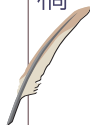


# 克災(1) 体系的に 地震災害軽減を考える

特別寄稿



(写真提供：朝日新聞社)



## はじめに

2万人余りの犠牲者を出した東日本大震災から2年半が経つが、被災地の復興はなかなか進まない。災害は、人口減や高齢化など、被災地が抱える本質的な課題をあぶり出す。満身創痍のわが国社会の現状は、次なる巨大災害での深刻な事態を想像させる。震災からできる限りのことを学び、同様の災害を二度と繰り返さないよう、社会の「生きる力」を再生し、防災・減災に総力で取り組むときである。

震災後、「未曾有」とか「想定外」という言葉が飛び交った。地震学的にはそうかもしれない。しかし、明治三陸地震津波や、慶長三陸



名古屋大学  
減災連携研究センター教授  
福和伸夫  
民間建設会社に勤務の後、名古屋大学に異動。耐震工学・地震工学に関わる教育・研究の傍ら、行政の防災施策立案や地域の減災活動に従事。文部科学大臣表彰科学技術賞、日本建築学会賞他を受賞。



地震津波、貞観の地震津波などと比べると、災害被害という観点では、決して未曾有でも想定外の災害でもない。個々の災害様相の多くは、南海トラフ巨大地震の被害予測で想像されていた。ただし、原発災害を含め、様々な災害事象が波状的に同時発生して行く様は衝撃的だった。

東日本大震災以後、国は南海トラフ巨大地震に関する検討を精力的に進めている。2012年3月には、最大クラスの地震に対する震度・津波予測結果を、2012年8月には、最大クラスの地震に対する直接被害量を、2013年3月には、ライフライン被害や、間接被害も含めた

経済被害を公表した。その被害量は、最悪、全壊・全焼家屋238万棟、死者32万3,000人、経済被害は直接被害170兆円、間接被害50兆円と試算された。直接被害のうち120兆円は家屋損壊による被害である。

南海トラフ巨大地震は震源域が陸域にかかるため、東北地方太平洋沖地震と比べ予想される揺れは強く、被災地には沖積低地が広がるため、液状化エリアも広域になる。津波の到達時間も早く、避難に使える時間も短い。

予想被災地域には、東日本大震災の被災地の十倍の人と物が存在する。大都市は、揺れや液状化、浸水の危険度の高い沖積低地にま

表1 東日本大震災の主な被害

	死者	行方不明者	関連死者	住家全壊棟	住家半壊棟
岩手	5,034	1,151	389	18,370	6,558
宮城	10,427	1,302	862	85,259	152,875
福島	2,922	226	1,383	21,141	72,714
3県計	18,383	2,679	2,634	124,770	232,147
全国	18,493	2,683	2,688	128,801	269,675

ちを広げ、家屋を密集させた。70年近く強い揺れを経験していないため、耐震性が不十分な建物も多く、倒壊危険度や火災危険度も高い。ライフラインや物流が途絶し、水・食糧・燃料の供給が長期にわたって途絶えると、関連死の増大も懸念される。

多大な債務を抱え、人口減少・高齢化社会を迎える中、このような被害を出せば、わが国社会は破たんする。その渦中に巻き込まれるのは、今の子供たちである。彼らが幸せな生涯を送れるよう、災害被害を減らす減災行動を国民全員が実践するときである。

私の年代は、戦後の高度成長期、右肩上がりの豊かな時代を、戦争や大きな自然災害を経験することなく過ごしてきた。自然の怖さを忘れ、便利さとは裏腹の災害危険度の高い場所に生活圏を拡大した。今一度、国のあり様や、私たちの生き方を見直していかなければならない。

災害被害を減らす基本は、外力を下げ、抵抗力を強くし、発災後の回復力を増すことにある。すなわち、危険を回避し、事前の備えを進め、災害後に的確な対応をすることである。これを、来るべき巨大災害を克服する「克災」の3要素と名付けたい。

人間は、自然の中で、歴史に学びながら、技術により暮らしを改善し、持続可能な社会を作ってきた。「克災」の基本もここにある。自然、技術、人間、歴史の視点からの学びが必要だ。前二者は理系的、後二者は文系的である。そこで、今回は、理系的な視点、次回は文系的な視点、そして最後に総合的な視点で、今後の防災について考えてみたい。

