人間中心設計に基づく気象情報の高度化: iHazard map project

原田　紹臣[1]・山田　菊子[2]・里深　好文[3]・水山　高久[4]・武井 千雅子[5]

[1]正会員　博士（工/農学）三井共同建設コンサルタント株式会社　MCC 研究所（〒552-0007 大阪市港区弁天 1-2-1）
E-mail: harada@mccnet.co.jp

[2]正会員　博士（工学）（株）ソーシャル・デザイナーズ・ベース（〒569-1046 大阪府高槻市塚原 6-30-19）
E-mail: kiko.yamada@sd-base.jp

[3]正会員　博士（工学）　立命館大学教授　理工学部（〒525-8577　草津市野路東 1-1-1）
E-mail:satofuka@se.ritsumei.ac.jp

[4]非会員　博士（農学）　京都大学名誉教授（〒606-8502 京都市左京区北白川追分町）
E-mail: mizuyama@kyoto-u.ac.jp

[5]正会員　株式会社フォーラムエイト（〒108-6021 東京都港区港南 2-15-1 ）
E-mail: chikako@forum8.co.jp

近年，気象観測や予測技術の進化に伴って，高度な気象予測による災害時の被害軽減等が期待されている．特に，土砂災害や洪水災害の誘因として指摘されている線状降水帯の予測に対しても取り組まれている．このような高度な予測結果を利用する一般住民等の情報利用者（ユーザー）に配慮した情報提供は重要である．筆者らは，メタバースや VR 技術を活用し，災害に関する分かりやすい情報提供に向けた iHazard map プロジェクトに取り組んでいる．一方，気象庁は各地域における降雨（降雨強度）の予測情報を提供するとともに，別途，降雨強度とその特徴（例えば，バケツをひっくり返したような雨）等について定義している．そのため，一般の情報利用者におけるこれらの定義等に対する理解度についての更なる検証は重要であると考える．本研究では，人間中心設計に基づいた気象情報の高度化を目的に，仮想空間（VR や降雨装置）を用いた被験者へのアンケートヒアリングにより，現状の課題や今後の提案について考察している．なお，降雨強度と風速を組み合わせた情報の提供が重要である可能性が示唆された．

Key Words: *DX, human centered design, precipitation forecast, user experience design, virtual reality*

1．はじめに

1992 年に出版された Neal Stephenson の小説「Snow Crash[注 1)]」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，利用されるようになった[1),2),注 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[注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[3)]や PLATAEU[注 4)]建物等の詳細な三次元モデル・データの普及に伴い，今後，デジタル技術を活用した更なる DX の推進が期待されている[4),5),6)]．また，VR 技術についても，ハード技術の向上等に伴って，新たに色々な工夫が提案されている[7),8),9)]．一方，高度化された降雨予測（例えば，線状降水帯の予測[10)]）や土砂災害発生予測による事前の災害リスクに対する情報（土砂災害警戒情報[11)]）の提供による土砂災害防止に向けたソフト対策が求められている．

この様な背景の中，2021 年 7 月に静岡県熱海市で発生

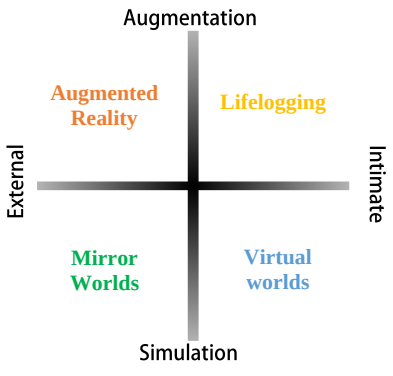


図-1 メタバース空間の分類[注3)]

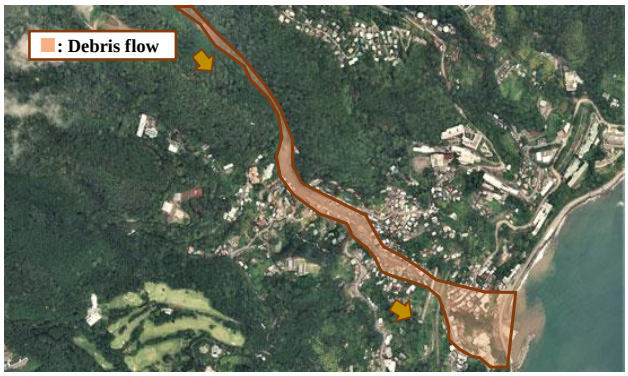


図-2 令和３年７月 熱海市土石流被災地周辺の空中写真[注5)]

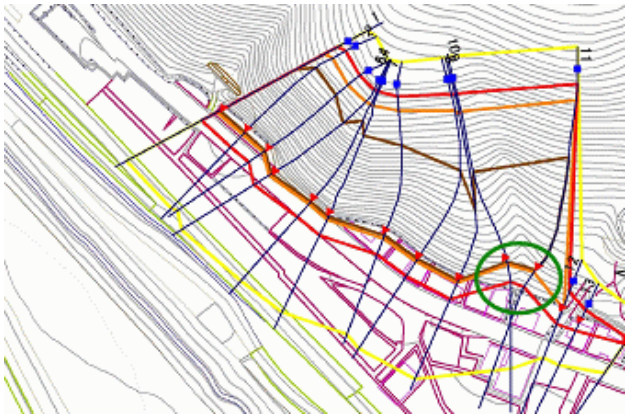


図-3 住民説明会に用いている土砂災害警戒区域等設定図例

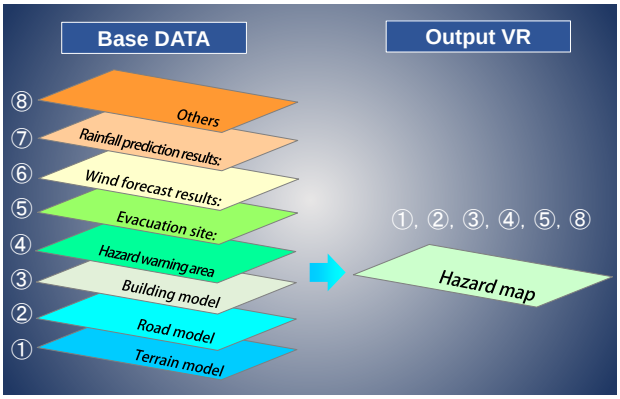


図-4 現在提案している iHazard map プロジェクト構成例 [13)]

