

## Beyond 5G 時代の分散型成長を実現する方策を提言 - デジタル経済圏の健全な発展に向けて -

株式会社三菱総合研究所（本社：東京都千代田区、代表取締役社長：藪田健二、以下 MRI）は、次世代の無線通信技術（Beyond 5G）等が普及する 2030 年代における情報爆発の姿を予測しました。その結果を踏まえ、Beyond 5G 時代の健全なデータ利活用とデジタル経済圏の発展に向けた分散型成長の必要性和、それを実現するための ICT 基盤の構築に向けた方策を提言します。

### データ利活用による価値創出はまだはじまったばかり

情報通信技術(ICT)の進展がもたらしたブロードバンドやモバイルなど通信インフラの普及と、それらを活用した便利な端末やネットワークサービスの登場は、人々の生活を一変させた。

個人の生活だけではない。ICT の進展は金融や小売り、広告など多くの業界の産業構造を変えた。その活用の成否は企業や国家の競争力を左右する。データは流通することで価値が生まれる。データ流通を媒介するデジタルプラットフォームは新たな基盤となり、国境を越えて展開する GAFAM (Google、Apple、Facebook、Amazon、Microsoft) 等のメガプラットフォーム（以下、メガ PFER）が付加価値創造のけん引役となった。

ICT とデータ利活用の発展は緒についたばかりである。リモート会議などネット上の体験価値はリアル活動に遠く及ばない。今後 Beyond 5G 技術の進展でネットに流通する情報量は飛躍的に増大し（情報爆発）、デジタルツインやメタバースの発展でデジタルとリアルの体験価値は接近する。人工知能（以下、AI）やロボットは人間能力を拡張し生産性を向上させる。ICT とデータ利活用はあらゆる社会活動や産業に欠かせぬものとなり、デジタル経済圏はリアルを巻き込んで大きく発展するだろう。

### 健全なデータ利活用のため、分散型成長へのゲームチェンジを

これまでデジタル経済では規模の経済性・勝者総取りなどの特性からメガ PFER 等への集中・寡占が進行してきた。コスト低減や利便性をもたらしたが、副作用も顕在化している。日本の国際競争力は低下し地域は空洞化しつつある。寡占が囲い込みを伴って長期に固定化すれば、多様性や競争の便益は後退する。基幹インフラの集中は、事故や障害に対する社会のレジリエンス低下につながる。価値の源泉たるデータの所有権やルールはメガ PFER の掌中にある。

データ利活用の健全な発展のためには、これらの懸念を解消し、経済合理的であることに加えて、誰もが主体的に安心してデジタルの果実を享受する社会を実現する必要がある。「誰もが」「主体的に」「安心して」という公平に資する価値を優先することは、大きなゲームチェンジとなる。

このゲームチェンジを実現するのが、当社の提言する「分散型成長」である。一極集中型のシステムへの対抗軸として、オープンかつレジリエントで多様性や主体性を発揮しやすい分散・協調型のシステムを育成し、両者のベストミックスでウェルビーイングの向上を図る考え方である。

## 分散型成長を支える分散型の ICT 基盤

分散型成長を推進するため、まずは過度な一極集中に伴う弊害の抑止を図る必要がある。欧州連合 (EU) におけるメガ PFER に対する累次の法規制強化はその先行事例である。同時に、対抗軸となる分散型システムの形成も進める必要がある。日本のデジタル田園都市国家構想<sup>1</sup>は、ICT インフラ構築を通じた地域の分散型成長を支援する。昨今注目を集める Web3<sup>2</sup>では、多数の参加者がオンラインコミュニティに集い主体的・協調的に活動する分散型システムの形成を志向する。

こうした分散型システムを育成し社会に定着させるためには、それを支える ICT 基盤が必要となる。

ネットワークレイヤーでは、地域分散型 ICT インフラの整備が求められる。当社は情報爆発モデルの構築を通じて、メタバースや自動運転など次世代サービスの普及と ICT インフラの関係を定量的に分析した。その結果、現状の 300 倍を超える大量データを低遅延で処理する需要が生まれ、最大で 7 割程度の処理が地域圏へ分散する予測となった (2040 年時点)。地域性の強い再生可能エネルギー活用や、医療や交通など人命に係る産業でのレジリエンス強化のニーズも、データの地産地消化を後押しする。

プラットフォームレイヤーでは、データ流通の基盤となる ID 管理や信頼確保をメガ PFER に依存していることが課題である。特定企業に依存しないオープンなデータ基盤の形成を目指すべきである。分散型のトラスト基盤とガバナンスを樹立し、基幹産業に広げていく必要がある<sup>3</sup>。Web3 や日本の Trusted Web 構想<sup>4</sup>はその萌芽 (ほうが) であり、規制と支援の両面から健全な発展を後押しする必要がある。

サービスレイヤーでは、データ利活用による各産業の構造変化が加速する。構造変化を地域活性化の契機とするため、自治体や企業・住民が課題起点でデータ利活用のエコシステムを創出していく必要がある。地域でのテストベッド整備等を通じたイノベーションの支援はその一助となる<sup>5</sup>。

## 新たなデジタル経済圏を育むために

メガ PFER を中心にグローバルなデジタル経済圏の構築が進み、社会に大きな便益をもたらす一方で、過度な集中や不透明性への警戒が強まっている。今後社会が安心して一層のデジタル化を進めるため、レジリエンスや安心安全、参加者主権に価値を置く新たな対抗軸を形成していく必要がある。

分散・協調型の新たなデジタル経済圏では、オープンな ICT 基盤の上に多数のプレイヤーが参画・貢献し、責任や果実を応分にシェアする。レジリエンスや安心安全の確保により、住民や都市の重要データがはじめて本格的に流通し幅広い産業で活用される。地域やコミュニティ、企業や消費者にとっては、メガ PFER のインフラやサービスに依存するユーザーから、データによる価値創造のエコシステムを自ら設計・選択・管理するプレイヤーへと変化する好機となる。各プレイヤーが身の回りのデジタル経済圏の構築に主体的に参画することで、拡大する分散型成長の果実を手にすることができる。

---

<sup>1</sup> 2021 年に岸田内閣が公表したデジタル社会の構想で、デジタル実装を通じて地方の課題解決を図るとともに住民生活の向上を目指す。

<sup>2</sup> ブロックチェーン技術等を基礎とした次世代のインターネットを指す概念。

<sup>3</sup> ジョージタウン大学松尾真一郎研究教授との共同研究を実施。詳細は「デジタル社会における新たなトラストの在り方に関する共同研究の成果を公表」(三菱総合研究所ニュースリリース; 2022 年 9 月 30 日) を参照。

<sup>4</sup> インターネットに新たな信頼の仕組みを実装するために政府が推進する構想で、内閣官房デジタル市場競争本部に「Trusted Web 推進協議会」が設置されている。

<sup>5</sup> 東京大学中尾彰宏研究室との共同研究を実施。詳細は「Beyond 5G 時代のイノベーション高速化を支えるテストベッドの在り方に関する共同研究結果を公表」(三菱総合研究所ニュースリリース; 2022 年 9 月 30 日) を参照。

# 目次

<b>1. Beyond 5G 時代の分散型成長と ICT 基盤</b> .....	<b>1</b>
1.1. データ利活用による価値創出の広がり .....	2
1.2. Beyond 5G がもたらす社会変革.....	5
1.3. 分散型成長へのゲームチェンジ .....	10
1.4. 分散型成長を支える分散型の ICT 基盤.....	11
<b>2. 情報爆発の姿と分散型ネットワークインフラ</b> .....	<b>15</b>
2.1. Beyond 5G 時代の情報爆発と需給ミスマッチ .....	15
2.2. 情報爆発の定量予測シミュレーションモデル .....	17
2.3. 情報爆発モデルの主な推計結果.....	19
<b>3. Web3 と分散型トラスト基盤</b> .....	<b>26</b>
3.1. Web3 が秘めるポテンシャル.....	26
3.2. 分散型トラスト基盤の必要性と要件 .....	28
3.3. Web3 を生かすガバナンスの在り方 .....	31
<b>4. 分散型イノベーションを支えるテストベッド</b> .....	<b>34</b>
4.1. デジタル時代のテストベッドの要件.....	34
4.2. ラピッド・イノベーション・テストベッド(RITB) の具体像.....	36
<b>5. 新たなデジタル経済圏を育むために</b> .....	<b>39</b>



# 第1章

## Beyond 5G 時代の 分散型成長と ICT 基盤

---

# 1. Beyond 5G 時代の分散型成長と ICT 基盤

## 1.1. データ利活用による価値創出の広がり

### 1.1.1. ネットワークとデータ利活用のポジティブスパイラル

情報通信ネットワークの進化と、ネットワークを活用したデータ利活用の進展は両輪となって社会や産業、人々の生活を大きく変えてきた。

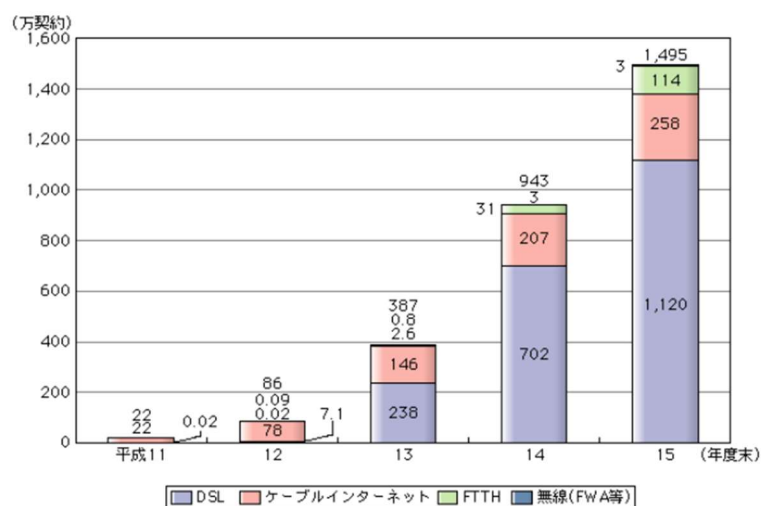
日本の情報通信市場の大きな転換点は、1985年に日本電信電話公社（電電公社）が民営化され、日本電信電話株式会社（NTT）となったことである。自由化を受けて第二電電などの長距離電話会社が参入し、通信分野の競争の時代が幕を開ける。注目すべきは、同年にアスキーネットなど、データ通信（パソコン通信）の事業が開始された点である。自由化は、通信インフラを自ら構築運用する大手通信事業者間の競争だけでなく、通信インフラを持たない第三者が通信ネットワークを事業活用する道も開いた。

その後インターネットが1990年代半ばに商用化される。特定の会社が管理するパソコン通信に比べ、インターネットではWWW(World Wide Web、以下Webという。)の仕組みを活用して誰もが自由にシステムを作り、世界中の情報に手軽にアクセスすることが可能になった。オープンで透明な基盤の上で、電子メールやチャット・掲示板などのコミュニケーションに加え、検索、ショッピング、ニュースサイト、ゲーム、交流サイト（以下、SNS）、動画配信など無数のサービスが花開いてゆく。

Webの躍進を下支えしたのは、ADSLなどの安価・定額で常時接続可能な固定ブロードバンドの普及であった。日本では1999年度末にはわずか22万契約だった世帯ブロードバンドが2003年度末には1495万契約まで急伸する（図表1-1）。

インターネットの便利なサービスを使うためにブロードバンドユーザーが増え、それによってサービス競争が活性化し、データ経済が拡大する。そうしたネットワークとデータ利活用のポジティブスパイラルがWebの普及を一気に加速させた。

図表 1-1 ブロードバンド利用世帯数の推移(1999～2003)



出所：「平成16年版情報通信白書」<sup>6</sup>

<sup>6</sup> 総務省，平成16年版情報通信白書，<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h16/>

モバイルの世界では、Apple 社が初代 iPhone を発売したのが 2007 年である。スマートフォン躍進の鍵となったのは、ユーザー・インタフェース革新に加えて、その自由度の高さである。

iPhone 登場以前の主流だったフィーチャーフォンでは、個々の携帯電話会社がクロードなサービス提供を行っており、安全性は高いがユーザーの自由度は限定的であった<sup>7</sup>。対してスマートフォンではユーザーが好みのアプリケーションを自由にインストールできるなど、サービス開発者と利用者の双方にとって自由度が高かった。オープンで競争的な環境に参加者は引き寄せられていった。

スマートフォンの進化と普及もまた、高速でユビキタスなモバイルブロードバンド環境なしにはあり得なかった。2000 年代から 2010 年代にかけて普及した第 3 世代(3G)・第 4 世代(4G)の携帯電話技術により、大画面のスマートフォン上で写真や映像、音楽などを駆使したサービスの提供が可能となった。端末内の情報を常にクラウドと同期・連携させるような使い方も、高速で安価なモバイルデータ環境があっただけで実現した。

このように、過去の情報通信技術(ICT)の進化の過程では、ネットワークの高度化とデータ利活用の高度化がポジティブスパイラルを形成してきた。黎明(れいめい)期にはエコシステムの統率が容易なクロード環境が市場形成をリードしても、市場が成熟するにつれ、オープンで自由な環境がこれを凌駕してきた。こうした傾向が Beyond 5G の時代にも継続するのだろうか、すなわち、

①Beyond 5G ネットワーク高度化は、データ利活用の新たなブレイクスルーをもたらすのか

②クロードな色彩を強める既存デジタル経済圏は、新たなオープン経済圏に凌駕されていくのを見極めることが、データ利活用社会の今後を占う上で重要である。

### 1.1.2. メガプラットフォーム主導の価値創出の先にあるもの

インターネットとモバイルブロードバンドは既に人々の生活を大きく変えてきた。

人々は日々の生活で多くの時間をインターネットでの情報収集やコミュニケーションに費やしている。ホワイトカラー業務や、買い物や娯楽など消費活動のオンライン化も進んでいる。コロナ禍で対面での社会経済活動が抑制されたことで、この傾向は加速している。日本人の平均ネット利用時間(平日)は、2012 年の 71.6 分/日から 2021 年の 176.8 分/日へと増加した<sup>8</sup>。これは 2 次活動時間(仕事・家事等)と 3 次活動時間(余暇等)の合計<sup>9</sup>の 23%に相当する数字である。スマートフォンの使い過ぎが心身に与える悪影響を問題視する声も高まりつつあるが、心身への負担を軽減するようなユーザー・インタフェースの革新次第では、残りの生活時間にもネットが浸透する余地がある。

ICT の進展は金融や小売り、ゲームや映像など多くの業界の産業構造を変えた。とりわけ国境を越えて展開する GAFAM 等のメガプラットフォーム(以下、メガ PPer)の躍進の舞台となったのは広告産業のネット移行である。2021 年には日本のインターネット広告費がマスコミ 4 媒体(新聞、雑誌、テレビ、ラジオ)の合計を上回った(図表 1-2)。

