IoT/AI 活用モデル研究小委員会 活動報告

枡見　周彦[1]・吉田　敬宏[2]

[1]正会員　JIP テクノサイエンス株式会社　インフラソリューション事業部

（〒102-0074 東京都千代田区九段南 1-3-1）E-mail: masumi@cm.jip-ts.co.jp

[2]正会員　大日本ダイヤコンサルタント株式会社　インフラ技術研究所

（〒102-0075 東京都千代田区三番町 6-3）E-mail: yoshida_takahiro@dcne.co.jp

IoT/AI 活用モデル研究小委員会は，土木情報学委員会の重点的研究領域である「未来に向けた先端的情報技術に関する研究」の下，IoT/AI の活用モデルについての調査研究を目的として，2020 年 6 月に設立された．主な活動として，マルチモーダルセンシングやマルチモーダル AI 等の技術に着目して，異業種の事例を参考に，社会インフラ分野における IoT システム，分析方法，適用する業務フローをまとめた IoT/AI の活用モデルについての調査・研究を行っている．2022 年 6 月からは，新たに，計測・数理化が難しい課題への取り組み，先端技術・概念を踏まえた活用モデルの検討，企業と教育機関の協力関係をテーマに加え，調査・研究を継続している．

Key Words: *Civil Engineering, IoT, AI, Digital Twin, Metaverse, City Agent, LLM*

1. 研究活動の目的

当小委員会は，土木情報学委員会の重点的研究領域である「未来に向けた先端的情報技術に関する研究」の下，社会インフラ分野における IoT/AI の活用モデルを研究する目的で設立された．

2020 年 6 月から，マルチモーダルセンシングや，マルチモーダル AI などの技術に着目し，異業種の事例を参考に，IoT システム，分析方法，適用する業務フローなどをまとめた IoT/AI の活用モデルについて調査・研究を行ってきた．

その中で，実現のための課題として，計測・数理化が難しく活用モデルに取り込めないケースが多く存在すること，変化の激しい技術動向を踏まえて，新しい技術・概念や，国際動向を踏まえた活用モデルの研究が必要であること，企業で取り組むために教育機関との協力関係の仕組みが必要であることが挙がっていた．

これを踏まえ，2022 年 6 月から，以下の項目を研究テーマに加えて活動している．

① 計測・数理化が難しい課題への取り組み事例の調査・研究
② 新しい科学技術要素，概念，国際動向，輸出を踏まえた活用モデル検討
③ 企業からの教育用データの提供と教育機関からのフィードバックの仕組み検討

2. 計測・数理化が難しい課題への取り組み事例の調査・研究

IoT/AI の活用モデルにおいて，究極の形は，あらゆるデータをインプットし，サイバー空間上に再現されたデジタルツイン上で，各種シミュレーションを行い，その結果を現実世界にフィードバックする形態である．

しかしながら，現実的には，現況の計測が難しい事例，効果の計測が難しい事例，数理化することが難しい事例などが存在しており，あらゆることをインプットして，解析することは困難である．

そこで，これらの困難な事例についての取り組みの調査・研究を行っている．

(1) 現況の計測・効果の計測が難しい事例

水中，地中，宇宙などは，人間や機械がアクセスするのが難しい場所であり，位置の同定も難しく，通常のセ

ンサが利用できないなどの制約もある．このような環境下では，人工物が構築できたとしても，その計測が困難であることが多い．また，人工物自身がコンクリート構造であれば，その中を計測することも難しい事例となる．

生体については，生きたままの状態の測定，心理的状態や感情，脳の活動などが，計測が困難な事例として挙げられる．また，植物などで，葉の形状や果実の個数を正確に計測することも難しい事例である．

時系列的な要素も，計測が困難な例となる場合がある．ある計測対象について，一時的な計測が容易であっても，長期的な変化や影響を計測することは困難な場合が多い．例えば，対象が一カ所に留まらない場合や，留まっていても計測機器を長期的に作動させることが難しい場合がある．また，発生事象がレアケースであるデータを取得することも難しい事例である．

データの形態としては，自然言語のテキストデータ，画像データ，音声データなどの非構造化データを取り込むことが難しいが，近年，ディープラーニングや後述する大規模言語モデルなどの AI 技術の登場により，徐々に扱いやすくなってきてる．

