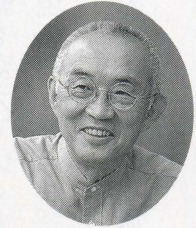


# 誰かに教えたくなる 科学技術の話 38

## 情報空間に創造される 「デジタル・ツイン」



東京大学名誉教授 月尾 嘉男

### 現実を数値にしたデジタル・ツイン

デジタルという言葉が社会に氾濫している。指針の角度という連続した物量で時間を表現する装置をアナログ時計、離散した数字で表現する装置をデジタル時計というように、数量の表現は二種存在する。一九四〇年代にデジタル・コンピュータが登場してから、社会はデジタルが主流になり、最近ではデジタル・トランスフォーメーション、デジタル・リテラシーなど次々と新語が登場している。

話題になってきている新種が**デジタル・ツイン**である。ツインは双子という意味であり、実物と同一の機能を具備するデジタル・モデルをコンピュータ内部に構築するという技術である。概念自体はアメリカのミシガン大学のM・グリーンヴス教授が二十年近く以前の二〇〇三年に提唱しているが、情報技術の躍進により、最近になり様々な実例が登場してきた。事例を紹介すると理解しやすい。

東京や大阪など巨大都市に生活する人々は自家用車で移動する場合、高速道路の交通状況の電子地図を参照する。渋滞の様子だけではなく、入口や出口の閉鎖や車線規制、さらには事故の発生も表

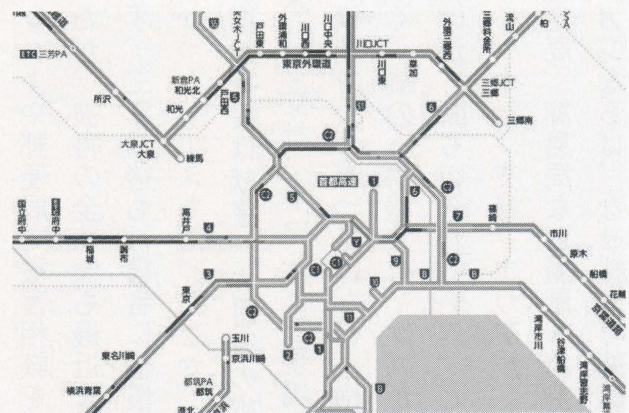


図1 首都高速道路渋滞状況

示されている(図1)。これは道路交通状況のデジタル・ツインである。同様に鉄道のデジタル・ツインから、列車の運行状況をスマートフォンで簡単に参照できる鉄道路線も増加している(図2)。

科学研究や技術開発では手段として**コンピュータ・シミュレーション**が利用されるが、デジタル・ツインとの相違は現実世界とリアルタイムによる運動の可否である。高速道路の路線をコンピュータ内部に構築、何時に何処で渋滞が発生するかを予測するのはシミュレーションで

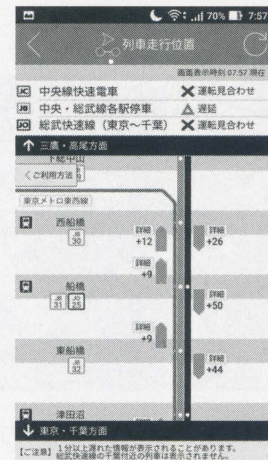


図2 列車位置表示 (JR東日本)

あり、道路の走行状況に対応して交通規制をするなど、現実世界に作用できるのがデジタル・ツインの特徴である。

### 現実社会をデジタル・ツインに圧縮

最初にデジタル・ツインを利用しはじめたのは産業分野である。世界有数の航空機用ジェットエンジンの製造会社であるゼネラル・エレクトロニクスは、稼働しているエンジンそれぞれに二百個程度のセンサーを設置し、それらが地上に稼働状況を時々刻々送信してくる。それによってエンジンの状況をデジタル・ツイン

