

CAE×AR/VR×AIによる防災

EHS&S 研究センター技師 兼 耐震構造技術部課長代理 早川 輝

Keyword：防災，ソフト対策，計算機支援工学(CAE)，拡張現実(AR)，仮想現実(VR)，人工知能(AI)

1. はじめに

日本では、戦後復興期から阪神・淡路大震災の頃までは、防災対策といえば災害の誘因である外力を構造物で防ぐハード面の対策が中心であった。しかしながらハードの整備は、①高額な費用を必要とする、②いつ必要になるか分からない、③想定を超える規模の外力に耐えられない、④急激な経済発展に追従できない、といった問題を抱える。そのため同大震災以降、ハードの整備に基づく防災対策だけでは限界があるという認識が広がり、災害の素因である防災力を制度や知識で向上させるソフト面の対策への期待が高まった経緯がある。これを裏付けるように、近年の内閣府がまとめる防災白書には、ハード対策の記述は少なく、ソフト対策に分類される記述がほとんどを占める。

一方、数値計算や可視化の技術は、計算機のハードウェアの進歩と相まって、自然現象のリアルタイムの予測や表示を可能にしている。これら技術に基づく被害推定や影響評価は、ハード対策のみならずソフト対策の評価において重要であり、災害管理に果たす役割は大きい。また、現実世界で人が感知できる情報に別の情報を加えて現実を拡張表現する「拡張現実」や、計算機の中につくられた仮想的な世界をあたかも現実のように体験させる「仮想現実」の技術の発展も目覚ましく、それらを防災に生かす取り組みも広がっている。さらに、ディープラーニングに代表される人工知能技術は、昨今では様々な分野へ応用され、社会・経済活動に大きなイノベーションをもたらしている。

このような背景を踏まえ、本稿では防災分野、特にソフト対策において、計算機支援工学(CAE: Computer Aided Engineering)、拡張現実(AR: Augmented Reality)や仮想現実(VR: Virtual Reality)、人工知能(AI: Artificial Intelligence)といった要素技術や融合技術の活用事例を紹介する。その上で、CAE、AR/VR、AIの融合技術の将来を展望する。

2. CAEの防災活用事例

CAEは、これまで分野別・目的別に細分化されて高

度化を遂げてきた。近年では、CAD/GISデータに基づく高精度な計算モデルの作成、複雑な現象を実用精度で表現できる計算格子生成技法の開発に加え、並列化アルゴリズムの導入による大規模計算の一般化、計算機の高速度化や低価格化の恩恵を受けて、その利用範囲は急速に拡大している。ここでは災害評価に活用されたCAE事例を紹介する。

2.1 津波遡上シミュレーション

東日本大震災により、東北地方の太平洋沿岸部を中心に甚大な津波被害を受けた。そこで自治体は、内閣府中央防災会議専門調査会により示された新たな津波対策の考え方に従って津波シミュレーションを実施し、津波来襲時の被害想定を行っている。津波遡上シミュレーション結果の一例を図1に示す。

2.2 地震応答シミュレーション

従来の統計式や経験式に代わり、地震応答シミュレーションに基づく都市の総合的な地震被害を予測する試みが行われている。地盤と構造物の地震応答シミュレーション結果の一例を図2に示す。都市全体をみたときに建物の一棟一棟がどのような被害を受け、人々がどのように行動するかを予測できる。

