

令和4年度地震予知研究公開講演会 南海トラフ地震と防災・減災対策—液状化現象を中心に—

- ◇開催日：令和4年12月20日(火) 13:00～16:40
- ◇開催方法：Zoomウェビナー
- ◇定員200名(先着順)、参加無料
- ◇主催：関西サイエンス・フォーラム、大阪国際フォーラム
- ◇共催：東海大学海洋研究所、(一社)日本地震予知学会
- ◇後援：(公財)関西・大阪21世紀協会、(一財)大阪科学技術センター

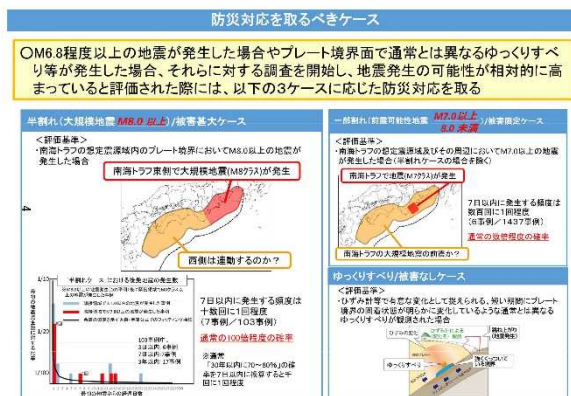
【プログラム】

- 総合司会者 長尾 年恭(東海大学および静岡県立大学客員教授)
開会挨拶(13:00～13:05) 関西サイエンス・フォーラム会長 秋山喜久
基調講演(13:05～13:55) 南海トラフ大地震を国難災害としない取組
河田 惠昭(関西大学特別任命教授)
招待講演1(13:55～14:35) 液状化のメカニズムとその対策
小山 倫史(関西大学社会安全学部教授)
休憩 (14:35～14:45)
招待講演2(14:45～15:35) 東京湾埋立地住宅における地盤液状化—浦安市の例—
平 朝彦(東海大学 海洋研究所所長)
特別講演(15:35～15:55) 「南海トラフ大地震とその備え」
長尾 年恭(東海大学および静岡県立大学客員教授)
パネルディスカッション(15:55～16:35)
コーディネーター 河田 惠昭(関西大学特別任命教授)
パネラー 長尾 年恭氏、平 朝彦氏、小山 倫史氏、萩尾千里
閉会挨拶(16:35～16:40)
萩尾 千里(関西サイエンス・フォーラム 副会長兼専務理事)

2022

関西サイエンス・フォーラム

首相が警戒宣言を發表しないことにした。その代わりに、右図のように、4つのケースのどれかに該当すれば、気象庁長官が臨時情報を發表することにした。しかし、現実に市町村がどのように対応すればよいのか、現場では混乱が続いており、たとえば、災害が起こる前に災害救助法を適用できないので、避難所開設に伴う経費をどのように負担するかが明らかになっておらず、具体策はあまり進んでいない。たとえば、大阪市では津波が来襲するまで地震後、約2時間あるので、その間にあらかじめ指定してある津波避難ビルに避難すればよいと考えており、臨時情報に対する特段の取組はなされていない。筆者はこの間、南海トラフ巨大地震を国難災害としないための努力を継続し、およそ20年前から、



ニューレジリエンスフォーラム
第2次提言を岸田文雄総理大臣に手交（令和4年5月17日）
「平時」から「緊急時」対応への円滑な移行と緊急財政支援を



政府に防災省を創設することを提案して、関東大震災から100年となる2023年を目標に活動してきた。でも、防災省が創設されても具体的に何をするのかが決まっていないと、減災は実現しないので、災害研究者としての限界を覚えていた。しかし、2021年6月にニューレジリエンスフォーラムが設けられ、国民運動として、「感染症と自然災害に強い社会を創ろう！」を目標として活動し、2回にわたって写真のように首相官邸に提言書を提出してきた。すでに、東京、名古屋、大阪、福岡で大会が開催され、札幌、神戸で呼びかけ人会が終わり、大会が予定されている。これからの防災研究と法制度等の充実が右図のようである。左欄は、筆者が発見した社会現象としての相転移が起こらないように事前対策を実施するまでの行程を示し、右欄は、日本国憲法の改正からはじまり、有事計画（起こった時の具体的対応計画）を作成し、それを実行できる内閣防災省（国難災害が起こると内閣総理大臣が大臣を兼務する）と自治体が参加する地方組織を創設する。

