3D空間データの情報統合ならびに利活用・評価方法に関する検討

白柳　博章[1]　北村　幸定[2]　久保田　誠也[3]

[1]正会員　大阪公立大学工業高等専門学校　総合工学システム専攻(〒572-8572　大阪府寝屋川市幸町 26-12)
E-mail:h-shiroyanagi@osaka-pct.ac.jp
[2]フェロー会員　大阪公立大学工業高等専門学校　総合工学システム専攻(〒572-8572　大阪府寝屋川市幸町 26-12)
E-mail:kitamura@osaka-pct.ac.jp
[3]正会員　摂南大学理工学部都市環境工学科(〒572-8508　大阪府寝屋川市池田中町 17-8)
E-mail: seiya.kubota@setsunan.ac.jp

情報技術の著しい発展とともに，地理情報の3D化・動学化に関する議論が進んできている．本研究では，測量データの中の3D都市モデルデータと点群データ，設計データの中のネットワークデータに着目して，それらの3D空間データの概要や長所・短所について整理する．そして，それらのデータの連携を図る方法について記述した上で，水災害における垂直・水平避難モデルの構築と避難人数の推計に関する防災計画の事例を示す．これにより，防災・減災のまちづくり，コンパクトシティやスマートシティといった昨今求められている防災計画や都市交通計画の課題において，都市空間を立体的に把握・表現し，従来の2Dから3Dへ計画論を発展させ，土木計画論の新たな視点を発掘すべく，情報収集方法・利活用と連携・合意形成ツールといった幅広い視点で議論を行う．

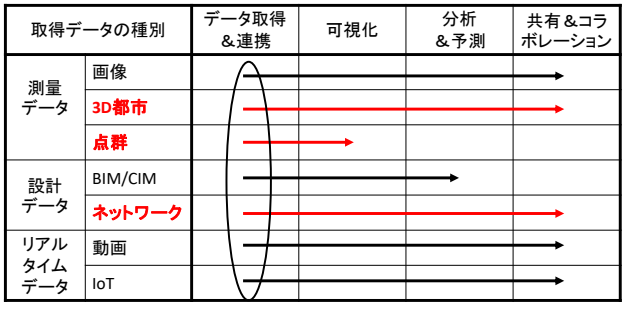
Key Words : *3D Perspective, DX，3D City Model, Point Cloud，Network，Disaster Prevention*

1.　本研究の背景と目的

情報技術の著しい発展とともに，地理情報の3D化・動学化に関する議論が進んできている．3D空間データを利用する利点として，現実世界に近い景観を表現できる点，地物間の位置関係や高さの違いなどの空間的な状況を直感的に理解できる点にあり，インフラの設計・施工・設備の管理・保守の他，リスク管理・生産／物流管理，経営企画・店舗開発・マーケティング・営業といった幅広い分野で活用がなされている．さらに近年ではデジタルツインやデジタルトランスフォーメーション（DX）が注目され，データ取得&連携，可視化，分析&予測，共有&コラボレーション，といった一連の流れにのっとった利活用が重要となってきている．[1)]

しかしながら，測量データ（画像，3D都市，点群データ），設計データ（BIM / CIM，ネットワークデータ），リアルタイムデータ（IoT）といった取得方法の異なる多種多様なデータを，精度を確保しつつ連携・規準化・統合化する手法については，発展途上の段階であると筆者は感じている．表-1のイメージの右→に示すように，取得データに対応した可視化，分析&予測，共有&コラボレーションの進歩は著しいが，データ間の連携が希薄であることは，可視化，分析&予測における連携・統合の困難度が増している大きな要因である．

表-1　取得データの種別と連携以降の流れイメージ



データ間の連携が希薄→後工程における連携･統合の困難度が増加

そこで本研究では，測量データの中の3D都市モデルデータと点群データ，設計データの中のネットワークデータに着目して，それらの3D空間データの概要や長所・短所について整理する．そして，それらのデータの連携を図る方法について記述した上で，可視化・分析をした事例を示す．具体的には水災害における垂直・水平避難モデルの構築と避難人数の推計に関する防災計画で