した土石流（図-2）による甚大な被害 [12)]等を受け，全国の多くの一般住民が，土石流等の土砂災害リスクに対して，特に注視するようになった．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に関するハザード・マップの礎となる土砂災害警戒区域[注6)] 等の指定に関する地元説明会において，従来まで使用していた二次元的に表現した土砂災害警戒区域等の設定図（例えば，図-3）やハザード・マップに対して，詳細な分かりやすい説明が求められるようになった．

そこで，筆者らはこれらの現象説明等における一般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プロジェクトを提案[13)]している（例えば，図-4）．なお，このiHazard mapプロジェクトは，図-4に示す土砂災害リスクに関する情報だけでなく，多種の情報（地形・建物情報，各気象予測の結果，避難場所の位置，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て，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．

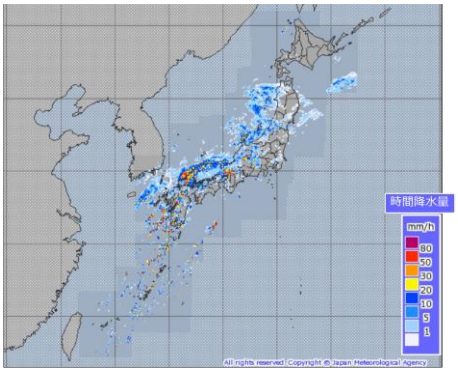


図-6 公開されている降雨に対する気象情報例（降雨強度[注7)]）

一方，防災に関する気象情報に対する情報利用者（一般住民）の意見等についてのアンケート調査（配信・回収サンプル数：2,000）結果の一部[14)]を図-5に示す．図-5に示すとおり，一般住民が避難行動について判断する場合，防災に関する気象情報（例えば，降雨情報）が重要であることが示唆されている．一方，豪雨時での高齢者の車両による避難場所までの移動中における運転事故などが報告[例えば，15)]されており，課題となっている．現在，気象庁が予測して公開[注7)]している降雨に関する情報については，図-6に示すとおり，降雨強度（時間降水量，1時間雨量：mm/h）として示している．ここで，降雨強度毎に対応する現象の特徴（例えば，振り方）について，別途に，それぞれ定義している（表-1）[注7)]．その際，気象庁が同時に予測している風速（平均風速）についても併せて定義（表-2）している[注7)]．しかしながら，表-1や表-2に示すとおり，各値に対して，環境条件等毎に対してそれぞれ複雑に表現されており，情報利用者へのこれらの理解向上に向けた更なる分かりやすい工夫（例えば，可視化）が望まれる．また，風速の情報については，一部の情報利用者（例えば，漁業の従事者[16)]や台風接近に伴う関係者[17)]等）を除いて，一般的に用いられることは少なく，更なる活用が望まれる．なお，現状においては，降雨強度と風速に関する予測情報を組み合わせた情報提供の手法については，筆者らが知る限り，存在しない．さらに，図-5（下部）に示すとおり，情報利用者（ユーザー）の要望等に配慮した気象情報の提供は重要であると考えられる．

これらのアプローチの一つとして，近年の人間中心設

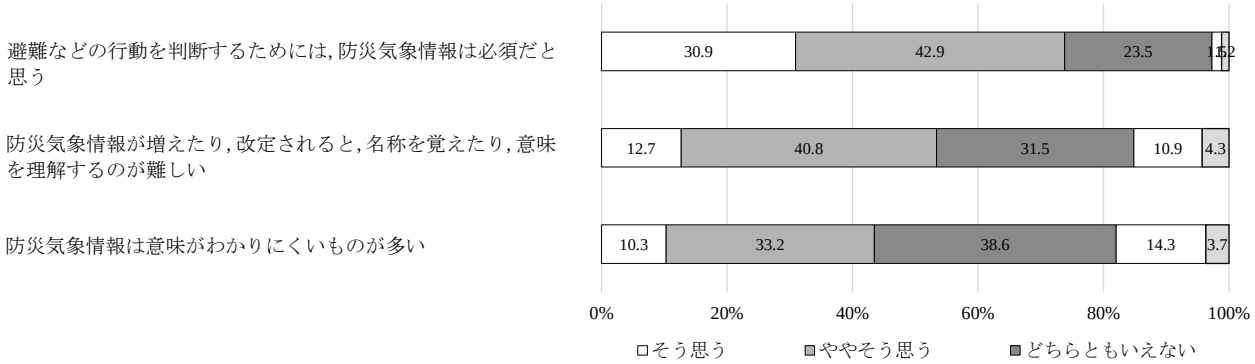


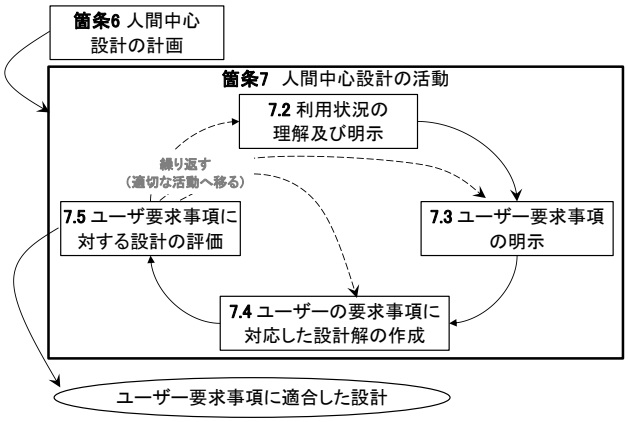
図-5　一般人における防災に関する気象情報に対する意見等[14)]

表-1　定義されている降雨強度（雨の強さ，1 時間雨量）と振り方[注7)]

1時間雨量 (mm)	雨の強さ (予報用語)	人の受ける イメージ	人への影響	屋内 (木造住宅を想定)	屋外の様子	車に乗っていて
10~20	やや強い雨	ザーザーと降る.	地道からの跳ね上がりで足元がぬれる.	雨の音で話し声が良く聞き取れない.	地道一面に水たまりができる.	―
20~30	強い雨	どしゃ降り.	傘をさしていてもぬれる.	寝ている人の半数ぐらいが雨に気がつく.		ワイパーを早くしても見づらい.
30~50	激しい雨	バケツをひっくり返したように降る.			道路が川のようになる.	高速走行時，車輪と路面の間に水膜が生じブレーキが効かなくなる(ハイドロプレーニング現象).
50~80	非常に激しい雨	滝のように降る. (ゴーゴーと降り続く).	傘は全く役にたたなくなる.		水しぶきであたり一面が白っぽくなり，視界が悪くなる.	車の運転は危険.
80~	猛烈な雨	息苦しくなるような圧迫感がある. 恐怖を感じる.				