政府に防災省を創設することを提案して、関東大震災から100年となる2023年を目標に活動してきた。でも、防災省が創設されても具体的に何をするのかが決まっていないと、減災は実現しないので、災害研究者としての限界を覚えていた。しかし、2021年6月にニューレジリエンスフォーラムが設けられ、国民運動として、「感染症と自然災害に強い社会を創ろう！」を目標として活動

災害文明（科学）	災害文化（法治国家）
<ol style="list-style-type: none"> 1. 相転移現象の発見 2. 極端被害の軽減策の実施 3. 標準的被害の軽減策の実施 4. 標準的危機管理手法の確立と共有化 5. 課題解決方法の合意 6. 事前対策の実施 <p>近代科学の発達</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 日本国憲法に緊急事態条項を明記 2. 有事計画策定（発生を前提とする） 3. 内閣防災省（庁）+地方組織（自治体参加） 4. 災害対策基本法、災害救助法の抜本改正 5. 事前対策の実行環境整備 <p>国民文化の洗練</p>

液状化のメカニズムとその対策

関西大学社会安全学部 小山倫史

1. はじめに

南海トラフ巨大地震が発生すれば、大阪府の大部分は震度 6 弱（場所によっては 6 強）の揺れに襲われると想定されており、大阪湾沿岸および淀川などの河川沿いを中心に激しい液状化が発生する可能性がある¹⁾。地盤の液状化によって発生する甚大な被害を防ぐためには、適切な液状化対策を施しておくことが必要不可欠であり、液状化対策工法を検討するにあたっては、液状化発生メカニズムについて理解しておくことが重要である。本講演では、まず、地盤の液状化現象について、その発生メカニズムについて詳細に述べ、液状化の発生条件について検討した上で、さまざまな液状化対策工法について紹介する。あわせて、東日本大震災の際に発生した東京湾沿岸における大規模な液状化について紹介し、南海トラフ巨大地震における液状化被害をいかに軽減するかについて議論する。

2. 液状化発生のメカニズム

地下水で飽和している（粒径が均質な）緩い砂地盤が、地震動によるせん断応力を受けると、砂は負のダイレイタンスにより体積収縮しよう（密に詰まろう）とする。砂は透水性が比較的大きいため、通常は間隙水がすぐに抜け出て密になるが、地震のような短時間の動的な力によって、間隙水が移動できないような急激なせん断を受ける場合、非排水条件に近い状態になり、過剰間隙水圧が発生する。この間隙水圧の上昇（過剰間隙水圧）により、粒子間の有効応力が利かなくなり、最後には有効応力がゼロになって（せん断抵抗が消失）液状化が発生し、地盤の支持力が低下する。地震が終了すると、上昇した過剰間隙水圧により地下水が地表面に噴出するが、そのとき砂と一緒に噴出し噴砂となる。

また、液状化の発生条件としては、①粒径が 0.1~1.0mm の均等径（均等係数が小さい）の砂地盤であること（ただし、それより土粒子の大きさが小さいシルトや粘土でも、粘性の小さい場合には液状化を生ずる場合もある。また、礫を含んでいる場合でも液状化は生じる）、②地盤が緩い、すなわち砂の密度が小さいこと（水中で堆積した地盤は通常ゆるくなっているので液状化しやすく、N 値が 20~25 以下、10 以下では特に液状化しやすい）、③地下水位が浅い（10m 程度、地下水で飽和）こと、④地震などのある強さ以上の振動が作用すること（地震でなくても、海岸の砂浜で波の力で液状化が生じる事もある）が挙げられる。