## 被害の数字を読み解く

### (1)東日本大震災での被害

東日本大震災における人的被害は、死者18,493人、行方不明者2,683人、負傷者6,217人(消防庁、平成25年3月11日、負傷者数は一部市町の積算値)、うち、震災関連死は2,688人、約9割が66歳以上の高齢者とされている(復興庁、平成25年3月31日)。一方、建物被害は、住家被害が全壊約13万棟、半壊約27万棟、公共建物被害が約2.1万棟、火災発生件数が330件(消防庁、平成25年3月11日)、経済損失は直接被害額約16.9兆円(原発関連を除く)とされている。

被災東北3県の人的被害と住家被害を、表1に一覧する。関連死は福島県が群を抜いて多く原発災害の影響が大きい。直接死者数や全半壊棟数は宮城が全体の6割を占めているが、全壊割合の高さや全壊棟数に対する死者数の多さから、岩手県の津波の威力がうかがえる。

### (2)阪神・淡路大震災との比較

阪神・淡路大震災での死者6,434人、行方不明者3人、負傷者43,792人と比較すると、東日本大震災では、行方不明者が多く負傷者が少ない。これが、津波災害の特徴である。

阪神淡路大震災での住家被害は全壊10万棟強、半壊14万棟強、出火件数285件、経済被害は約10兆円である。地震エネルギーは1,000倍も異なるが、被害ボリュームは両震災でほぼ同程度である。東日本大震災では被害は広域にわたったが、被災東北3県の人口と、兵庫県の人口が600万人弱とほぼ等しいためと思われる。

### (3)過去の三陸沖の地震との比較

東北地方太平洋沖地震と同様の地震として、西暦869年の貞観地震が知られている。六国史の日本三代実録には、多賀城での津波犠牲者が1,000人との記載がある。当時の人口は今の1/20程度と考えられ、現在に換算すると2万人に相当する。今回の多賀城市の犠牲者は217人(うち関連死25人)なので、この記載を信じれば、今般は犠牲者を1/100に減じたことになる。

被災地では、1611年の慶長三陸地震や1896年の明治三陸地震も経験している。理科年表には、慶長の地震について、「伊達領内で死1783、南部・津軽で人馬の死3千余」の記載がある。また、明治の地震の犠牲者は22,000人である。慶長期の人口は現在の約1/10、明治期は約1/3なので、現在に換算すると、それぞれ5万人、6万人の被害に相当する。したがって、今回の被害はこれらの1/3である。とくに岩手県では、明治の18,000人強を約6,000人と減じており、人口比を考えれば犠牲者をワンオーダー減らしている。これは、被災地でのハード・ソフトの津波対策と、住民の高い

津波防災意識が成しえた成果と言える。

### (4)南海トラフ巨大地震との比較

表2は、被災東北3県と、南海トラフ巨大地震被災地の10府県について、標高10m未満に居住する低地人口と、2010年に対する2040年の人口比を比較してみたものである。また、表3は、内閣府から示された最大クラスの南海トラフ巨大地震に対する被害予測結果の一例を示したものである。

表2から、南海トラフ被災地の人口の多さ、とくに、低地に居住する人口の多さが分かる。10府県の人口は3県の5倍弱だが、標高10m未満の居住人口は13.5倍に及ぶ。たとえば、静岡県は岩手県の25倍である。両県の揺れの強さや津波到達時間の違いを考えると、岩手県の死者6,000人と、静岡県の予想死者109,000人の差の意味が理解できる。これは、居住地の見直しの必要性を示唆している。

家屋被害は、最悪、東日本大震災の約20倍の240万棟に達する。揺れ・液状化・津波・急傾斜地崩壊による全壊棟が163万棟、焼失家屋が75万棟である。経済被害のうち直接的被害は170兆円であり、東日本大震災の直接

危険を回避し、事前の備えを進め、災害後に的確な対応をする。これを、「克災」の3要素と名付けたい。

表2 東北と南海地域の低地人口と将来人口

	標高10m未満の人口(千人)	全人口(千人)	標高10m未満の人口割合(%)	2010年と2040年の人口比(%)
岩手県	40	1,379	2.9	70.5
宮城県	638	2,350	27.1	84.0
福島県	155	2,090	7.4	73.2
3県計	833	5,819	14.3	77.0
静岡県	1,060	3,767	28.1	80.6
愛知県	2,886	7,226	39.9	92.5
三重県	582	1,848	31.5	81.3
大阪府	4,607	8,798	52.4	84.1
和歌山県	399	1,006	39.7	71.8
徳島県	452	800	56.5	72.7
香川県	266	960	27.7	77.6
愛媛県	272	1,380	19.7	75.1
高知県	267	784	34.0	70.2
宮崎県	377	1,149	32.8	79.3
10県計	11,168	27,718	40.3	83.6
全国	36,055	126,761	28.4	83.8

