

自然災害から何を学んできたのか 改めて振り返る

北海道大学 名誉教授 緑川 光正



1. 自然災害と法令等の変遷

自然災害とは、地震・火山爆発・津波・高潮・台風・豪雨・異常低温など、何らかの自然現象によって引き起こされる災害（広辞苑第六版）であって極めて多岐にわたる。本章では主に地震・台風について述べる。

耐震・耐風工学は「自然災害に学ぶ」ことから発展してきた。それは、殆どの建築物は供用期間中に設計荷重の洗礼を受けることはなく、その設計の妥当性が検証されることはないからだと考えられる。また、大きな地震・台風被害を受ける度に建築物の構造安全性を確保するための法令等の改定が重ねられ整備されてきた（表-1¹⁾ 参照）。そして、これらの法令等が自然災害の低減に貢献してきたことも明らかであろう。

1923年関東地震（関東大震災）の翌年（1924年）には当時の市街地建築物法が改定され、地震用設計水平震度0.1以上が我が国で初めて規定された。

1934年室戸台風（関西風水害）^{1), 2)}では、記録的な最低気圧と最大風速60 m/sを観測し、京阪神地方を中心に学校木造校舎の倒壊で多くの犠牲者が出たほか高潮により大きな被害をもたらした。建築基準法では2000年に改定されるまで建築物の耐風性能を室戸台風の最大風速に耐えられるように定めていた。なお、これなどは最近よく耳にするスーパー台風に該当するのではないかと考えられる。

1950年には、国民の生命・健康・財産の保護のため、建築物の敷地・設備・構造・用途についてその最低基準を定めた建築基準法が制定された。その際、材料の許容応力度の変更に伴って地震用設計水平震度が0.2以上に規定された。

1959年伊勢湾台風³⁾は紀伊半島から東海地方を中心にほぼ全国に甚大な被害を及ぼし、明治維新以来最大の

被害を出した。ほぼ全国に及んだ経済的被害額をGDP比で比較すると、阪神・淡路大震災の数倍、関東大震災に匹敵すると言われる。災害対策基本法はこの伊勢湾台風を教訓として1961年に成立した。

1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震による被害を経験した後、1981年には新耐震基準が施行され、稀な地震動（中地震動）と極稀な地震動（大地震動）に対する二段階の耐震基準が導入された。それに伴って設計用地震標準せん断力係数 C_0 が二段階となり0.2以上および1.0以上と定められた。なお、1978年宮城県沖地震では、建設省建築研究所（当時）により東北大学建設棟に設置された強震計で建築物応答1gが世界で初めて観測され、新耐震基準 $C_0 \geq 1.0$ の根拠となった。

我が国が第二次世界大戦後初めて経験する大都市直下地震となった1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）では、1948年福井地震を契機に新設された震度7が初めて観測され、建築物や構造物を中心に甚大な被害が生じた。この被害を受けて、同年12月には耐震改修促進法が施行された。

2000年には耐震基準を含む建築基準法の大幅改定が行われ、それまでの仕様基準に加えて性能基準が導入された。2000年改定の耐震基準では、1995年兵庫県南部地震被害の教訓から、木造では規制強化、それ以外の構造では概ね従来通りという基本方針で改定された。限界耐力計算が新設され、建築物の地震動による応答変形を直接評価できる斬新な方法が導入された。

2011年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では極めて広範囲に甚大な津波被害が発生した。一方、地震動による被害形態は従来の地震で指摘されたものとはほぼ同様だった。非構造部材の被害が顕著だったため、2013年には特定天井耐震基準が新設され、天井の地震力算定

に関して床応答スペクトルを考慮した方法が導入された。

ところで、貴重な実大実験とも言える地震被害の一方で、大都市化が急速に進み「災害の進化」が指摘される現在、地震被害を待つ状況では無くなりつつあり、「擬似被害地震に学ぶ」や「予見と予防」の観点⁴⁾から大規模振動台（E-ディフェンス）実験が数多く実施されて貴重な知見が蓄積されつつある。