3. 東日本大震災における液状化被害²⁾

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、東北から関東にかけて広範囲で液状化が発生した（最も遠い液状化地点は、神奈川県横浜市金沢区で震央距離は 422km であった）。特に、東京湾岸や関東の内陸では液状化による戸建て住宅やライフラインの被害が数多く発生した。東京湾岸で液状化した地区では、噴砂や地盤の沈下量が 50 cm 程度と大きかった場所があった。東京湾岸で著しい液状化被害が発生した要因として、地震（本震）の揺れが長時間継続したことや、比較的規模の大きな余震が度々発生したことなどが挙げられる。また、一般的に液状化しにくいとされていた細粒分を含む砂が液状化していたり、過去に液状化した地盤が再び液状化していたりする事例も報告されている。さらに、関東の内陸では丘陵の造成宅地盛土や河川堤防において液状化による被害を受けた箇所があった。特に、湖沼や池などを埋め立てた場所や旧河道だった場所では、顕著な液状化被害が発生しており、谷



写真-1 東京湾沿岸での液状化被害

表-1 液状化対策工法の原理と方法

原理	方法	工法
▶ 密度の増大	締固め, 圧密	サンドコンパクションパイル ロッドコンパクション パイロフロートション
▶ 粒度改良・固結	置換, 化学処理	砕石置換, 注入固化, 混合処理
▶ 飽和度の低下	地下水位低下	ウェルポイント, ディープウェル
▶ 有効拘束圧の増大	締固め	盛土
▶ 間隙水圧の消散促進	透水性の改良	グラベルドレーン, 砕石ドレーン
▶ 間隙水圧の伝播の遮断	隔離	地中壁
▶ せん断変形抑制	変形の抑制	地中壁, シートパイル

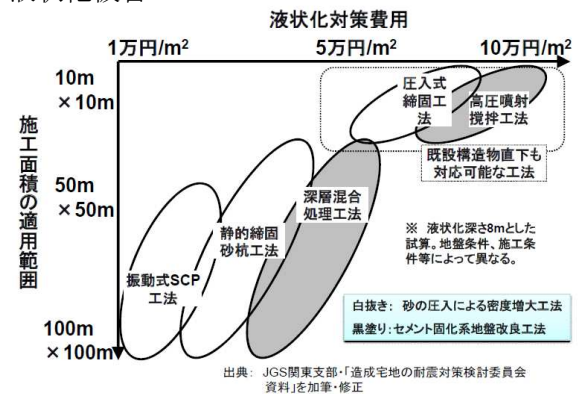


図-1 液状化対策費用と施工面積の適用範囲

埋め盛土では、すべり面付近の地盤が液状化して大規模な地すべりや斜面崩壊が発生する事例も報告されている。

4. 液状化対策工法

東日本大震災において、東京湾岸や関東の内陸で液状化被害が多数発生したが、事前に適切な液状化対策が施されていた箇所においては、液状化による被害は発生していない（あるいは軽微なもので済んでいる）ことが分かっている。液状化対策工法の基本的な原理としては、①液状化しやすい地盤材料を改良する、②過剰間隙水圧を直ちに消散させる（あるいは発生させない）の2つに大きく分けることができる。表-1 に主な液状化対策工法について原理とその方法について整理したものを示す。液状化対策工法にはさまざまあるが、液状化対策費用と施工面積の適用範囲の関係（図-1 参照）を見ると、液状化対策は、大きな施工面積の適用範囲を対象としたものが多く、施工面積が小さくなると工法は限定され、平米あたりの対策費用も高価になる。

5. おわりに

今後、南海トラフ巨大地震において発生が予測される液状化被害の低減にむけては、東日本大震災時に各地で発生した液状化被害を詳細に分析することで得られた知見を有効に活用することが重要であり、液状化発生メカニズムを理解した上で、適切な液状化対策の実施を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 大阪府. 深度分布・液状化可能性, https://www.pref.osaka.lg.jp/kikikanri/keikaku_higaisoutei/sindobunpu_etc.html
- 2) 安田進, 原田健二. 東京湾岸における液状化被害. 地盤工学会誌, 2011: 59(7) 38-41.

