

16. 「南海トラフ災害シミュレーション」の設置とサイエンス・インカレへの選出

鳥居一平・村山翔太・丹羽崇仁

1. はじめに

日本は世界で唯一4つのプレートに囲まれた有数の地震大国である。その為、昔から地震による大規模な自然災害が頻発し、そのたびに多くの人々が犠牲になっている。2011年3月11日には東日本大震災が発生し、三陸沖から関東に及ぶ広い範囲に多大な被害を及ぼした。この地震は、規模やその後に襲う津波などの二次災害においてこれまでの想定を遥かに上回るものであった。東日本大震災後、今後起こりうる想定される地震被害についての見直しが行われ、さまざまな対策が改訂された。我々は、個々の地震への関心や、災害に対する備えが現実には即しているかどうかを検証し、「南海トラフ災害シミュレーション装置」を研究開発した。この装置は現在も、とよた防災フェスタや瀬戸市消防出初式などに出席し、市民の防災・減災意識の向上のために役立てられている。平成27年1月20日に名古屋市港防災センターがこの装置が買い上げ、常設展示された。とても好評で、多くの子どもたちに利用されていると報告を受けている。

これらの研究をさらに発展させ、シミュレーション装置をスマートフォン用アプリケーションに移植した。南知多・内海地域で行われた避難訓練のデータを活用し、避難経路誘導システムや被災時における居場所特定システムを開発した。この研究は、文部科学省主催の第四回サイエンス・インカレ（2月28日・3月1日）に選定され、神戸国際会議場にて口頭発表を行った。

2. 「南海トラフ災害シミュレーション」名古屋市港防災センターに設置

1月20日、名古屋市港防災センターに、「南海トラフ災害シミュレーション」が設置された。この装置は、立体地図に投射するプロジェクションマッピングと、正面の大型ディスプレイを使って、南海トラフ巨大地震が発生した際に愛知県にどのような被害が及ぶのか、被害状況（地震・火災・津波・揺れ）と備えについて分かりやすく表示し、地域住民の防災意識向上に役立てるものである。この装置は昨年夏に名古屋市港防災センターへ貸し出ししていたところ、名古屋市から正式に装置を設置したいとの要望があったもので、本学の地域防災研究センター長・正木和明都市環境学科教授の協力のもとバージョンアップを重ね、実現した。

これまで南海トラフ地震による津波の被害についての想定は、静止画で最終的な浸水範囲を表示するのみであったが、南海トラフの詳細な地殻構造や状態、地震活動に関する最新の調査・観測結果をもとに予想した地震像を、高精度な映像で立体地図模型に投影した。

津波により浸水する水の流れや力なども可視化、高台と低地の差異についても視覚的に認識できるようになった。正面のディスプレイには、現象の解説や、震度ごとの家屋の倒壊数・死者数などの被害想定グラフ、液化化現象や崖崩れなどの2次災害発生予想地域、災害発生時に必要とされる避難場所、救援物資緊急輸送ルートなどの情報を表示し、より多くの情報を複合的に時系列でわかりやすく表現している。災害について学ぶだけでなく「備え」に対する意識の向上にも役



図1：港防災センターに設置されたシミュレーション装置

立てられている。

現在この装置は、本学の地域防災研究センターと、今回設置された名古屋市港防災センターに常設されている。解体して運べるので、各種イベント・講座、小学校などの出張授業などにも活用ができる。シミュレーションデータは愛工大地域防災研究センターとの連携により随時更新でき、最新情報を公開している。

今後さらに内容を発展させ、知多半島部の拡大地図や全国地図に展開したいと考えている。

3. サイエンス・インカレ

「サイエンス・インカレ」とは文部科学省が主催し、全国の自然科学分野（数物・化学系、工学系、生物系、情報・融合領域系）を学ぶ大学生や高等専門学校の学生等が、自主研究の成果を口頭又はポスターにて発表し、学生の能力・研究意欲を高めるとともに、課題設定能力、課題探究能力、プレゼンテーション能力等を備えた創造性豊かな科学技術人材を育成することを目的としており、さまざまな企業が共同で支援をしている。

審査は、書類審査を通過した172組（総応募数291組）が、口頭発表部門48組、ポスター発表部門124組に分かれて行われた。メディア情報研究会からは口頭発表部門が1組、ポスター部門に2組が選出され、中でもポスター部門で発表した「咀嚼行為の増加による満腹中枢の刺激を目的とした体重減量支援システムの開発」は優秀な研究発表であったとして、同部門で2位にあたる「サイエンス・インカレ奨励賞」を受賞した。