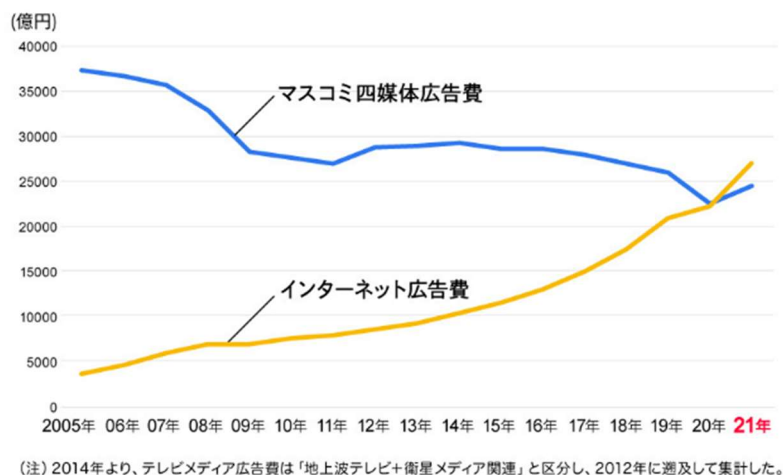
---

<sup>7</sup> フィーチャーフォン上で提供されるデータサービスでは、携帯事業者が作成あるいは認可したコンテンツに、公式メニューを通じてアクセスするのが主たる利用方法であった。

<sup>8</sup> 総務省情報通信政策研究所「令和 3 年度情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査」。調査対象者は 13 歳から 69 歳まで。 [https://www.soumu.go.jp/iicp/research/results/media\\_usage-time.html](https://www.soumu.go.jp/iicp/research/results/media_usage-time.html)

<sup>9</sup> 総務省統計局「令和 3 年社会生活基本調査」によれば、2021 年の国民(10 歳以上)平均の 2 次活動時間は 6.47 時間、3 次活動時間は 6.16 時間である。 <https://www.stat.go.jp/data/shakai/2021/index.html>

図表 1-2 日本の広告費の推移(2005～2021)



出所：電通<sup>10</sup>

メガPferは、検索やSNS、動画配信など利便性の高いサービスを通じて、ネットに接続された多数のユーザーのアテンション（注目）を集め、そのデータをリアルタイムに集積する。検索やクリック、情報発信などのアクションは、ユーザーの関心事項を雄弁に物語る。これら貴重なユーザーデータがアドテック（インターネット上の広告技術）を通じて利益化される。GAFAMはその市場に君臨することで世界の時価総額ランキング上位を独占するに至った。

インターネット広告では質の低下やプライバシー懸念などの問題から逆風が強まっている。EUはアドテックの基幹技術であるサードパーティークッキー<sup>11</sup>への規制を強め、GoogleはWebブラウザChromeにおけるサードパーティークッキーの利用停止を決定した。Appleは自社OSにおける追跡型広告にユーザーの事前承認を求めるポリシーを採用した。消費者の間にもアドブロッカーを導入するなど自衛に走る動きがある。メガPferにとってアドテック依存からの脱却は重要な経営課題となっている。

メガPferによるデータ利活用は、社会活動全体から見れば限定的である。2021年のMeta(旧Facebook)の売り上げの98%、Alphabet(Googleの持ち株会社)の売り上げの81%は広告事業で成り立っている<sup>12</sup>。比較的多角化の進むAmazonでも収益の多くをECや広告、クラウドに依存している。インターネット広告やデジタルネイティブ産業以外の領域でのデータ利活用はメガPferにとっても未開の地である。

今後のデータ利活用の高度化による新たな価値創出を考えるには、アドテックとは異なる事業モデルを開拓することが重要である。モバイルブロードバンドとスマートフォンは消費者による検索やSNS利用を通じてアドテックを開花させ、今日のメガPferの隆盛を導いた。Beyond 5G時代のさらなるネットワークの高度化は、どのようなデータ利活用に道を開くのだろうか。

<sup>10</sup> 電通, 「2021年 日本の広告費」解説, <https://dentsu-ho.com/articles/8090>

<sup>11</sup> ユーザーがアクセスしているのとは別のドメインから発行されるクッキー(Cookie)のことで、インターネット上でドメインを跨るユーザーの行動履歴を把握するために使用される。

<sup>12</sup> Bloomberg, “Facebook and Google’s Ad Addiction Can’t Last Forever”, <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2022-02-03/facebook-and-google-s-ad-addiction-can-t-last-forever-thanks-to-tiktok-web3>

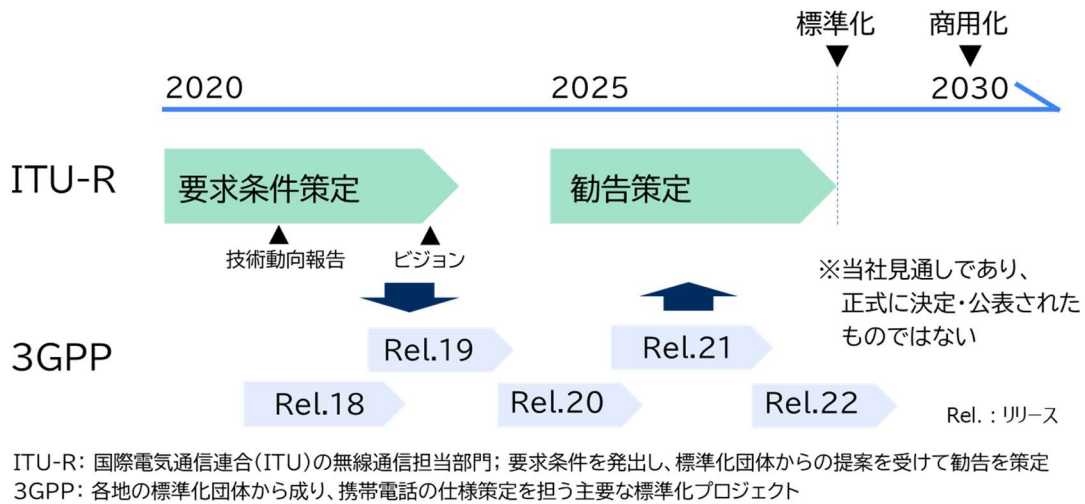


## 1.2. Beyond 5G がもたらす社会変革

### 1.2.1. Beyond 5G とは何か

無線通信における第5世代(5G)の次の規格が2030年ごろ商用化される見込みである(図表1-3)。5Gの先という意味で、6Gを含む広い概念としてBeyond 5Gと称されることが多い。

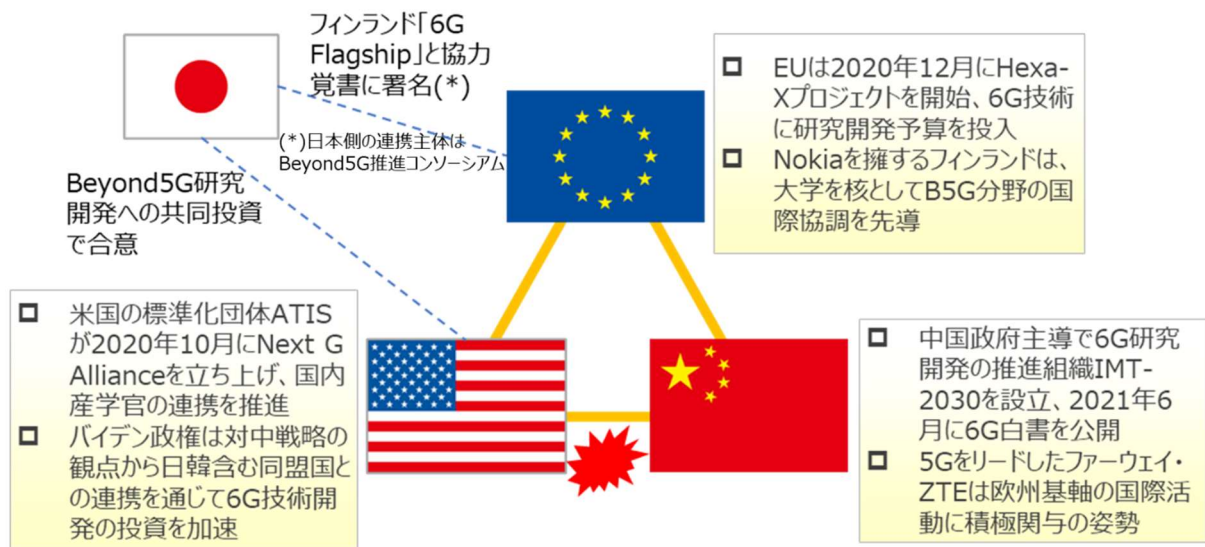
図表 1-3 Beyond5G の標準化と商用化のロードマップ



出所：各種資料に基づき三菱総合研究所作成

次世代デジタル市場での覇権争いをにらみ、先進諸国がその基盤技術となる Beyond 5G への研究開発投資を加速させている。日本でも総務省が2020年6月に「Beyond 5G 推進戦略<sup>13)</sup>」をとりまとめるなど、関心が高まっている(図表1-4)。

図表 1-4 Beyond 5G を巡る主要な国際動向



出所：各種資料に基づき三菱総合研究所作成

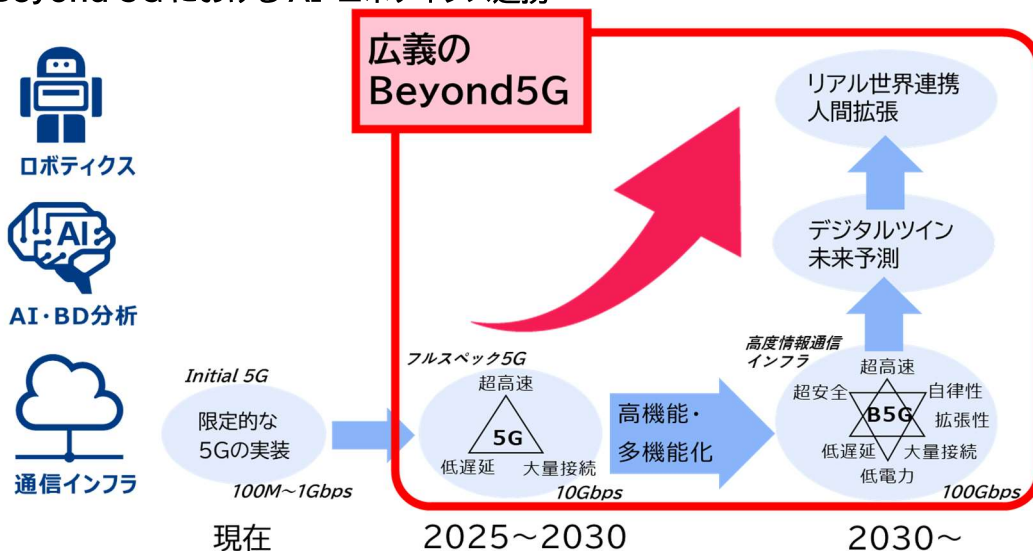
<sup>13)</sup> 総務省, Beyond 5G 推進戦略-6G へのロードマップ-, [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000696613.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000696613.pdf)

無線通信の規格はおよそ10年ごとに世代交代し<sup>14</sup>、20年ごとにデータ利活用の高度化による大きな社会変革をもたらしてきた。1990～2000年代に普及した2G・3Gは文字どおり「電話を携帯する」ことを可能とし、外出時の電話利用やSMS<sup>15</sup>・メール等を通じて人々のコミュニケーションを抜本的に変革した。2010～2020年代の4G・5Gではモバイル環境での高速データ通信が可能となり、スマートフォンを通じて個人の生活の隅々までデジタルサービスが浸透することとなった。

これがBeyond 5Gではどう変わるのか。これまで通信の主役が音声からテキスト、映像へと変化しても、受け手が人間であることに変わりはない。通信は人間の能力<sup>16</sup>を最大限にサポートできるよう進化してきた。

Beyond 5Gの最大の特徴は、高度化した通信がAIやロボティクスと有機的に連携する点にある(図表1-5)。超高速通信はAIによる大容量データ処理につながる。情報伝達の遅延が大幅に抑えられれば高速で移動するロボットや車両、ドローンなどの超精密制御が可能になる。ロボットは海洋や宇宙でも活躍できる。目指すのはAIやロボティクスを本格活用する社会であり、Beyond 5Gとは人間に加えてAIやロボット、センサーが通信の主役となるネットワークである。

図表 1-5 Beyond 5GにおけるAI・ロボティクス連携



出所：三菱総合研究所

AIやロボットが人間能力の制約を超えてつながるためには、桁違いの高度な通信性能が要求される。総務省の「Beyond 5G 推進戦略」では、主要3機能(超高速、超低遅延、超多数接続)について、現状

<sup>14</sup> NTTドコモによる各世代携帯電話のサービスインは2Gが1993年、3Gが2001年、4Gが2010年、5Gが2020年となっている。「ドコモの歴史」(NTTドコモ) <https://information.nttdocomo-fresh.jp/about/history/>

<sup>15</sup> ショートメッセージサービスの略。携帯電話会社が提供するサービスで、電話番号を宛先として短いメッセージを送受信することが可能。

<sup>16</sup> 人間が視聴する4K高精細映像のデータ量は8時間分でも数百ギガバイト。人間の目では30フレーム/秒を超える映像を区別することは難しい。人間の反射時間(例えば車の運転時に危険を認めてからブレーキを踏み始めるまでの時間)は百ミリ秒を下回ることは難しい。これらの要件は5Gのネットワークでも達成されている。

の5G<sup>17</sup>の10倍から100倍の目標を設定している。また、Beyond 5Gの追加機能として自律性、拡張性、超安全・信頼性、超低消費電力の4つを挙げている。これらはAI・ロボットのつながるネットワークの基礎をなす機能である。

## 1.2.2. Beyond 5Gのもたらす社会変革

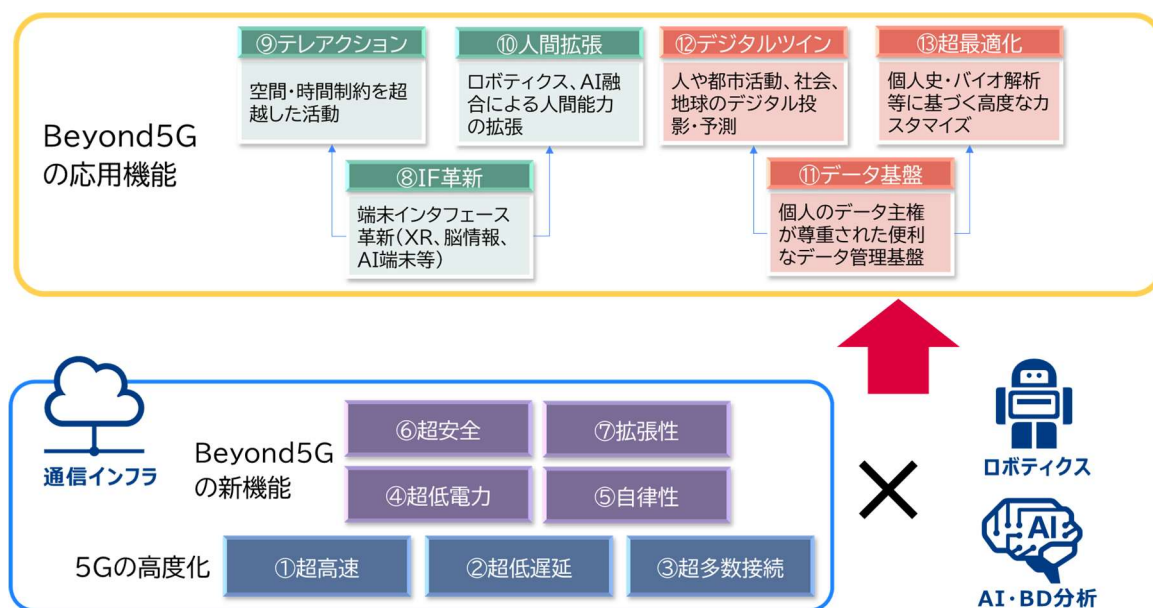
### (1) Beyond 5Gのユースケース

ICTとデータ利活用の発展は緒についたばかりである。普及したとはいえリモート会議や動画視聴など、ネット上の体験価値は対面でのリアルな体験に遠く及ばない。個人情報や活動データの公共性の高いサービス（医療・教育・防災など）での活用は限定的である。重要な産業データの多くは広く流通することなく企業内や業界内でサイロ化している。