表-2　定義されている風速（風の強さ）と吹き方[注7)]

平均風速 (m/s)	風の強さ (気象用語)	早さの目安	人への影響	走行中の車	建造物	おおよその瞬間風速 (m/s)
10~15	やや強い	一般道路の自動車	風に向かって歩きにくくなる．傘がさせない.	道路の吹流しの角度が水平になり，高速運転中では横風に流される感覚を受ける.	樋（とい）が揺れ始める.	20
15~20	強い風	高速道路の自動車	風に向かって歩けなくなり，転倒する人も出る．高所での作業はきわめて危険.	高速運転中では，横風に流される感覚が大きくなる.	屋根瓦・屋根葺材がはがれるものがある．雨戸やシャッターが揺れる.	30
20~25	非常に強い風		何かにつかまっていないと立っていられない．飛来物によって負傷するおそれがある.	通常の速度で運転するのが困難になる.	屋根瓦・屋根葺材が飛散するものがある．固定されていないプレハブ小屋が移動，転倒する．ビニールハウスのフィルム(被覆材)が広範囲に破れる.	40
25~30						
30~35	猛烈な風	特急電車	屋外での行動は極めて危険.	走行中のトラックが横転する.	固定の不十分な金属屋根の葺材がめくれる．養生の不十分な仮設足場が崩落する	50
35~40					外装材が広範囲にわたって飛散し，下地材が露出するものがある.	60
40~					住家で倒壊するものがある．鉄骨構造物で変形するものがある.	



※実線：各活動の関連性

破線：評価の結果に基づいて繰り返される活動との関連性

図-7　人間中心設計の活動の相互関連性を示す図[注8)]

表-3　人間中心設計の 6 つの原則 [18)]

	内　容
原則 1	ユーザーやタスク，環境に対する明確な理解をもとにデザインする．
原則 2	設計や開発の期間を通し，ユーザーは参画させられる．
原則 3	設計は，人間中心的な評価によって駆動させられ，また，洗練させられる
原則 4	プロセスは反復的である．
原則 5	設計はユーザーエクスペリエンスの全体に焦点を当てる．
原則 6	設計チームは，多様な専門領域の技能と視点を持つ人材によって構成される．

計（ISO9421-210:2019，JIS Z 8530:2021）に基づいたアプローチが考えられる[18),19),注8)]．なお，人間中心設計は「対話システムの利用に焦点をあて，人間工学やユーザーリティの知識や技法を使って，そのシステム等を使いやすくすることを目指す設計アプローチ」として定義[18)]されている．人間中心設計の活動の相互関連性[注8)]を**図-7**に，人間中心設計の6つの原則[18)]を**表-3**に，それぞれ示す．**表-3**（原則5）や**図-7**に示すとおり，情報提供に関する仕組みや内容に対して，ユーザーエクスペリエンス（UX）に焦点を当てた情報利用者（ユーザー）における要求事項に適合した配慮が重要であると考えられる．なお，これまでの研究において，人間中心設計に基づいて，降雨に伴う洪水等の災害リスクに関する情報提供の必要性[20),21)]や，気象サービスの提供の在り方[16),17)]などについては多く議論されているが，降雨強度や風速に関する情報を対象に詳細に検討された報告については，筆者らが知る限り存在しない．

本研究では，人間中心設計[例えば，19)]に基づいた防災分野における気象情報の高度化を目的に，現状の降雨情報に対する理解度や課題等に関して，VRを用いた降雨強度毎の再現結果を用いて，被験者に対するアンケートヒアリングにより検証する．また，降雨等実験装置を用いて，被験者に対して，降雨強度や風速の定義（**表-1**や**表-2**）と実際の体感との相違についてアンケートヒアリングにより，降雨と風の組み合わせの変化による影響について検証する．さらに，得られた課題を参考に，今後の一般住民等を対象にした人間中心設計に基づいた気象情報の高度化の方向性について考察する．

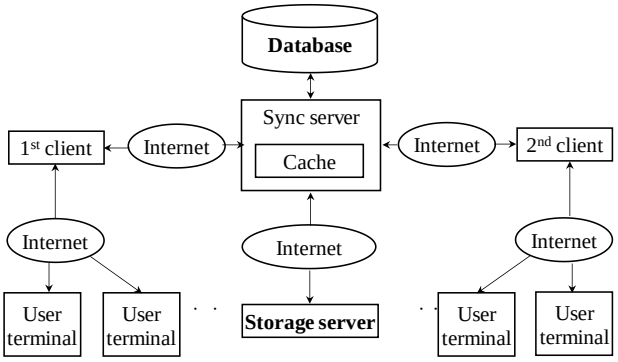


図-8　メタバース環境の構築に向けたシステム概要図[13)]

2．筆者らが提案する次世代ハザードマップ

防災に関する気象情報（降雨等）の高度化に向けた提案に際して，基本とする筆者らがこれまで取り組んでいる次世代ハザードマップ（iHazard map）の概要 [13)]について以降に紹介する．近年，現実空間では再現が困難である事象（例えば，土石流による被災現象や豪雨）に対して仮想空間内で表現し，これらの結果をユーザーが体験できるメタバース環境の構築が可能となった [9),22)]．その際，インターネットを介した情報処理の負荷を軽減させた円滑なシステムの構築が望まれる．さらに，仮想空間情報を共有しながら，空間内の環境条件（例えば，気象条件）やユーザー間のコミュニケーションに関するデータを逐次に更新するとともに，相互に情報を共有できるシステムの構築が必要である．

そこで，筆者らが提案する三次元の情報を相互に共有するための三次元仮想空間情報システム [13)]における全体構成の概要を**図-8**に示す．**図-8**に示すとおり，本システムは仮想空間情報を保有するデータベース等に接続された同期サーバを中心に，インターネット等の通信網を介して，複数のクライアント装置において相互に通信が可能となる．さらに，各クライアントには，ユーザーが用いる情報処理端末を介して接続させる．なお，各ユーザー端末は一般的な電子計算機（PC 等）や多機能携帯端