口頭部門で発表を行った「防災・減災のための巨大地震シミュレータの開発」は惜しくも受賞を逃したが、発表の後には交流会も行われ、他大学の学生と意見や情報の交換をし、親睦を深めた。参加した学生からは「他大学の発表をみて、学ぶことが多かった」「このような経験ができたことに感謝したい」「また参加できるように今まで以上に頑張ります」と感想を述べ、今回得られた来場者からのアドバイスや貴重な意見を反映させ、今後も研究を進めていきたいと話している。

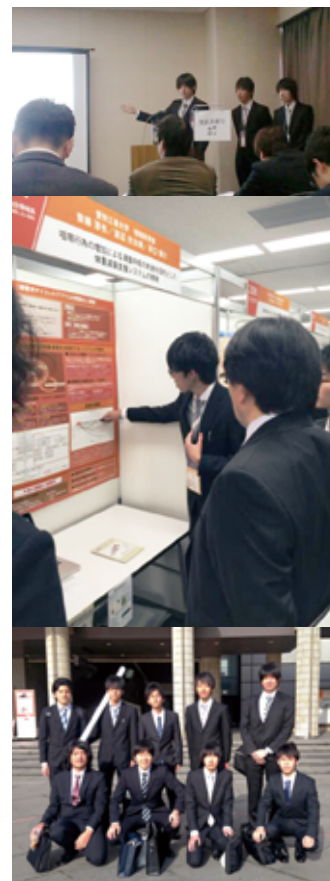


図2：サイエンスインカレ発表

4. 研究目的

今後30年という短い期間で起こりうる可能性が極めて高く、東日本大震災後、被害想定が見直され複数の巨大地震が連動して発生するとされる、南海トラフ巨大地震の災害シミュレーションを研究し、携帯情報端末で閲覧できる支援ツールを開発した。本研究の目的を以下とする。

- ・巨大地震災害に関する情報の視覚化「地震」「火災」「津波」「揺れ」「防災教育」
- ・減災に繋がる効果的な防災啓蒙教育の実現
- ・避難誘導、安否確認、救済を含む災害時に活用できる支援ツール

1) 南海トラフ巨大地震は、静岡県駿河湾から九州東方沖という広範囲に被害を及ぼすと想定される。地震現象は、想像するだけでなく、実際に目にしなければ現実味を感じることができないため、災害状況をわか

りやすく視覚化する必要がある。そこで、実写映像やCGを用い、災害シミュレーションを行う。携帯情報端末の画面を上下で二分割し、「災害シミュレーション」と「災害による予測死者数や建物倒壊数の表やグラフ」の二つを表示することで、災害状況と被害予測の関係をわかりやすくする。

- 2) 災害を軽減するためには、将来起きる災害に対しての知識を身に付けることが必要である。災害に対する知識を多くの人が身につけることで、犠牲者を大幅に軽減できる。そこで、災害シミュレーションを携帯情報端末で閲覧できる支援ツールにすることで、不特定多数が容易に利用できる大規模な防災啓蒙を目指した。本研究では、建物倒壊数などの被害が他県と比べても多い、愛知県に焦点をあて災害シミュレーションを行う。(表1)

表1 南海トラフ巨大地震による全国建物倒壊数

単位(棟)

愛知県	38万8000	香川県	5万5000	山口県	4800	鳥取県	300	被害ごく僅か
大阪府	33万7000	兵庫県	5万4000	神奈川県	4000	福岡県	300	
静岡県	31万9000	奈良県	4万7000	熊本県	3200	石川県	100	
三重県	23万9000	岡山県	3万4000	千葉県	2400	茨城県	40	
高知県	23万9000	大分県	3万1000	東京都	2400	佐賀県		
愛媛県	19万2000	広島県	2万4000	長野県	2400	栃木県		
和歌山県	19万	滋賀県	1万3000	福井県	2100	群馬県		
徳島県	13万3000	岐阜県	8200	埼玉県	700	新潟県		
宮崎県	8万3000	山梨県	7600	島根県	500	富山県		
京都府	7万	鹿児島県	5900	長崎県	400	沖縄県		