今後Beyond 5G技術の進展でネットに流通する情報量は飛躍的に増大し（情報爆発）、デジタルツインやメタバースの発展でデジタルとリアルの体験価値は接近する。

当社はBeyond 5Gの基本機能とAIやロボティクスとの連携等の応用機能を13の機能に整理した。主として通信事業者が担う通信としての基本機能だけでなく、機器ベンダやプラットフォーマー、サービスプロバイダとの連携を通じて実現される応用機能も含め、これら13の機能をフルに活用することで、幅広い産業・社会がその恩恵を享受できる。

図表 1-6 Beyond 5Gの特徴となる13の機能



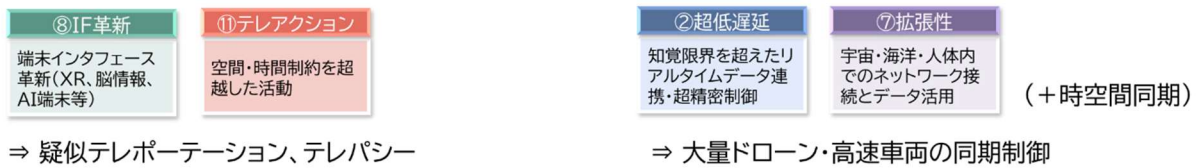
出所：三菱総合研究所

例えばテレアクションとインターフェース革新の組み合わせにより、瞬間移動（テレポーテーション）や脳の直接交信（テレパシー）などの超能力を疑似的に実現できる。これはメタバースの発展に大きく貢

<sup>17</sup> 2022年現在において実装されている5G（Initial 5Gと呼ばれることがある）の性能は限定的である。より性能を強化したフルスペックの5Gは5G Evolution（3GPPの規格としてはRelease 16、17に相当）として2030年に向けて実装されていく見通しである。

献するであろう。また、上空へのネットワーク拡張と超低遅延・時空間同期<sup>18</sup>を組み合わせれば、大量のドローンを衝突することなく一括制御することが可能になる（図表 1-7）。

図表 1-7 Beyond 5G の革新的ユースケースの例



出所: University of Surrey

出所：三菱総合研究所



出所: Adobe Stock

数ある有望ユースケースの中でも重要なのは、リアルな世界をデジタル上の双子として再現するデジタルツインである。デジタルツイン上で低コスト・短期間で条件を変えて試行や予測を重ねることで、イノベーションを加速できる。

例えば新たな感染症が発生した場合に、都市のデジタルツイン上でさまざまな感染対策を疑似的に試し、効果の高い対策を社会的合意に基づいて選択できる。個々の人体や人格をデジタル空間に投影した「人のデジタルツイン」が実現すれば、大量の治験を仮想的に実施したり、効果や副反応を事前に予測して最適な薬の種類や量を個人ごとにカスタマイズしたりすることにつながる<sup>19</sup>。

<sup>18</sup> ネットワークに接続された複数の端末（例えば飛行中のドローンなど）が同期の取れた時間情報や空間情報を保持できる仕組みのこと。




<sup>19</sup> 人のデジタルツインの萌芽的事例として、花王と Preferred Networks が共同で 2022 年 2 月にプロトタイプを開発した「仮想人体生成モデル」がある。健康診断など一部のデータから、健康や生活などに関する 1,600 項目以上のデータが推定できるとされている。 <https://www.kao.com/jp/corporate/news/business-finance/2022/20220228-001/>



## (2) Beyond 5G のもたらす 3 つの価値

当社ではこうした Beyond 5G ならではのさまざまなユースケースを分析し（図表 1-8）、個人の生活や産業・社会にもたらすと期待される価値を「快適」「成長」「公平」の 3 つに整理した（図表 1-9）。

図表 1-8 Beyond 5G ユースケースの整理

	快適	成長	公平
 個人	人生の最適化、自己実現	生産性の飛躍的向上 新たな産業・職業の創出	制約からの開放・機会均等
 産業	非ICT産業におけるBeyond5G利活用による高度化 例)医療、教育、農林水産業、製造、交通		個人のデータ主権回復 サービス享受の機会均等
 社会	データ連携基盤を通じた 都市や社会の最適化・効率化		社会格差の縮小・分散化

出所：三菱総合研究所

図表 1-9 Beyond 5G の「快適」「成長」「公平」の 3 つの価値

<b>快適</b>	人間能力の拡張された超快適な自己実現社会	<ul style="list-style-type: none"> <li>情報通信・データ利活用の飛躍的な高度化により人間・社会の能力が拡張され、生活が快適化するとともに<b>各人の自己実現が進み、幸福度が向上</b>している</li> </ul>
<b>成長</b>	デジタル先進国としての日本の活躍・地域成長	<ul style="list-style-type: none"> <li>わが国が<b>高度ICT技術やデジタルビジネスにおいて国際社会をリード</b>し、世界の課題解決に貢献すると同時に<b>国内各地域における経済成長</b>に貢献している</li> </ul>
<b>公平</b>	誰もが主体的・公平に果実を享受できる社会	<ul style="list-style-type: none"> <li>公平に利用可能なデジタル社会基盤と法制度の下で、<b>民主的・主体的なICT・データ利活用とイノベーション</b>が促進され、その<b>果実を地域・国民が遍く享受</b>している</li> </ul>

出所：三菱総合研究所

「快適」とは、人間能力が拡張された状態である。重要なのは、単なる利便性の追求にとどまらず、各人の自己実現を通じてウェルビーイング<sup>20</sup>の向上が図られることである。例えばロボット工学を応用した人間拡張<sup>21</sup>やテレアクションにより、身体的なハンディキャップや居住地による制約を超えた職業選択や社会活動が可能となる。人のデジタルツインは、治療手段の判断などの重大な意思決定局面における失敗リスクを予見・低減し、人生の質を向上させる。

「成長」とは、デジタル先進国としての日本の活躍と地域の発展である。高度デジタル技術開発とイン

<sup>20</sup> 1948年に世界保健機関（WHO）憲章の前文に使われた言葉。「人が身体的だけでなく、精神的にも、社会的にも良好な状態」という広義の健康概念を指す。現在は、より幅広い人の幸福や生活の質を示す概念として使われている。

<sup>21</sup> NTTドコモは2022年1月に、6G時代の新たな提供価値のひとつである「人間拡張」を実現するための世界初の基盤を開発したと発表した。https://www.docomo.ne.jp/info/news\_release/2022/01/17\_00.html

フラ整備、さらには革新的なサービスやビジネスの創出により、国際競争力を確保し、世界の課題解決に貢献する。同時にその恩恵が地域の経済発展にも及んでいることが重要である。

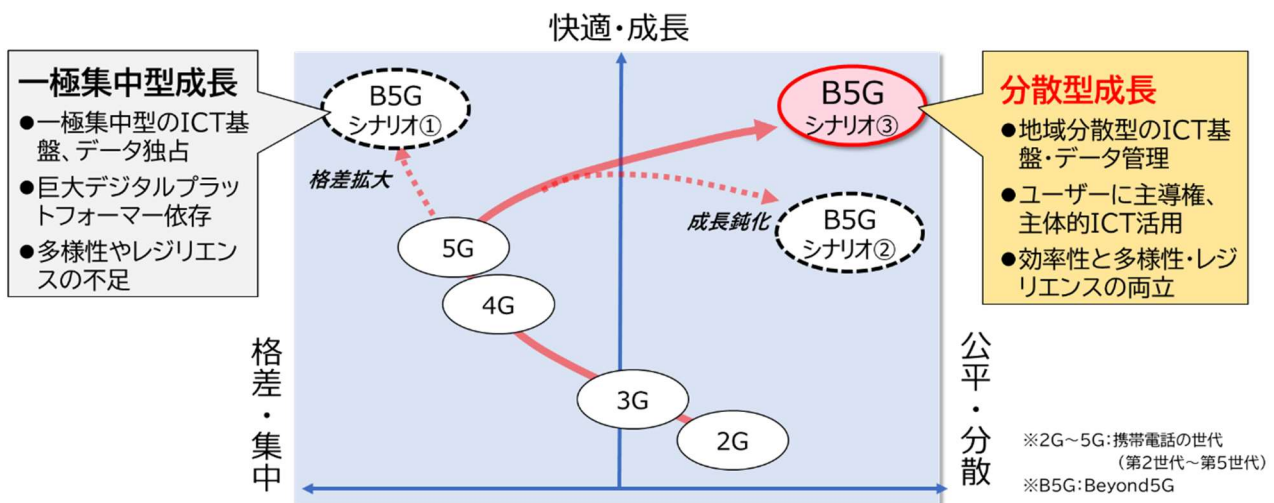
「公平」とは、誰もが主体的に Beyond 5G の果実を享受できる状態である。これまでのデジタル化の進展には、情報格差（デジタルデバイド）やメガ PPer への依存を通じて格差・集中・分断を助長してきた側面もある。Beyond 5G では、データの本来の持ち主であるユーザーがデジタル技術利活用の主導権を回復し、一極集中や不本意な格差を解消することが可能となる。

### 1.3. 分散型成長へのゲームチェンジ

Beyond 5G の健全な発展のためには、「快適」「成長」「公平」を一体的に実現することが重要である。しかし近年の ICT の発展において、社会は経済合理性に優れた一極集中型成長の道を進んできた（図表 1-10）。一極集中の下では生活が便利になる「快適」の歩みは確かだとしても、グローバル競争の陰で地域産業が低迷するなど、国や地域のレベルでの「成長」は自明ではない。「公平」の観点では、少数のメガ PPer にデータや富が集中し、サービス多様性やシステム障害への耐性の面で危機が顕在化している。

通信や AI が社会の神経や頭脳としてますます深く浸透する Beyond 5G の時代に、現状の延長線上の一極集中型成長が続けば、多様性やレジリエンスの不足などの重大な社会リスクを抱えることになる。これを避けるため、快適・成長と同時に公平を一体的に実現することにより、多様な主体が協調して社会インフラを担うような「分散型成長」を目指す必要があると当社は考える。

図表 1-10 「快適」「成長」「公平」の一体的実現と分散型成長



出所：三菱総合研究所

分散型成長は、一極集中型のシステムを分散型システムで単純に置き換えるものではない。経済合理性に優れた一極集中型のシステムへの対抗軸として、レジリエンスが高く多様性や主体性を発揮しやすい分散・協調型のシステムを育成し、それらのベストミックスを通じて社会の長期的なウェルビーイングの向上を図る考え方である。

分散型成長が目指すのは、誰もが主体的に安心してデジタルの果実を享受する社会である。経済合理性や利便性を主たる実現価値としてデジタル化にまい進してきた社会にとって、「誰もが」「主体的に」「安心して」という公平に資する価値を基軸に行動することは、大きなゲームチェンジとなる。

## 1.4. 分散型成長を支える分散型の ICT 基盤

デジタル社会における一極集中型成長と分散型成長の相違を図表 1-11 に整理した。

図表 1-11 デジタル社会における一極型成長と分散型成長の違い

区分	項目	一極集中型成長	分散型成長	
インフラ	担い手	メガキャリア・メガPFer中心	多様化(地域や業界プレイヤーの参画)	
	構成要素	データセンター	DC/IXの大都市集中、メガクラウド	DC/IXの地域分散、エッジクラウド
		ネットワーク	垂直統合型の全国NW	プライベート網を含む多様なNW
		電力消費	都市圏での大量電力消費	地域の再エネ活用、高い再エネ比率
実現価値	統制の効いた均質なICTインフラ	レジリエントで環境負荷が低く多様性のあるICTインフラ		
プラットフォーム	担い手	メガPFer中心、クローズド	多様化(地域・業界PF)、オープン化	
	構成要素	個人データ管理	メガPF等に丸投げ	ウォレットによる自主管理
		産業データ流通	企業内部でサイロ化	地域の企業間で垣根なく流通
		トラスト、ガバナンス	主にメガPFerが担保	マルチステークホルダーで担保
実現価値	サービス提供・利用の簡便さ	主体的なサービス提供や利用、データ主権と安心安全、データの自由な流通		
サービス	担い手	メガPFer中心	多様化(地域の中小企業、オンラインコミュニティなど)	
	構成要素	カスタマイズ性	大規模で一律的なサービス	地域性等きめ細かなカスタマイズ
		イノベーション	大規模研究開発投資	参加型、ボトムアップイノベーション
		効率化	規模の経済・短期的な効率化	市場競争・長期的な効率化
		主戦場	デジタルネイティブ産業、プラットフォーム型経済	地域課題解決や地域産業振興、クリエイターエコノミー
実現価値	広告による無料サービス、デジタル中抜きによる低料金化	競争進展とサービス多様化、デジタルリアル融合によるリアル産業の高度化		

出所：三菱総合研究所

デジタル社会の一極集中型モデルにおける主たる実現価値は、

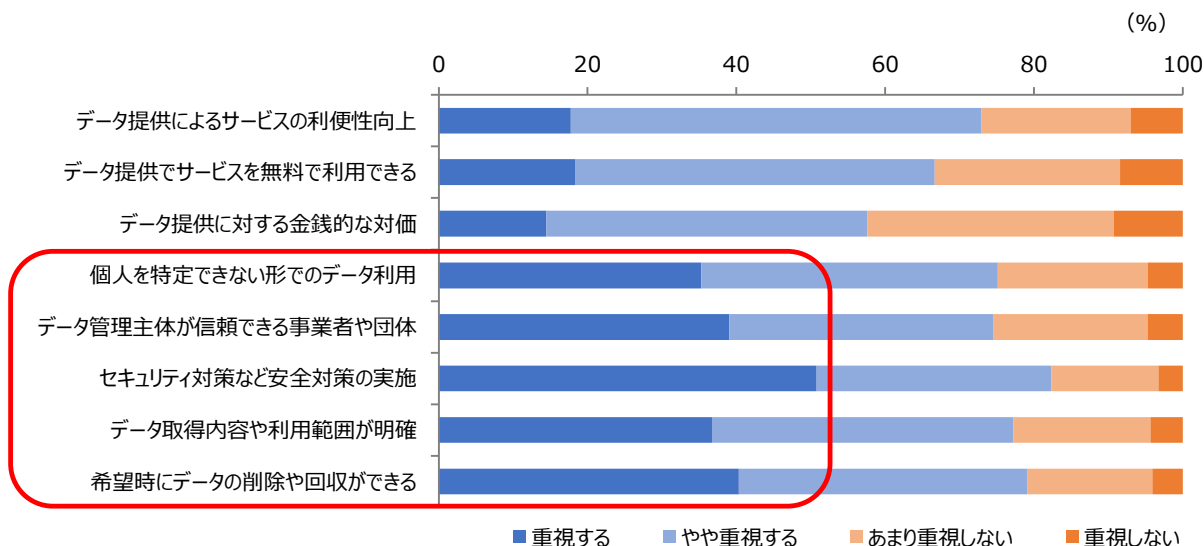
- 統制の効いた均質な ICT インフラの提供、規模の経済効果
- プラットフォーム共通化によるサービス提供や利用の簡便さ
- 広告による無料サービスや仲介業者省略による低料金化