2. 近い将来に発生が懸念される巨大地震

近い将来に発生が懸念されている南海トラフ巨大地震⁵⁾や首都直下地震では甚大な被害の発生が想定されている。南海トラフ巨大地震における最悪の条件下では、死者30万人以上、被害額200兆円以上、必要な応急仮設住宅200万戸以上などと予測されている。ただし、適切な事前防災対策がなされれば死者と被害額は半分程度以上減らすことが出来るという推計もある。図-1に過去

表-1 地震・台風被害と法令等の変遷¹⁾

地震被害	法令等
1981(明治 24) 濃尾地震	震災予防調査会(1892-1925)
1923(大正 12) 関東地震	1919(大正 8) 市街地建築物法
1934(昭和 9) 室戸台風	1924(大正 13) 市街地建築物法耐震基準 水平震度 0.1
1948(昭和 23) 福井地震 震度 7 新設	1950(昭和 25) 建築基準法 水平震度 0.2
1959(昭和 34) 伊勢湾台風	1981(昭和 56) 新耐震基準 $C_0 \geq 0.2, 1.0$
1964(昭和 39) 新潟地震 地盤液状化	1995(平成 7) 耐震改修促進法
1968(昭和 43) 十勝沖地震 RC 造柱せん断破壊	2000(平成 12) 建築基準法 性能基準
1978(昭和 53) 宮城県沖地震 強震記録 1g	2013(平成 25) 天井耐震基準
1983(昭和 58) 日本海中部地震	
1995(平成 7) 兵庫県南部地震 震度 7 記録 建築物・構造物被害	
2004(平成 16) 新潟県中越地震 BCP	
2007(平成 19) 新潟県中越沖地震	
2011(平成 23) 東北地方太平洋沖地震 M9.0 津波・非構造被害	
2016(平成 28) 熊本地震	

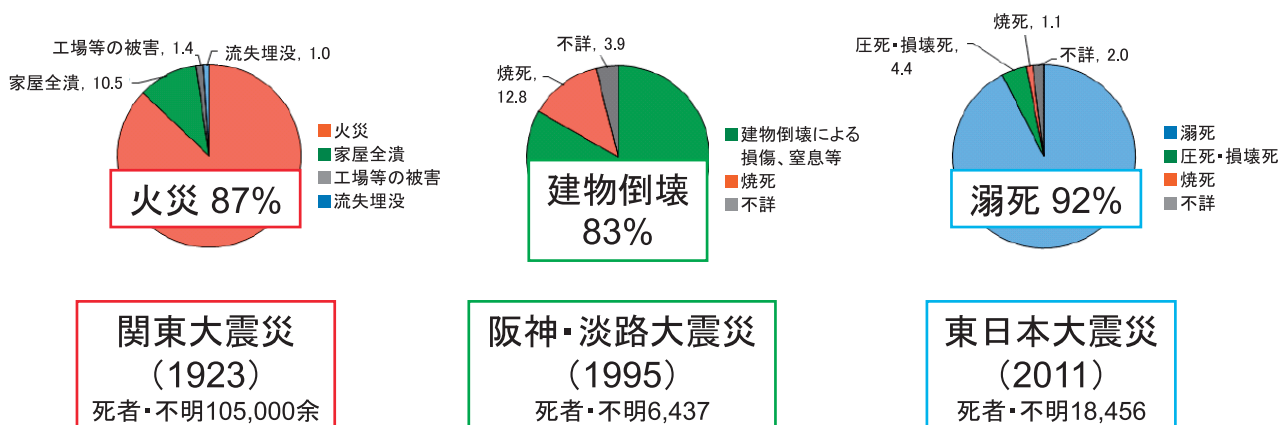


図-1 過去の大震災による死因の比率⁶⁾

の大震災による死因の比率⁶⁾を示す。関東大震災（1923年）では火災によるものが87%，阪神・淡路大震災（1995年）では建物倒壊によるものが83%，東日本大震災では溺死が92%を占めており、震災によりかなり異なった様相を呈している。南海トラフ巨大地震では過去の3つの大震災が複合した様相になるとも言われている。