ある．これにより，防災・減災のまちづくり，コンパクトシティやスマートシティといった昨今求められている防災計画や都市交通計画の課題において，都市空間を立体的に把握・表現し，従来の2Dから3Dへ計画論を発展させ，土木計画論の新たな視点を発掘すべく，情報収集方法・利活用と連携・合意形成ツールといった幅広い視点で議論を行いたい．

2. 3D空間データの概要と長所・短所

(1) 3D都市モデルデータ

国土交通省では2020年度末に全国56 都市の3D都市モデルのデータ整備がなされ[2]，2022年度末現在では，表-2に示すように34都道府県123市区町村に拡張・更新がなされている[3]．特徴として静岡県が進める VIRTUAL SHIZUOKA構想[4]から静岡県の市町村での整備が30ある．また3D都市モデルを使用した社会課題の解決の実証実験も各地で行われており，そのUse Caseを表-3に示す[5]．不動産IDとのマッチングシステムが全国66市区町，災害リスクの3D可視化が全国48都市で導入されるなど，都市・交通・防災等での利活用が進んできている．可視化例として，大阪市のPLEATAUに掲載されている建物データを図-1に示す．

長所として，基本となるデータ属性が統一されているため，データ比較や統合が容易である．また，それぞれの都市でUse Caseが実施されているため，可視化や分析&予測，共有&コラボレーションといった事例が豊富にあり，基本Open情報のため利活用が容易である．



図-1 PLATEAU建物データを図化（大阪市）

(2) 点群データ

従来の測地測量（GPS/GNSS），地形測量（平板，写真，航空）から，3Dレーザで高精度の点群データ（3次元空間情報）をすばやく取得するMMS測量への移行が進むとともに，UAV（ドローン）技術，LidarSLAM技術による手持ち型や装着型のレーザスキャナ等の技術により，さまざまな場所での3D空間把握を行うことが可能になってきている[6]．可視化例として，GoPro MAX (360°モード)で撮影した動画像を点群化したデータを図-2に示す．

長所として，点群はレーザーの届く範囲のもの全ての点のデータ（XYZ座標・RGB値）を同時に多量に取得でき，点と点の距離を現場に行かなくても計測可能である．

短所として，道路地物のデータ取得が求められている場合，必要な個所の点データが取得できているかどうかを随時確認する必要がある．また全ての点のデータを取得できるがゆえに，データの重複や必要のないデータを削除するのに手間がかかる．そして，点の属性を決定するのに困難を伴い，現段階では点群データから3DCAD図面を作成する際には，人の手や経験則によるところが大きい．それゆえに表-1に示したように点群そのものを可視化するツールは多数存在するものの，点群データを使用して何か分析&予測する段階には至っていない．



図-2 GoPro MAX での動画像を点群化（寝屋川市）

(3) ネットワークデータ

都市交通計画の基礎となる道路のネットワークデータとして，一般財団法人日本デジタル道路地図協会（DRM協会）が提供するDRM-DBがある[7]．DRM-DBには日本全国の概ね幅3m以上の道路のノードならびにリンクの基本データが格納されている．可視化例として，図-3に寝屋川市の3D道路ネットワークを示す．

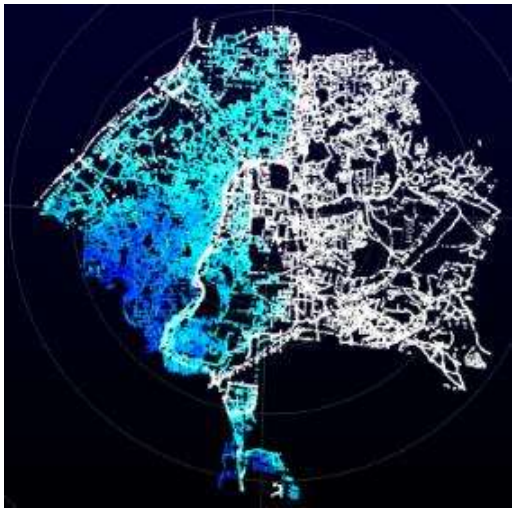


図-3 3D道路ネットワーク図（大阪府寝屋川市）
（ノードの標高により色分け）

表-2　3D 都市モデルの都道府県別市町村別データ整備状況（数字は年度にデータ整備）[3)]

