

## 都市のデジタルツインの展望と課題：欧州のプロジェクトを概観して

*Opportunities and Challenges for Digital Twin for Cities: Exploring Projects in EU*原口正彦<sup>1</sup>

By Masahiko HARAGUCHI

## 1 はじめに

デジタル化は、私たちの生活のあらゆる面で進行中である。新興技術であるデジタルツインは、物理的システムをデジタル上に再現した、言わば「生きている仮想モデル」という特徴を持つ (Ketzler ら、2020)。その技術は、製造業や建設業 (Harwood & Eaves、2020)、気候や地球システム (Voosen、2020)、医療 (Liu ら、2019) など、さまざまな分野で広く導入されており、都市も例外ではない。近年、国や地方自治体、大手テック企業が、都市計画や建築環境にデジタルツイン技術を適用するようになってきており、シティ・デジタル・ツイン (CDT) と呼ばれる分野が注目を浴びている (Ketzler ら、2020)。

CDTは、データ、分析、計算技術を用いて作成された都市の物理的資産、景観、および人間活動の仮想複製である。CDTを作成する過程には、建物や道路など都市の構造物の用途や建設年などの活動情報を定義・付与し、地理空間的特性を変換し、都市空間を再現する過程が含まれる (Lei ら、2023年)。他分野のデジタルツインとは異なり、CDTでは物理的な都市との双方向の相互作用を可能にし、仮想環境内での分析やシミュレーションを実現できる (Lehtola ら、2022年; Lei ら、2023年)。CDTは、都市設計に携わるものにとって、建設プロジェクトの計画や危機管理など、様々な都市計画や将来起こりうる変化の影響を評価する際に必須のツールとなる可能性を秘めている。さらに、シミュレーションと影響評価により、政策決定者は政策の影響を評価し、より望ましい解決策にいたることも大いに期待できる。参加型の市民参画による都市計画、相互運用可能なシステムによる統合的な運用、およびデータアクセスの改善なども期待されている。すでに、世界では、欧州連合、各国政府 (例：シンガポール、日本、中国)、民間企業 (例：シーメンス、マイクロソフト、ダッソー・システムズ)、地方公共団体、お

よび国際機関 (例：世界銀行) は、本技術に着目し研究開発、投資を積極的に行っている。本邦でも、物理空間とサイバー空間を融合させ経済発展と社会課題の解決を目指す「ソサエティ5.0」の実現に向けて、国土交通省が2020年度から「Project PLATEAU」を主導し、官民を挙げての技術開発・普及が行われている。特に、モバイルの位置情報データと人口統計データを組み合わせた人流データを活用することで、街の動態を再現することができ、大きな可能性を秘めている。しかしながら、CDT技術は、新興技術であるがゆえに、技術のガバナンス的側面 (例：プライバシー保護や透明性) の懸念があげられている。そこで、本報告では、EUにおけるCDTプロジェクトをガバナンスの観点から整理し、人流データ・シミュレーションの展望と課題を整理する。これらをもとに、わが国におけるCDTの取り組みへの示唆を整理することを目的とする。

## 2 CDTイニシアチブの分析：概要

本章では、異なるCDTプロジェクトについて、その類似点や相違点を把握するために、住民参加が進んでいるEUのCDTイニシアチブを選定し、比較した。計画段階または実施段階で特徴的な市民参加を促進する以下の5つのプロジェクトを対象として、公表文書や関連する記事の分析を行った。具体的には、i) EUのCDTプロジェクトであるDIGITAL URBAN EUROPEAN TWINS (DUET) の実験都市として、ベルギーのフランダース地方、チェコのプルゼニ、ギリシャのアテネでのデジタルツインと3Dモデル、ii) スイス・チューリッヒ市、iii) 英国の国家デジタルツインプログラム (National Digital Twin program, NDTp)、iv) フランス・ディジョン市のOnDijon、v) オランダの3D BAG、の5つである。

また、学術機関、自治体、民間企業が主導するプロジェクトなど、運営主体に違いがあるものを選択し

<sup>1</sup>ハーバード大学ポストドクトラル・リサーチフェロー (PhD in Earth and Environmental Engineering)