などであった。デジタル社会の黎明(れいめい)期において、これらの特徴は参画のハードルを下げ幅広いサービス事業者やユーザーにデジタルの裾野を広げる点で重要であった。

デジタル化が社会全体に浸透し参加者が飽和するにつれて、こうした一極集中モデルの価値は相対的に低下し、競争が限定されたことによる副作用が目立つようになる。

当社が2021年に実施した消費者アンケート調査によれば、生体データや人生の記録など重要な個人データを利用するサービスにおいて、データの安全性や制御可能性を重視すると回答した人の比率が、利便性や無料であることに対する回答を大きく上回る結果となった(図表 1-12)。

図表 1-12 重要な個人データを利用するサービスにおいて重視する事項



出所：三菱総合研究所<sup>22</sup>

この例が示すように、以下に挙げるような分散型成長の特徴である多様性や主体性などの価値が相対的に浮上している。

- レジリエントで環境負荷が低く多様性のある ICT インフラ
- 主体的なサービス提供や利用、データ主権と安心安全、データの自由な流通
- 競争進展とサービス多様化、デジタルとリアル融合によるリアル産業の高度化

分散型成長はこうした社会的な必然性を背景としており、経済的にも大きなビジネスチャンスを生むと期待されている。一方で一極集中型システムの利便性は依然として大きいため、市場原理だけでその転換が実現するかは定かではない。そのため、政策面でも分散型成長を後押しする取り組みが開始されている。具体的には、一極集中システムの弊害抑止策と、分散型システムの育成策がある。

一極集中システムの弊害抑止については、法規制の導入が世界中で進められている。EU が先導するメガ PFER への一連の法規制強化はその典型例である。欧州議会は 2022 年 7 月に、メガ PFER に対して偽情報拡散などへの対策を義務付けたデジタルサービス法(DSA)、消費者のロックイン<sup>23</sup>禁止やターゲティング広告に係る事前同意取得を定めたデジタル市場法(DMA)を採択した。日本でも、自らのデータに関する権利保護を強化することを目的とした個人情報保護法の改正などの対策が進められている。日本の提唱する DFET（信頼ある自由なデータ流通）の実現に向けて、EU との連携を強めながら、一極集中システムの弊害抑止のための国際的な枠組み作りをリードしていく必要がある。

分散型システムの育成策は、技術開発やインフラ構築への支援、新ビジネスへの規制緩和など法制度の対応、ユーザーリテラシー教育など多岐にわたる。新たな分散型システムの主役となるのは地域やコミュニティである。日本のデジタル田園都市国家構想は、地域の ICT インフラ・サービス構築を通じて地域主

<sup>22</sup> 「データ主権やデジタルサービスの利用意向に関する調査」（2021 年 9 月実施、20 代から 60 代の男女 3,000 人）

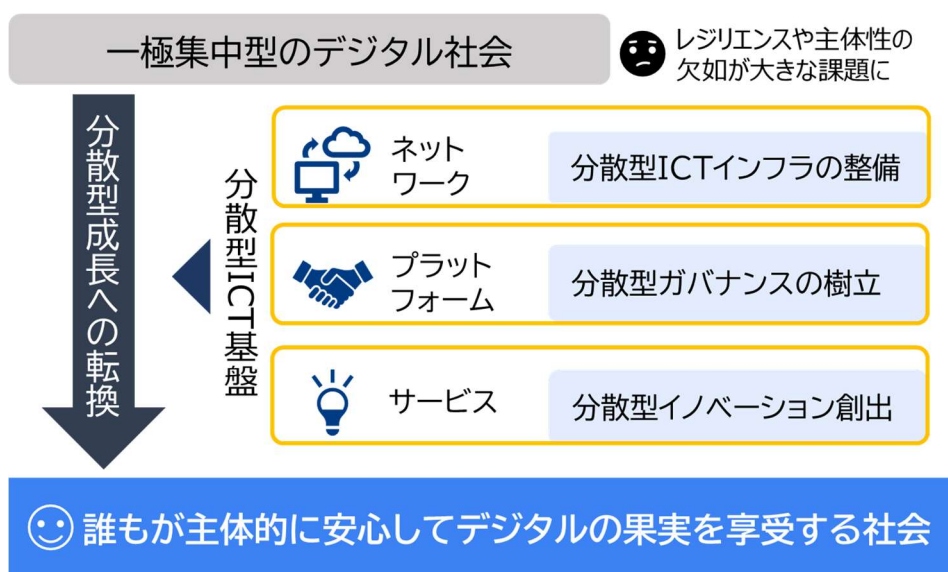
<sup>23</sup> ユーザーをひとつのプラットフォームやアプリケーション内に縛り付け、他のプラットフォームやサービスへの移行を阻害することで、選択肢を狭めるような行為を指す。



導の分散型成長を支援する。Web3 やトークンエコノミーの本質は、多数の参加者がオンラインコミュニティに集い主体的・協調的に活動する分散型システムの形成にある。日本では Trusted Web の推進等を通じてこうした新しい分散型システムの基盤形成に貢献しようとしている。

デジタル社会の分散型成長への転換と、それに伴う新たなデジタル経済圏の形成は、今後数十年で大きな社会変革の潮流を形成するであろう。その歩みを具体的で確かなものとするため、当社は分散型成長を支える役割を果たす ICT 基盤の整備に着目し、ネットワーク・プラットフォーム・サービスの 3 層について課題検討を行った（図表 1-13）。

図表 1-13 分散型成長を支える分散型 ICT 基盤



出所：三菱総合研究所

以降の章では、ネットワーク層における分散型 ICT インフラ整備（第 2 章）、プラットフォーム層における分散型ガバナンス樹立（第 3 章）、サービス層における分散型イノベーション創出（第 4 章）について、その必要性や要件、実現策を検討していく。

# 第2章 情報爆発の姿と 分散型ネットワークインフラ

---

## 2. 情報爆発の姿と分散型ネットワークインフラ

### 2.1. Beyond 5G 時代の情報爆発と需給ミスマッチ

Beyond 5G 時代のデータ利活用社会では、これまで以上に社会の至る所にセンサーが設置され、リアルタイムな情報収集が可能になる。ウェアラブル端末などを活用して、個人の生体データや遺伝子データなど、より詳細な情報収集をすることも見込まれる。AI によるデータ処理、サービス・マシン間通信などの爆発的な増加も予想される。

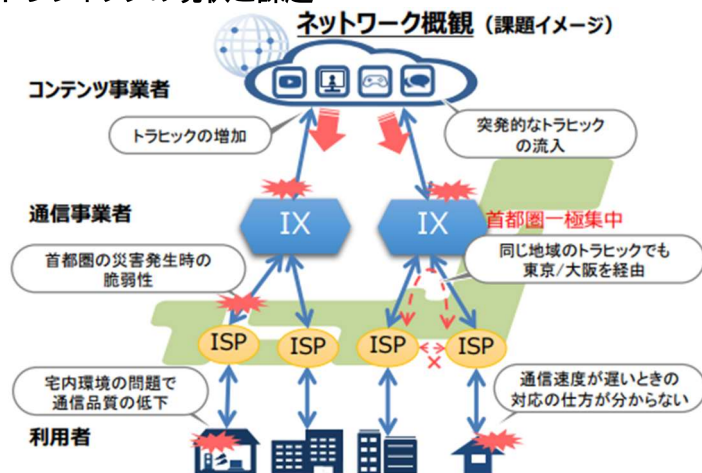
コネクテッドカー<sup>24</sup>の自動走行では、ドライバーの意図を問わず人間の処理能力を超える大量の情報が自動送受信される。Beyond 5G の中核技術であるデジタルツインを活用した新しいサービスもデータ流通の増大に拍車をかける。医療分野では、予防医療を含むパーソナライズド医療の実現のために大量の個人バイオデータや日常生活データを要する。都市や地球のデジタルツインの場合、兆単位のセンサーが発出する膨大なデータが常時ネットワークに流入する。

こうした「情報爆発（ネットに流通する情報量の飛躍的な増大）」により、通信網などデジタルインフラに多大な負荷がかかる。新たな社会の根底を支えるデータ流通の仕組みづくりを目的として、通信やコンピューティングの基盤整備に着手する必要がある。

現状のデータトラフィックの多くは映像配信が占めている<sup>25</sup>。映像の多くは首都圏等の拠点配信サーバーから配信される。配信系のトラフィックだけでなく、本来は地域内で流通可能なトラフィックも東京・大阪の IX（インターネット・エクスチェンジ）に集中している実態がある。

総務省が 2021 年に取りまとめた「インターネットトラフィック研究会」の報告書概要<sup>26</sup>では、東京・大阪の IX に国内総トラフィックの約 98% が集中していることを指摘した上で、トラフィックの一極集中や災害発生時の脆弱（ぜいじゃく）性をデジタル活用の主たる課題のひとつとして指摘している（図表 2-1）。

図表 2-1 インターネットトラフィックの現状と課題



出所：「インターネットトラフィック研究会」報告書概要

<sup>24</sup> インターネットに常時接続する機能を有する自動車。

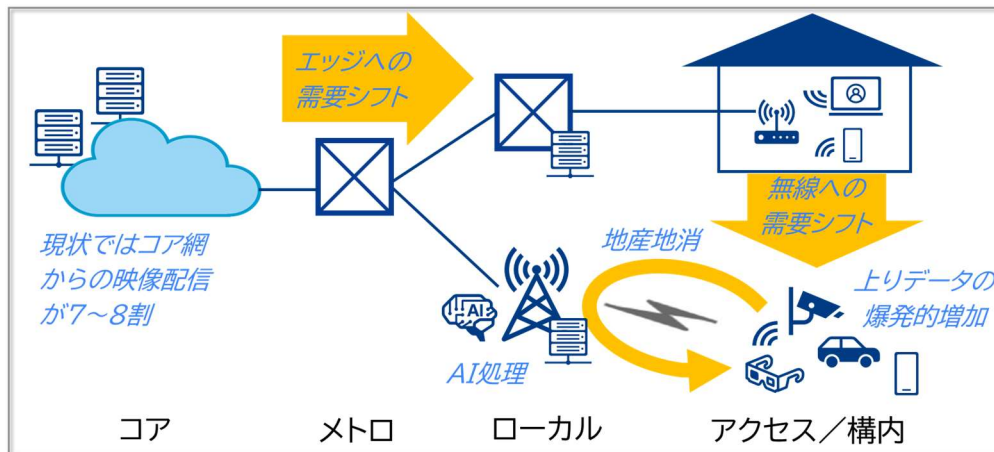
<sup>25</sup> 「Visual Networking Index」(Cisco, 2019) の推計では 2022 年にモバイルデータトラフィック全体に占める映像の割合が 79% に達するとされている。 [https://www.cisco.com/c/dam/global/ja\\_jp/solutions/service-provider/Visual\\_Networking\\_Index\\_Infographic.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/ja_jp/solutions/service-provider/Visual_Networking_Index_Infographic.pdf)

<sup>26</sup> 総務省, 「インターネットトラフィック研究会」報告書概要, [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000752367.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000752367.pdf)

今後、情報爆発の下でのユースケースの変化が進行すれば、ネットワーク需給にも影響を及ぼす。

需要の観点からは、上りトラフィックが増加する。農場や山林、工場や都市などでセンサーや車が発信するデータ、監視カメラやスマートグラス映像などの多くは無線通信を経由する上りトラフィックである。これらのデータはローカルなサーバーに蓄積され、AI がリアルタイムまたはバッチで自動処理することが想定される。このような用途では、発生したデータを東京や大阪の IX まで運ぶ必然性は乏しい。遅延やネットワーク障害のリスクを減らすためには、データの発生位置に近いネットワークの端（エッジ）で処理を完結させることが有利となる（図表 2-2）。

図表 2-2 ネットワークを流れるトラフィックの変化



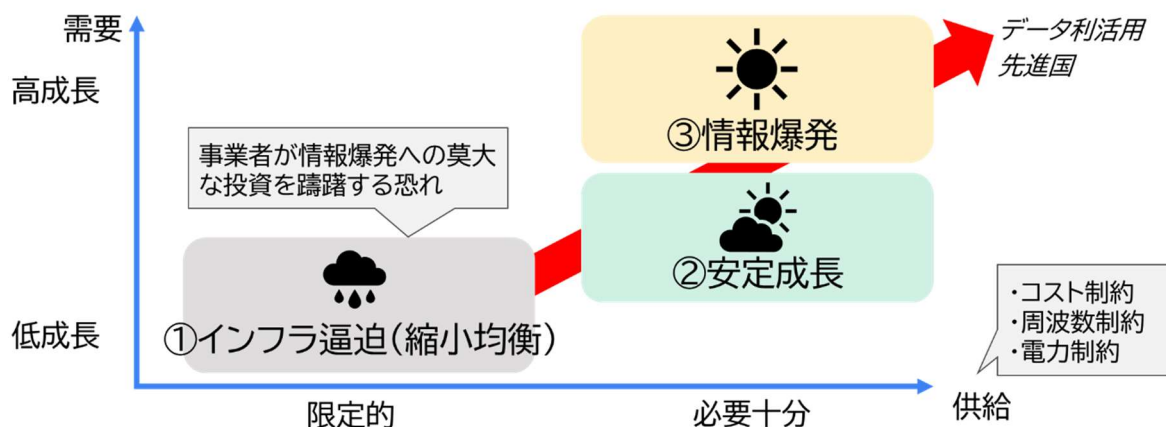
出所：三菱総合研究所

一方、現在のネットワークインフラは一極集中型で需要のエッジシフトに対応できていない。ユーザーは望むと望まざるとにかかわらず、発生するデータの大半を東京や大阪の IX やメガクラウドに送っている。現状で主流であるコミュニケーションや映像配信などには、この供給構造が適している。しかし情報爆発によりサービス需要が大きく変われば、需給のミスマッチが生じる。

映像視聴やオンライン会議であれば遅延の影響は軽微だが、遠隔医療や自動運転で同程度の遅延や同期のずれが生じれば人命に影響を及ぼすケースもありうる。サーバーと物理的に近接するほど低遅延で処理可能であり、地域ネットワーク内に閉じた運用が有用である。現状のネットワーク構造ではそのような効率の良い処理を行うことが難しい。

変革を要するのはエッジ化への対応だけにとどまらない。情報爆発により処理すべきトラフィック量が大幅に増大すれば、ネットワークインフラの供給量を大幅に拡充する必要がある。しかしながら、ネットワークインフラの構築にはコスト、周波数、消費電力などの制約条件がある。これらの制約を解消する見通しが立たない限り、事業者は情報爆発への莫大（ばくだい）な投資をちゅうちょし、ネットワークインフラの供給が限定的となり、インフラが逼迫（ひっばく）してデータ利活用が縮小均衡に陥る恐れがある（図表 2-3）。