- 3) 南海トラフ地震の発生確立は30年以内に60～70%とされ、現在も発生確率は上昇している。死者の想定は20～30万人という膨大なものとなった。この想定では防災・減災対策を行った場合の効果も試算されている。20mを超える津波に対しては早期に避難することが最も効果的であることが示されている。早期避難率が高い場合を低い場合と比較すると、死者数は2分の1～9分の1に軽減される。全員が災害発生後すぐに避難を開始した場合には、9分の1以下にできる可能性がある。そのため、我々は地震災害が起きたとき、携帯情報端末のGPSを利用して正確な避難場所を利用者に伝え、早期避難を促すシステムを開発する。また、被災時に自分と家族や友人の居場所を共有できるシステムの開発も行う。携帯情報端末のGPSからデータを取得し、災害時にそれらのデータを共有し、安否確認や救助活動を支援する。

研究の目的：携帯情報端末を活用し多くの人たちの防災意識を高め、減災に繋げる
 学 術 性：地震被害想定を視覚化し、災害時におけるGPSによる避難誘導と位置情報通知システムの開発
 新 規 性：映像を複合的に活用した防災教育と、全地球測位網により位置情報を取得し、災害直前の位置情報を共有
 社 会 性：多機能型携帯情報端末を利用した防災教育と救済支援により減災社会を構築する

4. 先行研究

我々は、災害発生時の被害状況をより分かりやすく視覚化するために、地図模型を投影物とし、プロジェクターで映像を写し、災害シミュレーションプロジェクションマッピングを行い、地域住民の防災意識向上に役立つ研究を行っている。プロジェクションマッピング技法を用いて、地図模型に高精度な映像を投影することにより、高台と低地の差異についても視覚的に認識する事ができる。ディスプレイを装置正面に備え付け、被害情報のデータをまとめた表や解説図などを表示させている。プロジェクションマッピングとディスプレイを複合的に用いることにより、利用者に災害情報をより分かりやすく伝えることに成功している。このシミュレーション装置は愛知県の名古屋市港防災センターに展示され、多くの人々に利用されている。(図3) 本研究では巨大地震についての知識をより多くの人々に広めるため、携帯情報端末を用いた災害シミュレーションを研究する。

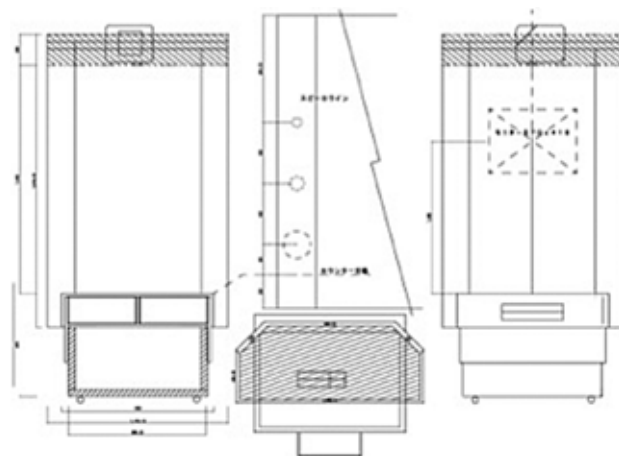


図3：プロジェクションマッピングを用いたシミュレーション装置

桑田ら(2004)の「3次元地図を利用した災害情報の視覚化システム」は、災害情報を分析した結果を基に、災害対応リソースの配分やスケジュールを決定するフェーズに着目している。意思決定支援のための災害情報システムとして、操作者との対話によりシステム側で視点や表示時刻等の表示情報を変化させるリアルタイム・インタラクティブ・シミュレーション技術を使用している。3次元地図上で対話的に視点を変更することで、任意の視点からの確認が可能となり、災害情報を直観的に把握できる。災害情報を直観的に把握できるという点では本研究と共通する部分があるが、システムが大型であり容易に持ち運びができないので特定の限られた人数しか災害情報を認識できない。

本研究のもう一つの目的である防災啓蒙という点で、三上ら(2009)の「住民参加型防災啓蒙教育の試行とその効果」がある。これは防災タウンウォッチングを実施し、今後の実施方法の参考とするため、防災タウンウォッチング終了後に、アンケート調査を実施した。防災タウンウォッチングは「地震防災に対する意識向上」とともに、「地震時における住民の冷静かつ的確な判断に基づく適切な行動を身につける」ことが目的である。この調査を行った結果、町内会役員や防災委員、防災ボランティアといった防災意識の高いと思われる人が多く参加していた。一方で防災意識が低いと思われる若年層は少なかった。本研究では年齢層に関係なく不特定多数の人が気軽に利用できる防災啓蒙を目指して行く。