プレート境界断層の深海掘削および東日本大震災時の宅地液状化の実態について

東海大学海洋研究所長、JAMSTEC アドバイザー 平 朝彦

1. プレート境界断層の深海掘削とリアルタイム海底観測

2007年に海洋研究開発機構(JAMSTEC)は地球深部探査船「ちきゅう」の運用を開始し、統合国際深海掘削計画(IODP)の主力プラットフォームとして導入された(資料の図1)。その目的は、地震発生帯の総合的な観測、地下生物圏の探査そしてマントルへの到達である。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震では、国土地理院の衛星測位網が南三陸町観測点で東方へ4.42mの移動、75cmの沈降を観測した。さらに日本海溝陸側斜面では、最大50mの移動が地形データから推定され、海溝堆積層が逆断層により変形したことがわかった(図2)。海溝堆積層の変形は、プレート境界の地震すべり面が海溝に達していたことを示し、これが巨大大津波発生の一因であったことが示唆された。2012年4~5月に「ちきゅう」は水深6900mの海溝陸側斜面から海底下860mの掘削を実施、プレート境界断層を特定し、そこに孔内温度観測装置を設置した。8ヶ月の観測の後、0.2°Cの地下温度異常を検出し、断層が地震時に高速すべりを起こしたことを立証、巨大大津波発生メカニズムの解明に大きな貢献をした。さらに紀州熊野沖では、一連の掘削による地質構造探査および海底ケーブル(DONET)に孔内観測装置を連結した観測網をJAMSTECが展開し、リアルタイム観測データを防災科学研究所から気象庁に送信している(図3)。この観測により、南海トラフでは今まで全く知られていなかった大きなスロースリップがほぼ1年周期で起こっていることが判明した。このスロースリップは、プレート境界での歪み蓄積・解放過程に大きな影響を与えていることが推定され、南海トラフ全体での同様な観測が急務となっている。さらにこのような観測システムの設置は、地震・津波のリアルタイム通報の高度化にとっても重要である。

2. 東日本大震災時の浦安市宅地液状化の実態

東京湾沿岸の埋立地は、厚さ数10mにおよぶ泥質沖積層に重なるデルタや沿岸砂州層の上に数mから10m程度の厚さに、湾内で浚渫された海砂を運搬し造成されている(図4)。東北地方太平洋沖地震では、2分間におよぶS波振動が続き、埋立地の各所で液状化が発生した。講演者の住む浦安市においては、3万7000世帯が被災、大きな被害を出した。講演者は、地震後に住民自治会の協力を得て液状化の実態を調査し、また、ボーリングやスウェーデン式貫入試験を用いた土質調査、そしてコア試料のX線CTスキャンを「ちきゅう」船上ラボにて行った。また、コア試料や噴砂に含まれる貝殻について炭素14年代測定も行った。住宅は全域で道路側から庭側へと傾き、噴砂量の大きい所と住宅の傾斜の大きいところが一致していた。この宅地の液状化は海砂埋立層の最下部(表面下6~9m)で起こっており、また、液状化後もその層のせん断強度は極小値であることがわかった(図5)。液状化は、本震時さらに余震時においても発生、各住宅では庭側で多くの噴砂が起り、舗装でキャップされた道路側へと流動した(図6)。浦安市では、大規模な住宅地の液状化対策工事を企画したが、埋立工事の際に敷設されたドレン材の存在などが発見され、工事が大規模・長期にわたることが判明し、住民の理解が得られなかった。住宅地の液状化対策には今後も継続した取り組みが必要である。

3. 参考文献

Kodaira, S. et al (2012) Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature Geoscience*, 5, 646-650.

平 朝彦、他 (2012) ボーリングコアのX線CTスキャン解析による東北地方太平洋沖地震における地盤液状化層の同定：浦安市舞浜3丁目コア試料の例。地質学雑誌、118, 410-418.

