

総論：南海トラフ地震への地震工学の取組み

福和 伸夫

●日本地震工学会 会長 名古屋大学減災連携研究センター センター長・教授

1. はじめに

南海トラフ地震は、過去の活動履歴が古文書に多く残されており、世界で最も素性が知れた地震だと言われる。政府地震調査委員会は、これらの資料をもとに将来の地震発生の長期評価をしており、本年1月1日現在の今後30年間の地震発生確率は70～80%とされている。まさに「確実に」起きる地震である。しかし、地震の発生の仕方は多様であり、現代の科学では確度の高い地震発生予測は困難であるとの見解が、昨年、政府より示された。

一方、中央防災会議の試算によれば、最大クラスの南海トラフ地震が発生した場合、最悪32万3千人が犠牲になり（直接死）、238万6千棟の家屋が全壊・焼失し、1週間後の避難者は950万人、経済被害は直接被害が169兆5千億円、間接被害が生産・サービス低下で44.7兆円、交通寸断の影響で6.1兆円に及ぶと予想されている。人口や産業など、我が国のシェアの半分を担っている場所が被災するため、被害は「甚大」である。

東日本大震災の10～20倍にも及ぶ被害に対して、災害対応資源は圧倒的に不足し、対応力には「限界」がある。例えば、240万弱の全壊家屋に対し、仮設住宅の建設可能数は6万5千戸程度でしかない。15万人程度の陸上自衛隊や常備消防の力も足りない。避難所も救援物資も大きく不足する。

国家予算の倍もの経済被害を出せば、国としても対応にも限界がある。まさに国家が機能停止し、国難とも言える事態に陥る。被災地域には我が国を支える製造業の多くが立地する。揺れや浸水によって部品工場が損壊したり、電気・ガス・水道などのライフラインや物流がストップすれば、サプライチェーンに依存した製造業は長期間操業停止に追い込まれる。我が国の産業は国際競争力を失い、立ち直れなくなる恐れもある。対応手段を間違えば、リスボン地震でのポルトガルのように「衰退」への道を歩むことも懸念される。

このように、南海トラフ地震は、「確実に」発生し、「甚大」な被害を出し、社会の「限界」を超え、国を「衰退」へと導く恐れがある。これは予め想定されている事態であり、あらゆる英知を集め、全ての人が自ら対策し、力を合わせて被害を減らすしかない。耐震化などの事前の備えに加え、観測情報や緊急地震速報など

を活用した直前・最中対応、ビッグデータやIoTなどの災害情報に基づく直後対応、復旧・復興・回復に至る事後対応など、すべての時間断面で被害を減らす術を考える必要がある。まさに、本会の目的とする「震災予防」の学術である。

本会のルーツの一つは、今村明恒博士が設立した震災予防協会に遡る。今村は、関東地震の発生後、次の大地震は南海地震と考え、地殻活動調査のために和歌山市和歌浦に南海地動研究所を1928年に私費で設立した。しかし、戦時下で観測を継続できなくなり、陸地測量部に依頼して御前崎周辺で水準測量をした。まさにその最中に1944年東南海地震が発生した。南海地震の発生を危惧した今村は、四国などの地方新聞や町村長に手紙を書き、地震の発生の危険性を訴え続けたが、1946年南海地震が発生した。

地震災害の防止と軽減に寄与することを目的とする日本地震工学会としては、今村の意思を忘れず、被害軽減のために最大限の努力をする必要がある。

2. 過去の南海トラフ地震に学ぶ

過去の南海トラフの地震から学ぶことは多い。古文書などに残る地震としては、684年白鳳地震、887年仁和地震、1096年永長地震・1099年康和地震、1361年正平地震、1498年明応地震、1605年慶長地震、1707年宝永地震、1854年安政地震、1944年・1946年昭和地震が挙げられる。ただし、慶長地震は揺れによる被害記録が少ない津波地震だったと解釈されており、南海トラフ地震とは異なるとの見解もある。

(1) 684年白鳳地震

白鳳地震は記録に残る最古の南海トラフ地震であり、日本書紀の巻第二十九に、下記の記述がある。「天武天皇十三年冬十月 壬辰。逮于人定、大地震。举国男女吠唱、不知東西。則山崩河涌。諸国郡官舍及百姓倉屋。寺塔。神社。破壊之類、不可勝数。由是人民及六畜多死傷之。時伊予湯泉没而不出。土左国田苑五十余万頃。没為海。古老曰。若是地動未曾有也。是夕。有鳴声。如鼓聞于東方。有人曰。伊豆嶋西北二面。自然增益三百余丈。更为一嶋。則如鼓音者。神造是嶋響也。」