5. 研究の過程

本研究で扱う巨大地震は、今後30年で発生する確立が極めて高く、東日本大震災後見直された被害想定から、東海地震、東南海地震、南海地震の三つの巨大地震が連動して発生するとされる南海トラフ巨大地震とした(図4、

図5)。また、地震による被害が他県と比べても大きいと想定されている愛知県に焦点をあてる。南海トラフ巨大地震が発生した場合、地震そのものの揺れだけではなく、誘発される様々な二次災害にも襲われる。我々は、南海トラフ巨大地震による災害を「地震」、「火災」、「津波」の三つに分けて捉え、それぞれの被害が段階的に理解できるように五つの予測シナリオを作成した。被害予測データを元に、立体的な映像表現を行える3DCGソフトウェアAutodesk Mayaと、様々なエフェクトを使用したアニメーションを制作できるAdobe After Effectsを用いて、シナリオに沿いながら被害状況の変化を視覚化する。以下にシナリオを示す。



図4：南海トラフとプレートの位置関係

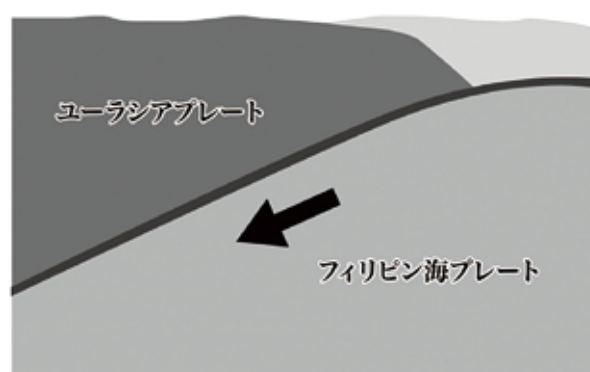


図5：プレートの移動方向

5.1 地震発生

南海トラフ巨大地震が発生すると、南海トラフに面する多くの県は、最大震度6弱から7クラスの揺れに襲われると予想される。(図6)自分が住む地域がどの程度の被害を受けるのかを把握し、それに対する備えを一人ひとりが学び、意識することで被害が抑えられる。我々は、地震発生時の揺れ、地域ごとの最大震度を視覚的にわかりやすく表現するために、After Effectsを用いてシミュレーション映像を制作した。地震の揺れの表現には、After Effectsのエクスペッションを用い、動きにランダム性を与えるwiggleというメソッドを使用する。他にもランダム性を生み出す方法として、After Effectsのウィグラーパネルでも同様にランダム性を設定することが可能だが、ウィグラーパネルにて設定したランダムさは、どこか計算されたような不自然な印象を受けるため、エクスペッションのwiggleを選択し、不自然さのないランダム性を追加した。

震度7	名古屋市	豊橋市	岡崎市	半田市	豊川市	碧南市	刈谷市	安城市
	西尾市	常滑市	新城市	知多市	知立市	高浜市	田原市	南知多市
震度6強	一宮市	津島市	豊田市	蒲郡市	小牧市	稲沢市	大府市	岩倉市
	豊明市	愛西市	清須市	北名古屋市	弥富市	みよし市	あま市	
震度6弱	瀬戸市	犬山市	江南市	尾張旭市	日進市	長久手市	扶桑市	

図6：愛知県の各市町村の予測震度

Photoshopを使用して最大震度の分布ごとに地域をレイヤー分割し、色分けする。After Effectsのエクスペッションでそれぞれの値を代入し、地図が地震で揺れているように表現した(図7)。死者数と建物の倒壊数は、地域ごとの数値を基に、立体的な棒グラフをMayaで作成し、地図上に表示させた。立体表現をする際に、陰影や表面情報を決定するのに重要な役割を果たすのがライティングである。しかし、ライティングは柔らかい影の表現がしづらい為、アンビエントオクルージョンを使用した。これは隙間、隅、窪みといった、光が遮られたところに、その度合いに応じた濃さの影を落とす二次エフェクトである。アンビエントオクルージョンはオブジェ