1923年関東地震の被害額は当時の国家予算の2～3倍だったとも言われ、そうならないような事前対策が急務であり、全国各地で様々な対策が進められると同時に、各方面の研究機関でも対策に係わる研究開発が実施されている。その中に、建築基準法を超えるレベルで建築物の耐震性能を総合的に確保しようという動きがある。すなわち、従来は人命保護のために建築物の終局時耐震性能が重視されてきたが、近い将来に発生が懸念される巨大地震への対策はそれだけでは不十分で地震後の継続使用性を確保することが必要だと認識されるようになった。

現在、国土交通省住宅局を中心に「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」^{7), 8)}が整備されている（表-2⁷⁾参照）。最初は防災拠点となる新築の建築物⁷⁾を対象として公表され、続いて翌年には既存の建築物⁸⁾を対象とするものが公表された。これは、2004年新潟県中越地震の企業サプライチェーン寸断の被害経験から注目されるようになった事業継続計画（BCP）の一つと言えるが、将来は一般の建築物や住宅にも適用が広がることを期待したい。そうした段階になればBCPに加えてLCP（生活継続計画）が考慮される時代が到来しよう。

表-2 防災拠点等となる建築物に係る
機能継続ガイドライン目次⁷⁾

はじめに
1. 本ガイドラインの目的
2. 活用が想定される建築物
3. 防災拠点等となる建築物の設計等に当たっての関係者の役割
4. 機能継続に係る目標
5. 立地計画
6. 建築計画
7. 構造計画（構造躯体及び非構造部材の耐震設計）
8. 設備計画（耐震設計及びライフライン途絶対策）
9. 大地震時の円滑な機能継続確保のための平時からの準備 （参考）参考となる既往の指針，事例集

建築基準法が制定された経済が貧弱な時代に比べて経済が成熟した現在では、巨大地震を乗り越えて持続可能な社会を構築することが求められている。そこでは、建

築物に求められる耐震性能が、人命保護ばかりでなく、地震後の継続使用性の確保という一段進んだレベルに変わる必要がある。これこそが、現在までに長い年月をかけて我々が地震被害から学んできた貴重な経験の一つだと言えよう。

巨大地震に対する事前防止対策として建築物の地震後の継続使用性を確保することは短期的には必要かつ適切だと考えられる。しかし、長期的にはこれだけでは不十分であり首都機能移転を進めることが望ましい。政治、経済、文化の全ての中心が集積する現在の首都圏では巨大地震により甚大な被害が生じることは明らかであり、後述する寺田寅彦の将来起こるだろう次の関東地震に関する指摘がまさにその通りだろうと懸念されるからである。すなわち「宝永安政の昔ならば各地の被害は各地それぞれの被害であったが次の場合にはそうは行かないことは明らかである。昔の日本は珊瑚かボリボくらげのような群生体で、半分死んでも半分は生きていられた。今の日本は有機的の個体である。三分の一死んでも全体が死ぬであろう。（時事雑感、地震国防、中央公論、1931年）」

3. 防災・減災の温故知新

物理学者で「天災は忘れた頃にやってくる」の名言で知られる寺田寅彦（1878—1935）の幾つかの随筆^{9)~11)}を辿り、防災・減災について振り返る。以下に出典に続いて随筆から引用した文章を列挙する。各文頭の括弧付き数字は抜粋順に筆者が便宜上付けたもので、太文字は筆者による強調箇所、斜体文字は筆者による注釈を表す。[地震雑感、大正大震火災誌、大正13（1924）年5月]（寺田寅彦全集 第六巻、岩波書店、1997より抜粋）

(1) **地震の予報**は可能であるかという問題がしばしば提出される。これに対する答は「予報」という言葉の解釈次第でどうでもなる。もし星学者が日蝕を予報すると同じような決定的な意味でいうなら、私は不可能と答えた。しかし例えば医師が重病患者の死期を予報するような意味においてはあるいは将来可能であろうと思う。しかし現在の地震学の状態ではそれほどの予報すらも困難であると私は考えている。

(2) 現在でやや可能と思われるのは統計的の意味における**予報**である。例えば地球上のある区域内に向う何年の間に約何回内外の地震がありそうであるというような事は、適当な材料を基礎として云っても差支はないかもしれない。しかし方数十里の地域に起るべき大地震の期日を数年範囲の間に限定して予知し得るだけの科学的根