表3 最大クラスの南海トラフ巨大地震に対する予想被害の一例

	全壊棟数 (陸側、津波ケース①、冬18時、風速8m/s)				死者数 (陸側、津波ケース①、冬深夜、風速8m/s、早期避難率低)			
	揺れ・地盤 災害	津波	火災	合計	建物倒壊	津波	火災	合計
静岡県	220,300	30,000	42,000	292,000	13,000	95,000	1,600	109,000
愛知県	266,400	2,600	119,000	388,000	15,000	6,400	1,800	23,000
三重県	170,300	24,000	45,000	239,000	9,800	32,000	900	43,000
大阪府	75,100	200	260,000	336,000	3,800	200	500	4,500
和歌山県	102,800	16,000	49,000	168,000	6,000	28,000	1,500	35,000
徳島県	94,900	2,700	23,000	121,000	5,200	6,300	700	12,000
香川県	41,700	300	12,000	54,000	2,300	200	80	2,600
愛媛県	124,800	8,800	53,000	187,000	7,400	2,800	700	11,000
高知県	169,500	20,000	27,000	216,000	10,000	12,000	2,100	25,000
宮崎県	43,400	21,000	14,000	78,000	2,400	31,000	100	34,000
10県計	1,309,200	125,600	644,000	2,079,000	74,900	213,900	9,980	299,100
合計	1,486,500	146,000	750,000	2,382,000	82,000	230,000	10,000	323,000

被害16.9兆円の10倍である。甚大な家屋被害や人的被害を考えれば過大ではない。

災害廃棄物は、建物の全壊・焼失等により約2.5億t、津波堆積物により最大約0.6億t、合わせて約3.1億tと予想された。

ちなみに、2012年度の住宅着工戸数は約89万戸なので、集合住宅数を勘案すると、年間住宅着工棟数は50万棟程度と考えられる。また、2011年度の一般廃棄物のゴミ総排出量は4,500万tである(環境省)。したがって、家屋被害棟数や災害廃棄物量は、わが国の5～6年分の建設住宅棟数や廃棄物量に相当する。災害後の回復力の不足が予想される。

わが国の消防力は、消防ポンプ自動車台数7,000台、救急車台数5,000台であり、消火も困難である。陸上自衛隊や常備消防の人数もそれぞれ15万人程度なので、被災者数に対し全く不足する。予想被害に対し、わが国の人的・物的対応資源では全く歯が立たない。被害を激減する努力をするしか道はない。

### 体感しながら揺れと耐震の理屈を学ぶ

地震による災害被害軽減の基本は、危険の回避(土地利用、小さな外力)と備え(耐震化・

家具固定等、大きな抵抗力)にある。この推進には、個々人が、地震の揺れや建物の揺れなどを身をもって体感し、土地利用や耐震化の大切さを実感し、行動する必要がある。

#### (1)危険の回避=外力=揺れの強さなど

危険を回避するには、外力の小さな場所に居住するのが最良である。したがって、まずは、外力についての学習が必要である。主な外力としては、揺れ、液状化、津波、土砂災害などが考えられる。ここでは、被害に直結する揺れの強さについて考えてみる。

揺れの強さは、地震規模、震源域からの距離や揺れの伝えやすさ、地盤の揺れやすさ、などで決まる。マグニチュード(M)が1増えると放出エネルギーは32倍、震源域の面積は10倍、すべり量は3倍になる。一般に、揺れの強さは震源域からの距離に反比例して減少する。一方、震度は1増えると揺れが3倍になる。したがって、震源域からの距離が同じなら、Mが1増えると、震度は1増える。

この結果、地震規模の増大と共に、被災地面積が格段に広がる。東日本大震災では震源域が陸から離れていたが、南海トラフ巨大地震の震源域は陸域にかかるため、被災地域は

遙かに大きく広がる。さらに、南海トラフの陸側に、付加体と呼ばれる堆積層が存在するため、揺れの通り道となって、遠くまで揺れを伝え、被災地域をさらに拡大する。

筆者は、小中高等学校の体育館で講演をするときには、生徒全員での大実験を楽しむ。最初は一人で1回ジャンプ、次に1クラス全員(30~40人)で3回ジャンプ、次に全校生徒(1,000人)で10回ジャンプをさせる。マグニチュードによる揺れの強さや揺れの長さの違いを体感する。さらに、ジャンプする人やクラスを変えることで、震源からの距離による揺れの違いを学ぶ。先生方に、床の上、机の上、マットの上などで、揺れの違いを体感してもらう。これによって、固い地盤と軟弱地盤の揺れの違い(床とマット)、地盤と建物の揺れの違い(床と机の上)を体感する。同じことを運動場でやると揺れが伝わる経路の固さによる揺れの違いも体感できる。

