じような問題は集中豪雨など他の災害でも起こる可能性がある。

これらの事実は、今後、大規模地震、台風、集中豪雨、大雪などの自然災害は一旦発生すると、被害は発生地域にとどまらず地球規模に広がる可能性が高いことを意味している。日本は世界で最も自然災害が多発する国の1つであり、地球規模の自然災害軽減のための研究に日本が大きな役割を果たすことが期待されている。



2. 自然災害の予知・予測・予報

災害要因となる自然現象について、観測やシミュレーションによる科学的理解に基づき、災害を引き起こすメカニズムの解明により、災害を軽減するための対策が検討される必要がある。そのためには、現象の「予知」、「予測」、「予報」

が重要であるが、これらの意味するところは少しずつ異なっている。

自然現象を支配する物理法則をどの程度理解できているかによって、「予測」と「予知」とが使い分けられる。自然現象を引き起こす物理法則を理解した上で、その法則に則って将来どうなるかを算定するのが「予測」である。気象・気候の予測、地震の長期評価・地震動予測、津波の到達時刻などは、現在の科学レベルで実用的な「予測」が可能である。一方、物理法則が必ずしも明らかでないが、観測網を設置し前兆現象を検出して大地震や噴火の発生を推定するのは「予知」と呼ばれる。そして、その結果を社会に広く知らしめるのが「予報」である。

自然現象の予知・予測に関しては現象の物理的解明に基づき、現場観測やコンピュータ・シミュレーションなどによって、現象の発生や推移の予測も含めた研究が行われ、気象災害の一部については予知・予測に基づいて予報が実用化されている。地震災害に関しても、「地震予知計画」や「地震動予測マップ作成プロジェクト」などで予知・予測に基づいた災害軽減の取り組みがなされている。これらの取り組みの到達点と今後の展望について次節で紹介する。

3. 日本の地震予知計画

大きな被害をもたらす地震を事前に予知して避難など減災対策に生かすのは国民の切実な願いである。大地震の予知は、発生場所、規模、

及び発生時刻を事前に特定する必要がある。これを「地震予知の三要素」と呼ばれている。「地震予知はできる」ということは、これらの三要素が事前に推定できることを意味している。

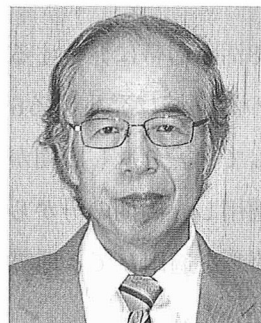
日本では「地震予知」に関して単に「研究」とどまらず行政施策と結びついた実用化の取り組みが行われてきた。1962年に地震研究者有志により「地震予知—現状とその推進計画」で、地震予知の実現可能性を明らかにするために地震観測研究を柱とする「地震予知」計画が提案された。この専門家グループの提案を受けて日本の地震予知研究計画は1965年より第1次が始まり、1970年の第2次計画からは「研究」が抜けて、実用化を目指した計画として実施されるようになった。そのため、その内容は地震に先行する現象の把握と解明による直前予知を柱とするものであった。ここでいう「直前予知」とは大地震の発生を数日から数時間程度の時間スケールでの予知である。大地震の発生前には前兆現象が現れた事例があり、そのための観測網を整備することにより、直前予知ができる可能性があると考え計画が作成された。

「地震予知計画」が進行している中で、東海地震の切迫性に関する地震研究者の提言を受けて1978年に大規模地震対策特別措置法が制定され、「東海地震」に震源近傍域に前兆現象のための観測網が整備され、常時監視が行われるようになった。東海地震に対しては地震予知の可能性があると観測体制の整備とともに、専門家による判定会が気象庁に設置され、予知され

れば警戒宣言を発令して行政的な対応措置がとられるようきめ細かく定められている。東海地域を除いては前兆現象のための観測網は整備されておらず、したがって、いわゆる「東海地震」(南海トラフの東端で発生するとされるマグニチュード8クラスの地震)を除いては、大地震の直前予知ができる体制にはなっていない。