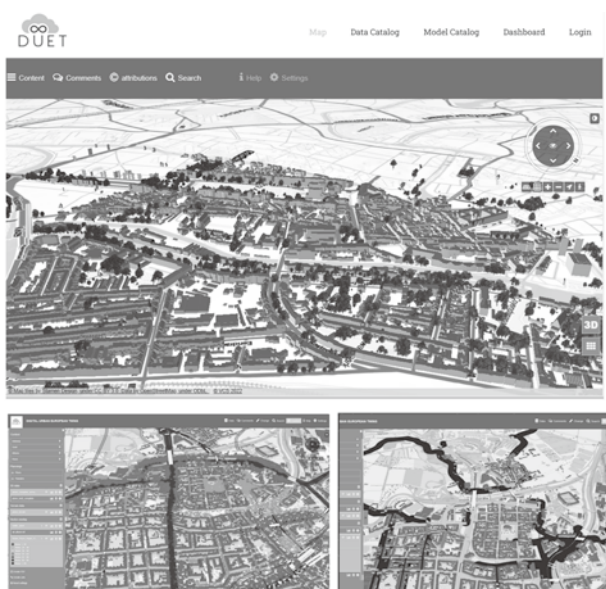


図-1 EUのDUETプロジェクトのCDTの外観とユースケース。上: DUETのCDTの外観。下左: DUET上での騒音シミュレーションの結果。下右: DUET上での大気汚染シミュレーションの結果。

(出典: DUET 2022)

た。これらの多様なプロジェクトを分析することで、データ収集・共有、ステークホルダー間での市民参加など、CDTの実施・ガバナンスを多角的に検証することを意図した。

### (1) 各プロジェクトの目的

各プロジェクトの目的を要約すると、NDTpはデータ開発とフレームワーク構築（デジタル建設イギリスセンター）、DUETはデータ収集、シミュレーション、政策立案、および公共参加（DUET、2022a）に焦点を当てている。また、チューリッヒ市のプロジェクトは、データ収集、シミュレーション、およびデータ公開（Schrotter & Hürzeler、2020）、OnDijonはデータ収集（Metropole）、3D BAGはデータ収集とシミュレーション（3D Geoinformation research group、2022）を目的に掲げていた。

興味深いことに、DUETは、目的とするアウトプットを明示せず、より上位概念であるアウトカムを目的として掲げていた（アウトプットはプロジェクト終了後の成果であり、アウトカムはアウトプットが達成された際にもたらされる効果）。具体的には、i) 共同政策立案のためのデジタルツインアプローチを作成、ii) より効果的な政策実施のためにDTアプローチを実験、iii) 拡張性と移植性を通じて広範囲にわたる効果を保証すること、と目的を定めていた。

一方で、他のプロジェクトではより具体的なアウトプットを伴う目的を示していた。例えば、チューリッヒ市のプロジェクトは、市政府や第三者が3D空間データモデルを環境や都市計画の分野で建設プロジェクトの可視化に使用することを目的として明示していた（Schrotter & Hürzeler、2020）。さらに、フランスのディジョン市のOnDijonは、施設の93%にLED照明を設置して大幅なエネルギー削減を達成すること、公共空間の安全性を向上させ、危機管理時のより良い連携を展開することなど、より具体的な目標を掲げていた（Metropole）。同様に、オランダの3D BAGは、建物のエネルギー利用、風や汚染物質飛散のシミュレーション、騒音公害、新規プロジェクトの評価などにCDTを適用することを目的としていた（3D Geoinformation research group、2022）。

### (2) 収集データの種類

収集データに関してしてみると、NDTpとDUETは、道路交通情報、大気汚染、熱環境、騒音などの環境データに重点を置いていた。一方で、チューリッヒのプロジェクトと3D BAGは、地形や空中写真などの地理情報を中心とし、OnDijonは、交通状況、街灯データ、防犯カメラの映像データなど、市のインフラに関するデータに焦点を当てていた。

人の移動に関する人流データは、都市のダイナミックな性質を考慮するために、都市デジタルツイン技術のための重要なデータソースである（Haraguchiら、2022）。歴史的には、このタイプのデータは国勢調査、移動調査、交通データ、パーソントリップ調査などの方法で収集されてきた。しかし最近では、スマートフォンや公共交通用データの世界標準のデータフォーマットである、標準的なバス情報フォーマット（General Transit Feed Specification, GTFS）などの新しいIoTデータソースも、人流データを収集するために使用されるようになってきている（Haraguchiら、2022）。