	都道府県	市町村数	市町村名		都道府県	市町村数	市町村名
1	北海道	3	札幌市：2020、 更別村：2022、 室蘭市：2022	23	愛知県	7	安城市：2020、 岡崎市：2020、 春日井市：2022、 津島市：2020、 豊川市：2022、 名古屋市：2020、 日進市：2022
2	青森県	1	むつ市：2022	24	三重県	2	熊野市：2022、 四日市市：2022
3	岩手県	1	盛岡市：2022	26	京都府	1	京都市：2022
4	宮城県	1	仙台市：2022	27	大阪府	9	池田市：2020、 大阪市：2020, 2022、 柏原市：2022、 河内長野市：2022、 堺市：2022、摂津市：2020、 高槻市：2020、 忠岡町：2020、 豊中市：2020
7	福島県	4	いわき市：2020、 郡山市：2020、 白河市：2020、 南相馬市：2022	28	兵庫県	2	朝来市：2022、 加古川市：2020
8	茨城県	2	鉾田市：2020, 2022、 つくば市：2022	30	和歌山県	2	太地町：2021、 和歌山市：2022
9	栃木県	1	宇都宮市：2020	31	鳥取県	1	鳥取市：2020
10	群馬県	2	桐生市：2020、 館林市：2020	33	広島県	5	海田町：2021、 呉市：2020、 広島市：2022、 福山市：2020、 府中市：2022
11	埼玉県	6	熊谷市：2020、 さいたま市：2020, 2022、 戸田市：2022、 新座市：2020、 蓮田市：2022、毛呂山町：2020	37	香川県	1	高松市：2022
12	千葉県	3	柏市：2020、 茂原市：2022、 八千代市：2022	38	愛媛県	1	松山市：2020
13	東京都	4	東京都23区：2020, 2022、 西東京市：2022、 八王子市：2020（南大沢のみ）, 2022、 東村山市：2020	40	福岡県	6	飯塚市：2020、 うきは市：2022、 北九州市：2020、 久留米市：2020、 福岡市：2022、 宗像市：2020
14	神奈川県	5	川崎市：2020, 2022、 相模原市：2020、 箱根町：2020、 横須賀市：2020、 横浜市：2020, 2022	41	佐賀県	5	大町町：2022、 小城市：2022、 江北町：2022、 白石町：2022、 武雄市：2022
15	新潟県	1	新潟市：2020, 2022	43	熊本県	4	荒尾市：2020、 熊本市：2020, 2022、 玉名市：2020、 益城町：2020
17	石川県	2	加賀市：2020, 2021, 2022、 金沢市：2020	44	大分県	1	日田市：2020
19	山梨県	1	甲府市：2022	45	宮崎県	1	延岡市：2022
20	長野県	5	伊那市：2020、 岡谷市：2020, 2022、 佐久市：2022、 茅野市：2020, 2022、 松本市：2020	47	沖縄県	1	那覇市：2020
21	岐阜県	2	岐阜市：2020, 2022、 美濃加茂市：2022		34都道府県123市区町村（東京23区は1とカウントする）		
22	静岡県	30	熱海市：2022、 伊豆市：2022、 伊豆の国市：2022、 伊東市：2022、 磐田市：2022、御前崎市：2022、 小山町：2022、 掛川市：2020、 河津町：2022、 函南町：2022、菊川市：2020、 湖西市：2022、 御殿場市：2022、 静岡市：2022、 清水町：2022、下田市：2022、 裾野市：2022、 長泉町：2022、 沼津市：2020, 2021、 東伊豆町：2022、袋井市：2022、 富士市：2022、 藤枝市：2022、 富士宮市：2022、牧之原市：2022、三島市：2022、 南伊豆町：2022、 森町：2022、 焼津市：2022、 吉田町：2022				

表-3　3D 都市モデルの Use Case（2023/10/11 時点に HP に記載）[5)]