1995年兵庫県南部地震による阪神淡路大震災はこれまでの予知計画の抜本的見直しの契機となった。これまでの計画の反省にたって、1998年に「新地震予知計画—21世紀に向けたサイエンスプラン」が作成された。新予知計画は地震の準備から地震発生に至る全過程を理解し、地震発生の物理モデルを構築するために、地殻活動のモニタリングと予測シミュレーションを計画の柱としている。したがって、新予知計画は「地震予知」というよりも正確さを期するというなら「地震発生予測」を目的としているといえるものになっている。

新予知計画により、活断層や地殻構造の詳細な調査、GPS等による地殻変動観測網、Hi-netやK-NETなどの地震観測網の充実、それらのデータの迅速な公開、コンピューター環境の進歩等により、観測とシミュレーションが結びついた研究が可能になった。海溝型地震については、プレート境界でひずみが蓄積し、そのひずみがアスペリティに集中し耐え切れなくなって地震が発生するメカニズムが分かってきたが、内陸の活断層地震についてはどのように活断層周辺にひずみが集中していくかメカニズムは明らか



PROFILE

入倉孝次郎
(いりくら こうじろう
1940年生)
日本学術会議第三部会員、
愛知工業大学客員教授
専門：地球惑星科学

になっていない。

これらの研究により、地震予知の三要素のうち発生時刻の予知は依然として困難さがあるが、発生場所や規模についてはかなり詳細に分かってきた。これらの研究成果は地震発生の長期評価、地震動予測、緊急地震速報などの形で地震災害軽減の取り組みに役立てられている。

4. 地震災害の軽減のための地震発生の長期評価と地震動予測

地震の発生を直前に予知するのではなく、同じ震源域から繰り返し発生する地震について、次の地震の発生を確率で予測する方法が開発されてきた。これが地震発生の長期予測と呼ばれるものである。もし、地震が時間的にランダムに起きているとその発生間隔はポアソン過程に従う。一方、ある程度の規則性(周期性)を持っている場合、更新過程として扱うことができる。歴史記録や地質学的な痕跡の調査から、実際の地震発生間隔の分布はランダムでなく、同じような規模の地震(固有地震)の繰り返し間隔がほぼ一定の周期とばらつきであらわされる確率分布に従うことが分かってきた。

政府の地震調査研究推進本部地震調査委員会

は、日本の主要98活断層帯に発生する固有地震および日本周辺の海溝域に発生する6つの海溝型地震を対象として、繰り返し周期が分かる場合は更新過程を適用し、周期の分からない場合はポアソンモデルを適用して、地震発生確率を求め、公表してきた。

海溝型地震については、今後30年間に60%の発生確率と評価されていた十勝沖地震が2003年に発生、99%と評価されていた宮城沖地震は2005年に予想されていた震源域の一部に地震が発生した。これらの地震は長期予測の意味で予測されていたといえる。次の南海地震及び東南海地震については、今後30年間の地震発生確率は、2007年1月1日を起点として南海地震は50%、東南海地震は60%~70%と推定されている。千島海溝沿いでもマグニチュード8を超える巨大地震が発生確率50%を超えている。まさに日本列島の多くの地域で地震の活動期に入ったといえる。

一方、活断層で発生する地震はその繰り返し周期が長いことから、今後30年間の確率は数字としては大きくならない。1995年兵庫県南部地震は、地震発生前の時点で発生確率は最大8%であった。地震調査委員会が公表した地震発生確率は、神縄・国府津—松田断層帯が最大16%、糸魚川—静岡構造線断層帯が14%となっているのをはじめとして、7つの断層帯で兵庫県南部地震の発生確率を上回っている。活断層地震は海溝型地震に比べて発生確率が小さいからといって危険度が小さいということにはならない。活断層地震は都市近傍に生じる可能性