2.3 洪水氾濫シミュレーション

2001年7月に施行された改正水防法により、洪水予報や河川における浸水想定区域図の作成・公表が義務づけ

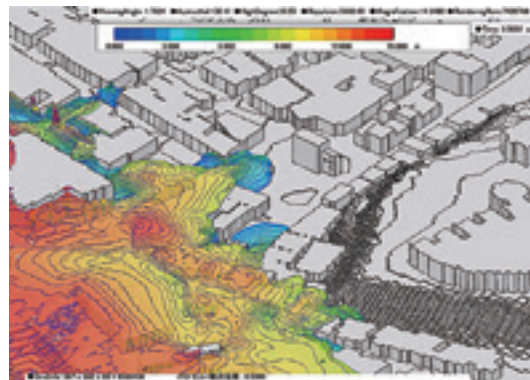


図1 津波遡上シミュレーション結果²⁾

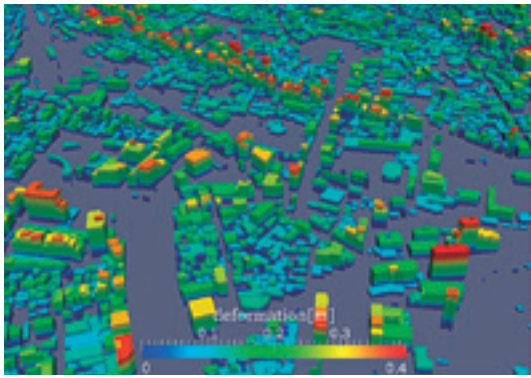


図2 地震応答シミュレーション結果³⁾

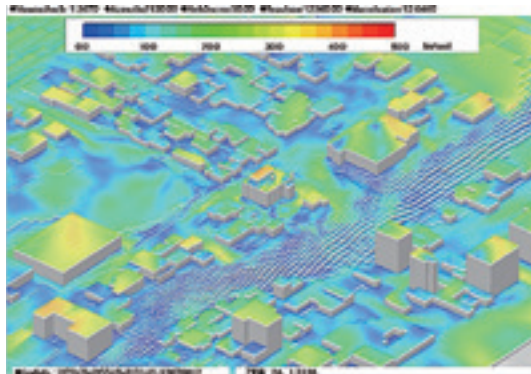


図3 強風発生シミュレーション結果

られた。同図は洪水氾濫シミュレーションにより作成され、自治体が洪水ハザードマップを作成する際のベースマップとして利用される。

2.4 強風発生シミュレーション

建物により風の向きが変えられることで発生するビル風は、歩行困難や飛散物を生じさせるため、風害の一つとして扱われる。現在、多くの自治体が風害を評価項目に含む環境アセスメント制度を策定している。強風発生シミュレーションの一例を図3に示す。建物周りの風の強弱や方向を観察することができる。

2.5 火煙流動シミュレーション

2017年度版消防白書¹⁾によれば、火災により死亡に至った経緯として、逃げ遅れが全体の46.7%を占める。しかしながらそのなりゆきを消火後の限られた情報で明らかにすることは難しく、火災進展状況を再現するため火煙流動シミュレーションが行われる。

3. AR/VRの防災活用事例

1980年代半ばにNASAが開発した宇宙飛行士の訓練ツール⁴⁾がVR技術の実用化の始まりといわれる。その後計算機とAR/VR技術の発展に伴ない、様々な行動シミュレータが開発された。近年では防災分野での活用が広がり、高精度な避難行動モデルの構築や、臨場感のある防災訓練の実施、過去の災害の語り継ぎ等に効果を上げ

ている。ここでは、AR/VRの防災活用事例を紹介する。

3.1 避難行動特性の分析への活用

VR技術を活用して、屋内を対象とした火災避難行動シミュレータが1994年に開発された⁵⁾。その後CAD/GISデータによる構造物や地盤の正確なモデル化が可能となり、さらに計算機の高機能化と低価格化が進んだことで、屋外を対象とした地震火災避難VRアプリケーションも開発されている⁶⁾。同アプリケーションによりVR内で火災を発生させ、災害時の人間の行動パターンや火災までの距離と避難行動の関係性が検証できる。その結果は自治体が指定する避難所の見直し作業等への活用が期待されている。火煙流動シミュレーション結果のVR表示例を図4に示す。