	市町村	Use Case例		市町村	Use Case例		市町村	Use Case例
0	全国66市区町	3D都市モデル・不動産IDマッチングシステム	13	東京都新宿区・渋谷区	3D都市モデルを活用した高精度デジタルツインの構築	22	静岡県沼津市	3D都市モデルに最適化したVPSの開発v3.0
0	全国48都市	災害リスク情報の3D可視化	13	東京都千代田区	地下埋設物データを活用した都市開発のDX	22	静岡県沼津市	自動運転車両の自己位置推定におけるVPS ver2
0	全国8都市	3D都市モデルの更新優先度マップ	13	東京都千代田区	ヒートアイランド・シミュレーション	22	静岡県沼津市	3D都市モデルを基礎としたIDマッチング基盤
1	北海道札幌市	屋内センサーによる人流モニタリング	13	東京都千代田区	センサー配置シミュレーション	22	静岡県沼津市	プローブパーソン調査を活用したスマート・プランニング
1	北海道札幌市	空間認識技術を活用したAR観光ガイド	13	東京都千代田区/東京都港区	地下街データを活用したナビゲーションシステム	23	愛知県安城市	既設カメラ画像のAI解析による人流・交通流モニタリング
4	宮城県仙台市	AIを用いた3D都市モデルの自動更新手法の開発	13	東京都千代田区/東京都中央区/東京都港区	都市高速道路管理の効率化	23	愛知県岡崎市	高度な浸水シミュレーション
4	宮城県仙台市宮城野区	市民協働による樹木管理DX	13	東京都中央区	ゲーミフィケーションを通じた地域の魅力発信	23	愛知県豊川市	ドローン最適ルートシミュレーション
7	福島県郡山市	垂直避難可能な建築物の可視化等を踏まえた防災計画検討	13	東京都日本橋	地域エネルギーマネジメント支援システム	23	愛知県名古屋市	都市計画基礎調査情報を活用した都市構造の可視化
8	茨城県鉾田市	ゲーミフィケーションによる参加型まちづくりv2.0	13	東京都八王子市/広島県広島市	XR技術を活用した市民参加型まちづくり等v2.0	23	愛知県名古屋市/東京都西東京市	3D都市モデルを活用した気候変動影響シミュレーション
9	栃木県宇都宮市	ソーシャルディスタンシング判定技術	13	東京都板橋区	ARを活用した災害リスク可視化ツール	26	京都府京都市	歴史・文化・営みを継承するメタバース体験の構築
9	栃木県宇都宮市/宮城県仙台市	都市構造シミュレーションv2.0	14	神奈川県横須賀市	沿道状況センシングシステムの開発	27	大阪府堺市	3D都市モデルとBIMを活用したモビリティ自律運航システム（ドローン）v2.0
11	埼玉県さいたま市/埼玉県熊谷市/神奈川県川崎市	ドローンによる建築物外壁検査の支援	14	神奈川県横浜市	タンジブルインターフェースを活用した住民参加型まちづくり等	27	大阪府摂津市	3D都市モデルプラグイン共有プラットフォーム
11	埼玉県熊谷市	風・温熱環境シミュレーションを活用したスマートタウン適地選定	14	神奈川県横浜市	壁面太陽光発電のポテンシャル推計	27	大阪府大阪市	ウォーカブルな拠点整備を目指した都市開発に伴う歩行者量変化の可視化
11	埼玉県蓮田市	住民個人の避難行動立案支援ツール	14	神奈川県横浜市	災害廃棄物発生量シミュレーション	27	大阪府大阪市	都市空間の統合デジタルツインの構築
12	千葉県茂原市	河川整備効果の見える化	14	神奈川県横浜市	ローカル5G電波シミュレーションを活かした基地局配置計画	27	大阪府大阪市	工事車両の交通シミュレーションVer2