図表 2-3 情報爆発における需要成長とインフラ供給の関係



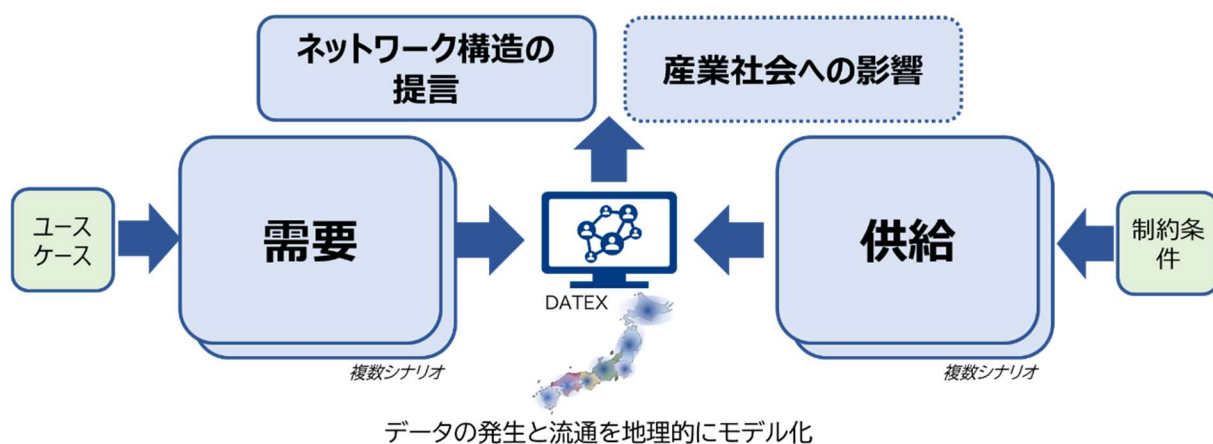
出所：三菱総合研究所

## 2.2. 情報爆発の定量予測シミュレーションモデル

### 2.2.1. モデルの構成

情報爆発下でのトラフィックの需要と供給の関係、またネットワーク構造への影響や産業社会への影響を定量分析するために、当社では情報爆発(DATEX; DATa EXplosion)モデルを開発した(図表 2-4)。

図表 2-4 情報爆発モデルの基本構成



出所：三菱総合研究所

モデルでは Beyond 5G 時代を想定した 100 以上のユースケースが発するトラフィック需要を積み上げることで需要の予測を行う(図表 2-5)。需要モジュールではユースケースごとに発生する主要なデータ種別を特定し、その利用帯域、接続回数や接続時間、ユーザー数やデバイス数、利用率、トラフィック方向、遅延要件、流通範囲などをパラメータとして設定した。



図表 2-5 情報爆発モデルにおけるユースケースの例(農林水産業の場合)

区分	ユースケース	代表的なデータ
スマート農業	【生産】データ(土壌センサ、気象情報など)に基づく生産管理	土壌(水分、肥料など)センサ、気象情報
	【生産】カメラやドローンなどを活用した生育状況のリアルタイムモニタリング	カメラ画像、動画
	【生産】農機の遠隔制御・管理	機器制御データ(カメラ、センサ、制御情報など)
	【収穫】農機の遠隔制御・管理	機器制御データ(カメラ、センサ、制御情報など)
	【流通】PFを活用したサプライチェーン管理、流通・生産計画	生産データ、流通データ(需給双方)、PF参加者情報
	【遠隔農業】都市部からの遠隔管理	機器制御データ(カメラ、センサ、制御情報など)
スマート畜産	【生産】データ(家畜センサ、気象情報など)に基づく生産管理	家畜の生体データ、畜舎の環境情報
	【生産】カメラやドローンなどを活用した生育状況のリアルタイムモニタリング	カメラ画像、動画
	【生産】畜産・酪農機器の遠隔制御・管理	機器制御データ(カメラ、センサ、制御情報など)
	【収穫】畜産・酪農機器の遠隔制御・管理	機器制御データ(カメラ、センサ、制御情報など)
	【流通】PFを活用したサプライチェーン管理、流通・生産計画	生産データ、流通データ(需給双方)、PF参加者情報
	【遠隔農業】都市部からの遠隔管理	機器制御データ(カメラ、センサ、制御情報など)
スマート林業	【資源管理】航空レーザーやドローンを活用した森林資源管理	航空画像、動画
	【生産】伐採・運搬機械の遠隔制御・管理	機器制御データ(カメラ、センサ、制御情報など)
	【流通】PFを活用したサプライチェーン管理、流通・生産計画	生産データ、流通データ(需給双方)、PF参加者情報
	【森林資源の造成】ドローンを活用した植栽、造林・保育作業の機械化	機器制御データ(カメラ、センサ、制御情報など)
スマート漁業	【生産・漁獲】環境センシング、漁獲データを基にした漁獲量、漁場予測	海中センサ、気象情報
	【生産・養殖】環境センシングデータを活用した養殖の効率化	海中センサ、気象情報
	【資源管理】海洋、漁獲、資源データを基にした資源管理	海中センサ、漁獲・資源データ
	【流通】PFを活用したサプライチェーン管理、流通・生産計画	生産データ、流通データ(需給双方)、PF参加者情報

出所：三菱総合研究所

需要モジュールでは、各ユースケースにおいて発生するデータが、ネットワーク階梯(かいてい)のどこで処理されるのが適切であるか(流通範囲)を設定している。例えばスマート農業等においてM2Mで土壌センサーや気象情報に基づく生産管理を行うユースケースでは、データ処理はおおむね構内(農場内)や地域内などで行うことが適切であり、地域を超えて都道府県などの地方圏や、東京・大阪経由で全国に流れるトラフィックは限定的であると設定している。一方でメタバース上での交流などのユースケースでは、交流相手の地域分布等に応じてトラフィックの流通範囲が規定される<sup>27</sup>。いずれのケースでも需要モジュールではデータの発生源になるべく近い位置で処理することが適切であると想定している。

供給モジュールでは、需要モジュールが想定したデータ処理位置を、供給側の制約によって補正している。実際のネットワークでは、トラフィックは必ずしも需要モジュールで想定した「適切な」位置で処理されるわけではない。本来は農場内のセンサーとサーバーの間で処理可能なデータが、公衆網に乗って東京のIXまで運ばれて折り返される場合もある。同居家族や隣人とのコミュニケーションでも、グローバルなプラットフォームを使うことで東京や海外のサーバーを経由する。ローカルで処理可能なデータが費用や利便性の観点からメガクラウドに置かれる場合もある。供給モジュールでデータ処理位置に関する指定を行うことで、感度分析が可能な設計としている。

### 2.2.2. 3つのシナリオ

情報爆発モデルでは、革新的なユースケースの成長を含む長期の需要予測を行うため、2040年に想定される社会像とサービス普及状況からバックキャストする形で、2020年～2040年の20年間の予測を行った。

モデルでは需要と供給について3種類のシナリオを設定した(図表2-6)。「インフラ逼迫(ひっばく)」シナリオでは、インフラの供給に制約が生じ、それが需要の頭打ちにつながると仮定した。具体的には過

<sup>27</sup> 情報爆発モデルでは、例えばNTTが公表している音声通話における通話相手の地理的な分布のプロファイルを参考に、コミュニケーションに係るトラフィック流通比率を設定している。

去 10 年間のインターネットトラフィックの伸び率と同程度のインフラ供給が上限になると想定した。「安定成長」と「情報爆発」シナリオではインフラ供給は十分に行われると仮定した。技術進化の程度やそれに伴う普及予測が難しい革新的ユースケース（自動運転、メタバース等を想定）では、技術進展の不足等によって利用が限定的にとどまる場合と、技術が十分に進展して最大限の普及が実現する場合の 2 シナリオを設け、それぞれ「安定成長」「情報爆発」シナリオとした。

図表 2-6 情報爆発モデルにおける各シナリオの位置づけ

シナリオ	供給の想定	需要の想定
①インフラ逼迫	制約あり (過去の供給量増大と同程度が上限)	— (供給制約による頭打ち)
②安定成長	制約なし	革新的ユースケース(自動運転、メタバース等)の利用が限定的にとどまる
③情報爆発	制約なし	革新的ユースケースを含むすべてのユースケースの利用が拡大

出所：三菱総合研究所

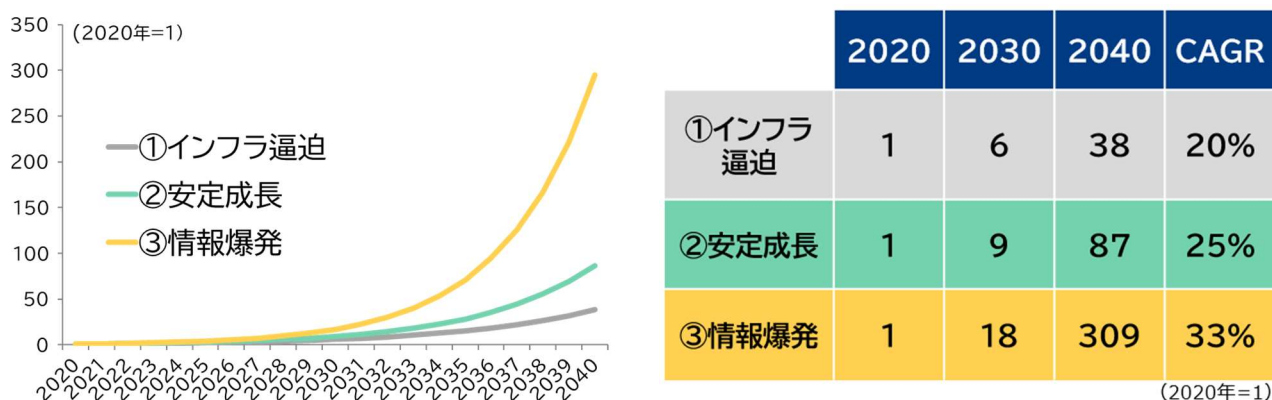
## 2.3. 情報爆発モデルの主な推計結果

### 2.3.1. 結果①:300 倍を超えるトラフィックの爆発

#### (1) 推計結果

発生する総トラフィック帯域は 2020 年から 2040 年で、情報爆発シナリオでは 309 倍、安定成長シナリオでは 87 倍、インフラ逼迫（ひっばく）シナリオでは 38 倍となった（図表 2-7）。

図表 2-7 情報爆発モデルによる総トラフィック帯域の予測(2020~2040 年)



出所：三菱総合研究所

#### (2) 課題と解決策

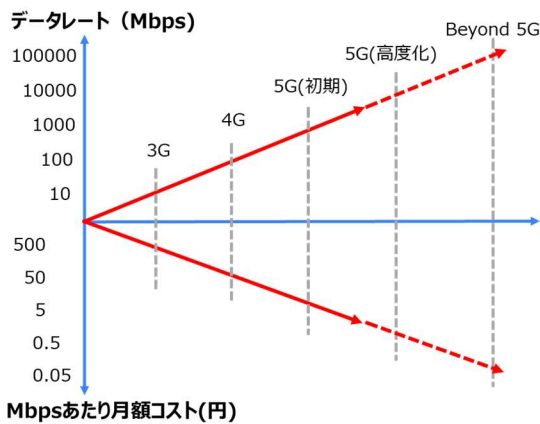
2020 年の 300 倍を超えるトラフィック需要をさばくためには、供給側のネットワークインフラの強化が求められる。供給面の主要な制約となるのはコスト、周波数、消費電力である。

コスト面ではローラル地域（町村）を含む全国的なネットワーク増強のための投資効率化が課題となる。トラフィックが 300 倍になっても、得られる収入が 300 倍になることは期待しにくい。過去には無線通信のデータレート高速化と帯域あたりコストの低下はほぼ同じペースで進行し、ユーザーの支払う月額料金

を一定範囲に保つことに貢献してきた(図表 2-8)。今後も帯域あたりコストを数百分の一に引き下げようような技術開発と投資の効率化が求められよう。

情報爆発モデルの推計では、2040 年の情報爆発シナリオにおいて都市部(東京都区部および政令指定都市)とルーラル地域では可住地面積当たりデータ量に約 25 倍の差が生じる(図表 2-9)。面積当たりの投資額が一定で、得られる収入がデータ量に比例すると想定した場合には、基地局投資に対する収益性に約 25 倍の差が生じることになる。現実には基地局の性能や設置密度の違いから収益性の差異も縮小するが、それでもルーラル地域における投資効率化と収益性の確保が重要な課題となる。例えばすべての大手携帯キャリアに全国ネットワークの自前構築を要請することの是非は再検討の余地がある<sup>28</sup>。欧州などで進行する、大手携帯事業者間での大規模なインフラシェアリングに係る制度整備や、ローカル 5G として先行的に制度設計やユースケース開拓が進められているプライベートネットワークのさらなる規制緩和・活用推進なども検討する必要がある。

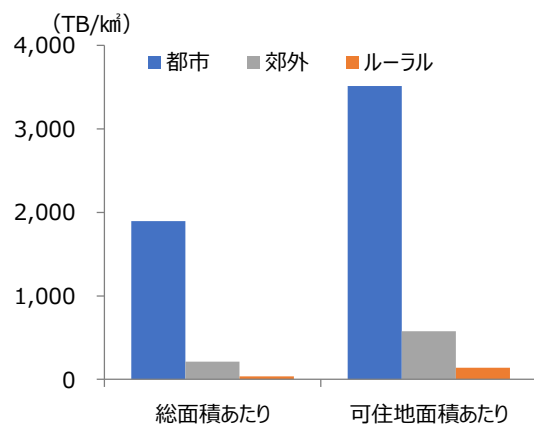
図表 2-8 無線通信のデータレートの進化と月額コストの関係(イメージ)



注：実線は過去トレンド、破線は将来の想定を示す。

出所：三菱総合研究所

図表 2-9 情報爆発モデルにおける地域区別のトラフィック密度



注：情報爆発シナリオにおける 2040 年の推計値。都市は、東京都区部および政令指定都市、郊外は他の市、ルーラルは町村。

出所：三菱総合研究所

周波数の面では、無線アクセス網において現在の 300 倍を超えるトラフィックを処理するだけの周波数帯の確保が課題となる。2021 年 8 月の「デジタル変革時代の電波政策懇談会報告書<sup>29</sup>」では、周波数利用を幾つかの区分に分類した上で、5G・Beyond 5G などの携帯電話網システムについては足元のトラフィック増加率(年率 120%)が 2039 年度末まで継続すると仮定して帯域確保の目標設定を行っている<sup>30</sup>。当

<sup>28</sup> 「デジタル変革時代の電波政策懇談会報告書」においては、複数携帯電話事業者による鉄塔等の物理的インフラシェアリングだけでなく、単一の無線装置を複数の事業者で共有する形のインフラシェアリングについてもルール整備の検討を進めることが提言されている。

<sup>29</sup> 総務省, デジタル変革時代の電波政策懇談会報告書, [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000766569.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000766569.pdf)

<sup>30</sup> 携帯電話網システムのトラフィックは 2039 年度末に 2025 年度末比で約 19 倍、Beyond 5G による周波数利用効率の向上を約 3~4 倍と想定し、これらを 2025 年度末の必要帯域(約 9GHz)に乗じることで、2030 年代の必要帯域は既存帯域を含めて約 41GHz~55GHz、2021 年度からの新たな必要帯域幅は約 38~52GHz と見積もっている。また、衛星通信