3.2 災害の疑似体験への活用

AR災害疑似体験アプリを用いた津波避難訓練が、東京都三鷹市の小学校で実施された⁷⁾。同アプリではスマートフォンの位置情報と津波浸水データを照合し、津波



図4 VR空間における煙流動の様子⁹⁾



写真1 AR体験画像（左：津波浸水、右：火煙充滿）¹⁰⁾



写真2 紙製ゴーグル（Google Cardboard）¹⁰⁾

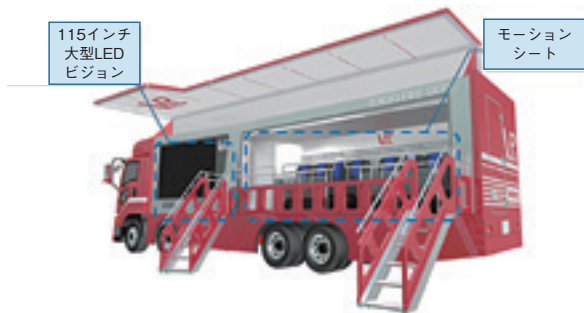


図5 VR防災体験車¹¹⁾

に遭遇した際の現在地の状況が疑似表示される。津波やがれきが押し寄せる様子が普段見ている風景に合成表示されるため、災害時の危険を直感的に理解させることができる。AR体験画面の一例を写真1に示す。安価な紙製ゴーグル(写真2)を利用することで、大人数の避難訓練にも対応できる。また災害対応カードゲーム(クロスロード)の考えに基づき、災害対応ジレンマを想起させる等の工夫が施された地震体験システムも開発されている⁸⁾。このように臨場感のある深化した災害疑似体験を通じて、より高い防災意識が育まれることが期待されている。

その他東京消防庁は、2017年4月にVR防災体験車(図5)を導入している。これによりVR映像や揺れ、振動、水飛沫、熱気、臭いにより、地震、火災、風水害の3種類を疑似体験できる。

4. AIの防災活用事例

AIの研究は1950年代から始まり、現在第3次の黄金期として脚光を浴びている。2000年代以降、まずビッグデータと呼ばれる大量のデータを用いてAIが知識を獲得する機械学習(Machine Learning)が実用化された。次いで知識を定義する要素をAIが自ら習得する深層学習(Deep Learning)が登場している。AIは人間の見逃しを認知させる新たな機能として、特に災害対応での活用が期待されている。ここではAIの防災活用事例を紹介する。

4.1 自然言語処理技術の活用

人間が使う言葉を計算機に処理させる自然言語処理技術(NLP: Natural Language Processing)を活用したソーシャル・ネットワーキング・サービス(SNS: Social Networking Service)に基づく情報分析システムがすでに実用化されている。また、AIを活用した災害時のSNS情報分析のための訓練ガイドライン(暫定版)も策定・公表されている¹²⁾。同ガイドラインに従って、SNS情報分析システムを取り入れた災害図上訓練(DIG: Disaster Imagination Game)を実施できる。

4.2 ニューラルネットワーク技術の活用

ニューラルネットワーク技術(ANN: Artificial Neural Network)を用いて降水量や水位といった水文記録を学習して洪水を予測計算するシステムが開発されている¹³⁾。同システムは、複数の河川に対して高い適用性が確認されている。

4.3 ディープラーニング技術の活用

東日本大震災において都心で問題となった超高層建物の長周期地震動の対策として、AIを活用したアクティブ制振技術が開発されている¹⁴⁾。同技術は、強化学習(Reinforcement Learning)と深層学習を組み合わせた深層強化学習により最適な振動制御を学習したAIが地震の揺れを制御する。同技術により、従来のパッシブ制振技術に比べ建物の揺れを50%以上低減できることが確認されている。

5. CAE × AR/VR × AIの取り組み状況

CAEは、科学に基づき現象を再現する。AR/VRは、臨場感のある疑似体験を提供する。AIは、人間の見逃しを認知させる。現在これらの要素技術を組み合わせ、新たな製品やサービス、社会システムを創出する試みが行われている。ここでは防災分野におけるこれらの融合技術の取り組み状況を紹介する。