これらの現況の計測や効果の計測が難しい事例について，IoT/AI を活用した先端的な取り組み事例の調査を行っている．

(2) 数理化することが難しい事例

様々な業務上の問題や社会的課題について，数理化することで，問題を客観的に分析したり，新たな視点や発見を得ることができる．しかしながら，数理化することが難しいために，それらの課題の解決が容易でない事例が存在する．

人間の感情や心理は，一定の法則やパターンを見出すことが困難であり，数理化が困難である．また，人間の活動の結果として生まれた社会，文化，経済現象といったものも，数学的に表現することが困難な場合が多い．そのため，そこから発生する事故，犯罪，遅延などの様々な問題は，予測することが困難である．

自然現象や，生物間の相互作用についても，変動するパラメータが複雑すぎて，再現しようとすると精度や計算量の問題があり，不確実性や非線形性も加わることから，数理化することが困難である．

これらの数理化することが難しい事例については，エージェントベースのモデリングや，データ駆動型のアプローチを採用したり，哲学・心理学・社会学等の知見を取り入れるなど，多角的なアプローチや複数の手法の組み合わせが求められており，先進的な取り組み事例の調査を行っている．

3. 新しい科学技術要素，概念，国際動向，輸出を踏まえた活用モデル検討

(1) デジタルツインとメタバース

2021 年 10 月，米 Facebook 社が社名を Meta と変えたことから，「メタバース」という言葉が世間に一気に広まった．「メタ（超）」と「ユニバース（宇宙）」を合わせた造語で，インターネット上に構築された仮想空間を表す用語である．

よく似た用語に，「デジタルツイン」という用語がある．似た概念であるが，デジタルツインは，物理空間をそのまま仮想空間上に再現し，シミュレーションを行うのに対し，メタバースは，物理空間に囚われない仮想空間を構築し，コミュニケーションを行うもので，主に SNS やゲームで活用されている．

土木分野では，デジタルツインのプラットフォームとして，3D 都市モデルの整備・活用・オープンデータ化を進めるプロジェクトである，国土交通省の PLATEAU の取り組みがあるが，これをベースに，デジタルツインとメタバースの特性をうまく融合させることで，仮想の 3D 空間上で多くの人が共同作業を行う革新的なインターフェースを備えることが可能になり，新たなデザインの創出や，技術訓練など，様々な活用アイデアが創出される可能性があるものと考えられる．

(2) 都市エージェント

当小委員会では，2022 年 2 月に東京大学大学院情報学環の越塚登教授をお招きし，「社会インフラにおける AI／IoT 利活用のありかた」と題してご講演いただいた．その中でスマートシティについて，「経年優化」をキーワードに，街が ICT によって時間とともに良くなっていく概念を示していただいた．そして，それを実現するためのスマートシティにおける汎用的なプラットフォームについては，世界的に「都市 OS」と呼ばれているが，実際はつながる側とつながられる側の「都市エージェント」で構成されるものであるというお話をいただいた．

当小委員会では，今まで都市 OS という言葉から，IT システムにおける OS になぞらえて，共通プラットフォームとその上で動作する API を広く利用する姿を思い描いていたが，都市エージェントというヒントをいただき，つながる側とつながられる側のエージェントの集合体であるという，より現実的な形態の模索を開始した．

その中で，デジタルゲームにおいて応用されてきたメタ AI，キャラクターAI，スパーシャル AI の MCS-AI 動的連携モデル（MetaAI,CharacterAI,SpatialAI Dynamic Cooperative Model）がスマートシティにおける AI の基本システムとして応用できる可能性があるという考え方があることを知った．

この概念は，メタ AI，キャラクターAI，スパーシャル AI という 3 つの AI が，それぞれ自律型人工知能であり，互いに連携しながら動作するもので，それぞれ，以下の役割を担っている．

① メタ AI：ゲーム全体を俯瞰的に認識し，ゲームのあらゆる要素をコントロールする AI
② キャラクターAI：キャラクターの頭脳，身体を含めたシステム
③ スパーシャル AI：自律的に環境を解析し必要な情報を提供することで，メタ AI，キャラクターAI の環境認識，地形認識，状況認識をサポートする AI

この MCS-AI 動的連携モデルをスマートシティに適用すると，最上層をメタ AI，下層をキャラクターAI，さらに都市の空間的特性を抽出し提供する AI をスパーシャル AI に当てはめることができる．