社の情報爆発シナリオでのトラフィック増加率はこれを大きく上回ることから、より多くの帯域が必要となる。5Gでは既に、高速通信が可能で電波の迂回（うかい）性などの面でも比較的使い勝手のよい Sub6（6GHz未満）、高 SHF 帯（6GHz～30GHz）の周波数帯が活用されているが、これだけで旺盛なトラフィック需要を賄うことは難しい。さらなる高速通信が可能となるミリ波帯（30GHz～300GHz）やテラヘルツ帯（100GHz以上）の活用が求められよう<sup>31</sup>。これらの周波数帯は直進性が強く距離による減衰も大きいいため、基地局やアンテナの稠密な設置が必要となり投資負担が重いのが課題である。地域ごとのトラフィック需要予測に応じて、衛星や HAPS<sup>32</sup>など非地上系通信との組み合わせも考慮しながら、最適な周波数戦略のロードマップを、周波数割当とインフラ投資・利活用の両面から立案する必要がある。

消費電力の面では、トラフィックの増大に伴ってデータセンターでの CPU 負荷が増大し消費電力量の増大を招くことが危惧される。過去トレンドから推計される日本の ICT 分野のエネルギー効率（一定の電力量で処理可能なデータ量）の上昇は年率 20%程度であり<sup>33</sup>、このペースが継続すれば 20 年間で約 38 倍にとどまる。300 倍超の情報爆発が起きれば、電力消費は単純計算で約 8 倍となる。

一方で、ここ 10 年のデータセンターの消費電力については、トラフィック等の伸びに対しエネルギー効率向上により相殺されほぼ横ばいと集計結果もある<sup>34</sup>。また AI に関わる消費電力についても、先進的なモデルの「学習」（トレーニング）に求められる計算量や消費電力は指数関数的に増加しているものの<sup>35</sup>、AI に関わる消費電力全体で見た時には「学習」より学習済みモデルを用いて実運用時に反復実行される「推論」のウェイトがかなり大きいこと<sup>36</sup>、「推論」一実行あたりの消費電力はハード・ソフト両面での性能向上により平均的に見るとここ 10 年は同じく横ばいと検証結果もある<sup>37</sup>。

このように、これまでのトラフィックの伸びとエネルギー効率化の傾向が継続するならば消費電力の上昇も限定的となる可能性は想定されるが、300 倍超の情報爆発のもとでは、エネルギー効率の劇的な改善が求められる可能性が高い。光電融合等の技術開発に加え、トラフィックの特性に応じたクラウド・エッジ間でのデータ処理の最適配置や、再生可能エネルギーの余剰が発生した地域でマシンラーニングやマイニングなど CPU 負荷の高いデータ処理を動的に行う要請も強まることとなろう。

---

や HAPS、IoT や無線 LAN、次世代モビリティなども含めた総計では、2030 年代における必要帯域の合計を約 155GHz（2020 年度末は約 37GHz）と見積もっている。

<sup>31</sup> 総務省の「Beyond 5G 推進戦略」では、利用簡素化などの規制緩和等を通じて、テラヘルツ帯を利用する技術の開発を強力に推進する必要性が強調されている。

<sup>32</sup> High Altitude Platform Station の略で、衛星よりも高度の低い成層圏を利用する通信プラットフォーム。

<sup>33</sup> 三菱総合研究所, 2050 年カーボンニュートラルの社会・経済への影響, <https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/20220704.html>

<sup>34</sup> “Recalibrating global data center energy-use estimates”, Science, 2020 年 vol.367, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aba3758>

<sup>35</sup> “AI and Compute” (OpenAI) によれば、AI 学習に要する計算量は約 3.4 カ月で倍増（2012 年から 2018 年の期間で見ると 300,000 倍以上に成長）。 <https://openai.com/blog/ai-and-compute/#modern>

<sup>36</sup> “AI Power Consumption Exploding” (Semiconductor Engineering) によれば、AI に関わる消費電力全体の内、推論による消費電力は 70-80%以上の構成比。 <https://semiengineering.com/ai-power-consumption-exploding/>

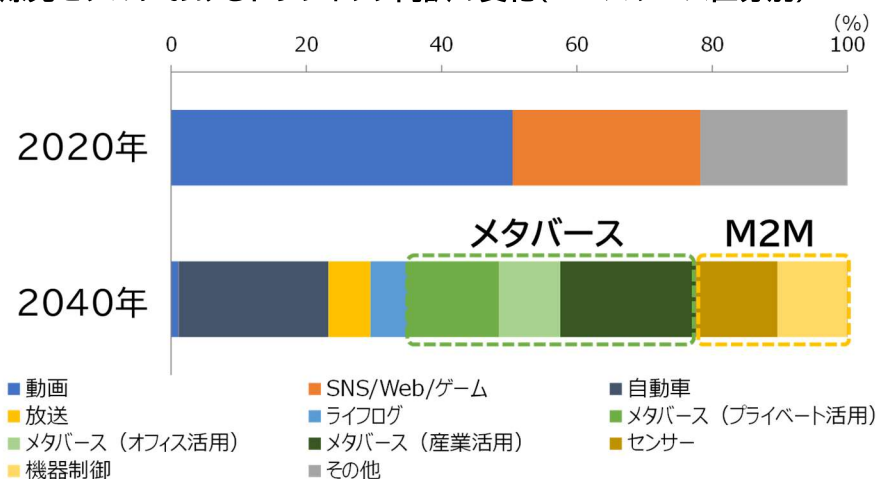
<sup>37</sup> “Compute and Energy Consumption Trends in Deep Learning Inference”, DeepAI, 2021/9/12 <https://deeptai.org/publication/compute-and-energy-consumption-trends-in-deep-learning-inference>

## 2.3.2. 結果②:ユースケースの変化と地産地消化

### (1) 推計結果

情報爆発シナリオにおける 2040 年のトラフィックの内訳をユースケース区分ごとに集計すると、メタバースが 43%、M2M（センサーや機器制御）が 22%、自動車が 22%となり、この 3 区分で合計 87%を占める（図表 2-10）。2020 年に支配的であった動画や SNS/Web/ゲーム<sup>38</sup>も伸長するが、これらトラフィックは消費人口の制約を受けること、メタバース上での交流に移行すると想定し、年平均成長率は全体平均の 33%に満たない 8%程度にとどまる見込みである。その結果、動画や SNS/Web/ゲームが全体に占める比率は、2020 年の約 80%から 2040 年に 1%まで低下する予測となっている。

図表 2-10 情報爆発モデルにおけるトラフィック内訳の変化(ユースケース区分別)

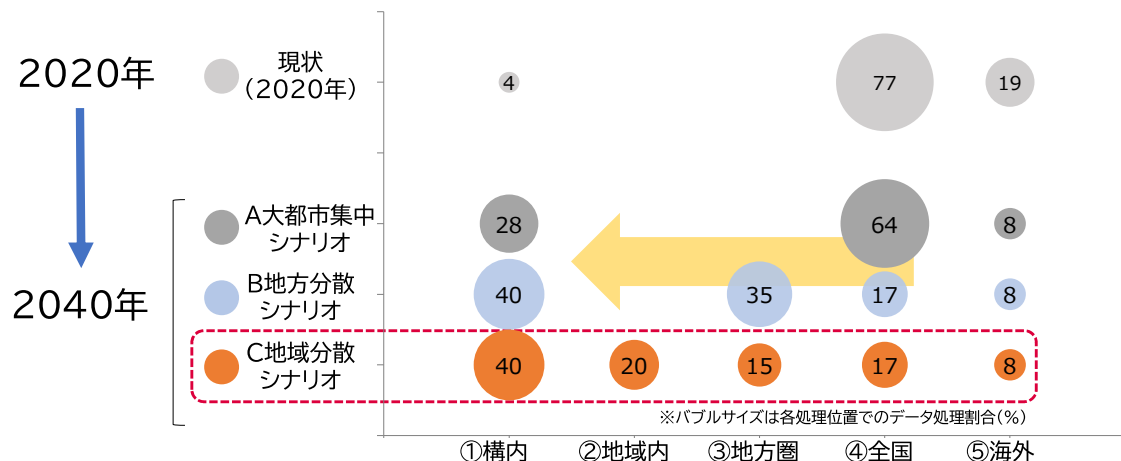


出所：三菱総合研究所

ユースケースの変化に伴い、データの処理位置も変化する。2040 年のデータ処理位置を、供給側の地域分散の想定に応じて 3 つのシナリオで推計した結果が図表 2-11 である。

<sup>38</sup> 本推計では、動画は動画配信サイトなどでの動画視聴を、SNS や Web 検索は現状の利用が続くと想定し、画質の向上やコンテンツ内容の高度化によりトラフィックは増大すると予想している。これらの活動はメタバース空間上での新たなサービスや交流に移行し利用が拡大すると想定しているため、2040 年は現状に比べ動画などのシェアが低下する。

図表 2-11 情報爆発モデルにおけるデータ処理のエッジ化



出所：三菱総合研究所

「C 地域分散シナリオ」はデータ処理のエッジ化が最大限に進行した場合に相当する。このケースではデータ処理の40%がユーザーの構内（プライベート網での処理を含む）で処理される。地域（市内通話区域などに相当する階梯（かいてい））での20%、地方（都道府県に相当する階梯（かいてい））での15%の処理も加えれば、総トラフィックの75%が東京・大阪や海外を経由することなく処理される。

2020年時点では総トラフィックの9割以上が東京・大阪や海外を経由していることと比較すれば、これはネットワーク構造の重大な変化である。

## (2) 影響の評価

足元ではメガクラウドの経済合理性は高く、設備投資や運用人材に係る規模の経済性を大きな理由として、首都圏や大阪圏への集中が進んでいる。今後も映像配信やSNS、一般的なビジネス用途（メールやファイルサーバー等）などでは、メガクラウドの優位性が継続することとなる。一方で、図表 2-12 に示した低遅延、レジリエンス、エネルギー、データ主権という4つの要請が重視されるユースケースでは、データ処理のエッジ化が進行することになるだろう。

図表 2-12 データ処理のエッジ化を促す4つの要請

項目	要請内容
低遅延	自動運転や機器制御、仮想現実(VR)などのユースケースでは低遅延が求められ、地域内での処理が優位となる
レジリエンス	遠隔手術や自動運転など人命を預かるユースケースでは、災害や障害の影響範囲を限定するため、地域内での処理が優位となる
エネルギー	風力や太陽光など自然条件に依拠する再生可能エネルギーをロスなく活用するためには、発電地域でのデータ処理が優位となる <sup>39</sup>
データ主権	医療や教育など地域住民の重要データを扱うユースケースでは、地域内でデータ管理を閉じることが要請される

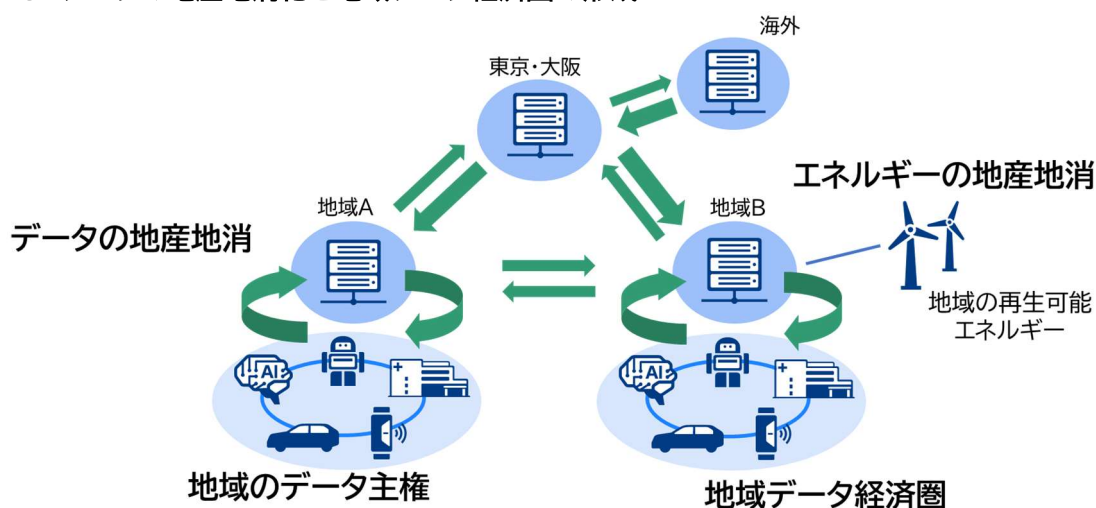
出所：三菱総合研究所

<sup>39</sup> 欧州では再生可能エネルギーの発電地にデータセンターを置く動きが強まっている。独 Windcloud 社は風力発電所でデータセンターの運営を行うとともに、データセンターの廃熱を活かした藻の育成を組み合わせることで環境負荷の低減を図っている。 <https://www.windcloud.de/>

データの流れ方の変化は、社会経済活動にも影響を及ぼす。メガ PFER はデジタル時代の石油とも呼ばれるデータを集積することで、デジタル経済の覇権を握った。データ処理のエッジ化は、貴重な価値を持つデータが地産地消されることを意味する。

データの地産地消を契機として地域のデータ経済圏を構築できれば、データ利活用の生む利益を地域に還元したり、データ利活用に係る地域発の創意工夫・イノベーションを地域社会に実装したりすることも容易となる（図表 2-13）。

図表 2-13 データの地産地消と地域データ経済圏の形成



出所：三菱総合研究所

例えば地域の自治体や企業は、データの地産地消を念頭に置いて、地域データセンターや地域ネットワークなどのインフラ整備と併せて、住民情報を含む重要データを異業種間で連携させるデータプラットフォームを整備できる。地域における価値創出エコシステムの主導権を握ることで、地域内に利益を留保し分配する仕組みを構築することも容易となろう。そうした取り組みを通じて、地域が ICT 利活用の主体性とレジリエンスを回復し地域発の経済発展につなげることが、情報爆発時代の分散型 ICT 基盤整備の重要な果実となろう。

# 第3章 Web3 と分散型トラスト基盤

---

### 3. Web3 と分散型トラスト基盤

---

爆発的に増加する情報とそれが伝播されるインターネットを活用したビジネスユースケースは拡大の一途をたどる。また、現在インターネットの秩序は、2000年代中頃に花開いた Web2 とブロックチェーン技術を活用した Web3 が相克し、新たな形態に至る変動期にある。データの質量ともに高度になり、その利活用のあり方自体も変革される社会を迎えるにあたって、誰もが安全・安心にこのデジタル空間の便益を享受できるようにするためには、デジタル空間のさまざまなステークホルダーによって実行されるビジネスプロセスの信頼性（トラスト）をいかに確保するかが重要な論点となる。

このような問題意識から、ジョージタウン大学松尾真一郎研究教授と三菱総合研究所とで共同研究を実施した<sup>40</sup>。共同研究では、デジタル社会におけるトラスト確立に必要な事項は何か、その構造を明らかにするとともに、今後必要となる取り組みを検討した。

#### 3.1. Web3 が秘めるポテンシャル

われわれが利用している現在の Web サービスは、Amazon や YouTube、SNS のように、ネットショッピングをする、音楽や映像を視聴する、メッセージや写真、動画を配信しつながるといったものである。これにより生活様式が大きく変わり、インターネットも飛躍的に普及した。