で監視し、異常を発見するとともに今後の開発の参考にしている。

多数の企業が自動運転車両に挑戦しているが、開発の重要な段階は実験車両を道路で走行させる試験である。アメリカのウェイモは広大な土地に私道を建設して現実空間で実験するとともに、コンピュータ内部の仮想空間に道路のデジタル・ツインを構築して実験車両を走行させているが、その走行距離は私道での試験の六百倍にもなっており、様々な危険な状況での自動運転も実験している。

高層建物の設計段階ではコンピュータ内部に数値模型を構築し、地震や風圧の影響などを検討して構造を設計し、実現段階でのエレベータの利用状況を想定して台数を決定するが、これらはシミュレーションである。完成段階では設置された多数のセンサーの情報をデジタル・ツインで常時監視し、設計の仕様のよう建物機能が機能しているかを監視するとともに今後の計画の参考にしている。

### 二次産業が三次産業に融合

これまでの工業製品は設計、製造、販売までが主要な業務で、社会や家庭で利用される段階での保守などは十分ではな

かった。しかし、製品にセンサーを付加しておけば、部品の劣化や故障などについてリアルタイムで情報を収集でき、維持補修の段階にまで業務を拡大することができる。視点を変更すれば、製造が役割の二次産業から維持まで包含する三次産業への発展である。

その一例が道路交通事故への対応である。現在の自動車内にはドライブレコーダーや様々なセンサーが設置されているが、事故に遭遇するとカメラの画像をはじめとするセンサーの情報が保険会社に自動送信され、事故状況のデジタル・ツインが会社のコンピュータ内部に構築される。それ以後は警察や消防への緊急連絡、代車の手配をはじめとする事故処理を保険会社が代行する。

### 都市全体のデジタル・ツイン

交通だけではなく、地域の様々な活動もデジタル・ツインで管理する動向が登場している。ダム貯水状況を遠隔監視する技術は世界で普及しているが、台湾にある湖山ダムではデジタル・ツインのダムを構築し、現状を把握するだけでなく、周辺地域の降雨の状態を自由に設定してダムの水位の上昇を予測し、氾濫

を防止するための放水訓練もできるシステムを構築している。

このような個別の施設だけではなく都市全体のデジタル・ツインを作成したのが東京二十三区と同等の面積に約五百万人が生活するシンガポールである。都市国家全体をコンピュータ内部に構築した「ヴァーチャル・シンガポール」は約四千三百棟の高層建築をはじめ、交通手段や公共施設なども3Dのデジタル情報として参照できるデジタル・ツインである(図3)。



図3 ヴァーチャル・シンガポール

しかも単純に立体画像が表示されるだけではなく、特定の建物の画像にアクセスすると、面積、建築材料、エネルギー消費、居住人数、駐車場数なども確認できるし、新規の建物を建設する場合には周囲への日照の影響や緊急事態のときの避難方法も検討できる。一九八〇年代に架空の都市を設計するコンピュータゲーム「シムシティ」が流行したことがあるが、それが現実になったのである。

### トリリオン・センサーズ宇宙

このような構想を推進していくためには工業製品や社会基盤の状態を常時把握してデジタル・ツインに伝達するセンサーが必要である。現在、世界全体で年間に数百億個のセンサーが設置されているが、二〇二三年には百倍の一兆のセンサーを敷設するトリリオン(一兆)センサーズ・ユニバースを実現しようという構想が推進されている(図4)。一人あたり毎年百四十個という数量である。

それよりは少数であるが、すでに類似の社会が実現している。現在、世界全体で八十億台、すなわち一人一台以上の携帯電話が使用されている。筆者の経験であるが、サハラ砂漠の遊牧民族でさえ利

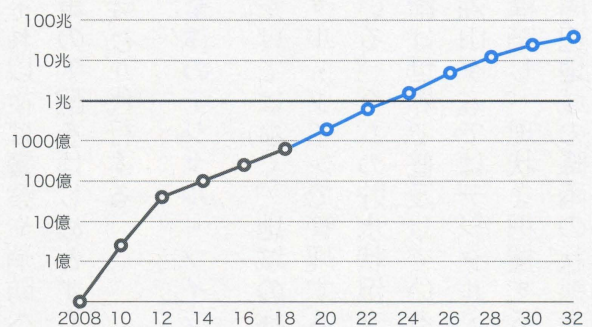


図4 トリリオン・センサーズ・ユニバース

用しているほどの普及である。携帯電話は相互に接続するため、それぞれの所在場所を基地で把握している。そうしないと相互に接続できないからであるが、それ以外の効用もある。