クトからの計算用のレイが発生されるので、ライトがなくてもレンダリングできるため、立体感が表現できる。



図7：地震発生シミュレーション

5.2 揺れの継続時間

揺れの継続時間は内閣府より発表されたシミュレーション波形を利用し、約5kmメッシュの中央点の地表の震度を色別に描画した(図8)。揺れの継続時間の定義は、時系列の震度値について、初めて震度1以上に達した時間から最後に震度1以下になった間の時間とする。このシーンではナレーションを軸として全体の流れを構築する。地図上で愛知県の揺れの継続時間のアニメーションを表示し、別画面ではナレーションと地図の映像を補足するように、イラストと文字で説明を加えた。補足する映像はKeynoteのスライドを6つ作成してアニメーションを付け、ナレーションのタイミングに合わせた。



図8：南海トラフ巨大地震で予測される揺れの継続時間

名古屋駅周辺の濃尾平野などの地盤が柔らかい場所では、ほかの地点と比べて長く揺れが続く。一方で、愛知県東部や奥三河などの地盤が固い山地では、継続時間は200秒以下で短い。さらに活断層がある地域では大きな揺れが続く可能性がある。これは地盤の特性が深く関係してくることから、地盤の硬さを示す分布図も映像に追加した。(図9)

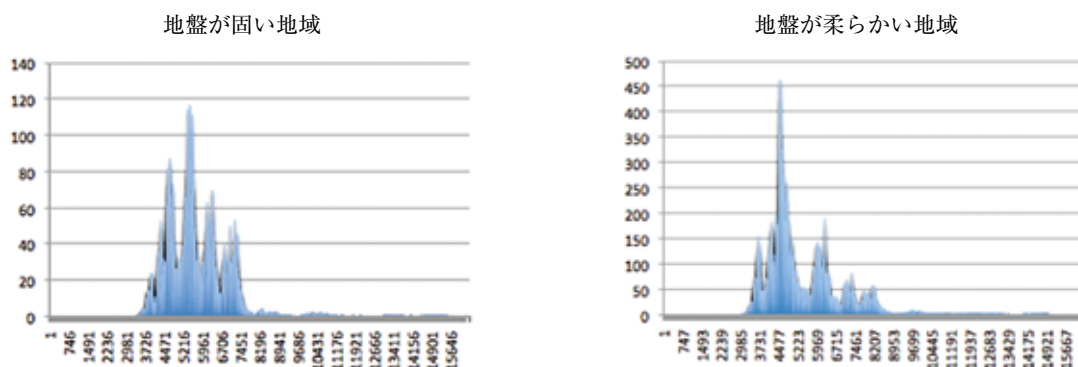


図9：揺れの継続時間グラフ

5.3 火災

震発生後は、名古屋市をはじめとする人口集中地区では、大規模な火災の発生が予想される。愛知県の火災による建物の全壊数は11万9千棟、死者は2300人にのぼると想定されている。(図10) 広域延焼火災の被災データは関東大震災のものしか残っておらず、予測が難しいが、火災旋風が発生すれば被害は現在の想定は何倍にもなると考えられる。火災のシミュレーションは被害想定データを元に、Mayaを用いて視覚化した。数値だけではなく、本物のような炎上するシミュレーション映像を取り入れることで、視覚的に理解できる。(図11)

	消失棟数(棟)	死者数(人)		消失棟数(棟)	死者数(人)
名古屋市	24000	200	豊川市	5000	100
豊橋市	13000	500	一宮市	4800	10
岡崎市	7000	20	安城市	4100	60
西尾市	5900	300	刈谷市	3700	40
碧南市	5400	300	常滑市	3000	100
半田市	5100	200			

図10：火災による被害想定

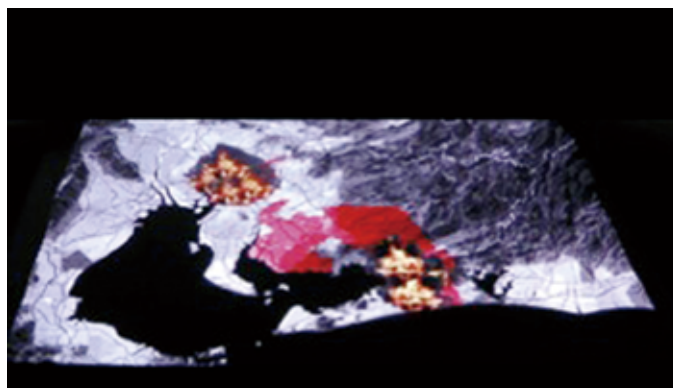


図11：火災シミュレーション

5.4 津波

沿岸の中でも、遠浅の海底地形や岬の先端では津波の進路が曲げられ、一か所にエネルギーが集中し、巨大な津波になる可能性が高い。(図12) 震源から離れた都市部でも、地盤の低い濃尾平野では津波の影響で浸水する。(図13) また、河川を通じて住宅街にも被害をもたらす。津波は湾が狭くなるにつれて再び高さを増し、さらにビルなどに遮蔽してより速さを増す。