図-9 使用する可視化（メタバース）ツールの例

末（スマートフォンのモバイル端末）等が対象となり，仮想空間に対して表示可能なディスプレイや可視化ツール（独立型 VR デバイス：例えば，図-9）と操作を行う入力装置である．これらにより，表示される仮想空間に対して詳細な空間内のデータ取得や新たなデータの作成，更新，削除が可能となる．また，各クライアントの役割として，データベースが保有する仮想空間情報を取得し，これらをユーザー端末へ遅延無く配信させることが可能となる．さらに，クライアントは各ユーザー端末からの要求の操作に応じて仮想空間情報の処理を行う必要があるため，直接処理が可能な主記憶装置等にモジュール化されたプログラムを構築している．その際，同期サーバは各クライアントからの要求を受信し，当該要求に応じてデータベースに保存されている情報を配信したり，各クライアントで処理した情報を受信して， データベース内の仮想空間情報を更新する機能を有している．これらの工夫により，クラウド上において，複数のユーザー間で相互に情報を共有することが可能となるとともに，多大なデータ量のメタバースに関する仮想空間情報をリアルタイムで更新することが可能となる [13]．

これらのメタバースに関するシステムや筆者らの解析技術[例えば，23]を用いて，図-3 に示す土砂災害警戒区域[注6]に対して，動的に表現した土石流時の土砂堆積範囲（氾濫範囲）を重ねあわせて，一般住民へわかりやすく説明する手法 [13]を提案している（図-10）．また，これらの技術を活用した可視化技術の有効性について評価するため，これらの土砂災害警戒区域に関する説明会へ参加した一般住民に対して，土砂災害警戒区域等設定図（例えば，図-3） の理解度に関して， メタバースによる可視化の前後における変化に対して，ヒアリングにより検証している（図-11）．図-11 に示すとおり，土石流等のハザードに対して，可視化の体験前は現象の理解者が約 20%程度にあったにもかかわらず，体験後においては理解者が 90%程度以上と顕著に増加することが示されている [13]．

以降に，これらのメタバース等の VR 技術を基本とした気象情報の高度化（可視化）について提案する．

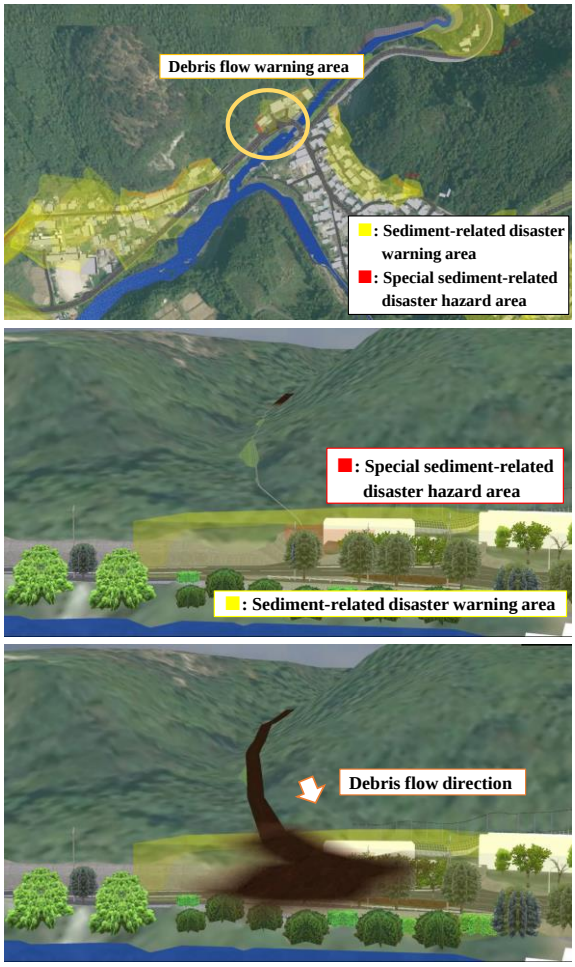


図-10 可視化結果（土石流シミュレーション結果：動画）[13]

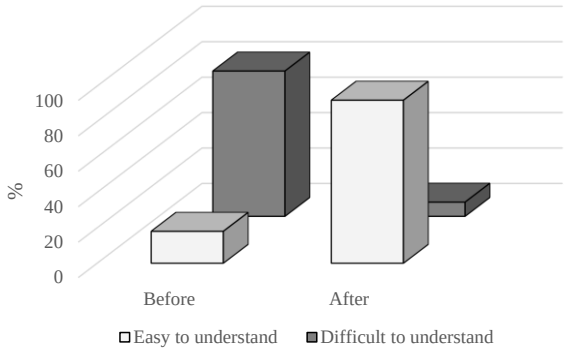


図-11 土砂災害警戒区域の理解に関するアンケート結果[13]
（可視化学習前後の比較，有効回答数：20名）

3．気象情報（降雨強度）の理解等に関する検証

防災分野等に関連した気象情報の高度化[17]を目的に，一般的に用いられている降雨に関する情報（降雨強度）等の理解について検証する．その際，顕著な気象変化などの再現に関して，一般的に実環境での検証は困難であるため，理想的な条件における仮想空間（VRや降雨等

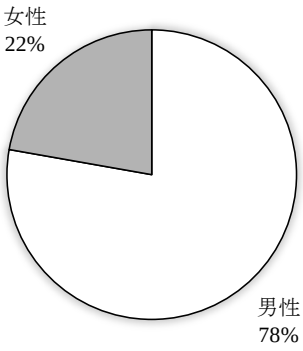


図-12 VR アンケート調査の対象者（男女比，計 36 名）

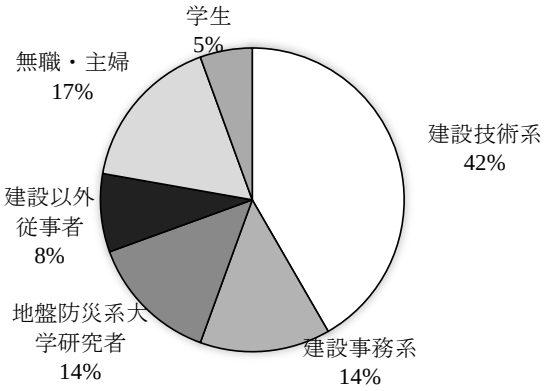


図-13 VR アンケート調査の対象者（職業別，計 36 名）

表-4 各タイプにおける降雨強度の実験条件

	降雨強度（mm/h）
Type A	1 未満
Type B	約 6
Type C	約 40

実験装置）を用いて，被験者へのアンケートヒアリングにより，気象情報の提供に関する現状の課題や改善等について考察する．

(1) VRを用いた降雨強度の理解に関する検証

降雨情報については，前述に示すとおり，図-6 に示す国土のメッシュ単位の数値情報（降雨強度の予測情報等）として提供されている．これらの情報は，表-1 に示す各降雨強度毎の特徴（イメージ）に対する充分な理解を前提にしたものである．そのため，これらの特徴（振り方等）と降雨強度との関係性の理解度に対する現状の把握は重要であると考えられる．