京都での強い揺れ、高知（土佐）の地盤沈下と浸水、津波、愛媛の道後温泉（伊予）の湧出停止などの記載から南海トラフ地震と認定されている。

(2) 887年仁和地震

仁和地震の前後には、864年富士山噴火、東日本大震災と類似した869年貞観地震、関東地震と疑われる878年相模・武蔵の地震などがあつた。仁和地震の後、菅原道真が国政改革に動しんだ。

(3) 1096年永長地震・1099年康和地震

平安時代後期に発生した地震であり、南海トラフ地震の候補となっている。この時期に院政が始まり、荘園公領制などの体制が整った。

(4) 1498年明応地震

明応地震は、1493年の明応の政変の後に起き、応仁の乱の始まりに重なる。直前の1495年には鎌倉の大仏殿が津波で流されたともいわれる関東地震と疑われる地震が起きたようである。日野富子が命を落としたのは96年で、この2つの地震の間である。

(5) 1605年慶長地震

慶長地震は、1603年に江戸幕府が開府した直後に発生した。前後には、1586年天正地震が発生し、近畿から中部の多くの城が壊滅した。その後、96年には9月1日に慶長伊予地震、9月4日に慶長豊後地震、9月5日に慶長伏見地震と、3地震が続発した。江戸開府後には、05年慶長地震を挟んで、11年9月27日慶長会津地震、11月2日慶長三陸地震、14年越後高田地震が発生し、同年に大坂冬の陣、翌15年夏の陣で豊臣家が滅亡し、19年に熊本で地震が発生した。

(6) 1707年宝永地震

宝永地震は、有史以来最大の南海トラフ地震である。この地震の4年前には03年元禄関東地震が発生し、49日後には富士山が噴火した。地震と噴火により幕府や各藩は財政的に困難を極め、新井白石が正徳の治を、徳川吉宗が享保の改革を進めた。吉宗は、紀州藩主として被災地・紀州の再建に力を尽くし、16年に8代將軍になった後は、町火消し制度や火除地を作り、江戸の防災対策を進めた。

(7) 1854年安政地震

安政東海地震と南海地震は32時間差で発生し、2日後には豊予海峡地震が起きた。この前後には大地震が続発し、47年善光寺地震、53年小田原地震、54年伊賀上野地震、55年に飛騨地震、陸前地震、江戸地震が発生した。56年には八戸沖地震が発生、江戸を暴風雨が襲った。57年芸予地震が、58年飛越地震と続き、58年から59年にかけてコレラも流行した。諸外国の開国要求と尊王攘夷運動、続発する地震などで幕府は疲弊し、

58年に井伊直弼が大老に就任した後、安政大獄を起こした。その後、地震被害を免れた薩摩と長州が連合して大政奉還へと向かった。

(8) 1944年・46年昭和地震

昭和東南海地震は太平洋戦争の末期に発生、2年後に南海地震が発生した。この前後には、43年に鳥取地震、45年三河地震、枕崎台風、47年カスリーン台風、48年福井地震と続き、我が国は、戦災、震災と風水害で、有史以来最大の窮地に陥った。そんな中、1950年に勃発した朝鮮戦争が特需をもたらし復興を成し遂げることができた。

このように、南海トラフ地震は百年程度の間隔で繰り返し発生し、その前後には多くの地震が発生してきた。その時期は歴史の転換期と重なる。1995年兵庫県南部地震以降多くの地震が発生している現代と似ている。歴史は未来へのメッセージでもある。すでに、昭和の地震から70数年、安政の地震から160年余が経過する。地震発生切迫性が叫ばれる中、過去の地震の教訓を生かし、社会の防災・減災力を育み、次の震災を乗り越えなければならない。

3. 災害軽減への取り組み

我が国は世界で最も地震災害の多い国であり、災害文化とも言える日本文化を育んできた。その基本は危険を避けながら自然と折り合いをつけた生活にある。今一度、社会のあり方を再考する時期にある。

(1) 温故知新

「彼を知り己を知れば百戦殆うからず」という格言がある。地震の怖さを知れば、「君子危うきに近寄らず」と危険を避けることができる。自分の弱さを知れば、「転ばぬ先の杖」と備えることができる。その結果、「備えあれば憂い無し」と、被害を抑止し、地震を乗り越えられる。さらに、互いに助け合う自律・分散・協調型の共助社会を作ること、「災い転じて福となす」ことができる。

(2) 科学技術力と人間社会力

自然に対する畏敬の念を持ち、科学技術の限界を踏まえつつ、科学技術の力を活用してソフト・ハードの備えを進め、危険を避け遅く回復する人間社会の知恵と生きる力を育みたい。科学技術力と人間社会力が相補い、災害被害軽減を実現したい。

