

技術紹介 12 メタバースを活用したハザード・マップの高度化に向けた基礎的研究

原田 紹臣
HARADA Norio
MCC 研究所
電話 06-6599-6011
FAX 06-6599-6030



近年、静岡県熱海市で発生した土石流被害を受けて、全国的に土砂災害リスクに対する社会的な関心が高まっており、更なる住民への災害リスクの理解向上に向けた取り組みが求められている。一方、衛星データによる地形情報や PLATAEU 建物等の詳細な 3次元 BIM/CIM モデルの普及に伴い、今後、更なるデジタル技術を活用した DX の推進が期待されている。そこで、筆者らはメタバースの一つである可視化技術を用いた円滑な説明を目的に、土石流解析を併用したハザード・マップの高度化を提案している。

キーワード：シミュレーション、土石流、ハザード・マップ、メタバース、BIM/CIM

1. はじめに

1992年に出版された Neal Stephenson の小説「Snow Crash¹⁾」で使用された「メタバース」(訳：もう一つの世界)は、現在、ネットワーク上に展開した VR 世界の代名詞として、一般的に利用されるようになった²⁾。なお、今後の技術革新や図-1 に示すメタバース空間の分類³⁾等により、更なる発展が考えられる。特に、近年では衛星データによる地形情報⁴⁾や PLATAEU 建物等の詳細な三次元モデル・データの普及に伴い、今後、更なるデジタル技術を活用した DX の推進が期待されている。

そこで、本稿では、住民への災害リスクの更なる理解向上を目的に、多種のデジタル情報やメタバース技術を有効に活用したハザード・マップの高度化に向けた実践的な取り組みについて紹介している。

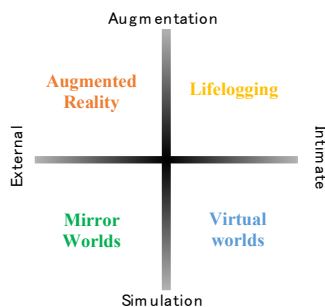


図-1 メタバース・ロードマップにおけるメタバース空間の分類³⁾



図-2 住民説明会に用いる土砂災害警戒区域等⁵⁾設定図の一例

2. 存在した課題

2-1. 分かりやすいハザード・マップや現象の説明

2020年7月に静岡県熱海市で発生した土石流による甚大な被害を受け、土石流等の土砂災害リスクが、全国の多くの一般住民において注視されるようになった。そのため、近年では、従来まで特に問題にならなかった防災ハザード・マップの礎となる土砂災害警戒区域(施行令第二条等⁵⁾の指定に関する地元説明会において、従来までの説明会に使用していた二次元的に表現させた土砂災害警戒区域等の設定図(図-2)やハザード・マップに対して、詳細な現象等の説明が求められるようになった。

3. 解決する技術

3-1. メタバースを用いたハザード・マップの高度化

これらの土砂災害警戒区域に関する説明等における住民への災害リスクの更なる理解向上に向けて、近年のメタバースに代表される可視化技術等を用いた円滑な説明を目的に、iHazard map を提案する(図-3)。なお、この iHazard map は、図-3 に示す土砂災害リスクの情報発信だけでなく、多種の情報(地形・建物情報、各気象予測結果、避難場所位置、道路情報)を集約させて、それらを目的に応じて組み合わせ、必要な情報をわかりやすく配信する機能を有した枠組みとしている。