このようなインターネットの活用の仕組みは、企業や個人が多数のユーザーにコンテンツやサービスを提供する「中央集権的な」仕組みが特徴で Web2 と呼ばれている。これに対し、今着目されている次世代の Web サービスは、共通の価値を有する多数のメンバーが自発的に集い、特定の企業や仕組みの統制を受けることなく、協調的にフェアな形でさまざまなコミュニティや経済活動を営む「分散型」の仕組みである。これが Web3 である。Web2 から Web3 への移行に際して、ネット上のビジネススキームや行動様式、ルールが大きく変わり、ここにパラダイムシフトが予想される。

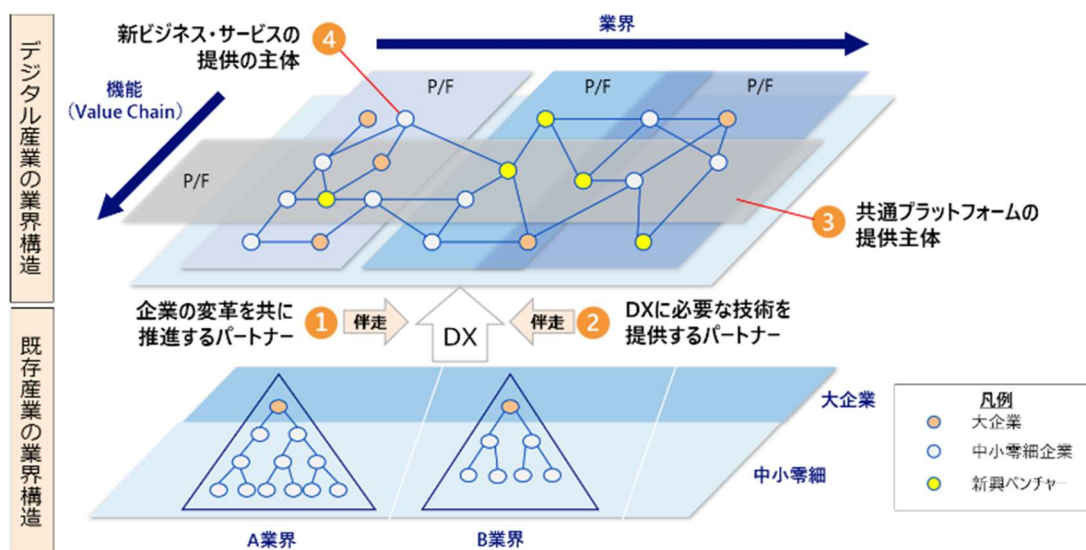
Web3 はインターネット上に流れるデータの利活用のあり方にも多大な影響を与える。個人の属性や行動に関するパーソナルデータは現代の石油<sup>41</sup>だと言われて久しい。情報爆発によって生まれるデータはただ生み出されるだけでは意味がなく、さまざまなデータと結び付くことでインサイトを得て、サービスの最適化などの価値創造につなげていくことが必要である。社会課題やニーズの複雑化に伴い、デジタル産業の構造は業界横断的な連携が行われるネットワーク構造へと進化していくものと考えられる（図表 3-1）。

---

<sup>40</sup> 共同研究の詳細は「デジタル社会における新たなトラストの在り方に関する共同研究の成果を公表」（三菱総合研究所ニュースリリース；2022年9月30日）を参照。

<sup>41</sup> World Economic Forum, “Personal Data: The Emergence of a New Asset Class”, [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_ITTC\\_PersonalDataNewAsset\\_Report\\_2011.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_ITTC_PersonalDataNewAsset_Report_2011.pdf)

図表 3-1 デジタル産業の姿と企業変革の方向性



出所：経済産業省<sup>42</sup>

このようなネットワーク構造は国内だけでなく海外のプレイヤーも含めた異業種・異主体間で発展していくと考えられる。その実現にはいかに安全で効率的なデータの流通を実現するかがカギとなる。

特に、個人情報を含むデータや匿名加工データ、産業データなど、従来の産業構造では組織外に出なかつたデータが大なるポテンシャルを秘めていると考えられる。また、情報爆発時代においては、バイタルデータや、スマートグラスによって得られる映像データ、ロボティクス、自動運転の走行/飛行ログ、メタバース上の行動などのデータがデジタル空間に入ってくる。こうしたデータは多様な業態で利活用機会があると考えられ、新たな経済成長領域と見ることができる。

Web3の本質は、その提唱者である Gavin Wood 氏が”Less Trust, more Truth”という言葉で表現したように、データの真正性を検証可能な仕組みを導入することで、不知の相手であっても安心安全なやりとりができることにある。

これにより、中間マージンの省略や、異業種・異主体間の安全・安心データ流通を促すと考えられ、従来はセキュリティやデータプライバシーの観点から難しかったサービス連携が創発される。こうした利点は、われわれの日々の生活に不可欠な分野でも便益をもたらす可能性がある。

例えば、医療分野のような機微なデータを扱う分野や、脱炭素トレーサビリティや製造業など、システムが異なる主体が関与するサプライチェーンにおけるデータ管理が行われる分野では、データの開示範囲をコントロールでき、データの真正性が検証できる Web3 の特性が有効である。

<sup>42</sup> 経済産業省, DX レポート 2.1, <https://www.meti.go.jp/press/2021/08/20210831005/20210831005.html>



## 3.2. 分散型トラスト基盤の必要性と要件

### 3.2.1. デジタル化の進展とトラスト確保の難化

「トラスト」とは必ずしもテクノロジー上の用語ではない。社会活動の背景に存在する信頼性として、古くは17世紀頃から人文社会科学分野で研究がなされてきたものであり（図表 3-2）、従前よりわれわれの社会に存在していたものである。

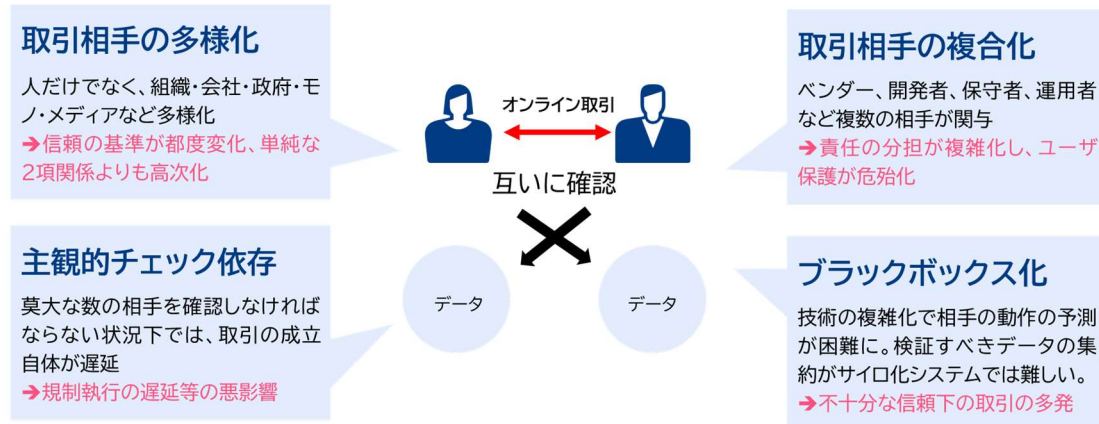
図表 3-2 「トラスト」の人文科学的定義

定義	内容
社会的複雑さを縮減するもの	相手とのやり取りにおいて、自分が知り得ない情報があっても、相手の振る舞いが期待通りに行われると信じられることで、確認や検証にかかるコストを社会的にさげられるという考え方
社会関係資本	人々の協調活動が活発化することにより社会の効率性を高められることから、物的・人的資本同様に、信頼関係そのものが経済資本になるという考え方

出所：ジョージタウン大学・三菱総合研究所

こうした「トラスト」を、デジタル化が進展し多様な情報が生み出される情報爆発時代でも確保することが求められる。われわれの普段の生活において、「トラスト」は身近で対面で合う人たち同士の社会的規範が基盤となって成立しているため、あまり意識することはない。一方で、デジタル空間では、図表 3-3 に示すようなバーチャルな人間関係の広がりや、複雑な技術を用いたシステムへの依存、だます技術自体の高度化といった課題が生じることにより、「トラスト」の成立が難しくなっている。

図表 3-3 デジタル社会にトラスト構造の新たな課題



出所：JST を参考にジョージタウン大学・三菱総合研究所作成

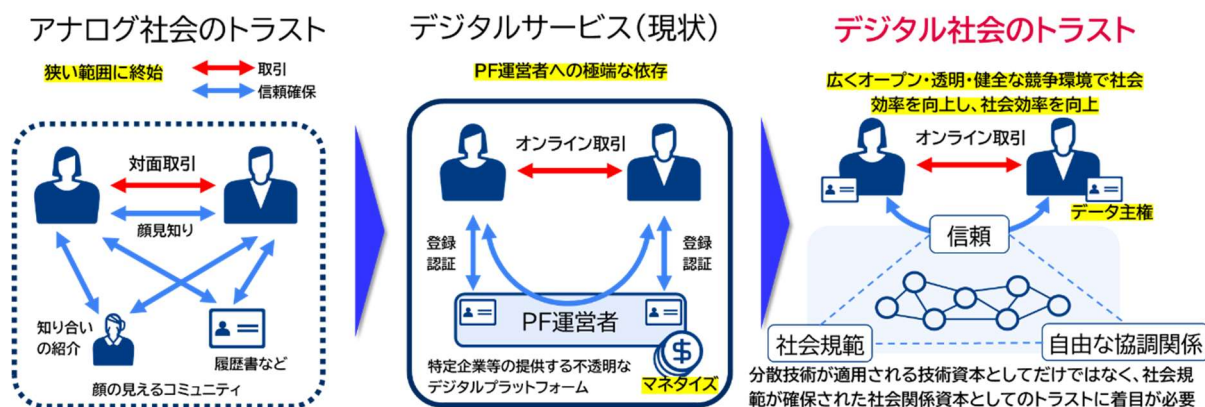
近年特に指摘されるのは、「トラスト」の担保を、メガ PFER をはじめとするプラットフォーム事業者に極度に依存することによって生まれるブラックボックス化等の弊害である。例えば、プラットフォーム事業者が中央集権的に利用者の Web 上の行動履歴や嗜好（しこう）に関するデータを収集・管理している一方で、そのデータがどのように使われるかが利用者から見てブラックボックス化していることが懸念されている。そのため、プラットフォーム事業者への信頼が成り立たない場合には、パーソナルデータの活



用や事業者間のデータ連携の足かせになるという指摘がある<sup>47</sup>。

こうした懸念に対しては、法律や契約だけではトラストの形成に限界があることも指摘されており、仕組みとしてこれを担保することが必要である。Web3はこうしたトラストの懸念に対して、特定の事業者  
に依存しないマルチステークホルダーによる分散型のトラスト形成をうたったものと位置づけられる。  
Web3自体はまだ萌芽（ぼうが）期にありその理念を実現するための仕組みは検討途上にあるが、大きな  
可能性を示したことに間違いがない。情報爆発時代に求められるデータ流通を夢物語で終わらせず本当  
に実現していくためには、どのような実装をすべきかを考える必要がある。その際には、単なる技術適用  
ではなく、人文社会科学的に見いだされたトラストの「社会的複雑さを縮減する」「社会関係資本となる」  
といった基本的性質を実現することが求められる（図表3-4）。

図表 3-4 デジタル社会のトラスト



出所：JSTを参考にジョージタウン大学・三菱総合研究所作成

### 3.2.2. 分散型トラスト基盤の要件

「トラスト」は、最小粒度としてはサービスの授受にかかわる2者間のものでありながら、社会全体の系・エコシステムとしてのあり方が問われる。マルチステークホルダーによって支える「トラスト」のあり方は国内外で議論がなされており、国内ではTrusted Web推進協議会での議論が活発である。これらの議論をふまえ、エコシステム・系としてのトラスト基盤の要件を図表3-5のように整理する。

図表 3-5 エコシステム・系としてのトラスト基盤の要件

要件	現状の問題と対応	対応策
データの一極集中化 <sup>43</sup> による弊害への対応	データが集中することで、必要以上のプロファイリングがされることがありうる。また、単一障害点としての企業のサービスがダウンしたり、一方的に打ち切られたりすることでデジタル難民が発生しうるなどの懸念がある。	一極集中を廃しながらも、データ分析によるインサイト等の便益が維持できる仕組み
データの信頼性を欠如させるインセンティブに代わるエコシステム	情報やその経路を多角的に検証する仕組みがない。アテンションエコノミー <sup>44</sup> の進展により、より刺激的でアクセス数を稼ぎやすいコンテンツがリターンを生む構造にある。	情報の経路や出元を検証できる仕組み
ガバナンスの機能不全への対応	デジタル空間では社会規範を破ることについてのペナルティがうまく機能しない <sup>45</sup> など、政府・企業を含めたマルチステークホルダーのガバナンスが十分に実効的とはいえない。一方で個人や企業の権利・利益に干渉しすぎる監視社会は望まれていない。	政府はトラストアンカー <sup>46</sup> の一つとして存在し、アクセス可能な証明基盤を提供することで関与。明文化された利用ルールが合意の下、動的にアップデートできる仕組み
データのサイロ化により十分にデータ流通が進まないことへの対応	自らのデータへのアクセスをきめ細かくコントロールでき、共有相手のデータの取り扱いを信頼する手段がない。	自らがデータの開示範囲をコントロールし、相手の利用経緯を検証できる仕組み
国際的相互運用性	トラストに関する枠組みは各国で整備されつつあり、データ流通の観点からは相互運用性が求められる。	国内の価値観を体現しつつも、他国のトラストフレームワークと相互運用性のある技術の採用

出所：Trusted Web 推進協議会<sup>47</sup>等を参考にジョージタウン大学・三菱総合研究所作成

<sup>43</sup> データの一極集中化はデータ処理の効率性の観点からは最も有効である。一方で、不適切な利用がないかどうかを検証できる手立てが無いことがこの懸念の解決を難しくしている。

<sup>44</sup> 人々の関心・注目を集めて広告等を見てもらうことで成立するビジネスモデルに立脚する経済原理。アメリカの社会学者 Michel Goldhaber によって提唱された。

<sup>45</sup> 例えば、SNS での誹謗中傷など

<sup>46</sup> トラストアンカーは、最終的にそれ以上の確認は必要とされる保証の起点

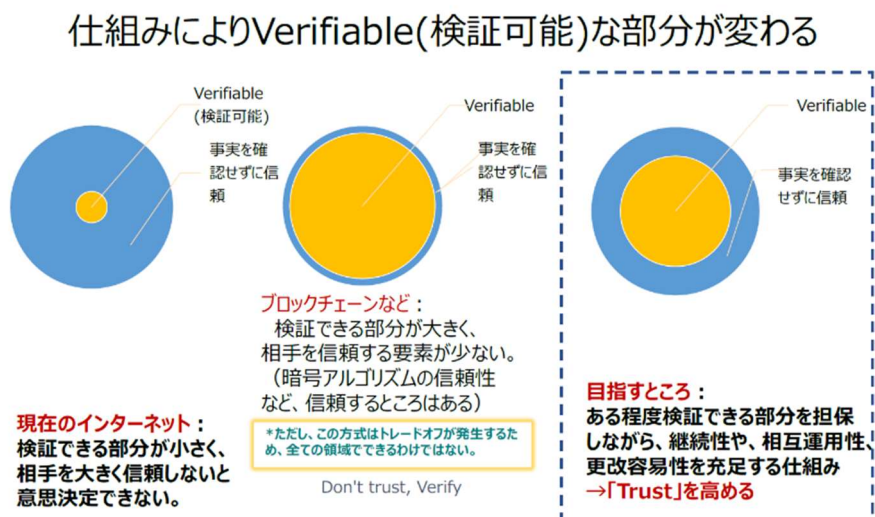
<sup>47</sup> Trusted Web 推進協議会, Trusted web ホワイトペーパー ver1.0,