(3) 空間軸での総力の結集

国、道州、都道府県、市町村、学区、町会、向こう三軒両隣など、それぞれの空間単位で自律力を持ち、階層的な空間構造の中で水平連携・垂直連携を図り、

相互に協調できるクラスター型社会を作る必要がある。その上で、近隣との連携や、対向支援のような遠隔地との連携体制を整える必要がある。産官学民の連携も不可欠である。多大な債務下での公助の限界を認識しつつ、平時に公助を活用して自助力を育み、災害時には弱者や被災者を共助力でカバーする必要がある。

(4) 時間軸での総力の結集

耐震化や防災まちづくりなどの平時の備えに加え、観測情報の変化を受けた直前の対応や緊急地震速報の活用、被害情報や対応資源の即時把握に基づく直後の救命・救助・救援の最適対応、災害後の早期復旧や創造的復興などのための事前準備など、各時間断面での被害軽減策を組み合わせる必要がある。

また、過去の震災教訓に学び、現在の弱点を点検し、未来の社会を予測しつつ、現代社会のあり方を修正する態度も必要となる。

(5) 予測・予防・対応と外力・脆弱性・対策の研究

災害時の発生事態を的確に予測し、予防手段を事前に講じると共に、発災後の被害波及を最小化し早期回復する社会の対応力・回復向上が必要となる。

この実現のためには、災害外力を減じ、社会の脆弱性を強靱にし、的確な対策を行う方策を構築しなければならない。

(6) ハード・ソフト・ヒューマン対策と研究連携

ハザードやリスクの予測をもとに、耐震化などのハード対策、都市計画や情報活用などのソフト対策、教育・啓発・行動誘発などのヒューマン対策を組み合わせる必要がある。地震災害軽減に関わる広範な学問分野間の連携を図り、基礎研究、応用研究、開発研究を結びつけ、研究成果を被害軽減に繋げられるよう、施策展開や社会実装を進める必要がある。

(7) 相補的対策

被害軽減のためには、様々な点で、2つの側面から相補的に対策を進めることが必要である。科学技術と人間社会、先端技術と普及技術、トップダウンとボトムアップ、部分最適と全体最適、効率と冗長、集中と分散、競争と協働、コストと安全、公と私、建前と本音などである。

高効率・高機能社会の日常では、得てして前者が尊ばれるが、余裕を削った社会は、想定を超える外力に対して脆弱であり、破たんしやすい。後者の視点を常に持ち合わせる必要がある。

(8) 効率化社会での災害波及抑止と集团的防災対策

沿岸部の埋立地・干拓地に立地する高層住宅群や産業施設の災害危険度は高い。これらの場所では、大規模な液状化によるライフライン・物流途絶や、強震に

よる破堤・浸水などで災害が複合化する。

現代社会は、電気・ガス・燃料・水道・道路・鉄道・通信などのライフライン・インフラに強く依存している。一つが途絶するだけで、被害が連鎖する。

また、物流の途絶や、部品工場の操業停止だけで、サプライチェーン(SC)全体が機能障害を起こし、部分的な被害が全体に容易に波及する。効率化した現代社会では、組織の縦割りが進み、組織を超えて情報共有されにくいため、機能不全の全体像が見えなくなっている。個社での対策だけでは限界があり、集团的な防災対策を進める必要がある。SC内や、地域内、業界内の集团的な対策の推進が望まれる。

(9) 見たくないことを見て着眼大局・着手小局で実践

ユリウス・カエサルはガリア戦記の中に、「人間はものを見たり考えたりするとき、自分が好ましいと思うものや、自分がやろうと思う方向だけを見がちで、見たくないもの、都合の悪いことは見えないものである」との言葉を残している。想定外を起こす人間社会の本質を突いた言葉である。

基準・指針・マニュアルなどを作った技術者が引退した今、形だけが残り、行間の意味や適用限界を忘れ、安易にこれらを使っている可能性がある。

また、細分化された社会は、多くを人任せにし、システム全体の安全性を考えることを忘れがちになる。人も組織も、外的要因を考慮せずに個人・組織内のみを見がちである。着眼大局・着手小局(Think globally, act locally)の態度で、全体の安全を俯瞰しつつ足元から一歩ずつ対策を進めたい。

4. 足元での実践：産業防災を例にして

地域社会の持続には、人命の確保に加え、生業の維持が必要となる。筆者が居住する東海地域は、我が国随一の産業拠点である。万一、南海トラフ地震で産業界が大きなダメージを受ければ、我が国の存立にも関わる。そこで、前節の視点を踏まえて実践している東海地区での産業防災の取り組みについて紹介する。

平成26年工業統計表「産業編」データによれば、我が国の工業出荷額は305兆円であり、出荷額1位・愛知県の44兆円は、2位・神奈川県の18兆円の2.5倍に上る。4位・静岡県16兆円、9位・三重県11兆円、岐阜県5兆円を加えると東海4県で75兆円と、全国でも抜きん出ている。愛知県・西三河地域の23兆円は神奈川県を凌ぎ、豊田市だけで13兆円の出荷額である。