CDT技術は、都市プランナーが新しい方法で人流を分析しシミュレーションすることを可能とする。これまでに、機械学習やエージェント・ベース・モデル（Agent-based Model, ABM）などの技術を使用して人流シミュレーションが行われてきたが（Haraguchiら、2022; Yabeら、2022）、これらの技術は特定の技術環境やシナリオに限定されてきた。

表-1 対象としたプロジェクト一覧

プロジェクト名	国・都市	データの種類	活用	管理運営主体	課題	出典
The National Digital Twin program (NDTp)	UK イギリス	建物、インフラ等に設置したセンサー	エネルギー消費 占有 大気汚染 交通情報(流れ、量、速度、経路)	CDBB (Department for Business, Energy & Industrial Strategy, government of UK とケンブリッジ大学のパートナーシップ)	データ整備、 フレームワークの構築	(the Centre for Digital Built Britain)
DIGITAL URBAN EUROPEAN TWINS (DUET)	Flanders ベルギー	地理情報(2Dモデル)、道路交通情報、公共交通機関運行情報、大気汚染情報	交通規制、環境評価	Digitaal Vlaanderen(政府組織) imec(研究開発機関)	情報収集、 シミュレーション、 政策立案、 市民参加	DUET(2022b)
	Pilsen チェコ	地理情報(3D建物モデル)、道路交通情報、公共交通機関運行情報、大気汚染情報、温熱情報、騒音	交通情報(交通量、車両の種類、速度制限)、騒音、都市計画	City of Pilsen(自治体)	情報収集、 シミュレーション、 政策立案	DUET(2022b)
	Athens ギリシャ	地理情報、道路交通情報、公共交通機関運行情報、大気汚染情報	交通情報、健康、環境政策	DEMO(外郭IT企業) GFOSS(ICT系NPO団体)	情報収集、 シミュレーション、 政策立案、 市民参加	DUET(2022b)
The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning	Zurich, Switzerland スイス	LIDARで取得された地形モデル、地積調査による平面図、航空写真測量による屋根形状記録	都市計画、不動産計画の評価、騒音、洪水等のシミュレーション	the City of Zurich(自治体)	データ収集、 シミュレーション、 データ公開	Schrotter and Hürzeler(2020)
OnDijon	Dijon, France フランス	交通機関、インフラの情報、街路灯、防犯カメラ	遠隔操作にて交通・インフラ等の市民サービスを集中管理	Dijon Métropole(自治体)	データ収集	Metropole
3D BAG	Netherlands オランダ	LIDARで取得された高さ情報、地形記録に関するデータセット	エネルギー消費、大気汚染、騒音、都市構造の解析	3D geoinformation research group part of the Delft University of Technology(大学)	データ収集、 シミュレーション	3DGeoinformation research group(2022)

(参照: Haraguchiら、2023)

これに対し、CDT技術は、建物、道路、環境など、様々な情報源からのデータを組み合わせて人流の完全なシミュレーションを実現することができる。これにより、都市プランナーはより包括的な方法で人流を分析し、シミュレーションすることができる。

DUETとOnDijonは、道路交通情報を使用して人流データのモデルを作成した(DUET、2022年b; Metropole)。特に、DUETはこのモデルを使用してシミュレーションを行い、他のシミュレーションデータと組み合わせて危機管理分析や大気汚染などの環境問題に関する決定や政策を実施していた(DUET、2021年9月30日)。

### (3) 技術活用

対象プロジェクトにおけるCDT活用法は多様である。たとえば、DUETはシミュレーション結果を使用して、市民のパブリックコメントを集め、政策立案を支援することを目的としていた(DUET、2021年9月30日、2020年)。一方、チューリッヒ市のプロジェクトは、シミュレーションデータを一般に公開することで、災害防止や汚染対策に対する意識を高めることを目的としていた(Schrotter & Hürzeler、2020