そこで，降雨等に起因した土砂災害に関する学会の参加者（被験者：36名）を対象に，VRにより再現した複数の降雨強度の動画情報を用いて，これらの理解度に対するアンケートヒアリング調査を実施した．被験者の男女比や職業の分布状況を図-12と図-13にそれぞれ示す．図-13に示すとおり，被験者の大半は防災分野の建設コンサルタント技術者，大学や研究機関等の研究者，施設管理者等であり，一部には気象情報に精通する気象予報士資格保有者も含まれていた．

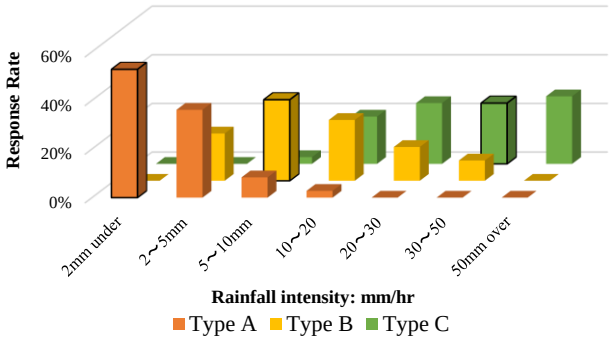


図-15 VR で再現した降雨に対するアンケート結果（Type 毎）

降雨の再現（動画）については，前述までに示すVR技術[13]の降雨描写機能を使用して表現した．アンケートヒアリングのための降雨パターンは，表-4や図-14（ただし，静止画）に示すとおり，Type A，B，Cの3種類とし，それぞれ約1mm/h，約6mm/h，約40mm/hとした．また，風速は10m/s未満（5m/sで一定，表-2）に設定し，太陽の位置（日照条件）等の条件は同じとした（図-14）．被験者へ提示する動画は，各降雨条件毎に2地点からの視点場とし，それぞれ10秒間の長さで提示した（10秒×2視点場×3降雨条件）．アンケート（選択回答方式）は，事前に被験者に対して降雨強度情報（表-1）を提供せず，被験者らの記憶に基づく回答を求めた．

図-14と表-4に示す3種類の降雨動画の提示後におけるアンケート結果を降雨強度（Type）毎に整理して，図-15に示す．図-15に示すとおり，約1mm/hの降雨（Type A）は他の降雨と比べて正答率が高く，一方，約40mm/h（Type C）の降雨は正答率が低い傾向であった．これらの結果から，降雨強度が増加するに伴って，降雨の特徴（降り方等）の理解や認識が低下する可能性が示唆された．そのため，災害に起因する豪雨等の顕著な降雨強度に関する情報の共有時には，数値情報だけでなく，メタバース等の可視化ツールを使って特徴をわかりやすく表現した情報提供が必要であると考えられる．ただし，これらの考察は特定の条件下でのVRを基にした議論であるため，更なる検証が必要である．

(2) 実験装置を用いた降雨強度等の理解に関する検証

次に，一定に制御された降雨等を直接的に体感が可能な降雨等実験装置（図-16）を用いて，表-1に示す降雨強度等の特徴（振り方）の定義と実際の体感との相違について，アンケートヒアリングにより検証した．その際，降雨時における風速の変化による影響について着眼した．実験については，東京都消防庁が管理運営する防災体験