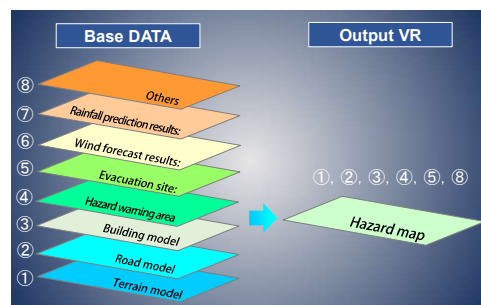


図-3 提案する iHazard map 構成の一例

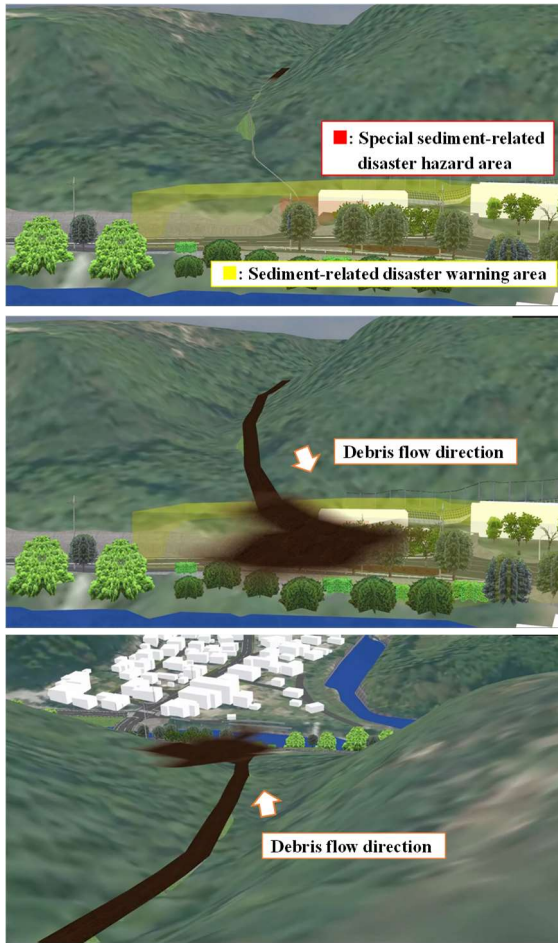


図-4 可視化結果(土石流シミュレーション結果:動画)の事例

なお、土石流の説明に際して、予測に必要な氾濫域における二次元的な場での x 方向（流下方向）における流水の運動方程式、 y 方向（横断方向）における流水の運動方程式（浅水流方程式）、流れの連続式、流砂の連続式及び河床の連続式は、それぞれ次のように表される⁶⁾。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = i_b \quad (3)$$

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial Chu}{\partial x} + \frac{\partial Chv}{\partial y} = i_b C_* \quad (4)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + i_b = 0 \quad (5)$$

ここに、 x は流下方向の距離、 y は横断方向の距離、 u は x 方向の平均流速、 v は y 方向の平均流速、 t は時間、 ρ は流動層の密度、 p は圧力、 ε は渦動粘性係数、 τ_x 、 τ_y は x 、 y 方向の河床せん断力、 h は流動深、 g は重力加速



図-5 使用する可視化(メタバース)ツールの例

度、 z は河床高、 C は流動層における土砂濃度、 C_* は河床の堆積濃度、 i_b は堆積物の侵食または堆積速度である。なお、河床せん断抵抗則は同様に Manning 則を用いて算出し、圧力に関しては静水圧近似を行っている⁶⁾。

これらの解析技術やメタバースに関するシステム⁷⁾を用いて、図-2 に示す土砂災害警戒区域⁸⁾（黄色：土砂災害警戒区域、赤色：土砂災害特別警戒区域）に対して、新たに動的に表現した土石流による土砂堆積範囲（氾濫範囲）を重ねあわせて、住民へわかりやすく説明する実績的な取り組みを紹介する。なお、土石流の流動予測に関する解析モデルにより当該溪流で想定される土石流の流動や土砂の堆積範囲を予測した結果を、仮想空間内で VR 技術（動画）によりわかりやすく表現させた一例を図-4 に示す。その際、これらの流動を各視点場で複数の住民参加者が同時にリアルに体験させるため、図-5 に示す可視化ツール（独立型 VR デバイス）の併用を提案している。

これらの実践的な取り組みより、一般住民に対しての土石流等のハザードの説明において、メタバース等の活用が有効である可能性が示唆されている⁸⁾。今後、これらの予測技術や可視化技術の高度化による防災分野における更なる BIM/CIM の有効活用が期待される。

本稿で紹介した提案⁸⁾は、土木学会 AI データ・サイエンス・シンポジウム論文集において、2023 年デジタルツイン賞【奨励賞】を受賞した内容である。

参考文献

- 1) Neal Stephenson: Snow Crash, 576p., 1992.
- 2) Gabriele Lohmann: Volumetric image analysis, *Born digital*, 216p., 2009.
- 3) Accelerataion Studies Foundation; <http://metaverseroadmap.org/>
- 4) 原田紹臣, 石原孝雄他: 仮想現実空間における高解像度衛星群による写真を活用した建物・地形モデルの適用性, 土木情報学シンポジウム, Vol. 42, pp.13-14, 2017.
- 5) 土砂災害防止法令の解説 (改訂 3 版), 全国治水砂防協会, 2022.
- 6) Norio Harada and Yoshifumi Satofuka: A novel downstream Flood Hazard Grade Index incorporating upstream Hydrograph Characteristics to predict Debris Flow Runoff, *Proc. of 8th DFHM*, 2023.
- 7) Forum8: <https://www.forum8.co.jp/>
- 8) 原田紹臣・水山高久他: メタバースを活用したハザードマップの高度化に向けた実践的取り組み AI データサイエンス論文集, 2023.