拠が得られるか否かについては私は根本的の疑いを懐いているものである。

(3) 要は、予報の問題とは独立に、地球の災害を予防する事にある。想うに、少なくともある地質学的時代においては、起り得べき地震の強さには自ずからな最大限が存在するだろう。これは地殻そのものの構造から期待すべき根拠がある。そうだとすれば、この最大限の地震に対して安全なるべき施設をさえしておけば地震というものはあっても恐ろしいものではなくなるはずである。

(4) そういう設備の可能性は、少なくとも予報の可能性よりは大きいように私には思われる。

(5) ただもし、百年に一回あるかなしの非常の場合に備えるために、特別の大きな施設を平時に用意するという事が、寿命の短い個人や為政者にとって無意味だと云う人があれば、それはまた全く別の問題になる。そしてこれは実に容易ならぬ問題である。この問題に対する国民や為政者の態度はまたその国家の将来を決定するすべての重大なる問題に対するその態度を覗かしむる目標である。

[時事雑感、地震国防、中央公論、昭和6(1931)年1月]
(寺田寅彦随筆集 第二巻、岩波文庫、1947より抜粋)

(6) 伊豆地方が強震(1930年11月26日、北伊豆地震、M7.3)に襲われた。四日目に日帰りで三島町まで見学に出かけた。・・・三島町へはいつでもいっこう強震のあったらしい様子がないので不審に思っていると突然に倒壊家屋の一群にぶつかってなるほどと合点が行った。

(7) 町の地図を三十銭で買って赤青の鉛筆で倒れ屋と安全な家との分布をしるして歩いてみた。がんじょうそうな家がぐちゃぐちゃにつぶれている隣に元来のぼろ家が平気でいたりする。そうかと思うとぼろ家がつぶれて丈夫そうな家がちゃんとしているという当然すぎるような例もある。

(8) つぶれ家はだいたい蛇のようにうねった線上にあたる区域に限られているように見えた。地震の割れ目か、昔の川床か、もっとよく調べてみなければ確かな事はわからない。・・・科学も今のところそれ以上の説明はできない。

(9) 大正十二年の大震災は帝都と関東地方に限られていた。今度のは箱根から伊豆へかけての一带の地に限られている。いつでもこの程度ですむかというところそうは限らないようである。

(10) 安政元年(1854年)11月4日5日6日にわたる地震(安政東海地震・南海地震)には東海、東山、北陸、山陽、山陰、南海、西海諸道ことごとく震動し、災害地

帯はあるいは続きあるいは断えてはまた続いてこれらの諸道に分布し、至るところの沿岸には恐ろしい津波が押し寄せ、震水火による死者3千数百、家屋の損失数万をもって数えられた。これとよく似たのが宝永4年(1707年10月28日、宝永地震)にもあった。こういう大規模の大地震に比べると先年の関東地震などはむしろ局部的なものとも言える。

(11) 今後いつかまたこの大規模地震が来たとする。そうして東京、横浜、沼津、静岡、浜松、名古屋、大阪、神戸、岡山、広島から福岡へまで一度に襲われたら、その時はいったいわが日本の国はどういうことになるであろう。そういうことがないとは何人も保証できない。

(12) 宝永安政の昔ならば各地の被害は各地それぞれの被害であったが次の場合にはそうは行かないことは明らかである。昔の日本は珊瑚かポリポくらげのような群生体で、半分死んでも半分は生きていられた。今の日本は有機的の個体である。三分の一死んでも全体が死ぬであろう。

(13) この恐ろしい強敵に備える軍備はどれだけあるか。政府がこれに対してどれだけの予算を組んでいるかと人に聞いてみてもよくわからない。ただきわめて少数な学者(た)ちが熱心に地震の現象とその生因ならびにこれによる災害防止の研究に従事している。

(14) そうして実に僅少な研究費を与えられて、それで驚くべき能率を上げているようである。おそらくは戦艦の巨砲の1発の価、陸軍兵員の1日分のたくあんの代金にも足りないくらいの金を使って懸命に研究し、そうして世界的に立派な結果を出しているようである。そうして世間の人はもちろん政府のお役人たちもそれについてはなんにも知らない。