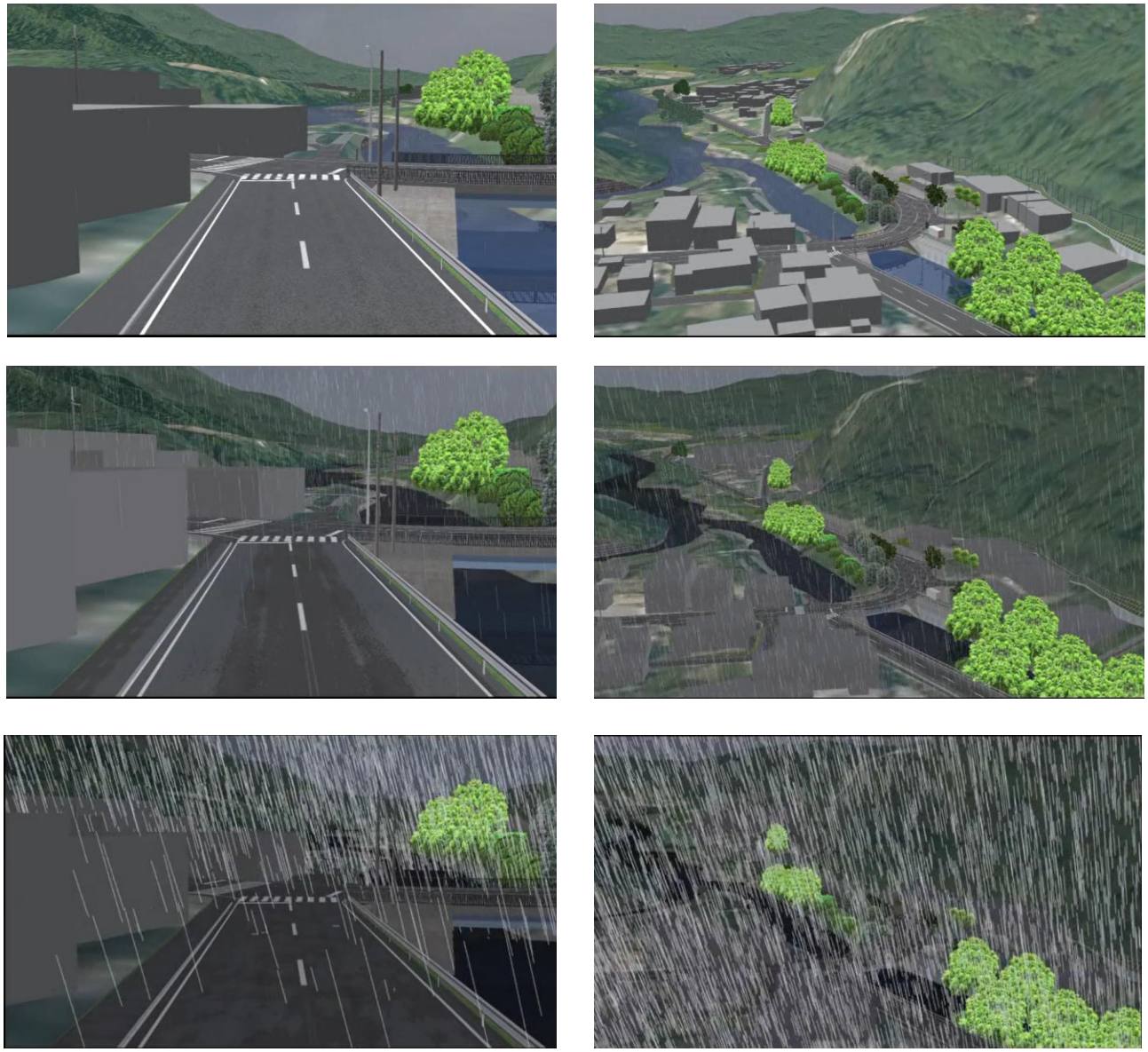


図-14　VRによる降雨の再現状況（対象降雨；上：Type A，上：Type B，上：Type C）



図-16 使用した降雨等実験装置の概要

館に設置された降雨等実験装置（**図-16**）を用いて，一般の被験者（10～60歳代までの男女29名）を対象に，**表-5**に示す降雨条件の体験を依頼し，実験直線に説明した定義（**表-1**や**表-2**）と，振り方等の体感との相違についてアンケートヒアリングにより検証した．なお，**表-5**に示すとおり，実験条件については，降雨強度を0～50m/s，風速を0～30m/sの組み合わせで実施している．

表-5 各タイプにおける降雨強度や風速の実験条件

	降雨強度 (mm/h)	風速 (m/s)
Type D	30	0
Type E		10
Type F	50	0
Type G		30
Type H	0	10
Type I		30

被験者から得られた回答に対して，現象毎（降雨のみ：D，F，風のみ：H，I，降雨および風：E，G）に整理した結果を**図-17**に示す．**図-17**に示すとおり，降雨のみ（Rainfall）については，殆どの被験者が事前の説明（**表-1**）に対して，概ね同様に体感していることが確認された（Within expectations）．また，風のみ（Wind）に

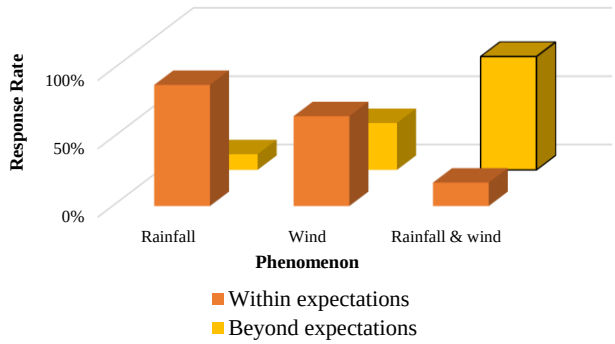


図-17 降雨等実験装置で再現した降雨に対するアンケート結果（計 29 名；10~60 歳代，平均 48 歳）

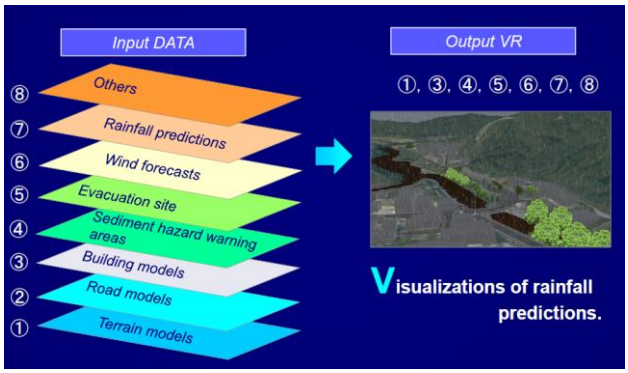


図-18 提案する降雨強度等情報の高度化（四次元化）

ついては，降雨と比較して事前の説明内容（表-2）と感じ方との相違が一部に見られ，理解度が低下する傾向であったが，大半は，概ね説明通りであったとの回答を得ている．一方，降雨と風（Rainfall & wind）の同時に発生する状況については，多くの被験者（約85%）において，事前の説明（表-1や表-2）と受けた感じ方（体感）が顕著に異なる（Beyond expectation）傾向であることが，新たに分かった．なお，詳細なヒアリングによると，降雨と風が組み合わさることにより，それぞれ定義された概要（振り方や吹き方）を越えた体感であったことによるものと考えられる．

4．人間中心設計に基づいた気象情報の高度化提案

これらの検討により，人間中心設計に基づいて防災に関する気象情報を提供する場合，少なくとも，降雨と風の現象を組み合わせて表現する新たな情報配信の必要性が示唆された．そこで，図-6に示す車両や徒歩等による避難行動を判断するための情報として，動的な降雨と風等の情報を組み合わせて可視化することが可能なメタバース等のVRを活用した情報（例えば，図-14）による提供を提案する（図-18）．図-18に示すとおり，これらの情報については，降雨や風の予測情報だけでなく，一般住民等の情報利用者（ユーザー）に配慮して分かりやすく表現するため，対象地点の地形や建物，昼夜等の時間的な情報についても考慮した詳細な情報としている．また，情報提供に際しては，インターネットを経由したクラウド上でのシステム（例えば，図-8）を通じて，再現性の高いと考えられるメタバース可視化ツール（例えば，図-9）や多機能携帯端末（例えば，スマートフォン）等による活用が有効であると考えられる．