年)。また、3D BAGは研究開発のためにシミュレーションデータを使用することを目的としていた(3D Geoinformation research group, 2022)。

各プロジェクトの計画を比較すると、NDTp、DUET、チューリッヒ市プロジェクト、および3D BAGは、エネルギー消費や大気汚染などの環境問題や都市設計にかかわるような長期的な課題として都市構造の分析を行っていた。一方、OnDijonは市民サービスの改善を目的として設計され、長期的な課題というよりは直近の社会課題の解決に焦点を当てていた(Metropole)。

### (4) 開発者とステークホルダー

CDTの開発には複数のステークホルダーが協働しているが、様々な形態がみられた。1つ目は、公共部門が主導権をとり、他のステークホルダーと共同で開発し、実施するものである。例えば、チューリッヒのプロジェクトはGIS Stadt Zurichによって主導され、チューリッヒ市の25のサービス部門、チューリッヒ工科大学、Fachhochschule Nordwestschweizなどのパートナーと共同実施されていた。データは、公益事業や通信会社などから提供を受け、開発を行ってい

た。

2つ目として、研究機関が主導するプロジェクトが挙げられる。オランダの3D BAGは、デルフト工科大学によって開発が行われていた。

最後は、公共部門、民間企業、学術機関の合同イニシアチブまたはコンソーシアムによるものが挙げられる。例えば、フランスのOnDijonは、23の自治体、コンサルティング会社、エネルギー・エネルギーインフラ会社、水と廃棄物管理会社のイニシアチブによって開発が行われていた。その他の例には、政府と大学が共同で主導するもの（NDTp、フランダース地方のDUET）、民間企業とNPOの合同組織による開発（アテネのDUET）がみられた。

市民参加は、CDTプロジェクトにおいて重要な役割を担い、特にプロジェクトを参加型かつ民主的にする点においても重要である。DUETやチューリッヒのプロジェクト、OnDijonでは、政府が開発に中心的な役割を果たしながらも、同時にゲームやアプリの開発を通じて技術開発や技術利用に市民参加を促進していた。たとえば、OnDijonプロジェクトでは、市民が生成したデータをデジタルモデルに接続することのできるスマートフォンの仕組みを使用して、情報提供者として市民参加を容易にしていた。OnDijonは実装段階では市民参加において高い評価を受けていたが、計画段階では十分に包括的な市民参加がなされなかったため、プロジェクトの目標を達成できなかったとの評価も見受けられた（Nicolas, Kim, & Chi, 2020）。一方、DUETは、アジャイル法（Agile methodology）という手法を用いて計画段階で市民の意見の収集を行っていた（DUET、2020年7月20日）。

### (5) 動的モデル

いくつかのCDTの取り組みでは、時間的な成分を含む可変データ（例えば、交通、空気の質、騒音）を静的データ（例えば、地形や建物）とともにモデル化し、時空間的に動的なモデルを開発している。NDTp、DUET、OnDijonの3つのプロジェクトでは、電力使用量や交通状況などの動的モデルを組み入れていた（DUET、2022a; Metropole; the Centre for Digital Built Britain）。一方、チューリッヒのプロジェクトや3D BAGでは、主に地形や建物などの静的な要素の3Dデジタル化に焦点が当てられていた（3D Geoinformation research group, 2022;

Schrotter & Hürzeler, 2020）。

### (6) 各プロジェクト報告書でとりあげられている課題

動的モデルの作成に焦点を当てたDUETとOnDijonプロジェクトでは、クリエイターとユーザーの間で共通の基盤を見つけることや、個人情報の保護とオープンデータの必要性の調和、そして技術的な課題では、データの統合と取得などが課題として特定されていた。一方、動的モデルを使用しないZürichと3D BAGプロジェクトでは、データの統合と取得などの技術的な課題に直面していた。

動的モデルの開発においては、技術的な課題だけでなく、社会的な課題も考慮する必要がある。これには、個人情報の保護とオープンデータの促進のバランスを取ることや、ステークホルダー間で合意を得ることなどが含まれる。さらに、現在のデータ収集方法は偏りをもたらす可能性があり、ある都市に定住しておらず一時的に滞在している人口（例：来訪者や国際的な季節労働者など、その場所に定住していない人）などの重要な人口セグメントを見逃す恐れがある。この課題が適切に対処されない場合、都市の問題、例えば都市の分断がさらに悪化し、デジタル上でも都市の分断が生じる可能性がある。