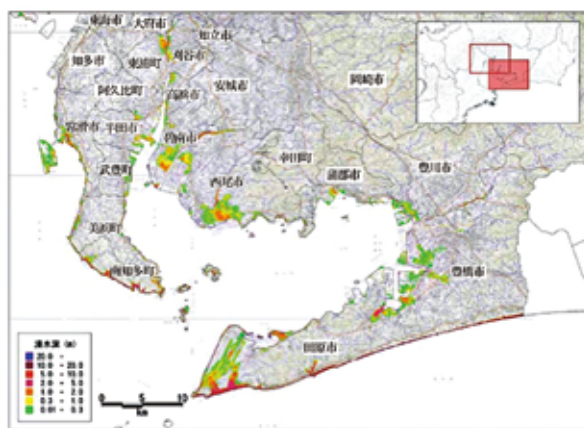


図12：標高が低い地域の浸水域

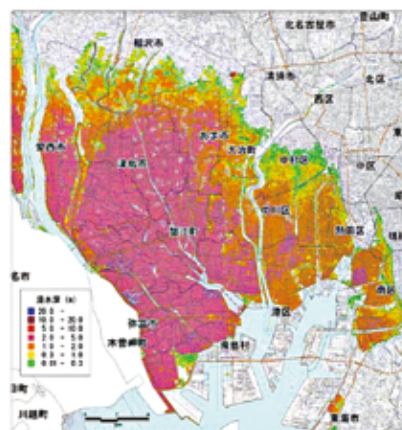


図13：名古屋市周辺の浸水域

津波シミュレーションにはCC wave worldを使用した。愛知県の西側の断層の滑り量が多いことから、津波は西側から襲ってくると想定される。(図14) これは南海トラフ地震の震源域が駿河湾方面であると考えられるからである。CC wave worldの波紋の発生地点を震源の位置に設定し、波紋の速度、強度、種類を設定し、波にコースティックを適用した。コースティックとは、光が反射・屈折することによって発生する、集光現象をシミュレートするエフェクトである。コースティックを適用することにより水面で屈折した光の反射を立体的に表現した。(図15) 文字の表示にもエフェクトを追加した。津波による愛知県の全死者数、全倒壊数の強調したい項目を、テキストが手前から奥へ輝きながら登場するアニメーションにした。After Effectsでテキストレイヤーを作成し、トランスフォームの位置、スケール、不透明度を調整し、テキストが手前から奥へと出現するように設定する。さらに、テキストレイヤーに、CC Radial Fast Blurを適用し、輝きを追加する。Amountの値を不透明度が100%になる時、値が0になるように設定し、最後にグローで輝きに厚みをもたせた。