メタ AI は，都市全体を認識し影響を与える最上層の人工知能に位置づけられる（都市全体が目指すべき未来を選択し，そこに通じる過程を思考し，実行する）．メタ AI の持つ認識は，大局・長時間に渡る都市の状態の変化とインパクトの強いイベント（例：台風や地震など災害・事故）等を認識する．この認識をもとにメタ AI はそれよりも下位の人工知能に影響を与える．

キャラクターAI は，意思決定技術として各モジュールに導入され，メタ AI，スパーシャル AI と MCS-AI 動的連携モデルで構築した関係を利用して連携する．

スパーシャル AI は，都市の地形的情報，都市のオブジェクトと配置，配置が作り出す空間的情報を抽出し，それらの情報を活用するための地形・空間情報をメタ AI，キャラクターAI に伝達する．このためにはビデオのカメラ画像や映像，衛星の画像情報，様々なセンサーの集積データの解析技術を用いる必要がある．また，スパーシャル AI は，アーキテクチャの各層に情報を提供し，各層のセンサーを補助する役割を持つ．

このように，MCS-AI 動的連携モデルの 3 つの AI がエージェントとして連携する，都市エージェントの姿が，スマートシティの未来像であると考えられる．

(3) 大規模言語モデル

2022 年 11 月に OpenAI 社がリリースした AI である ChatGPT は，瞬く間に注目を集め，日本を含め全世界で利用者が急増した．その後，Microsoft 社の Bing Chat，Google 社の Bard などの類似サービスが公開され，対応したサードパーティのサービスも続々と出現している．

これらのサービスの特徴は，知りたい内容を文章で入力すると，まるで生身の人間を相手にしているような流暢な回答文を返すことで，更に文脈から前回の会話の続きであることも読み取り，続けた会話をしてくれるところにある．このようなサービスで使われている技術は，大規模言語モデル（LLM）と呼ばれており，通常の検索エンジンを使った調査よりも格段に調べやすく，次世代の検索技術にも位置づけられるものであるとともに，その応用範囲も広範にわたることが想定される．

大規模言語モデルとは，文章の並び方に確率を割り当てる確率モデルである「言語モデル」について，「計算量」，「データ量」，「モデルパラメータ数」の 3 つを巨大化したものである．基本的には，文章の並び方の確率であると考えると，当然意思を持った存在ではないが，蓄積したデータから確率によって最も確からしい答えを返すという行為が，蓄積されたデータの中から「一般論」や「常識」として法則を見出しているとも言える．

AI においては，ディープラーニングによって，画像や音を「認識」できることから，機械に「目」や「耳」をもたらしたと言われているが，大規模言語モデルの登場により「常識」が加わると，これらを組み合わせて，ディープラーニングで外界の状態を認識し，大規模言語モデルでその入力を常識と照らし合わせてシナリオを作成し，そのシナリオについてシミュレーションを行い，実社会に反映させる，といった活用モデルが考えられる．

また，インプットに大規模言語モデルを活用すれば，文章だけでなく，データモデルなどからも，現状を認識することができるものと考えられる．

これからは，ディープラーニングと，大規模言語モデルをはじめとした生成 AI を組み合わせた活用モデルも，検討対象としていく．

(4) データ共有の機運

Cloud Database Days 2022 のセミナー「データが重要な資産（財）となる時代を見つめる」において，国立情報学研究所の喜連川優所長より，医療業界において，COVID-19 への対応時に，各国の研究者がコロナを判定しようとするコロナ AI に取り組んでいたが，研究者間でのデータ共有が進まず，少数の強いモデルではなく，多くの弱いモデルができ，使える AI ツールができなかったというお話があった．この出来事がきっかけの一つとなり，データはもっと共有されるべきであるという認識が高まり，デジタルを駆使して，共同研究，コラボレーション，データ共有，ネット上の解析ツールの利用等を行い，成果もビジュアルに発信していく，オープンサイエンスへの取り組みが活発になってきているという．

自動車業界においては，自動車のプローブ情報の共有が始まっている．2022 年 7 月 4 日，道路交通情報通信システムセンター（VICS センター）は，カーナビのプローブ情報活用サービスの実証実験を全国拡大すると発表した．従来は，VICS センターが道路に設置した感知器からの情報により，渋滞情報を提供していたが，自動車メーカーやカーナビメーカーの各社が収集している，道