## 3 CDTイニシアチブの分析：ガバナンスの観点から

本章では、ガバナンスの下位要素である、透明性、説明責任、社会包摂、市民参加の観点から、対象プロジェクトを比較検討する（Castelnovoら、2016）。

### (1) 透明性

透明性（Transparency）とは、市民にとって情報が利用可能かつアクセス可能である状態を指し、情報が容易に理解できる形をとり、意思決定過程が公開されており市民にとって理解しやすい状態であることを意味する（Jacobs et al., 2020）。本項では、CDTプロジェクトの透明性を以下の2つの方法で比較検討した。

1つ目に、プロジェクトの計画文書が公開されていれば透明性があると定義した。計画文書の公開は、将来のプロジェクトの実施および改善（ガイドラインおよび仕様を含む）に対して情報提供を行っていることと捉えることができるためである。例えば、NDTpは、開発の枠組みに関連する複数の計画を公開していた。公開された

9つの計画と報告書のうち、4つが枠組みに関連しており、英国での国家デジタルツインの原則である Gemni 原則、およびそれを促進する情報管理枠組が含まれる (Centre for Digital Built Britain)。一方、チューリッヒ市のプロジェクトでは計画を見つけることができなかった。

透明性に関する2つ目の項目として、データの利用可能性に注目した。一部のプロジェクトは、データの利用可能性の方針を明示的に発表していた。例えば、2012年以來、チューリッヒ市は公共行政からのデータ提供を、無償ライセンスの下で提供していた。オランダの3D BAGもCC BY 4.0のライセンスで提供していた。

## (2) 説明責任

説明責任 (Accountability) は、意思決定者や実行者が自身の意思決定や実行について説明する義務を意味する (Jacobsら、2020)。今回は、オープンデータライセンスの枠組みやプライバシーに関する規制に基づく CDT 技術の設計と実行がどのように行われているかを検討した。

1つ目に、過去に実行されたプロジェクトに関する説明責任文書として報告書を分析した。DUETは、CDT実装の各領域(データ管理、プライバシー、CDT構築および分析技術)について報告書を公開しており、実証実験の進捗状況報告を定期的に公開し、データ操作および意思決定に関する計画も公開していた (DUET、2022b)。DUETの実証実験は完了し、その結果に関する報告書が公開されていた。さらに、DUETでは、倫理面に関する報告書や政策報告書など、関連する多様な文書が公開されていた。また、チューリッヒ市のプロジェクトでは、利用規約、CDT製品の説明、および公共CDTの技術に関するレポートを公開していた (Stadt Zürich)。

2つ目に、プライバシーに関するガイドラインや標準に関連する文書を分析した。DUETは、景観規制、プライバシー影響評価 (PIA) など、複数の計画やガイドラインを公開していた。DUETおよびOnDijonは、一般データ保護規則 (GDPR) に準拠するとし、倫理とデータガバナンス委員会を設立していた。

## (3) 社会包摂性

社会包摂性 (Social inclusion) とは、CDTプロジェクトがもたらす便益や機会に、周辺化された社会集団 (Socially marginalized groups) や不利な立場にあ

る人々を含めた全ての市民が公平に参加することを指す (van Gils&Bailey、2021)。つまり、それはすべての市民が、CDTが提供するサービスやインフラにアクセスでき、参加する機会を平等に持つことを意味する。昨今の社会の分断を鑑みると重要な課題であるにもかかわらず、CDTの文脈では包摂性がほとんど議論されていないことが判明した。

## (4) 市民参加

市民参加は、市民や関係者が意思決定や実施過程に積極的に関与することを指す。これには、市民がCDTプロジェクトに対して意見やフィードバックを提供する機会を与えられ、市民の意見が反映された意思決定や実施が行われている状態を含む。市民参加は、市民のCDTへの要望や懸念に応えるためにも重要である。ちなみに、前述の包摂性は、経済的地位、性別、人種、民族、宗教に関係なく、広範な都市住民を包括的に扱うことを意味する。一方で、参加は、市の計画や課題において市民の意見を取り入れることや過程を意味し、全市民を包括的に含めた参加、包摂性の高い参加がより望ましい。