が高く地震が発生したとき震源近傍地域に極めて大きな災害を引き起こす可能性が高い。1995年の阪神・淡路大震災がその代表例である。

地震が起こったときの建物や土木構造物被害や山崩れ・液状化による地盤災害は大きな地面の揺れ、すなわち強震動によって発生する。したがって、将来の大地震に対する災害を軽減するには、地震発生の予測のみでなく強震動の予測が不可欠である。近年地震の観測計器の発達とその整備・普及により、地震が発生したとき遠地のみならず近地域での強震動の観測がなされるようになった。これらの記録を用いて波形インバージョンなどの手法により断層破壊過程や断層パラメータのスケーリング則が明らかになってきた。これらの研究成果を基にして、特定の活断層や海溝域に地震が発生した時の強震動を予測する手法も（強震動予測レシピ）が開発された。それにより日本では世界に先駆けて地震災害軽減のために断層モデルに用いた強震動予測が実用的に用いられるようになった。

地震調査委員会は長期評価によって地震発生の高い活断層（例えば糸魚川—静岡構造線断層帯など）や海溝域（例えば宮城県沖・三陸沖など）を対象として震源断層を特定して強震動の予測を実施し、その結果を公表してきた。また、対象地域に影響をおよぼす地震発生の確率と地震が発生した時の揺れの確率を組み合わせることにより確率論的地震動予測地区の策定方法を検討してきた。1995年の阪神・淡路大震災以後10年間にわたる地震調査研究の推進プロジェクトのまとめとして「全国を概観した地震動予測

地図」を2005年4月に公表した。この地震動予測地図は「確率論的地震動予測地図」と「震源を特定した地震動予測地図」という、観点の異なる2種類の地図で構成されている。前者は全国を概観して、地震によって強い揺れに見舞われる可能性の地域差を見ることができる。後者は個々の地震に対して周辺で生じる強い揺れの分布を知ることができる。この地震度予測マップは、想定された地震が実際に発生したときに備えて防災対策を策定するために活用される。地震の発生確率が低い場合にどのような防災対策を行う必要があるかは、地震が起こった場合のリスク評価と合わせた検討が必要となる。

5. 災害要因となる自然現象の解明と予測：今後の展望

「地球規模の自然災害に対して安全・安心な社会基盤の構築委員会」では、災害要因となる自然現象の解明と予測に関してつぎの2項目の提言を行った。

- (1) 自然災害予測のための観測システムや調査研究の実施
- (2) 自然災害予測のためのモデリングの充実と不確定性の認識

これらの2つの提言は地震のみならず、津波、火山噴火、気象と温暖化、気候変動、海象、など多岐にわたる災害要因に関して共通する課題を提言としてまとめたものである。

地震に関しては(1)に挙げた「現象の発生・推移の予測に向けて、観測モニタリングシステムを持続的に充実させ、同時に基礎的な研究も

推進すること」は今後推進すべき最も重要な課題である。また「数百年～数千年に一度という低頻度大規模現象についても、地質学的な調査も含めた研究により、被害の規模と形態の推定を行うこと」が必要とされている。(2)についても、現場観測およびコンピューターシミュレーションを持続的に推進・活用することにより、地震発生およびそれによる地震動および津波高の予測の精度の向上を図ると同時に、科学的な不確実性も明らかにして、これらの結果を反映した防災対策を実現することが、焦眉の課題となっている。

日本学術会議は、人文科学、生命科学、理工科学の各分野を横断する科学者が科学に関する重要事項を審議し、その実現を図ることをミッションとしている。地球規模の自然災害の軽減の取り組みは、すべての分野に関わる重要課題の1つである。日本のみならず世界の自然災害の軽減のため、国内および国際的共同研究を推進すると共に防災に関する知識と技術の海外移転を図ること、を実現するために、日本学術会議が主導的役割を果たしていく必要がある。

参考文献

- 地震調査委員会(2007):「全国を概観した地震度予測地図」2007年版、地震ハザードステーション(J-SHIS)
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>.
- 日本学術会議(2007): 対外報告「地球規模の自然災害の増大に対する安全・安心社会の構築」, <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t38-4.pdf>.
- 日本地震学会地震予知検討委員会編(2007): 地震予知の科学、東京大学出版会218頁。