

## 自動車運転者の津波避難実験に向けたシミュレータの開発

千葉大学大学院工学研究科 学生会員 ○榎 想太郎  
 千葉大学大学院工学研究科 正会員 丸山 喜久

### 1. 背景と目的

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では、東北地方の太平洋側を中心に津波による甚大な被害が生じ、沿岸部を走行中の自動車が津波に襲われる事例が多発した。また、映像がドライブレコーダーで記録され、マスコミによって報道されている。

津波来襲時の自動車による避難は、渋滞や事故の恐れがあるため原則として禁止されている。しかし、中央防災会議の報告<sup>1)</sup>によると、東北地方太平洋沖地震のケースでは生存者の約57%が避難に自動車を利用している。このように避難目的で自動車を利用している以外に、観光や所用で津波来襲時にたまたま沿岸部を自動車で行っているケースもあることと、我が国では高齢化も進んでいることから今後は自動車に依存した避難が助長される可能性も考えられ、自動車運転者への避難支援は津波減災対策として大いに検討に値する。また、地域全体を見渡す鳥瞰図的な視点の津波シミュレーションは事例がみられるものの、自動車を運転する人目線の津波シミュレーションは見られない。

そこで、運転者の目線のシミュレーションによって津波来襲時の避難誘導や情報提供のあり方に関する検討を行う。本研究では、明応型地震による最大津波高さが12.9m<sup>2)</sup>と予測されている神奈川県鎌倉市を対象地域として、自動車運転中に津波の発生から運転車両が冠水するまでを体験することができるドライビングシミュレータを開発することを目的とする。

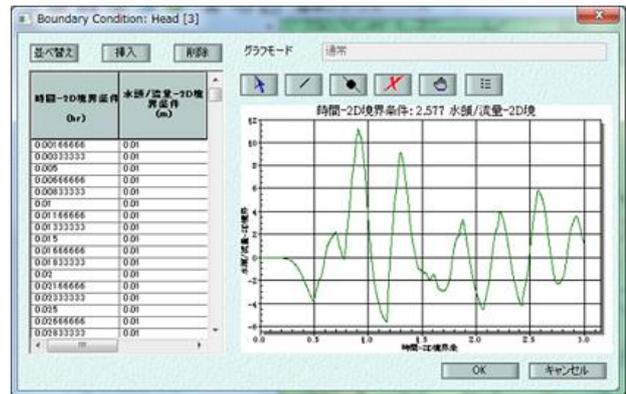
### 2. 明応型地震の津波数値解析

津波数値解析の震源モデルとしては、神奈川県が津波浸水予測図<sup>2)</sup>の作成に使用しているものを仮定する。数値計算は、非線形長波理論に基づく Staggered leap-frog 差分法を用い、以下に示す連続の式(1)と運動方程式(2)、(3)を解く<sup>3)</sup>。式中の $\eta$ は水位、 $D$ は海底から水面までの全水深、 $g$ は重力加速度を表し、 $n$ は表1に示す土地利用条件に従った Manning の粗度係数<sup>4)</sup>で運動方程式中の摩擦項に含まれ津波の遡上に対する抵抗値として扱う。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3)$$



数値解析では、格子間隔1350mの外洋部から陸域に向けてメッシュサイズを1/3ずつ細分化して進める。この解析によって得られた潮位変動の時刻歴を境界条件の入力値(図1)として用い、後述する xpswmm を使用して湾口から陸域の解析を行う。

表1 Manning 粗度係数<sup>4)</sup>の設定値

土地利用(国土数値情報)	粗度係数(m <sup>-1/3</sup> s)
住宅地	0.040
森林	0.030
水域	0.025
その他(空地・緑地)	0.025

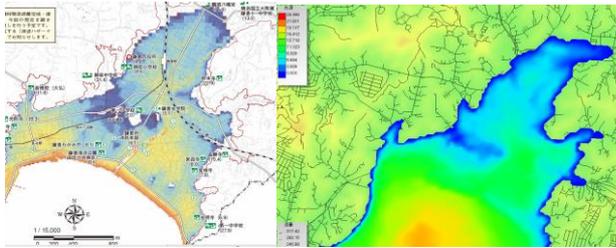
図1 境界条件の入力波形

### 3. 神奈川県鎌倉市における津波浸水予測

湾口から陸域への津波遡上解析には、ドライビングシミュレータのCGソフト UC-win/Road との連携を考慮し、xpswmmを使用した。xpswmmは、河川や管路内の水理と地表面の氾濫現象を連動させた解析を行うことができ、浸水エリア、浸水深、浸水時間、氾濫流速などの解析結果を3Dやアニメーションで表示することができるソフトウェアである<sup>5)</sup>。また、氾濫解析結果を UC-win/Road で作成したVR空間へ読み込み表現することができる。図2に、鎌倉市の津波浸水予測図<sup>6)</sup>と本研究の解析結果の最大浸水深分布を比較する。