CDTに関する市民参加には2種類のものがある。1つはCDTプロジェクトの設計・開発段階における参加、もう1つは、完成したCDTを活用しながら、都市計画の意思決定段階での参加である。DUETは市民にCDTプロジェクトの設計・開発過程に参加させていた。そこでは市民を含む各ステークホルダーと面談し、アジャイル法 (agile methodology) といわれる方法論を用いてCDTに含めるべき機能を特定していた (DUET、2020年7月20日)。市民を含む関係者は、開発計画の初期段階からプロジェクトに参加していた。彼らの視点や意見はCDTの開発優先順位の評価に要約され、考慮されていた。特に、18件の要約された公開意見のうち、12件は市民からのものであった (DUET、2020年7月20日)。

一方、チューリッヒとOnDijonのプロジェクトでは、市民がCDT技術の使用と実装過程に参加することを奨励していた。たとえば、OnDijonでは、スマートフォンアプリを介して入力された情報がデジタルモデルに接続され、市民が情報提供者としての役割を果たしていた (Metropole)。また、チューリッヒのプロジェクトでは、作成されたデジタルモデルを利用したゲームが開発されていた。市民に広くゲームを利用

するよう奨励することで、市民の関心や意見を集め、フィードバックを得ることを狙っていた。実証実験された技術の利点として、自宅で柔軟な時間に参加でき、参加が容易であることが挙げられる (Schrotter & Hürzeler, 2020)。一方で、3D BAGでは市民参加が限定され、NDTpでは市民参加の事例は見当たらなかった。

このようにCDTは、市民にとってよりエビデンスに基づいた意思決定や参加のツールとして役立ち、CDTを通じて市民の参加機会と行政へのアクセスを増やすことが可能となる (Ketzlerら、2020; Schrotter & Hürzeler, 2020)。

## 4 終わりに

本研究は、欧州で進行中のCDTプロジェクトの概要を調査し、人流シミュレーションや技術ガバナンスの観点からCDTの課題を評価したものである。CDTは、近年発展が目覚ましい新技術であり、その概要をつかむことは容易ではない。しかしながら、今回の研究を通じて、EUのプロジェクトから学べる点として、CDTの発展レベルに応じて、データの提供から意思決定まで、市民参加を促進する必要があることが示唆された。これにより、CDTの効果を高め、その技術の社会受容性を向上させることが期待できる。一方、EUのプロジェクトでも社会包摂性に対する十分な取り組みが行われていないことが明らかになった。世界をリードするためにも、わが国のCDTは、積極的に社会包摂性に取り組むべきである。そのためには、建物や地形データだけでなく、社会経済分野を含む多種多様なデータを取り込んでいくべきである。また、プライバシーに配慮しながらも、人流データを取り込み、サイバー空間上で人流のシミュレーションを行うことは、長期的なまちづくりの計画をたてる際に重要である。わが国のCDTは、国土交通省が主導し、都市空間情報デジタル基盤構築支援事業 (PLATEAU補助制度) として進められている。各地方公共団体はこの支援を受けられるが、実施者や開発者向けに、技術開発と制度作りの進捗状況を評価する枠組みが必要となってくる。本研究は結論として、その評価の枠組みとして、成熟度モデル (Maturity Model) が有効であることを指摘する。成熟度モデルは、技術の成熟度、

品質、能力、洗練度、または目標に対する進捗状況を測定するための枠組みである (Becker et al., 2009年; Warnecke et al., 2019年)。成熟度モデルは、CDTの分野外では、スマートシティ (Aljowder, Ali, & Kurnia, 2019年; Warnecke et al., 2019年)、IT業界 (Wendler, 2012年)、交通 (Hausladen & Schosser, 2020年) など様々な分野で、デジタルトランスフォーメーション技術の開発の現状やリスク・機会を評価するために使用されている (Teichert, 2019年)。しかし、CDTに適用される成熟度モデルは未発展であり、CDTに特化した成熟度モデルの必要性が今後ますます高まるであろう。