5.1 CAE × AR/VR

流体計算結果を立体視できるシアター型の災害疑似体験システム(写真3)が開発されている。また、流体計算結果を格納したノートPCと持ち運び可能なベースステーションで構築されるモバイル型のVR体験システム(写真4)も開発されている。いずれもCAD/GISデータに基づく正確な計算モデルと流れを支配する高精度な物理モデルに基づいて現象が表現されるため、ヘッドセットを装着した疑似体験者に正しい災害のイメージを植え付けることができる。

またVRは、CAEの計算精度という観点からも効果を発揮する。ヘッドセットを装着してVR空間内に立ち入ることによって、これまで正確な把握が困難であった計算格子の品質や、水や空気の流れや構造物の揺れの3次元性を正確に把握できる。

5.2 CAE × AI

現在、CAEとAIの融合技術に目立った成果は見当たらない。AIは時系列データの解析が苦手なことや、知見の積み重ねが必要といった課題がある。その一方で画像処理と相性が良く、今後の技術開発が注目される。



写真3 シアター型VR装置 (中央大学計算力学研究室)¹⁵⁾



写真4 モバイル型VR装置 (環境シミュレーション)

5.3 AR/VR×AI

現在AR/VRとAIの融合技術は確認されていない。VRは人間がつくる主観的な世界を少し書き換えてよりポジティブな印象にすることができる。AIは人間がつくる主観的な世界に新たな認知を与えることができる⁹⁾。今後このような価値を有する2つの融合技術の開発が注目される。

6. CAE × AR/VR × AIの将来展望

防災分野において、CAEやAR/VRのAIとの融合技術の開発は始まったばかりである。ここでは将来的にCAE, AR/VR, AIの融合技術が活用できる場面を考える。

6.1 CAE×AR/VR

CAEとAR/VRの融合技術により、災害をよりリアルに疑似体験できるため、災害時の人間の避難行動の特性をより正確に把握できる可能性がある。例えば、災害の疑似体験者の脳波を計測し、災害時の人間の心理や行動をモデル化することで避難シミュレーションが高精度化され、避難計画の見直しに役立つ。

一方、自己啓発や相互啓発にも大きく寄与すると考える。地域の災害弱点を住民自らが発見・整理する教育訓練方法としてDIG (Disaster Imagination Game) がある。地域の課題を発見して対策を考えるという点で教育効果

が高く、自治体や企業の防災訓練、政府開発援助 (ODA: Official Development Assistance) のコミュニティ防災プロジェクトに多く取り入れられる。通常DIGでは、紙の地図上に透明シートを張り、その上に被害状況等を書き込み、グループで討論しながらその対処方法を導き出す。しかしながら地図だけで検討すると、地域に襲いかかる危険を具体的にイメージできないばかりか、その個所を拾い漏らす可能性がある。また避難経路に階段や坂道がある場合、その時間的・肉体的なコストを具体的に考えることが難しい。このような点を改善するため、CAEとAR/VRの融合技術の活用が期待される。実際さながらの災害を疑似体験しながらDIGを実施できれば、様々な課題が具体化され問題点が地域住民に共有されやすい。

またAR/VRは、災害遭遇時のパニック心理の改善に効果を発揮することが期待される。東日本大震災では被災者の逃げ遅れが多く、その理由の一つが凍りつき症候群であったといわれる。凍りつき症候群とは、過去に同様の事例に遭遇した経験がないため、様々な情報処理機能をつかさどる脳が適切に決断できず、身体に指示が届かなくなる症状である。VRは鬱病、心的外傷後ストレス障害 (PTSD: Post-Traumatic Stress Disorder)、統合失調症等の精神疾患の改善に有効であるとの報告がある。CAEとAR/VRに基づく災害疑似体験を継続的に行うことで、実際の災害に遭遇しても脳の平静を保ち、適切に判断・行動できるようになると考える。