教室での実験には、プリンを使う。最初は容器に入ったプリンを左右に揺する。これは、

周辺が山に囲まれた盆地の揺れである。ある周期で揺ると内部がよく揺れる。次にお皿に乗せる。すると、周辺が拘束されていないので揺れやすくなる(写真1)。これによって軟らかい地盤は強く揺れ、特定の周期で揺れやすいことを学べる。つぎに、プリンの上半分を食べて薄くすると揺れやすい周期が短くなり、揺れが減る。さらに、プリンの上に、市販の菓子「きのこの山・たけのこの里」を乗せてみる。杭基礎と直接基礎の建物だ。両者の揺れの違いは歴然であり、基礎の大切さが実感できる。プリンをババロアに変えると地盤の固さの違いも分かる。液状化実験に関しては防災科学技術研究所で開発されたエッキーが秀逸である(<http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/pdf/ecky.pdf>)。

## (2)備え=抵抗力=建物の耐震化と共振

地震被害を減らすには、外力よりも抵抗力が大きければ良い。行政がすべきは、堤防などのインフラやライフラインの強化、消防力や救命力の強化などの「公助」、地域ですべきは、

南海トラフ巨大地震の予想被害に対し、わが国の人的・物的対応資源では全く歯が立たない。



写真1 プリンを使った地盤震動実験

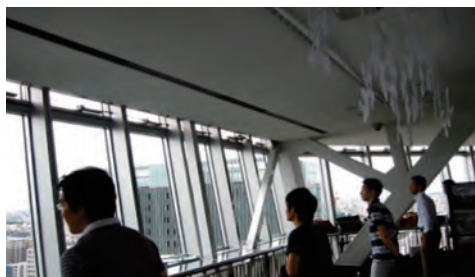


写真3 名古屋テレビ塔での人力加振実



写真2 第17回中央防災会議での紙ぶる実験

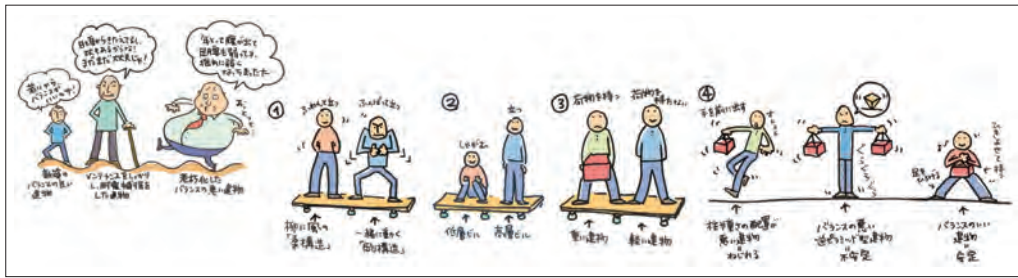


図1 建築耐震教育のための人間振動実験

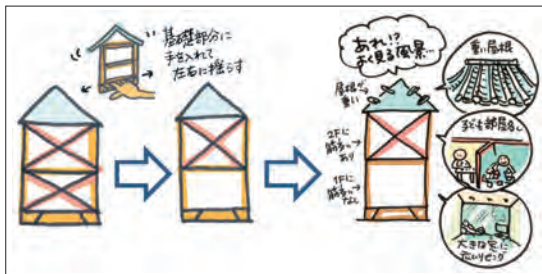


図2 紙ぶるるの建物振動実験



図3 繰り返し倒壊実験ができるピノキオぶるる

助け合いや地域コミュニティ作りなどの「共助」、個人ですべきは、家屋の耐震化、家具固定などの室内の安全性確保、災害後のための備蓄などの「自助」である。なかでも「自助」、とりわけ家屋の耐震化が重要である。

建物の耐震性の基本は、新しい、軽い、壁などの耐震要素が多い、バランスが良い、などである。地震の揺れに対してどんな建物が耐震的かを理解するには、人間振動実験をするのが効果である。図1のように、キャスター付きの机や台車の上に人間を乗せ、様々な姿勢で左右に揺ると、安定な姿勢が分かる。自分の体を通して耐震的な建物の要点を学べる。この実験は、小中高等学校の体育館で行うと大変効果的である。小太りの校長先生とスタイルの良い生徒とを一緒に振動実験すると見事な対比となり、会場中大喝采となる。