平 朝彦・海洋研究開発機構 (2020) 地球科学入門-地球の観察-。講談社。

地球深部探査船「ちきゅう」

(CDEX/JAMSTECによる)

「ちきゅう」は、人類史上初めてマントルや巨大地震発生域への大深度掘削を可能にする世界初のライザー式科学掘削船



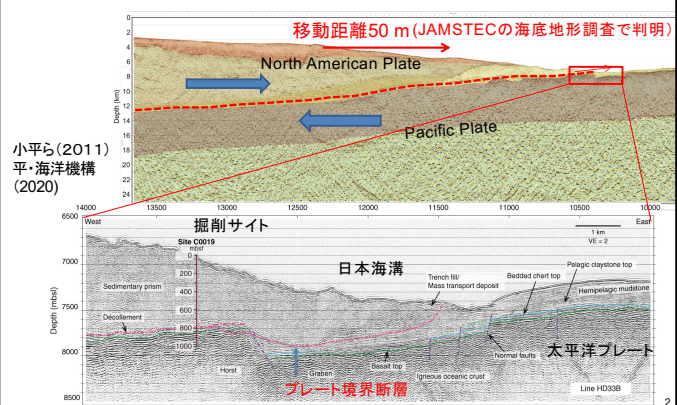
主要目	掘削能力
全長 210.0m	最大掘削水深 2500m
幅 38.0m	(ライザー掘削の場合)
深さ 18.2m	(容積 4000m)
水面から高さ 約112m	ドリルストリング長 10000m
総トン数 57500t	(容積 12000m)
最大搭載人員 160人~200人	
最大揚力 10t/分	

1

IODP日本海溝掘削サイト: 2012年4-5月

6900mの水深から860mの掘削。史上最深部における掘削を実施

移動距離50 m (JAMSTECの海底地形調査で判明)



小平ら(2011) 平・海洋機構(2020)

掘削サイト Site C0019

日本海溝

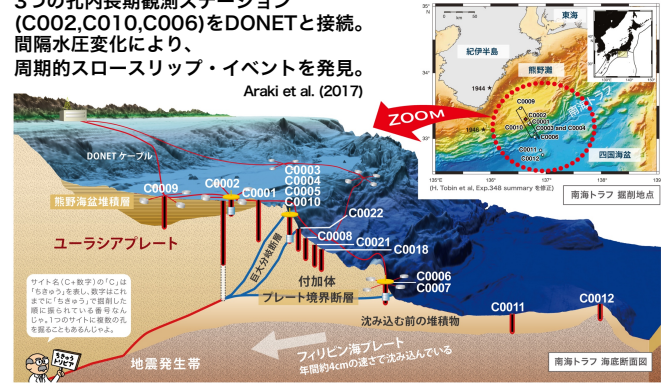
太平洋プレート

プレート境界断層

2

南海トラフ巨大地震発生域の断面図と「ちきゅう」による掘削地点

3つの孔内長期観測ステーション(C002,C010,C006)をDONETと接続。間隔水圧変化により、周期的スロースリップ・イベントを発見。Araki et al. (2017)



南海トラフ 掘削地点

ユーラシアプレート

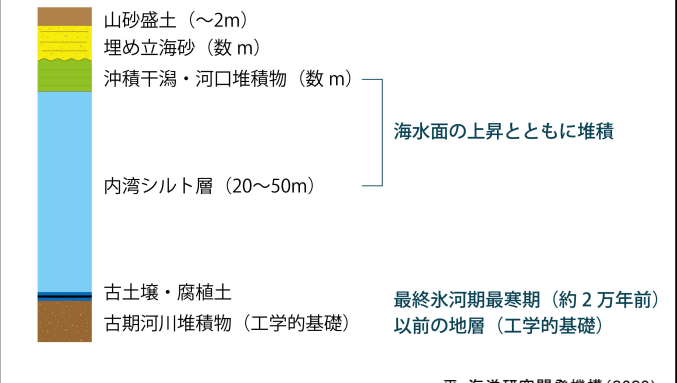
フィリピン海プレート

地震発生帯

JAMSTEC/CDEX原図 雑誌ニュートン(2018)より

3

東京湾の沖積層と埋立層



山砂盛土 (~2m)

埋め立海砂 (数m)

沖積干潟・河口堆積物 (数m)

海水面上昇とともに堆積

内湾シルト層 (20~50m)

古土壌・腐植土

最終氷河期最寒期(約2万年前)以前の地層(工学的基礎)