## 謝辞

本プロジェクトの実施にあたっては、リサーチアシスタントである京都大学大学院博士課程後期舟橋知生さんに多大なご尽力をいただきました。ここに感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Ketzler, Bernd, et al. "Digital twins for cities: A state of the art review." Built Environment 46.4 (2020).
- 2) Harwood, Stephen, and Sally Eaves. "Conceptualising technology, its development and future: The six genres of technology." Technological forecasting and social change 160 (2020).
- 3) Voosen, Paul. "Europe builds 'digital twin' of Earth to hone climate forecasts." (2020).
- 4) Lei, Binyu, et al. "Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey." Automation in Construction 147 (2023).
- 5) Lehtola, Ville V., et al. "Digital twin of a city: Review of technology serving city needs." International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (2022).
- 6) DUET. (2022a). Digital Urban European Twins. Retrieved from <https://www.>

- digitalurbantwins.com
- 7) Schrotter, Gerhard, and Christian Hürzeler. "The digital twin of the city of Zurich for urban planning." *PFG-Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science* 88. 1 (2020) .
  - 8) 3D Geoinformation research group. (2022) . 3D BAG. Retrieved from <https://docs.3dbag.nl/en/>
  - 9) Metropole, D. OnDijon, métropole intelligente et connectée [OnDijon, smart and connected metropolis] . Retrieved from <https://www.metropole-dijon.fr/Grands-projets/Les-grandes-realizations/OnDijon-metropole-intelligente-et-connectee>
  - 10) Haraguchi, Masahiko et al. (2022) . Human mobility data and analysis for urban resilience: A systematic review. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*.
  - 11) Yabe, Takahiro, et al. "Mobile phone location data for disasters: A review from natural hazards and epidemics." *Computers, Environment and Urban Systems* 94 (2022) .
  - 12) DUET. (2022b) . D6.6 Pilot Evaluation Report. Retrieved from [digitalurbantwins.com/\\_files/ugd/a245c2\\_0daef34d7a5e4784b48a08042a0d4d30.pdf](https://digitalurbantwins.com/_files/ugd/a245c2_0daef34d7a5e4784b48a08042a0d4d30.pdf)
  - 13) DUET. (30 September 2021) . Pilot Testing Cycle Report 1 .
  - 14) Nicolas, Clement, Jinwoo Kim, and Seokho Chi. "Quantifying the dynamic effects of smart city development enablers using structural equation modeling." *Sustainable Cities and Society* 53 (2020) .
  - 15) The Centre for Digital Built Britain. The National Digital Twin program (NDTp) .
  - 16) Castelnovo, Walter et al. "Smart cities governance: The need for a holistic approach to assessing urban participatory policy making." *Social Science Computer Review* 34.6 (2016) .
  - 17) Jacobs, Naomi, et al. "Who trusts in the smart city? Transparency, governance, and the internet of things." *Data & Policy* 2 (2020) .
  - 18) Stadt Zürich. The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning.
  - 19) van Gils, Bart AM, and Ajay Bailey. "Revisiting inclusion in smart cities: infrastructural hybridization and the institutionalization of citizen participation in Bengaluru's peripheries." *International Journal of Urban Sciences* 27.sup1 (2023) .
  - 20) Becker, Jörg, Ralf Knackstedt, and Jens Pöppelbuß. "Developing maturity models for IT management: A procedure model and its application." *Business & Information Systems Engineering* 1 (2009) .
  - 21) Warnecke, Danielle, Rikka Wittstock, and Frank Teuteberg. "Benchmarking of European smart cities—a maturity model and web-based self-assessment tool." *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal* 10.4 (2019) .
  - 22) Aljowder, Thajba, Mazin Ali, and Sherah Kurnia. "Systematic literature review of the smart city maturity model." 2019 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT) . IEEE, 2019.
  - 23) Wendler, Roy. "The maturity of maturity model research: A systematic mapping study." *Information and software technology* 54.12 (2012) .
  - 24) Hausladen, Iris, and Maximilian Schosser. "Towards a maturity model for big data analytics in airline network planning." *Journal of Air Transport Management* 82 (2020) .
  - 25) Haraguchi, Masahiko, et al. Assessing Governance Implications of City Digital Twin Technology: A Maturity Model Approach. Working Paper.