[鎖骨、工業大学蔵前新聞、昭和8(1933)年1月]
(寺田寅彦随筆集 第四巻、岩波文庫、1948より抜粋)

(15) 鎖骨が、いわば安全弁のような役目をして気持ちよく折れてくれるので、その身代わりのおかげで肋骨その他のもっとだいじなものが救われる。

(16) どこか「家屋の鎖骨」を設計施工しておいて、大地震がくれば必ずそこが折れるようにしておく。そのかわり他のだいじな致命的な部分はそのおかげで助かるというようにすることはできないものかと思う。

(17) 時々その道の学者たちに話してみたこともあるが、だれもいっこう相手になってくれない。

[津波と人間、鉄塔、昭和8(1933)年5月]

(寺田寅彦全集 第七巻、岩波書店、1997より抜粋)

(18) 津浪に懲りて、はじめは高い処だけに住居を移し

ていても、五年たち、十年たち、十五年二十年とたつ間には、やはりいつともなく低い処を求めて人口は移って行くであろう。そうして運命の一万数千日の終りの日が忍びやかに近づくのである。鉄砲の音に驚いて立った海猫が、いつの間にかまた寄って来るのと本質的の区別はないのである。

(19) 少数の学者や自分のような苦勞症の人間がいくら骨を折って警告を与えてみたところで、国民一般も政府の当局者も決して問題にはしない、というのが、一つの事実であり、これが人間界の自然方則であるように見える。自然の方則は人間の力では枉げられない。この点では人間も昆虫も全く同じ境界にある。

(20) 日本国民のこれら災害に関する科学知識の水準をずっと高めることが出来れば、その時にはじめて天災の予防が可能になるであろうと思われる。この水準を高めるには何よりも先ず、普通教育で、もっと立入った地震津浪の知識を授ける必要がある。

(21) 日本のような、世界的に有名な地震国の小学校では少なくとも毎年一回ずつ一時間や二時間くらい地震津浪に関する特別講演があっても決して不思議はないであろうと思われる。地震津浪の災害を予防するのはやはり学校で教える「愛国」の精神の具体的な発現方法の中でも最も手近で最も有効なものの一つであろうと思われるのである。

[天災と国防、経済往来、昭和9(1934)年11月]

(寺田寅彦随筆集 第五卷、岩波文庫、1948より抜粋)

(22) 文明が進むほど天災による損害の程度も累進する傾向があるという事実を十分に自覚して、そして平生からそれに対する防御策を講じなければならないはずであるのに、それがいっこうにできていないのはどういうわけであるか。

(23) そのおもなる原因は、畢竟そういう天災がきわめてまれにしか起こらないで、ちょうど人間が前車の顛覆を忘れたところにそろそろ後車を引き出すようになるからであろう。

(24) しかし昔の人間は過去の経験を大切に保存し蓄積してその教えにたよることがはなはだ忠実であった。過去の地震や風害に堪えたような場所にのみ集落を保存し、時の試練に堪えたような建築様式のみを墨守して来た。

(25) それだからそうした経験に従って造られたものは関東震災でも多くは助かっているのである。

(26) 大震(1923年関東地震)後横浜から鎌倉へかけて被害の状況を見学に行ったとき、かの地方の丘陵のふもとを縫う古い村家が存外平気で残っているのに、田んぼ

の中に発展した新開地の新式家屋がひどくめちやめちやに破壊されているのを見た時につくづくそういう事を考えさせられたのであった・・・。

(27) 今度の関西の風害(9/21近畿地方大風水害：室戸台風)でも、古い神社仏閣などは存外あまりいたまないのに、時の試練を経ない新様式の学校や工場が無残に倒壊してしまったという話を聞いていっそうその感を深くしている次第である。

(28) やはり文明の力を買いかぶって自然を侮り過ぎた結果からそういうことになったのではないかと想像される。

(29) 今回の苦い経験がむだになるような事は万に一つもあるまいと思うが、しかしこれは決して当局者だけに任すべき問題ではなく国民全体が日常めいめいに深く留意すべきことであろうと思われる。