6.2 CAE×AR/VR×AI

CAEとAR/VRにAIを組み合わせることで、災害情報・避難指示の高精度化に貢献できるものと考えられる。例えば災害前と災害時のAR/VR映像と、災害前の防犯・交通カメラ等の映像をAIに学習させ、見つけ出された規則性や関係性に基づき、災害時の防犯・交通カメラ等の画像を分析することで、より精度の高い災害情報の発信や、具体的な避難指示を行うことができる。それに加えて、AR/VR空間内に現実のセンシングデータをリアルタイムで取り込むことができれば、さらに高い精度の災害情報の提供や避難指示を発信できる。

その一方で、これら情報の受信者が行動を開始するにあたり、国や地域、あるいはコミュニティの宗教、文化、風習等が少なからず影響する。例えば宗教的に親族以外の男性が女性の体に触れることが難しい国や地域では、男性が女性を救助できないということもある。CAEとAR/VRに基づき学習したAIが、助けを求める人間の人数、性別や障害等を判別して、消防団員等に適切に援助や救助を指示することができれば、助けられる人命が増えるものと考えられる。

7. おわりに

災害の誘因である外力が小さければ大部分をハード対策で対応できるが、それが大きくなると災害の素因である防災力を高めるソフト対策の役割が大きいかつ重要となる。ソフト対策は、主に行政が担う①災害情報・避難指示、②防災・避難計画と、主に住民やコミュニティが担う③自己啓発、④相互啓発の4ステージに分けられる。防災力は、国や地域、コミュニティの総合力を表すと考えられ、①～④のいずれも欠けることなく高度化されなければ、防災力を効果的に高めることはできないだろう。

一方本稿で紹介した通り、CAEにより科学に基づき現象が再現され、AR/VRにより臨場感のある疑似体験が提供される。このことから防災力を高めるソフト対策として、CAEとAR/VRの融合は必要不可欠と考える。さらにAIを加えることで人間の見逃しが認知されるようになるため、AIとの融合技術はこれまでのソフト対策のあり方までも変える可能性を秘めている。

法制度の整備等の課題はあるが、CAE、AR/VR、AIの融合技術により、①災害情報・避難指示や、②防災・避難計画の精度の向上はもちろんのこと、③自己啓発に留まらず、④相互啓発が重視され高度化されることで、災害が発生しても死傷者数が限りなくゼロに近づく、そのような未来を期待したい。

[参考文献]

- 1) 総務省消防庁：平成29年版消防白書2017, Available at : <http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h29/h29/index.html>, 2018.4.27
- 2) 長井大祐, 奥田泰雄, 喜々津仁密, 阪田升, 政岡沙央理：建築物に作用する津波のシミュレーション その8 女川地区某建物流出に関連したVOF津波シミュレーション, 建築学会講演大会2015(神奈川)梗概集, 2015
- 3) 藤田航平, 市村強, 堀宗朗, M.L.L.WIJERATHNE, 田中聖三：HPCによる地盤構造を考慮した広域の構造物地震応答解析システムの開発, 土木学会第32回地震工学研究発表会講演論文集 1-6, 2012
- 4) Fisher, S. S., McGreevy, M., Humphries, J. & Robinett, W.: Virtual Environment Display System. Proc. 1986 Work. Interact. 3D Graph. - SI3D '86 77-87, 1987, doi:10.1145/319120.319127
- 5) 目黒公郎, 芳賀保則, 山崎文雄, 片山恒雄：バーチャルリアリティー(VR)を用いた避難行動の基礎解析, 生産研究 47, pp.44~47, 1995