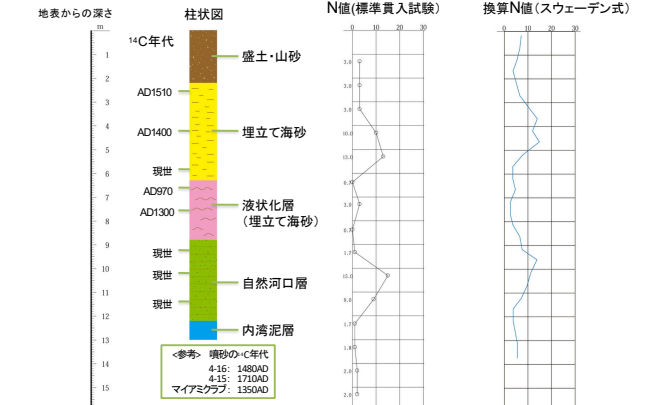
古期河川堆積物(工学的基礎)

平・海洋研究開発機構(2020)

4

浦安市住宅地のボーリング結果

平ら(2012)による



地表からの深さ

柱状図

14C年代

AD1510

AD1400

現世

AD970

AD1300

現世

現世

現世

内湾泥層

参考: 填砂の年代

4-16: 1480AD

4-15: 1710AD

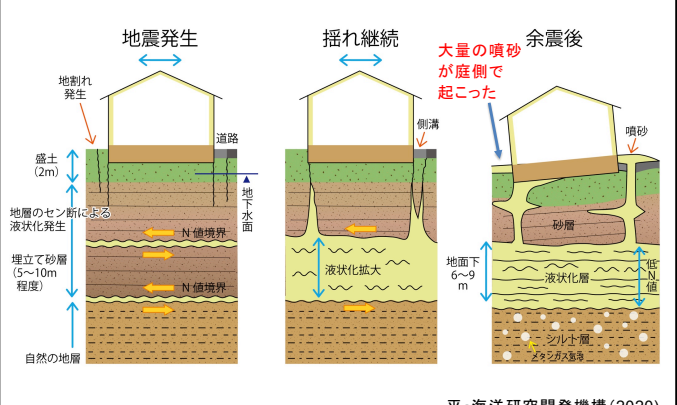
マイクミクラ: 1350AD

N値(標準貫入試験)

換算N値(スウェーデン式)

5

浦安市住宅地における液状化進行モデル



地震発生

揺れ継続

余震後

地割れ発生

盛土(2m)

埋立て砂層(5~10m程度)

自然の地層

液状化発生

N値境界

液状化拡大

大量の噴砂が庭側で起こった

噴砂

地面下6~9m

液状化層

低N値

シルト質

マンガン含有

平・海洋研究開発機構(2020)

6

公開講演会「南海トラフ地震と防災・減災対策—液状化現象を中心に—」開催に寄せて

南海トラフ大地震とその備え

関西サイエンス・フォーラム 第3専門部会長（地震前兆現象調査研究専門部会）
東海大学および静岡県立大学客員教授

長尾年恭

南海トラフ巨大地震はすでに“想定されている”危機であり、大きな揺れを伴う事も確実です。将来的には「西日本大震災」とも呼ばれるようになる震災だとも考えています。

特に大阪およびその周辺地区は、揺れの被害だけでなく、津波や液状化にも襲われる事が過去の事例（1707年宝永地震、1854年安政南海地震など）からも明らかになっています。そしてこの事が令和の大阪府民がどの程度理解しているのか非常に不安な状況です。

例えば宝永地震では沿岸地域で液状化が確認されているほか、奈良盆地でも液状化が発生していた事が明らかとなっています（中西，1999）。また同じく宝永地震では、高松市で「新田」と呼ばれる地域に集中的に被害が発生していた事もわかっています（吉澤，2014）。

液状化被害だけでなく、巨大地震では特に周期の長いゆっくりとした大きな揺れ（地震動）が生じる事がわかっています。皆様は東日本大震災で、東京の高層ビルが大きくゆっくりと揺れている映像をご覧になった方も多いのではないのでしょうか。

このような“ゆっくり”揺れる地震動のことを長周期地震動といいます。建物には建物に固有の揺れやすい周期というものがあり、特に高層ビルでは固有周期が長く、長周期の波と建物が「共振」しやすいのです。そのため高層ビルは一般の木造住宅より、長くかつ大きく揺れる事になります。さらに同じ建物では、高層階の方がより大きく揺れる傾向があります。