路を走っている乗用車の情報から生成したデータで補完・補強しているという．このように，自動車業界では，各社が自社に囲い込んできたプローブ情報を，相互に共有して，サービスの質の向上を目指す動きが始まっている．

土木業界では，前述の PLATEAU のほか，国土交通省が道路システムの DX として取り組んでいる道路データプラットフォーム「xROAD」の取り組みがあり，これらのデータを利用することで，様々なアプリケーションを構築することが可能になる．しかしながら，業界的に AI の精度を上げるための十分な教師データを集めるのに苦労している現状を考えると，教師データを共有する仕組みなど，土木業界でのデータサイエンス発展に役に立つデータを，業界で共有していく必要があるのではないかと考えている．

4. 企業からの教育用データの提供と教育機関からのフィードバックの仕組みの検討

近年，AI をはじめとしたデータサイエンスの需要が高まっているが，企業側では，データサイエンスに対応できる人材が不足してる．そのため，社内の人材へ，データサイエンスのリカレント教育を行う必要があるが，業務に即したデータは保有しているものの，効果的な教育が可能なカリキュラムを保有していない場合がある．

教育機関においては，データサイエンスのカリキュラムは整備されているが，研究に使うためのデータや，教育に使うためのデータを集めるのには労力がかかる．

このように，企業と教育機関の間では，互いに不足したものを補い合うことが可能な関係にあると言える．

当小委員会では，企業と教育機関の協力関係を模索するため，2023 年 3 月に，当小委員会の委員でもある北海道大学大学院教育推進機構高等教育研修センターの湧田雄基特任准教授との間で，データサイエンスのカリキュラムを試用して，アンケートによりフィードバックを行う取り組みを行った．今後，この取り組みを発展させて，企業が求めるカリキュラムの整理や，企業からのデータ提供方法の検討を行っていきたい．

5. まとめ

当小委員会では，土木分野における IoT/AI の活用モデルの検討を行っているが，より適用対象を広げていくためには，現時点においても技術的な課題は多い．これに対して，その解決策となりうる IoT/AI の技術革新が，かなり早いペースで起こっている．

このような革新的な技術については，その本質を正しく理解し，従来のフローに囚われない IoT/AI の活用モデルを描く必要があり，従来思い描いていたものとは変わったものになりつつあることを実感している．

今後，これらの検討結果を十分に消化して，土木技術者に分かりやすい IoT/AI の活用モデルの情報を提供していきたい．

REFERENCES

1) メタバースとは｜仕組み・活用例・実現できること，<https://club.informatix.co.jp/?p=15489>.
2) 三宅陽一郎：メタ AI-キャラクターAI-スパーシャル AI による動的連携モデルのデザインパターン，人工知能学会全国大会論文集，JSAI2022 巻，2022.
3) 三宅陽一郎：スマートシティへのデジタルゲーム AI の応用，日本デジタルゲーム学会夏季研究発表大会予稿集，2021 年予稿集，pp.62-65，2021.
4) 三宅陽一郎：スマートシティ＝メタバースの設計と構築，<https://speakerdeck.com/miyayou/sumatositei-metabasufalseshe-ji-togou-zhu>，2022.
5) 用語解説｜技術 大規模言語モデル，<https://www.nri.com/jp/knowledge/glossary/lst/ta/llm>.
6) VICS，トヨタ・日産・ホンダ・パイオニアのプローブ情報活用サービスの実証実験を全国拡大，<https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1422240.html>.

IoT/AI 活用モデル研究小委員会委員名簿

小委員長
　枡見 周彦　JIP テクノサイエンス(株)
副小委員長
　吉田 敬宏　大日本ダイヤコンサルタント(株)
　本木 章平　戸田建設(株)
委員
　厳 網林　慶應義塾大学
　才原 勝敏　SIFT
　佐藤 俊明　(株)パスコ
　竹村 朗　日本スーパーマップ(株)
　中野 愛子　富士通(株)
　新居 和展　(株)コアコンセプト・テクノロジー
　速水 卓哉　(株)大林組
　蒔苗 耕司　宮城大学
　増村 佳大　東急建設(株)
　松本 茂　栃木県
　村上 佳史　アドソル日進(株)
　諸澤 正毅　(株)安藤・間
　吉田 勢　(株)オリエンタルコンサルタンツ
　湧田 雄基　北海道大学
オブザーバ
　岩城 詩也　ジェイアール東海コンサルタンツ(株)