- 6) 小林大吉, 加藤孝明, 河原大：VR(仮想現実)を用いた地震火災時の市街地延焼からの避難行動特性の予備的検討, 生産研究 68, pp.51~54, 2016
- 7) 愛知工科大学：板宮朋基准教授が開発したアプリを用いた「バーチャル避難訓練」が東京都の小学校で実施されました, ニュース&トピックス 2017, Available at : http://www.aut.ac.jp/news/univ_news/entry-1550.html, 2018.4.27
- 8) 中本涼菜, 谷岡遼太, 吉野孝：VRを用いた被災体験とその対策を繰り返すことによる防災教育システムの提案, 情報処理学会関西支部支部大会予稿集, 2017
- 9) 阿部伸之：CFDを用いた火災の数値シミュレーション, 日本流体力学会数値流体力学部門Web会誌12, pp.69~84, 2004
- 10) 板宮朋基：スマートフォンと紙製ゴーグルを用いた災害状況疑似体験教材の開発と実証活動2017, Available at : <http://www.city.toyohashi.lg.jp/31855.htm>, 2018.4.27
- 11) 東京消防庁：VR防災体験車の概要.2017, Available at : http://www.tfd.metro.tokyo.jp/ts/bousai_fukyu/index.html, 2018.4.27
- 12) 防災AI共同研究会議：人工知能(AI)を活用した災害時のSNS情報分析のための訓練ガイドライン(暫定版), 2018
- 13) 関基, 木村晃, 古山一志, 和田高宏, 金子祐, 穴水秀樹, 眞間修一：河川特性を反映したニューラルネットワーク洪水予測の精度向上, 河川技術論文集19, 2013
- 14) NTTファシリティーズ：AI(人工知能)を活用する超高層建物向けアクティブ制振技術を開発～長周期地震動に対し従来制振技術よりも大幅に揺れを低減～, ニュースリリース 2017, Available at : <http://www.ntt-f.co.jp/news/2017/170830.html>, 2018.4.27
- 15) 田近伸二, 高田知学, 榎山和男：VR技術を用いた災害疑似体験システムの構築, 土木学会第63回年次学術講演会梗概集, 2008



はやかわ あきら
早川 輝

EHS&S 研究センター技師 兼 耐震構造技術部課長代理
建造物の耐風・耐震に係るコンサルティング・調査業務に従事
中南米・カリブ、中東・アフリカにおける洪水・地震等に係るODA防災事業に従事
Professional Engineer(PE) (Civil)

Synopsis

Disaster Management based on the Combined Technologies of CAE, AR/VR and AI

Akira HAYAKAWA

In Japan, from the postwar reconstruction period to the Great Hanshin-Awaji Earthquake, speaking of disaster-related measures, structural measures that withstand external forces which are triggers of disasters were mainstreamed. However, the construction of the structural measures has problems such as (1) it requires expensive expenses, (2) it does not know when it will be necessary, (3) it cannot withstand unanticipated external forces and (4) it cannot follow rapid economic growth. Therefore, after the great earthquake disaster, the fact that the disaster management based on the structural measures is limited has been widely recognized, and the expectation for nonstructural measures to improve the disaster management ability which is the predisposition of natural disasters by systems and knowledges has gradually increased. As support of this fact, most of the descriptions in the White Paper on Disaster Management prepared by the Cabinet Office are categorized as nonstructural measures.

On the other hand, the advances in numerical calculation and visualization technology together with computer hardware enable real-time prediction and display of natural phenomena. These technologies play major roles in disaster and risk management as the damage estimation and the impact assessment based on these technologies are important not only for structural measures but also for nonstructural measures. Also, the augmented reality technology which adds another information to human-perceivable information in the real world and then expansively express the reality, and the virtual reality technology which makes human experience the virtual world created in the computer like a reality are drastically advancing and therefore the efforts to make use of them in disaster management are rapidly spreading. Furthermore, the artificial intelligence technology typified by deep structured learning has been applied to various fields in recent years and brings significant innovation to social and economic activities.

With this background in mind, in this paper, the combined technologies of Computer Aided Engineering (CAE), Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) and Artificial Intelligence (AI) were focused along with the respective elemental technologies and some examples of utilization were introduced for nonstructural measures in the disaster management fields. Then, some future perspectives of the combined technologies of CAE, AR/VR and AI were discussed.