長周期地震動により高層ビルが大きく長く揺れることで、室内の家具や什器が転倒・移動したり、エレベータが故障することがあります。東日本大震災では、六本木ヒルズや横浜ランドマークタワーのエレベータが長時間停止しました。そして震源から700km以上離れた大阪でも大阪府咲洲庁舎が片振幅1.3mも大揺れしたと報告されています。

長周期地震動だけでなく、2018年6月の大阪北部地震では6万基を超えるエレベータが緊急停止し、300人を超える人が閉じ込められました。これは大阪府と兵庫県のエレベータの約半数が止まるという前代未聞の出来事でした。東日本大震災を契機として、気象庁は2012年に長周期地震動に関する検討会を開き、翌2013年、現在の震度階級とは別に4段階の「気象庁長周期地震動階級」を設定、現在に至っています。

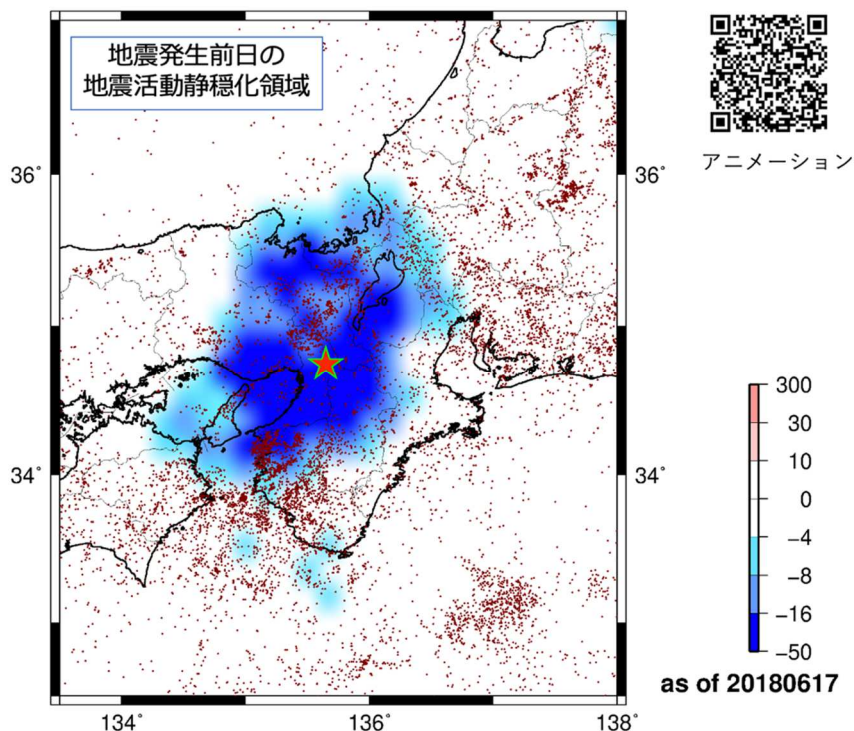


また、地域全体が停電する“ブラックアウト”という事態も想定されます。日本でのブラックアウトは2018年9月6日未明に発生した北海道胆振東部を震源とするマグニチュード6.7、最大震度7を観測する地震が最初の例と考えられます。

この地震により、当時道内で使用される電気の半分以上を供給していた苫東厚真火力発電所ではボイラー管が破損し、発電機3基うちの2基が緊急停止しました。その結果、まず函館等で停電が発生したのです。さらに地震発生から18分後には残っていた1基も停止しました。このため送電網を守るために連鎖的に他の発電所も停止したのです。この結果、離島などを除くほぼ全域約295万戸で停電が発生するという事態に発展したのです。

現代社会は全てが“電気仕掛け”なのです。冷蔵庫、エアコン、テレビ等が使えなくなるのは想定内ですが、身近なことでは、たとえば洗濯機のふたがロックされてしまって、洗濯物がすごい臭いを発したとかも報告されています。さらに車も使えるし道路も大丈夫だけれども、ガレージの扉は電気が使えないから開かない。水も出て、ガスも来ているけれども、お風呂のガスの点火ができない。ホテルもハードウェアは問題ないが、停電のため部屋のドアが開かない。そして部屋から出られない。このようなことが実際北海道では起きたそうです。