(30) 国家の安全を脅かす敵国に対する国防策は現に政府当局の間で熱心に研究されているであろうが、ほとんど同じように一国の運命に影響する可能性の豊富な大天災に対する国防策は政府のどこでだれが研究しかなる施設を準備しているかはなはだ心もとないありさまである。

(31) 日本のような特殊な天然の敵を四面に控えた国では、陸軍海軍のほかにもう一つ科学的国防の常備軍を設け、日常の研究と訓練によって非常時に備えるのが当然ではないかと思われる。

(32) 陸海軍の防備がいかに充分であっても肝心な戦争の最中に安政程度の大地震(1855年安政江戸地震)や今回の台風あるいはそれ以上のものが軍事に関する首脳設備に大損害を与えたらいったいどういうことになるであろうか。

以上、寺田寅彦の随筆を取り上げた。90年以上前と現在の状況とを比較すると、現在でも何ら変わらないことと大分変わったことが見えてくる。(1)～(5)では地震の予報は不可能だから頑丈な施設で非常に備えるほうが現実的だと指摘している。これは、過去約50年間に1000億円以上の研究費を注ぎ込みながら大規模地震対策特別措置法に基づく警戒宣言が2017年凍結されたことを想起させる。(9)～(12)では1923年関東大震災はそれ以前の関東地震の被害に比べれば限定的であって将来はもっと広範囲に甚大な地震被害が起ころうることを指摘し、最近懸念されている南海トラフ巨大地震の可能性を示唆している。(13)～(14)では地震・災害防止のための政府の研究費が実に僅少だと嘆いているが、現在

は十分とは言えないまでもかなり改善されていると思う。(15)～(17)では80年も前に建築構造の専門家でもないのに制振構造の発想を持っていた慧眼に脱帽するしかない。(18)～(19)では繰り返される津波被害に懲りないのは人間界の自然法則だと嘆いているが、これは現在もあまり変わらないだろう。(20)～(21)では地震津波の災害予防には子供の時からの教育が有効なこと、(22)～(23)では「災害の進化」を当時既に警告していること、(24)～(29)では災害の拡大は「文明の力を買いかぶって自然を侮り過ぎた結果」という指摘、(30)～(32)では自然災害が多い我が国では防災は陸海軍に並ぶ大事な国防の一つだという指摘、など非常に興味深く示唆に富む内容が多い。

先端的な研究も勿論大事だが同時に防災・減災に対する現状を過去と比較することも時には必要だと思う。

注) 本稿は文献13)に加筆修正した。

【参考文献】

- 1) 大橋雄二：日本建築構造基準変遷史，日本建築センター出版部，1993.12
- 2) <https://ja.wikipedia.org/wiki/室戸台風>，2018.5.7
- 3) <https://ja.wikipedia.org/wiki/伊勢湾台風>，2018.5.7
- 4) 中島正愛：地震防災・地震工学の発展に大型構造実験は欠かせない・・・はずだ，日本地震工学会誌，第10号，pp. 2-7，2009.7
- 5) 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の被害想定について（第二次報告），2018.3.18
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所，（独）建築研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告，国土技術政策総合研究所資料No. 674，建築研究資料，No. 136，2012.3
- 7) http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_tk_000088.html，2018.4.20
- 8) http://http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_tk_000088.html，2019.6.7
- 9) 青空文庫 (<http://www.aozora.gr.jp/>)，2005.8.27/2017.6.8
- 10) 小宮豊隆編：寺田寅彦随筆集 全5巻，岩波文庫，1947～1948
- 11) 寺田寅彦全集 全30巻，岩波書店，1996～1999
- 12) 緑川光正：地震被害から何を学んできたかー地震防災を改めて振り返る，構造工学シンポジウム特別講演会，第64回構造工学シンポジウム資料，pp. 1-5，2018.4.21
- 13) 緑川光正：主集 自然災害の低減に対する取り組み 第1章/総論 1.はじめに，structure, No. 147，pp. 30-33，2018.7