自動車は約3万点の部品で作られており、約3万社の会社がSCを構成している。殆どは中小企業であり、地震対策は十分ではない。個々の工場の稼働には、建

物が損壊しないことに加え、設備機器の保全、技術者の確保、生産管理システムの維持などが必要となる。

しかし、工場内の対策だけでは事業継続はできない。仕入先からの部品や素材の納入や、顧客への納品、顧客の購買が滞れば操業できない。また、工場の稼働には、電気・ガス・工業用水・上下水・燃料・通信などが必要であり、部品供給や製品搬出には物流の確保（道路、車両、運転手）が不可欠である。

しかし、階層化されたSCの全体構造は明確になっておらず、多組織で構成されるライフラインやインフラ・物流の実態も把握できていない。従業員の確保には、地域社会の健全性と通勤手段確保が前提になる。

ライフライン・インフラや工場群は一つの基礎自治体には収まらないので、自治体を越えた広域連携が必要となる。従って、地域ぐるみの対策や、SC内の企業が連携した対策など、集团的防災対策が必要となる。

例えば、工業用水が湾岸埋立地に届かなければ発電や製油はできず、電気が無ければ浄水や製油ができず、燃料が無ければ発電や給水はできない。これらを支えるのが道路や通信であり、全てが相互依存関係にある。

物流を支える道路は高速道路・国道・都道府県道・市町村道などで管理主体が異なる。道路啓開に必要な重機の殆どはリースやレンタルであり、トラックターミナルも含め、多くが浸水危険度や液状化危険度の高い低地に立地している。

筆者らは、名古屋大学減災連携研究センターやあいち・なごや強靱化共創センターを設立し、産・官と連携する場を作り、西三河地域での広域連携の場や、本音を語る「ホンネの会」を通して、社会の実情を知る機会を得た。これができたのは、呉越同舟の意識を醸成できたことによる。組織の弱点を相互に議論する場を各地に作り、社会を俯瞰し、致命的な災害病巣を見つけ、早期に治癒・切除できる環境を整える必要がある。

5. おわりに

少子高齢化による人口減少、増え続ける債務、産業や農業の停滞、首都圏への一極集中など、困難な時代を迎える中、巨大災害が発生すれば我が国は窮地に陥ることが分かっている。南海トラフ地震は、我々の意識次第で乗り越えることができる災害である。我々の意識を変え、危険を回避し、社会の抵抗力と対応力を向上させれば、災害を克服できる。

地震予知が困難なことが明確になる中、確実に地震が起こると言われる現状は、耐震工学の始祖・佐野利器が著した一文「諸君、建築技術は地震現象の説明学

ではない。現象理法が明でも不明でも、之に対抗するの実技である、建築界は、百年、河の清きを待つ余裕を有しない。」（耐震構造上の諸説、建築雑誌1926年10月号）を思い出させる。

佐野と同時代に生きた物理学者・寺田寅彦は東京大学地震研究所玄関に掲げられた銘板に「本所永遠の使命とする所は地震に関する諸現象の科學的研究と直接又は間接に地震に起因する災害の豫防並に輕減方策の探求とである」と書き残した。

今村や佐野、寺田の思いを忘れることなく、学問の未熟さを踏まえつつ、地震工学の立場から災害被害軽減に全力で取り組みたい。

参考 南海トラフ地震の予防を訴えた今村明恒と本会

本会との関りが深い震災予防協会の前身の震災予防評議会は、震災予防調査会の解消に伴って1924年に設立された。1891年濃尾地震後に設立された震災予防調査会は、1923年関東地震後に、研究を推進する東京大学地震研究所と、啓蒙を担う震災予防評議会の2つの組織に分かれた。震災予防評議会は防災行政を支援したり、地震知識の普及活動を行っていたが、戦時体制による行政整理で廃止された。このため、今村が1941年に震災予防協会を設立した。

震災予防協会は、震災予防の方法を研究し、その実施と普及を図ることを目的にしていた。1948年の今村の死去で活動が滞ったが、1972年頃から活動を再開し、震災予防に関する講演会を29回に亘って開催してきた。1984年には日本地震工学会と合体し、建築学会、土木学会、機械学会、地盤工学会などと連携しながら、学会横断的な活動を推進してきた。1988年に日本で開催された世界地震工学会では、事務局として中心的役割を担った。

2001年に日本地震工学会が設立されたことに伴い、2010年に財団の活動を閉じ、その役割を本会が引き継ぐことになった。震災予防協会講演会は、震災技術展（横浜）で開催される震災予防講演会に引き継がれている。



福和 伸夫（ふくわ のぶお）

1981年名古屋大学大学院修了後、清水建設で十年間勤務の後、名古屋大学に異動。建築耐震工学・地震工学に関わる教育・研究に従事する傍ら、防災・減災活動を実践。日本地震工学会長。