現時点で、確度の高い地震発生予測はできませんが、観測網の進歩により、「普段と明らかに違う」という状況が観測される可能性は極めて高く、例えば西南日本で深部低周波微動という現象が頻繁に観測しだすとか、地震活動の変化も観測されるかもしれません。我々市民は今後、研究機関から発信される「あいまいな情報」を正しく理解する事も必要となりますし、関西サイエンス・フォーラムの重要な役目は、このような「あいまいな情報」の理解を進めるための啓発活動が極めて重要になってくると考えられます。



2018年の大阪北部地震前に観察された顕著な地震活動の異常(地震活動静穏化)

引用文献

中西一郎, 宝永地震で発生した奈良盆地内の液状化現象, 京都大学防災研究所年報, 42, B-1, 1999.
芳澤直起, 宝永地震における高松藩の被害状況, 香川県立文書館紀要 18号, 41-54, 2014

講師プロフィール



長尾 年恭 (ながお としやす)

東海大学 客員教授

静岡県立大学 客員教授

1955 年生まれ。東京大学大学院理学系研究科修了・理学博士。世界最大の地球物理学研究組織の国際測地学地球物理学連合「地震・火山に関する電磁現象 WG」委員長。東海大学で地震予知研究センター長、海洋研究所長、地球環境科学研究科長等を歴任。専門は固体地球物理学。地震予知研究を通じた減災や富士山噴火予知をライフワークとする。大学院在学中に第 22 次日本南極地域観測隊に参加・昭和基地で越冬。第 3 専門部会会長。



河田 恵昭 (かわた よしあき)

関西大学社会安全学部 特別任命教授(チェアプロフェッサー)・社会安全研究センター長

1946 年生まれ。京都大学大学院工学研究科修了・工学博士。専門は防災・減災・縮災。現在、阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター長(兼務)のほか、京大防災研究所長を歴任。京都大学名誉教授。

2007 年国連 SASAKAWA 防災賞、09 年防災功労者内閣総理大臣表彰、10 年兵庫県社会賞、14 年兵庫県功労者表彰、16 年土木学会功績賞、17 年アカデミア賞、18 年神戸新聞平和賞、22 年河川功労者表彰。日本自然災害学会および日本災害情報学会会長を歴任。



小山 倫史 (こやま ともふみ)

関西大学社会安全学部 教授

スウェーデン王立工科大学資源・水資源工学科修了。平成 22 年、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 助教、平成 26 年、関西大学社会安全学部 准教授を経て、令和 3 年より関西大学社会安全学部 教授。

地震・降雨に起因する地盤災害(地すべり、斜面崩壊、落石など)に対する防災・減災、社会インフラの長寿命化にむけた地盤・岩盤構造物の維持・管理、高レベル放射性廃棄物の地層処分といったテーマについて、実験、数値解析、現場計測・モニタリングを組み合わせ研究を行っている。

地盤・岩盤工学(土木工学)的アプローチのみならず、社会科学的側面も考慮したハード・ソフト両面からこれらのテーマに取り組んでいる。



平 朝彦（たいら あさひこ）
東海大学教授・海洋研究所長
国立研究開発法人・海洋研究開発機構・アドバイザー

1946 年生まれ。テキサス大学ダラス校博士課程修了。昭和 60 年、東京大学海洋研究所教授に就任。さらに平成 14 年から海洋研究開発機構の地球深部探査センター長、理事を経て平成 24 年 4 月から令和元年 8 月まで理事長を歴任。現、同機構アドバイザー。令和 2 年から東海大学教授・海洋研究所長に就任。平成 19 年に日本学士院賞、平成 27 年、英国王立天文学会名誉フェロー、平成 30 年に仏国レジオン・ドヌール勲章シュバリエを受賞。

著書に「日本列島の誕生」（岩波新書）、「地球のダイナミックス」、「地層の解読」、「地球史の探究」（以上、岩波書店）、「地球科学入門」（講談社）、「人新世」（東海大学出版部）など。