参加者全員が自ら体験できる手軽な実験教材も効果的である。筆者らは「ぶるる」と称する耐震実験教材を多数開発してきた。いくつかの教材を図2～6に示す。

図2と3は主として木造2階建て住宅を対象にした教材である。図2は、パーパーキット

製の2階建住宅模型「紙ぶるる」である。筋交いの有無、上下階のバランス、屋根の重さを変えて、建物の揺れの違いを体感する。大人から子供まで、自分の手で耐震化の要点を学べるので、教室での利用をはじめ、多方面で利用されている。写真2は、中央防災会議において小泉元首相と安部首相(当時官房長官)が実験している様子である。こういった活動が国の耐震化施策の推進につながっていった。

図3は倒壊実験を繰り返してできる「ピノキオぶるる」である。部材をゴム紐で結合しているので、建物を壊しても簡単に再生できる。筋交いの配置などを変えて倒壊実験をすることで、耐震的な建物の要点を学べる。倒壊時の音も効果的で、模型が大きいので、体育館などでの利用に向いている。

図5～6は、最近話題の長周期地震動問題を解説するために開発した高層ビルと地盤との共振実験教材である。単なる共振なら、水風船やうちわを使って、手を動かす周期を変えて、揺れ方の違いを見せれば、理解できる。

大学での建築振動教育では、図4に示すように竹ひごと消しゴムを利用した倒立振子を

使って、様々な共振実験をしている。

実際の建物を人力で揺らす実験も面白い。写真3は、名古屋テレビ塔で人力加振実験をした様子である。学生30人ほどで、塔の固有周期に合わせて左右に体を動かして、テレビ塔を大きく振動させた。実験に参加した学生は、本物の構造物が容易に揺れることに驚き、共振の怖さを、身をもって体感した。

一方、建物と地盤との共振問題は、理解が難しい。地盤には揺れやすい周期があること、地盤の周期と建物の周期が近接すると特定の建物が良く揺れること、を示す必要がある。

図5は、地盤模型に工夫をした教材である。板と板の間にローラーを挟み積層状にした地盤を上下からゴムで締め付けた模型である。ゴムを締めたり緩めたりして、地盤の固さを変え、周期を変化させることができる。免震装置の積層ゴム支承や転がり支承にヒントを得て開発した。固さの異なる左右の地盤上に、異なる高さの3種類の建物を乗せて、地盤と

建物の共振を体験すると効果的である。

図6は、高校生でも理解が分かるシンプルな模型で、振り子を上下に連結している。振り子の周期は $2\pi(l/g)^{1/2}$ なので、上下の振り子の長さが等しいと共振する。地盤を表す上の振り子を重くし、建物を表す下の振り子は軽くする。下の振り子は長さの異なる3種類を用意し、一つは上の振り子と同じ長さにする。逆立ちして見ると、図6のようになる。模型の手前下に鏡を置いて見ると、地盤上の建物に見える。この模型は、手軽に制作できるので、今後有用だと思っている。

### おわりに

地震対策を進めるには、気づき、理解、納得、わがこと感が必要になる。本稿では、主として理系的な視点で、減災行動を促す教育の工夫について述べてみた。次回は、国語や社会といった文系的な視点で考えてみたい。

実験に参加した学生は、本物の構造物が容易に揺れることに驚き、共振の怖さを、身をもって体感した。

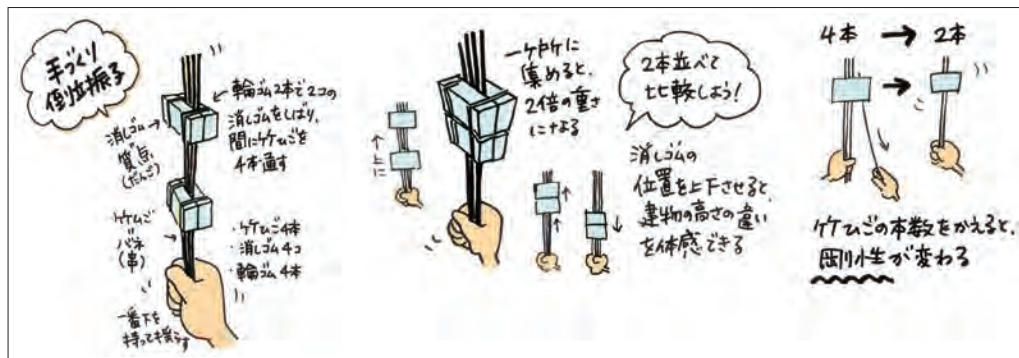


図4 竹ひごと消しゴムと輪ゴムを使った共振実験



図5 地盤と建物の共振実験



図6 振り子2つを利用した逆さ共振実験