現在のコロナウイルスの蔓延で、東京の新宿西口の人出は例年に比較して四割に減少というように、特定の場所の人出の推計が発表されている(図5)。これは新宿西口付近の携帯電話の基地が周辺に何台の携帯電話が存在しているかを把握しているからである。世界の何処に存在しているか把握していない相手に電話

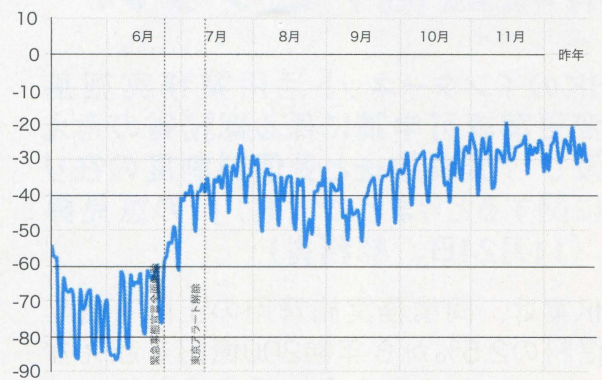


図5 新宿駅の入出 (2020)

番号だけで接続されて通話できるのは、この仕組みの効果である。

### デジタル・ツインの危険な側面

位置を確認できる機能を利用して、東大と携帯電話会社が共同で、携帯電話を利用して人々の了解のもと、自宅の位置を推定する研究を実施した。関東地方に生活する約六千人の携帯電話の位置情報の変化を人工知能で分析した結果、九八%の人々の自宅の位置が特定できた。これから携帯電話が5Gになれば特定できる位置の精度は格段に向上する。

それ以外にも危険はある。筆者は腕時計型の測定装置を装着している。これによって睡眠時間、歩行距離、脈拍、消費エネルギーなどが測定され、センターに送信され、身体デジタル・ツインが形成されている。危険な兆候を警告してくれるような利点がある一方、個人の身体の状態は完全に把握されていることになり、重要人物の数値がハッキングされて暴露されれば問題である。

現在の世界を席巻している情報企業はG A F A (グーグル/アップル/フェイスブック/アマゾン) であるが、二〇一〇年に、当時のグーグルの会長であったE・シュミットが「我々はあなたが何処にいるかを把握している。これまで何処にいたかも把握している。現在、想像していることもほぼ察知している」という物騒な発言したことがある。しかし、これは誇張ではない。

何処にいるか/いたかは前述のように携帯電話の位置検出の仕組みで簡単に推定できる。情報世界にはインターネットを経由して必要な情報を発見する検索エンジンがいくつか存在するが、最大のシステムがグーグルで、全体の九割を占有し、世界から毎日百億回近くの利用があ

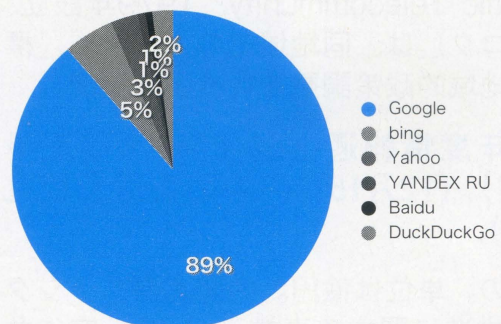


図6 検索エンジンの利用比率 (2019)

る(図6)。その利用記録を分析すれば、特定の個人の関心がある対象を探索するのは簡単なことである。

包丁が料理に役立つと同時に、本来の目的ではない凶器にもなるように、あらゆる技術には利点と欠点が並存する。デジタル・ツインも高度な情報社会を進展させるために役立つのは当然として、そこに集中している個人や企業の個別情報が本来の目的以外に利用されないための対策が必要である。この情報社会の危険な弱点を防御しながら、最新の刃物を利用していく規範の確立が重要である。