ここで，提案するメタバース等を活用した情報提供の有効性に関する検証方法として，任意に抽出した地域に居住する一般住民に対して，試行的に図-18に示す高度化された情報（降雨と雨とを表現させたVR等のメタバース等の情報：図-14）を提供し，この情報提供前後における地域における避難率の変化や避難途中における事故発生件数[15]などの定量的な比較が考えられる．一方，これらの風速の違いが降雨の体感に与える変化については車両運転時（表-1や表-2：車両運転時）に対しても同様の影響が考えられる．そこで，近年，高度化が求められている道路における降雨時の車両通行規制[24]の運用方法に対して，これらの仮想空間（VR）での様々な環境条件での風速の提供を考慮した降雨強度毎の運転[7),8)]可否について検討する実践的な利活用が考えられる．

これらの検討は，限られた条件での示唆であるとともに，今後，更なる情報や技術開発に伴った高度化の議論が必要であると考えられる．

5．おわりに

本研究では，一般住民等の情報利用者（ユーザー）に配慮した今後の防災に関する気象情報の高度化に向けて，メタバース等の DX 技術を活用した防災情報において必要と考えられる課題や解決に向けた手段について試行的に検討した．以降に，本研究で得られた成果を要約する．

1) 降雨情報（降雨強度）に関する理解度について，VR を用いた被験者（ただし，降雨等に起因した土砂災害に関する学術学会への参加者：36 名）へのアンケート結果によると，降雨強度が増加するに伴って，降雨の特徴に関する理解度が低下する可能性が示唆された．
2) 降雨時における風速の変化による影響等について考慮し，降雨等実験装置を用いた被験者（一般人：29 名）へのアンケート結果によると，降雨と風が組み合わされた複合の現象の場合，定義された各現象の特徴と体感が顕著に異なる可能性が示唆された．
3) 最後に，降雨強度や風速に関する予測情報を組み合わせて，メタバース等の DX（VR）により分かりや

すく表現した気象情報の高度化について提案した.

謝辞：本研究を進めるに際して，多くの方々にアンケートヒアリングのご協力を頂いた．また，本研究の一部は一般財団法人 VR 推進協議会（代表：伊藤 裕二）の研究助成の下で行われた．末筆ながら記して謝意を表す.

NOTES

注1) Stephenson, N.: Snow Crash, 576p., 1992.
注2) 服部　桂：VR 原論，翔泳社，368., 2019.
注3) Acceleratаion Studies Foundation; http://metaverseroadmap.org/（2023 年 10 月 7 日閲覧）.
注4) 国土交通省：https://www.mlit.go.jp/plateau/（2023 年 10 月 7 日閲覧）.
注5) 国土地理院：地図・空中写真閲覧サービス https://www.gsi.go.jp/（2023 年 10 月 7 日閲覧）.
注6) 土砂災害防止法令の解説（改訂 3 版），全国治水砂防協会，480p.，2022.
注7) 気象庁：https://www.jma.go.jp/jma/index.html（2023 年 10 月 7 日閲覧）.
注8) 人間中心設計に関する国内規格（2021 年版），JIS Z 8530:2021.

REFERENCES

1) 舘　暲，佐藤　誠，廣瀬通隆：バーチャルリアリティー学，日本バーチャルリアリティー学会，408p.，2011. [Tate, A., Sato, M., and Hirose, M.: Virtual Reality Science, *Japan Virtual Reality Society*, 408p., 2011.]
2) Lohmann, G.: Volumetric image analysis, *Born digital*, 216p., 2009.
3) 原田紹臣，石原孝雄，筒井　健，市川真弓：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. [Harada, N., Ishihara, T., Tsutsui, K., and Ichikawa, M.: Applicability of building and terrain models using photographs by high-resolution satellite groups in virtual reality space, *Civil Information Science Symposium*, Vol. 42, pp. 13-14, 2017.]
4) 草野慎一：水災害におけるリスクコミュニケーション，河川，Vol. 916，pp. 3-8，2017. [Kusano, S.: Risk communication in water disasters, *Rivers*, Vol. 916, pp. 3-8, 2017.]
5) 田中洋介：国土交通省が推進するインフラ分野の DX，建設マネジメント，Vol.529，pp. 8-11，2022. [Tanaka, Y.: Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism's promotion of DX in the infrastructure field, *Construction Management*, Vol. 529, pp. 8-11, 2022.]
6) 大坂和博：インフラ DX を支える国家座標，建設マネジメント，Vol. 529，pp. 29-32，2022. [Osaka, K.: National coordinates supporting InfraDX, *Construction Management*, Vol. 529, pp. 29-32, 2022.]
7) 玄葉　誠，原口哲之理，青木宏文，田中貴紘：大型 5 面立体視ドライビングシミュレータによる人間自動車系の研究，自動車技術会論文集，pp. 789-794，2015. [Genba, M., Haraguchi, T., Aoki, H., and Tanaka, T.: study of the human-vehicle system by a driving simulator with stereoscopic vision of five large screens, *Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan*, pp. 789-794, 2015.]
8) 清水駿太，後藤秀典，須長順行：ドライビングシミュレーションにおける走行，交通，道路構造のバーチャルリアリティ最適モデリングの考察，交通工学研究発表会論文集，4p.，2010. [Shimizu, S., Goto, H., and Sunaga, J.: Consideration on optimal modeling of driving, traffic, and road structure in driving simulation using virtual reality, *Traffic Engineering Research Presentation Collection*, 4p., 2010.]
9) 福田知弘，灘　英樹，足立晴夫，清水駿太，武井千雅子：Structure from Motion により生成した三次元モデルを含む 都市空間 Virtual Reality の構築，第 39 回情報・システム・利用・技術シンポジウム，日本建築学会，pp. 133-136，2016. [Fukuda, T., Nada, H., Adachi, H., Shimizu, S., and Takei, C.: Construction of urban space Virtual Reality including a 3D model generated by Structure from Motion, *39th Information, System, Use, Technology Symposium, Architectural Institute of Japan*, pp. 133-136, 2016.]
10) 黒田奈那，山口弘誠，中北英一：線状降水帯豪雨予測に向けた水蒸気のアンサンブル予測情報の更新履歴解析，水文・水資源学会研究発表会要旨集，Vol. 32, 2019. [Kuroda, N., Yamaguchi, H., and Nakakita, E.: Analysis of update history of ensemble forecast information of water vapor for linear precipitation zone heavy rain forecast, *Hydrometeorology and Water Resources Society Research Presentation Abstract Collection*, Vol. 32, 2019.]
11) 寺田秀樹，中谷洋明：土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法，国総研資料，No.5，58p.，2001. [Terada, H., and Nakatani, Y.: Method of setting warning and evacuation standard rainfall for sediment disasters, *National Research Institute of Civil Engineering*, No. 5, 58p., 2001.]
12) 今泉文寿，小山内信智，加藤真雄，小池　優，小杉賢一朗，坂井佑介，坂口　宏，里深好文，高山翔揮，田中隆文，西陽太郎：令和 3 年 7 月静岡県熱海市で発生した土石流災害，砂防学会誌, Vol. 74, No. 5, pp. 34-42，2022. [Imaizumi, F., Osanai, N., Kato, M., Koike, Y., Kosugi, K., Sakai, Y., Sakaguchi, H., Satofuka, Y., Takayama, S., Tanaka, T., and Nishi, Y.: Debris flow disaster in Atami, Shizuoka Prefecture, in July 2021, *Journal of the Sabo Society*, Vol. 74, No. 5, pp. 34-42, 2022.]
13) 原田紹臣，藤本将光，里深好文，水山高久，松井保，武井千雅子：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：iHazard map project，土木学会 AI・データサイエンス論文集, Vol. 4，No. 2，pp. 102-113，2023. [Harada, N., Fujimoto, M., Satofuka, Y., Mizuyama, T., Matsui, T., and Takei, C.: Practical efforts to enhance hazard maps using the metaverse: iHazard map project, *Artificial Intelligence and Data Science*, Vol. 4, No. 2, pp. 102-113, 2023.]
14) 本間基寛：情報利用者の立場から見た防災気象情報の「改善」，災害情報，Vol. 12，pp. 35-40，2014. [Honma, M.: "Improvement" of disaster meteorological information from the standpoint of information users, *Disaster Information*, Vol. 12, pp. 35-40, 2014.]
15) 戸田圭一，石垣泰輔，菊池未紗，畠野睦大，馬場康之：氾濫時の自転車による避難に関する体験実験，