13	東京都	容積率可視化シミュレータ	14	神奈川県横浜市	XR技術を用いた体感型アーバンプランニングツール	27	大阪府大阪市/神奈川県横浜市	3D都市モデルとBIMを活用したモビリティ自律運航システム（車両）v2.0
13	東京都港区	ストーリーテリング型GISを用いたエリアマネジメントの高度化	14	神奈川県横浜市	大規模複合施設における人流カウントと建物屋内モデルを用いた可視化	28	兵庫県朝来市	雪害対策支援ツール
13	東京都港区	デジタルツインを活用したXRコンテンツ開発プラットフォーム	14	神奈川県横浜市	XRを活用した観光バスツアー	28	兵庫県姫路市	下水熱利用促進のためのマッチングシステム
13	東京都港区	防災エリアマネジメントDX	14	神奈川県川崎市/大阪府大阪市	3D都市モデルとBIMを活用したモビリティ自律運行システム	31	鳥取県鳥取市	地域防災支援プラグイン
13	東京都港区	まちづくり教育ツール	15	新潟県上越市	ドローンを用いたインフラ管理システム	31	鳥取県鳥取市	時系列浸水シミュレーションデータの3D可視化による防災計画立案・防災意識啓発
13	東京都港区	エリアマネジメントのデジタルツイン化Ver2	15	新潟県長岡市	公園管理のDX	33	広島県広島市	エリアマネジメント・ダッシュボードの構築v2.0
13	東京都港区	屋内外をシームレスに繋ぐ避難訓練シミュレーション	17	石川県加賀市	カーボンニュートラル推進支援システム	34	岡山県備前市	精緻な土砂災害シミュレーション
13	東京都渋谷区	都市AR空間とメタバースの連携プラットフォーム	17	石川県加賀市	太陽光発電のポテンシャル推計及び反射シミュレーション	37	香川県高松市	都市OSと連携した都市政策シミュレーション
13	東京都渋谷区	広告効果シミュレーションシステム	17	石川県加賀市/東京都	物流ドローンのフライトシミュレーション	38	愛媛県松山市	交通事故発生リスクのAI評価・可視化による事故の未然防止
13	東京都渋谷区	ウォーカブルな空間設計のためのスマート・プランニング	19	山梨県甲府市	ドローンリアルタイム・ナビゲーションシステム	38	愛媛県松山市	景観まちづくりDX
13	東京都渋谷区	防犯設備設置計画支援ツール	20	長野県茅野市	開発許可のDXv2.0	38	愛媛県松山市/東京都江東区	レーザーセンサーによる高精度でリアルタイムな人流計測
13	東京都渋谷区	都市空間におけるAR/VRでのサイバー・フィジカル横断コミュニケーション	20	長野県茅野市	都市空間に関する情報の集約による行政事務の効率化	40	福岡県大牟田市	人工衛星観測データを用いた浸水被害把握
13	東京都新宿区	3D都市モデル、BIMモデル、空間IDを統合した都市開発支援ツールの開発	21	岐阜県岐阜市	まちなかウォーキングのための健康アプリ	40	福岡県北九州市	スマートフォンなどが発する電波（Wi-Fiと4G/LTE）を活用した混雑状況モニタリング
13	東京都新宿区	歩行者移動・回遊行動シミュレーション	21	岐阜県岐阜市	Wi-Fiパケットセンサーによる地点間移動のモニタリング	41	佐賀県武雄市	損害保険支払い作業の迅速化等
13	東京都新宿区	バーチャル都市空間における「まちあるき・購買体験」	22	静岡県掛川市	三次元データを用いた土砂災害対策の推進	43	熊本県熊本市	徒歩及び車による時系列水害避難行動シミュレーション
13	東京都新宿区	カメラ映像の解析による混雑状況の可視化				47	沖縄県那覇市	異なるモニタリング技術の併用による人流解析