Key Words: ドライビングシミュレータ, 津波避難, 交通制御

連絡先: 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻 TEL043-290-3555



(a) 鎌倉市津波浸水予測図 (b) xpswmm による解析結果  
 図2 明応型地震の浸水域図と氾濫解析結果の比較

#### 4. シミュレーションコースの構築

本研究でシミュレーションコースを作成するために使用したソフトウェア UC-win/Road<sup>7)</sup>は、「合意形成を支援するための3次元VRシミュレーションソフトウェア」である。基盤となる地形に対して、平面・縦断線形、断面、交差点の定義を行うことで道路が生成される(図3)。そこへ建造物や樹木等の3Dモデルを適宜配置することで景観を形成していく。以上の手順に従って走行実験に使用するVR空間を作成した(図4)。また、道路上には信号による交通制御や交通流を発生させることが可能で、平常時の他に災害や事故が発生した際の交通シミュレーション以外に、景観計画の提案も行うことができる。

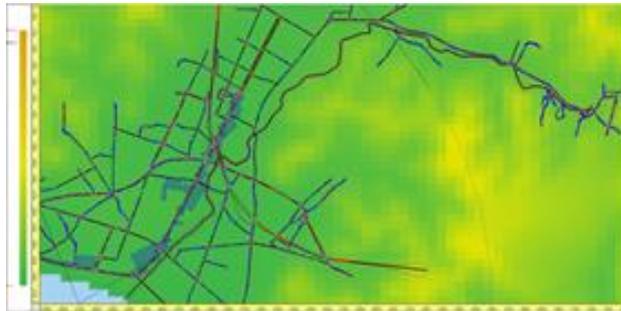


図3 道路線形の定義画面



図4 作成したVR空間

#### 5. 解析結果とVR空間の連携

xpswmmによる遡上解析結果をUC-win/Roadへ入力し座標設定を行うことで、作成したVR空間へ解析結果にもとづく津波遡上CGが生成される。これをもとに運転体験シナリオを構築し、3面モニタとハンドル、アクセル、ブレーキからなる簡易ドライビングシミュ

レータを使用して津波来襲時の運転体験実験を行う(図5)。運転体験中に実際に自車が津波に冠水した箇所へ差し掛かるか、津波に飲み込まれると、図6のように、実際に津波が迫る様子や車両が冠水する様子を運転者の視点で再現できる。



図5 簡易ドライビングシミュレータ



図6 運転者目線からの津波による冠水の様子

#### 6. まとめ

本研究では、現実の道路線形、地形データに基づいた都市モデルに、数値シミュレーションで得られた津波遡上結果をCGとして反映させ、津波体験ドライビングシミュレータを構築した。今後は、これを活用し、被験者を募って走行実験を行い、津波発生時の自動車運転者の行動指針に関する検討を進める。さらに、カーナビや道路標識による運転者への情報伝播構造に関する分析を行い、最適な避難誘導方法の提案を目指す。

#### 参考文献

- 1) 中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告，2011.
- 2) 神奈川県：「津波浸水予測図」明応型地震，  
<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f360944/p393023.html>，2012.
- 3) Koshimura, S., Imamura, F., and Shuto, N.: Characteristics of on-slope tsunami propagation and the accuracy of the numerical model, *Tsunami Research at the End of a Critical Decade*, pp.163-177, 2001.
- 4) 小谷美佐，今村文彦，首藤伸夫：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法，*海岸工学論文集*，第45巻，pp.356-360，1998.
- 5) xpssoftware: xpswmm, <http://www.xpssoftware.com/products/xpswmm/>，2013.
- 6) 鎌倉市：津波浸水予測図(暫定版)，  
<http://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougoubousai/documents/tsunamib3.pdf>，2012.
- 7) FORUM8: UC-win/Road, <http://vr.forum8.co.jp/>