河川技術論文集，Vol. 20，pp. 409-412，2014. [Toda, K., Ishigaki, Y., Kikuchi, M., Hata-no, M., and Baba, Y.: Experimental study on evacuation by bicycle during flooding, *Advances in River Engineering*, Vol. 20, pp. 409-412, 2014.]

16) Erstad, E., Hopcraft, R., Harish, A.V., and Tam, K.: A human-centred design approach for the development and conducting of maritime cyber resilience training, *WMU Journal of Maritime Affairs*, Vol. 22, pp. 241-266, 2023.
17) Rigby, J.M., and Preist, C.: Towards user-centred climate services: the role of human-computer interaction, *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, No. 538, pp. 1-14, 2023.
18) 黒須正明，松原幸行，八木大彦，山崎和彦：人間中心設計の基礎，近代科学社，296p.，2013. [Kurosu, M., Matsubara, Y., Yagi, H., and Yamasaki, K.: Basics of human-centered design, *Modern Science Publishing*, 296p., 2013.]
19) 原田紹臣，山田菊子，越健太郎，嶌田佐俊，杉原良太郎，宮内　泉：人間中心設計(HCD)に着眼した舗装の要求性能に関する基礎的な検討，土木計画学研究・講演集，Vol. 67，9p.，2023. [Harada, N., Yamada, K., Koshi, K., Shimada, S., Sugihara, R., and Miyauchi, I.: Basic consideration on the required performance of paving with a focus on human-centered design (HCD), *Civil Engineering Planning Research and Lecture Collection*, Vol. 67, 9p., 2023.]
20) Twomlow, A., Grainger, S., Cieslik, K., Paul, J.D., and Buytaert, W.: A user-centred design framework for disaster risk visualization, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 77, No. 77, 2022.
21) Dai, Q., Zhu, X., Zhuo, L., Han, D., Liu, Z., and Zhang, S.: A hazard-human coupled model (HazardCM) to assess city dynamic exposure to rainfall-triggered natural hazards, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 127, No. 104684, 2020.
22) 房前和朋：建設分野のメタバース・デジタルツインの活用，建設マネジメント技術，Vol. 529，pp. 51-55, 2022. [Husamae, K.: Utilization of metaverse and digital twins in the construction field, *Construction Management Technology*, Vol. 529, pp. 51-55, 2022.]
23) Harada, N., Akazawa, F., Hayami, S., and Satofuka, Y.: Prediction of runoff characteristic due to irrigation tank overflow, *Journal of JSCE*, Vol. 2, No. 1, pp. 94-101, 2014.
24) 大津宏康，梅川祐一郎：社会経済的損失を考慮した豪雨時の事前通行規制に関する検討，建設マネジメント研究論文集，Vol. 15，pp, 1-11，2008. [Ootsu, H. and Umekawa, Y: a proposal on establishment of early traffic warning systems against heavy rainfall based on social economic losses, *Journal of Construction Management, JSCE*, Vol. 15, pp, 1-11, 2008.]

ENHANCING METEOROLOGICAL INFORMATION BASED ON HUMAN-CENTERED DESIGN: THE IHAZARD MAP PROJECT

Norio HARADA, Kiko YAMADA-KAWAI, Yoshifumi SATOFUKA, Takahisa MIZUYAMA and Chikako TAKEI

With recent advances in meteorological observation and forecasting techniques, there are growing expectations that disaster damage can be mitigated through advanced meteorological forecasts. Specifically, efforts concerning the prediction of linear precipitation zones, which cause sediment and flood disasters, are underway. Providing information from the perspective of typical residents and other information users who use these prediction results is crucial. The authors have been working on the iHazard map project, with the goal of providing clear disaster-related information by leveraging the latest metaverse and virtual reality (VR) technologies. Currently, the Japan Meteorological Agency provides region forecast information on rainfall intensity and defines the intensity and characteristics of the rainfall separately (e.g., rain as if a bucket has been turned over). However, it is deemed essential to verify the level of understanding of this information and the definitions involved among general information users. In this study, to enhance meteorological information based on human-centered design, we surveyed subjects using virtual spaces (VR and rainfall devices).The results suggested that providing information that combines rainfall intensity and wind speed is crucial.