長所として，ネットワーク性を有するため，カーナビや道路管理用システムで，付加価値の高い情報処理（最短経路検索等）を行うことが可能である．

3. 3D空間データの融合・利活用に向けての課題

2章で(1)3D都市モデル，(2)点群，(3)ネットワークの各データの概要を記述したが，(2)点群データの利活用については課題がある．

それは，詳細な 3 次元空間情報(点群データ)を目的物に合致する点群を選択した上で，目的物に合わせていかに適切かつ迅速にライン化・ポリゴン化するか，ということである．これは点群データから BIM/CIM[8]で活用されている 3DCAD データへ自動的に置換できるか，という課題である．これについては，今後人工知能(AI)における深層学習(deep learning)を用いた画像解析による判定技術の進展により，自動化が進むものと考える．また，道路の設計・施工にあたり 3DCAD の設計図面が既に作成されていれば，それを参考に点群データとマッチングすることにより，現況 3DCAD 図面を作成することが容易になると考える．

4. 分析事例

本章では，(1)3D都市モデル，(3)ネットワークデータを融合させ，津波・高潮といった水災害に対する垂直水平避難モデル・シミュレーションの提案と防災避難計画への適用についてのUse Caseを示す．

評価対象地区は，大阪市此花（このはな）区役所がある春日出北（かすができた）１丁目を対象にして避難人数の推計を，以下の①～④の手順で行っていく．図-4は当該地区の建物・道路状況を(1)3D都市モデル，(3)ネットワークデータを融合させて3D図示したものである．

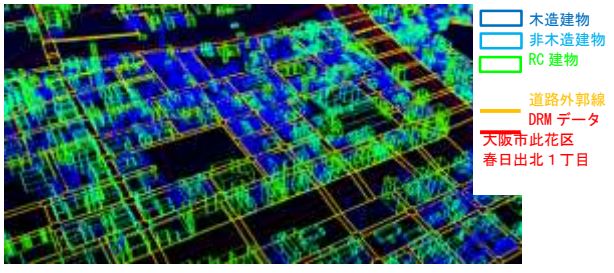


図-4　2D・3Dデータの融合（道路ネットワークデータ，建物敷地・高さ・道路外郭線データ）

① 避難対象建物の特定

PLEATAUデータにより，避難地域内における建物の配置・面積・階数（ミクロ視点）を特定する．

② 避難対象建物内での安全な階の特定

PLEATAUデータにおいて，建物における水災害ごとの最大浸水深，浸水時間といったデータがある場合には，最大浸水深より上に位置する階＝建物内での安全な階，と判定する．

③ 垂直・水平避難行動のモデル化

②で判定した安全な階にいる人々については水災害時には安全な階にとどまってもらうことが最もリスク最小な行動となる．それ以外の人々については，②安全な階 or④避難所に向けて垂直・水平避難行動を行うこととなるが，その際には避難時間が最小，または避難時間×リスクが最小となるように，適切な②安全な階 or④避難所，を選択することとなる．

④ 避難所計画における適切な収容人数の算定

③により，避難所へ避難する人数を算定することにより，避難所計画においてより現状に即した収容人数の算定を行う．

図-5に垂直・水平避難行動モデルのイメージを示す．

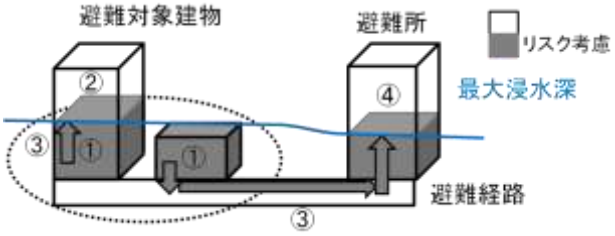


図-5　垂直・水平避難行動モデルのイメージ

(1) 建物軒数ならびに昼間・夜間人口

当地区の昼間人口は1,777人（夜間人口は1,403人），建物軒数は 530 軒である．建物のうち 1 階建てが 50 軒，2 階建てが 311 軒，3 階建てが 129 軒，4 階建て以上が 40 軒であり，住宅地と商業地が混合した地区である．

(2) 津波・高潮により想定される最大浸水深

建物ごとに津波・高潮により想定される最大浸水深がデータ化されている．津波では平均値は 4.16m，最大で 5.08m，高潮では平均値は 7.42m，最大で 8.45m である．なお，地盤標高の平均値は-1.78m で，最小は-2.36m，最大は 2.47m と，概ね海抜 0m を切るエリアとなっている．

(3) 安全な階が存在する建物軒数

4 階建て以上の建物 40 軒については，津波・高潮とも安全な階が必ず存在している．3 階建ての建物 129 軒のうち 2 階もしくは 3 階が安全な階と判定されたのは津波で 126 軒，高潮で 28 軒，2 階建ての建物