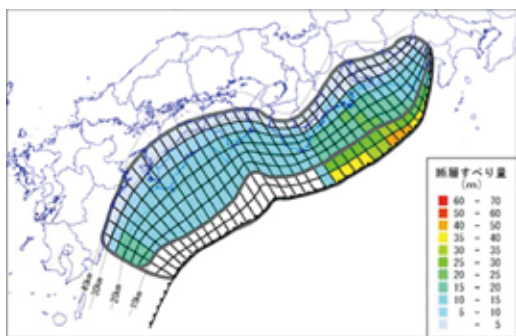


図14：津波断層モデルのすべり量分布

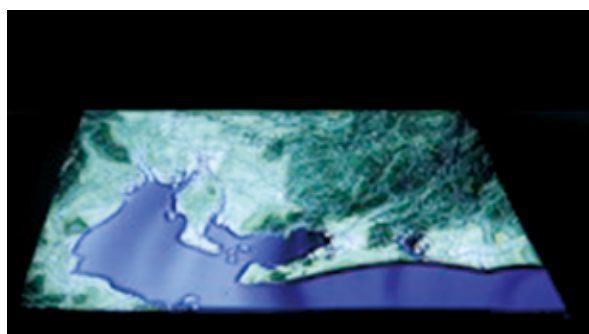


図15：津波シミュレーション

5.5 備え

南海トラフ巨大地震における愛知県の全体想定死者数は2万3千人、影響を受ける全国市町村の総人口は全国の46%にも及ぶ南海トラフ巨大地震は、今後30年以内に発生する確率が60%から70%という高い確率で起こると予測されている。また、過去の地震周期からみても、避けることのできない現象である。しかし、本シミュレーションは、発生する時間帯や人々の地震への対応において、最大の被害が発生するシナリオに沿って被害予測数値を出している。そのため、迫る巨大地震に対しての正しい知識を身につけ、それを実践し対応できれば、被害拡大を確実に抑えられる。室内での家具の固定やガスの元栓を閉めるなど、地震発生後の行動ポイントの把握などのよく耳にする基礎的な知識は重要である。また、実際に被害を受けた場合には、そのような行動が思い通りに行動できなくなる場合が多いということまでを、あらかじめ知識として身につけておくと、予想外の事態に的確な対応ができるようになる。地震発生後の正しい行動パターンだけでなく、自分の住む地域がどのような被害を受け、それにはどのような対応をすべきかなどの具体的なイメージを描き、一人ひとりが減災への意識を高めることが重要である。

6. 研究の結果と考察

本研究では南海トラフの詳細な地殻構造や状態、地震活動を最新の調査・観測結果を取り込み、起こりうる地震像を高精度に予測し、強振動や津波の情報を地震に対する備えの基礎としシミュレーションを作成した。東海・東南海・南海地震の発生からは逃れられないが、地震発生時の状況を詳細に予測し、その予測に依拠して的確な対策を講じておけば被害は現在の想定よりも大幅に軽減することができる。我々独自の映像手法により、わかりやすく視覚化されたシミュレーションを通して、より多くの人々に地震災害やそれに対する備え方に

ついて認知してもらうことが可能である。表示する映像は地震後に発生する様々な災害を分類し、震度ごとに段階的にアニメーション化した。また、それとは分けて表示されている映像の説明や、3Dアニメーションによるシミュレーション映像を流し、これらを複合的に活用することで、より多くの情報を分かりやすく提示することができる。(図16)



図16：タブレット端末での表示例

7. 本研究の成果と今後の発展

地震災害に対する備えとして、防災・減災の啓蒙活動は非常に重要である。いつ起こるかわからない地震から身を守るには、正しい知識を身に付け、地震が起きた時に焦らず行動できるようにしなければならない。我々が開発した巨大地震シミュレータは、地震災害の情報を正しく、わかりやすく伝達できるため、多くの人々に正しい知識を認識してもらえるだろう。そして、携帯情報端末を利用することで、防災センターなどに行けない人でも、我々のシミュレータを利用することで、時間と場所を選ばずに地震に対する備えを学ぶことができる。また、位置情報サービスを利用した避難ルートの確認機能などは避難の円滑化に役立つと考える。

- ① 2画面に分けた映像を複合的に利用した、より理解しやすい情報伝達手法
- ② 携帯情報端末を用いた利便性のある防災啓蒙の方法
- ③ 携帯情報端末のサービスと連動できる拡張性

本研究では、南海トラフ巨大地震のシミュレーションを愛知県に限定して行ったが、四国地方や近畿地方でも甚大な被害が想定されており、これらの地域でもシミュレーションを行う必要がある。また、今後日本で起こると想定されている地震は、南海トラフ巨大地震だけではなく、他の地震のデータに基づくシミュレーションも必要だ。今後の研究目標は、我々が本研究で行ったシミュレーション方法をテンプレート化し、データを入れ替えることで容易に他の地域や地震のシミュレーションを可能にすることだ。また、現段階では、我々が厳選した情報を決められた順序や表示時間で提供しているが、必要な詳細情報は住んでいる場所や生活事情によってそれぞれ異なる。その為、ユーザー自身が操作し、必要な情報を選んで見ることができるインタラクティブ性を高めていく。さらに、ライフラインが停止した場合や帰宅困難に陥った場合など、地震が発生した瞬間からそれぞれ置かれる状況別にシミュレーションできれば、災害に対して切実感を持つことができ、減災への行動に結びつくと考える。

- ① 地域の防災・減災に関するイベントでの活用
- ② シミュレーションデータの逐次更新による最新情報の公開
- ③ シミュレーションを全国規模に展開
- ④ 他に想定される地震災害への応用