311 軒のうち 2 階が安全な階と判定されたのは津波で 54 軒，高潮で 2 軒であった．

(4) 既に安全な階にいる人数，安全な階へ避難する人数，避難所へ避難する人数の算出

建物ごとに図形面積が記載されており，建物の階ごとの面積は図形面積に等しいと仮定し，さらに昼間人口を図形面積に応じて建物の階ごとに割り振った．避難形態として，A) 既に安全な階にいる人はその場所にとどまる，B) 安全な階が存在する建物にいるがその場所が安全でない人は，上の階に垂直避難する，C) 安全な階が存在しない建物にいる人は，避難所へ垂直・水平避難する，を仮定した．

その結果，図-6 に示すように，津波で A)661 人，B)574 人，C)542 人，高潮で A)356 人，B)385 人，C)1036 人と算定された．地区の人数に占める避難所へ避難すべき人数の割合は津波で 30.5%，高潮で 58.3%となった．

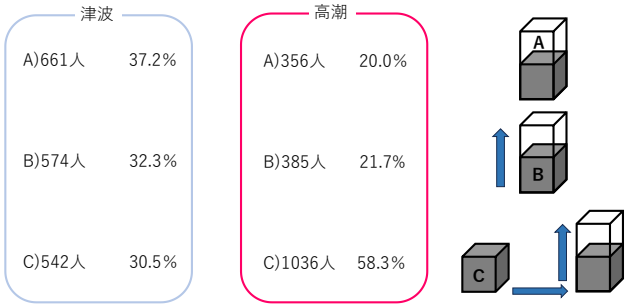


図-6 津波・高潮における避難形態と人数

(5) 垂直・水平移動距離の算出

講演時に発表予定である．

5. 成果まとめと今後の展望

本研究では3D都市モデルデータ，点群データ，ネットワークデータに着目して，それらの3D空間データの概要や長所・短所について整理した．そして，それらのデータの連携を図る方法について記述した上で，Use Caseとして津波・高潮における垂直・水平避難モデルの構築と避難人数の推計を大阪市此花区を対象にして行った．

今後の展望として，防災計画・避難行動を3Dで可視化・評価することは，表-3でのUse Caseで示すように地方自治体・住民の要望が非常に高い．それゆえに種々のデータを組み合わせて要望に応える研究活動を行っていきたい．

そのためには，PLEATAUデータに組み込まれている建物ごとの浸水深が時間ごとにどのように変化するかをシミュレーション結果と突き合わせることが必要となる．すなわち3Dデータとシミュレーションとの融合も土木計画の3D化・動学化を進めるにあたり求められる要件となる．

謝辞：本研究は一般財団法人日本デジタル道路地図協会（DRM 協会）の令和 5 年度研究助成を受けたものです．関係各位に深く御礼申し上げます．

参考文献(URLについては全て2023/10/13確認)

1) GISのビジネス活用がよ～くわかる本：ESRIジャパン株式会社著，株式会社秀和システム，2022.11
2) 3D都市モデル：国土交通省HP, https://www.mlit.go.jp/plateau/learning/
3) 3D都市モデル（Project PLATEAU）ポータルサイト：G空間情報センターHP, https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/plateau
4) 静岡県が進める VIRTUAL SHIZUOKA構想 とは？：静 岡 県 HP ， https://www.pref.shizuoka.jp/machizukuri/1049255/1052183.html
5) 3D都市モデルUse Case：国土交通省HP, https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/
6) 一般社団法人 全国測量設計業協会連合会HP, https://zensokuren.or.jp/survey-planing-about
7) 一般財団法人日本デジタル道路地図協会（DRM協会）HP，https://www.drm.jp/
8) BIM/CIM関連：国土交通省HP, https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000037.html

(? 受付)

STUDY ON THE INFORMATION COLLECTION, UTILIZATION AND EVALUATION METHODS OF 3D SPATIAL DATA

Hiroaki SHIRAYANAGI, Yukisada KITAMURA and Seiya KUBOTA