[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/digitalmarket/trusted\\_web/pdf/documents\\_210331-2.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/digitalmarket/trusted_web/pdf/documents_210331-2.pdf)

Trusted Web は既存のインターネット技術を利用しつつ、一定のガバナンスや運用面での仕組みとそれを可能とするトラストに関する機能を、上から重ね合わせるオーバーレイのアプローチで追加していく方針で検討されており、実現の形態としては最もフィージビリティが高いものと言えるだろう。

図表 3-5 に示した要件を実現するには、検証可能性の確保<sup>48</sup>が不可欠である。現在のインターネットでは検証できる部分が小さく、(根拠なく)相手を信頼しないとやり取りが成立しない場合が生じていることが、Web3 で喝破された課題の一つとも言える。Web3 ではこの課題に対しブロックチェーン技術を用いた解決策を提示しており、情報爆発時代で確保すべきトラストについてもこの仕組みが有用であろう。

図表 3-6 実現形態によってかわる検証可能領域の違い



出所：Trusted Web 推進協議会<sup>49</sup>

一方でこの検証可能性をどこまで確保すべきなのは、仕組みの実現形態によって大きく左右される(図表 3-6)。ブロックチェーン技術により比較的簡便にできるとはいえ検証コストをかけて「トラスト」を確保する部分は、従来の社会システムの中で培われたガバナンスから生じる「トラスト」とのコストバランスによって見いだされるべきものであると考える。

### 3.3. Web3 を生かすガバナンスの在り方

多様な可能性を秘める Web3 は、ベンチャーを中心としたさまざまな取り組みが進むなか、各国のデジタル戦略に組み入れられ始めており、規制と振興のバランスが模索されている。

各国は、投機的側面が強かった暗号資産に関する利用者保護などのリスク管理を進めながらも、新たなインターネット秩序における競争力強化を企図し、さまざまな支援策や環境整備を進めている。

米国では、2022 年 3 月に署名された大統領令で、金融リスクへの対応を求めるとともに、責任ある開発に対するサポートを具体化する措置が指示された。また、英国では、2022 年 4 月に暗号資産分野の成長戦略が示され、同国が技術と投資のグローバルセンターを目指すための枠組みが示されている。日本で

<sup>48</sup> 大まかに言えば、改竄不可能で皆が共有する台帳への書き込み内容を確認すること

<sup>49</sup> Trusted Web 推進協議会, Trusted web ホワイトペーパー ver1.0,

[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/digitalmarket/trusted\\_web/pdf/documents\\_210331-2.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/digitalmarket/trusted_web/pdf/documents_210331-2.pdf)

も、骨太の方針 2022 において、Web3 の推進と環境整備が言及されたところである。

発展段階にあり技術先行で実装が進むこの分野では、柔軟かつ迅速に法制度面の改善を進めること、そして時には利用者保護の観点から不足点・リスクを制度面から実装側・運用側に示すことが必要となる。そのような議論の場の活発度自体が、海外を含めた優秀な技術者や起業家を引きつけ、結果的には国際競争力を決定づけることになる。

先に上げたような応用分野で Web3 はそのポテンシャルを発揮すると考えられるが、技術適用のみによって変革や価値創造を実現することはできない。“ブロックチェーン外”の法制度や、Web3 により必然的にマルチステークホルダー化するガバナンスの責任分担と利益配分を講じる必要がある。

こうした論点は必然的に政府の役割そのものを見直すことにもつながるだろう。最終的なトラストアンカーとしての役割は保持しつつ、一方で政府が果たしてきたトラストにおける役割を、マルチステークホルダー間のプロトコルから生じるトラストへと移管していく面がでてくる。また、Web3 ではコンテンツ/IP、アプリケーション、プロトコルの 3 レイヤーのうち、プロトコルが価値の源泉とも言われる<sup>50</sup>。このプロトコルの維持については利益配分のスキームは未確立である。現在実質的に技術的な安全性を担保しているオープンソースコミュニティや暗号学者のボランティア精神にのみ頼るのではなく、初期発行トークンの値上がりだけに依拠しない、一定の利益配分のスキームや研究助成のあり方を講じる必要があるだろう。

また、Web3 の応用分野では共通して特定の事業者依存しないデジタルアイデンティティ管理が不可欠である。この点では、European Digital Identity Wallet や日本 Trusted Web といった国レベルの取り組み、Twitter 創業者である Jack Dorsey 氏が率いる TBD<sup>51</sup>の Web5 プロジェクト（投機化した Web3 へのアンチテーゼとして Web5 と命名）による民間の取り組み、W3C<sup>52</sup>等の各種標準化団体が盛んとなっており、Web3 のポテンシャルを引き出す基礎固めとして位置づけられるだろう。マイナンバー制度等、政府がトラストアンカーを担う部分との技術的な相互接続性を検討していく必要があるだろう。

---

<sup>50</sup> Joel Monegro, “Fat Protocols”, <https://www.usv.com/writing/2016/08/fat-protocols/>

<sup>51</sup> TBD, <https://developer.tbd.website/projects/web5/>

<sup>52</sup> W3C, <https://www.w3.org/>

# 第4章 分散型イノベーションを 支えるテストベッド

---

## 4. 分散型イノベーションを支えるテストベッド

Beyond 5G 時代の健全なデータ利活用に向けて、分散型 ICT インフラ整備、分散型ガバナンス樹立とともに、分散型イノベーション創出が課題である。分散型イノベーションを支える新たなテストベッドのあり方を検討するため、東京大学中尾彰宏研究室と三菱総合研究所とで共同研究を実施した<sup>53</sup>。共同研究では、海外で先行するテストベッド<sup>54</sup>のインタビュー調査や国内の NICT<sup>55</sup>はじめ先進的な取り組みについて文献調査を行い、これら事例を発展させたものとして、分散型イノベーションの迅速化をかなえる「ラピッド・イノベーション・テストベッド (RITB)」を提唱する。

### 4.1. デジタル時代のテストベッドの要件

イノベーションは、かつての新発明がけん引するものから、大量生産時代に製品・プロセスの改善を中心とするもの、そして 21 世紀には市場の製品・サービスと技術を結合させ新しい価値として提供するものへと重心が移行した。デジタル技術の進展とともに 21 世紀の価値提供型イノベーションでは、市場化までの時間の短縮が重視されるようになり、特に情報通信分野ではイノベーションを支える場として、繰り返しテストを実施できる場「テストベッド」が注目されている。

#### 4.1.1. デジタル時代に期待される分散型イノベーション

価値提供型イノベーションでは、オープンな体制によるアジャイル手法を導入しつつ、デジタル技術を最大限活用し、市場化までの時間 (Time to Market) を短縮してきた。

オープンイノベーションには 2 つの側面がある。1 つ目は、大企業やスタートアップ、研究者など多様な開発者が自由に参加するとともに、新技術の成果を公表することで広く展開を図ること。2 つ目は、イノベーションの段階で利用者 (市民・顧客) に参加してもらい、新技術の市場価値や受容性を確認しつつ反映することである。

価値提供型イノベーションは、これまで GAFAM 等がけん引してきたが、本稿ではオープンイノベーションを拡張させた「分散型イノベーション」の創発を期待する。すなわち、GAFAM にとどまらず日本の中小企業やスタートアップ、研究者、学生、市民も参画し、全国一様ではなく地域の課題解決にも資する、一部ではなく多くの市民が恩恵を受けるイノベーションである。

#### 4.1.2. ラピッド・イノベーション・テストベッド(RITB)

GAFAM は、自らのプラットフォームをいわばテストベッド化している。プラットフォームを他のサービス開発者にも開放し、試作版を利用者に提供、利用者の反応を見つつ改良を重ね、多くのサービスを迅速に市場に送り出してきた。

一方で近年、国内外で産官学が連携し、オープンな分散型イノベーションを目指すテストベッドの取り

---

<sup>53</sup> 共同研究の詳細は「Beyond 5G 時代のイノベーション高速化を支えるテストベッドの在り方に関する共同研究結果を公表」(三菱総合研究所ニュースリリース; 2022 年 9 月 30 日) を参照。

<sup>54</sup> 米国 Platforms for Advanced Wireless Research (PAWR)、フィンランド 5G Test Network (5GTN)、英国 5G/6G Campus Testbed へのインタビュー調査を行った。

<sup>55</sup> 国立研究開発法人情報通信研究機構

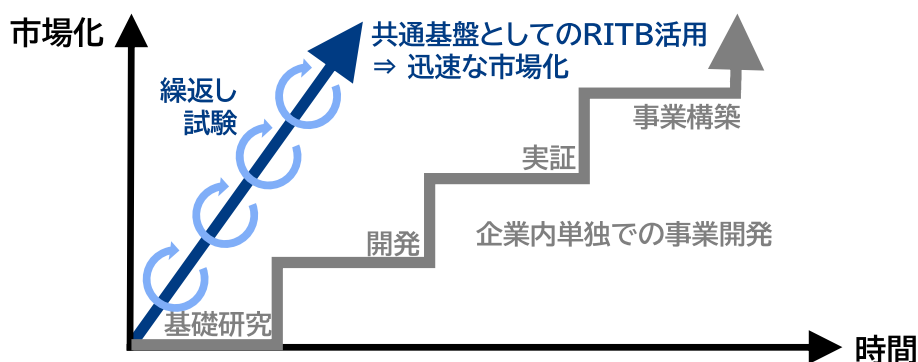


組みが活発化している。本稿では、オープンな分散型イノベーションを支えるテストベッドを「ラピッド・イノベーション・テストベッド (RITB)」と称し、その要件を以下に具体像を 4.2 節に示す。

### (1) イノベーションの迅速化をかなえる

価値提供型イノベーションでは、「Time to Market」短縮が重要である（図表 4-1）。従来の企業内単独での事業開発では、閉じた環境のもとで段階的に検証を行う必要があり、市場化までに多大な時間を要してきた。一方、共通基盤として RITB を企業が自由に活用できれば、RITB 内で繰り返し試験を行い開発に素早く反映することで、市場化までの時間を短縮することが可能となる。

図表 4-1 ラピッド・イノベーション・テストベッド(RITB)による Time to Market 迅速化



出所: 東京大学・三菱総合研究所

### (2) イノベーションの多様性と包摂性をかなえる

分散型成長に向けて、大企業に限らず中小企業やスタートアップ、研究者、学生、市民も参画し、全国一様ではなく地域の課題解決にも資する、一部ではなく多くの市民が恩恵を受けるイノベーションが望まれる。RITB は、地域の課題解決のための試験や一般市民の受容性の試験などさまざまなテストベッドを整備した上で、それらの成果をつなぎ合わせて多様かつ包摂的なイノベーションを支える（図表 4-2）。

図表 4-2 さまざまなテストベッドの成果をつなぎ合わせて多様性と包摂性をかなえる(イメージ)



出所: 東京大学・三菱総合研究所

## 4.2. ラピッド・イノベーション・テストベッド(RITB) の具体像

ラピッド・イノベーション・テストベッド(RITB)のコンセプトを踏まえた二つの具体像を以下に示す。

### 4.2.1. 混然一体型丸ごとテストベッド

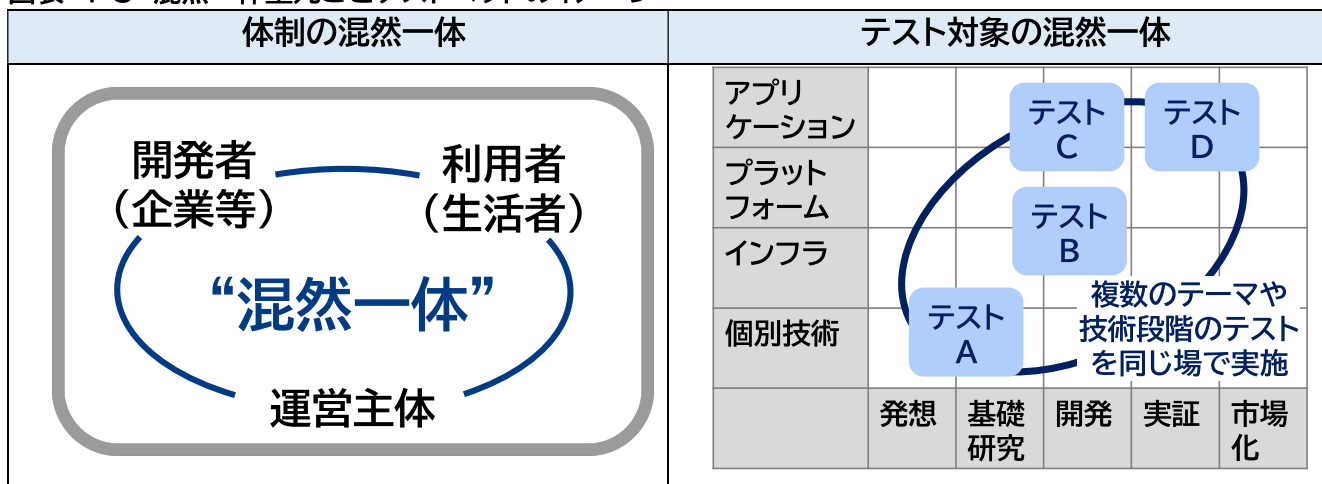
混然一体型丸ごとテストベッドとは、企業・行政・金融、研究者・学生、市民など多様なメンバーがオープンに参加し、テーマや技術段階が異なる複数のテストベッドを同時に同じ場で運営（混然一体）するものである（図表 4-3）。その場としては実際に一般の人々が活動する例えば、大学キャンパスや地域コミュニティなどに溶け込ませて設置する（丸ごと）。

このテストベッドは、以下の特徴があり、今までにないイノベーションがふ化するとともに、テストベッド自体が目的や運用を変え進化していくことが期待できる。

- ・多様なメンバー参加の下、異なる技術段階のテストベッドが運営されることで、研究・開発・実装のそれぞれの段階に応じた垂直連携と成果の受け渡し、市場化に向けた検討が促される。
- ・複数テーマが同じ場にあるテストベッドで活動することで、テーマ間の同調が生まれ、新たな成果に発展する可能性がある。
- ・大学キャンパスや地域コミュニティに設置することで、オープン性を確保しやすいことに加え、第三者の立場にある学生や一般市民等の同意のもとで社会受容性データも取得できる。

東京大学中尾彰宏研究室による企業と連携したオープン型のテストベッド、東京都立大学による複数テーマを扱うテストベッドなどが運用されており、混然一体型丸ごとテストベッドの基礎は既にある。これらの知見も踏まえてひな型（プロトタイプ）を開発し、ベストプラクティスをあげることが期待される。

図表 4-3 混然一体型丸ごとテストベッドのイメージ



出所：東京大学・三菱総合研究所



#### 4.2.2. 多分野連携型リアル・デジタル融合テストベッド

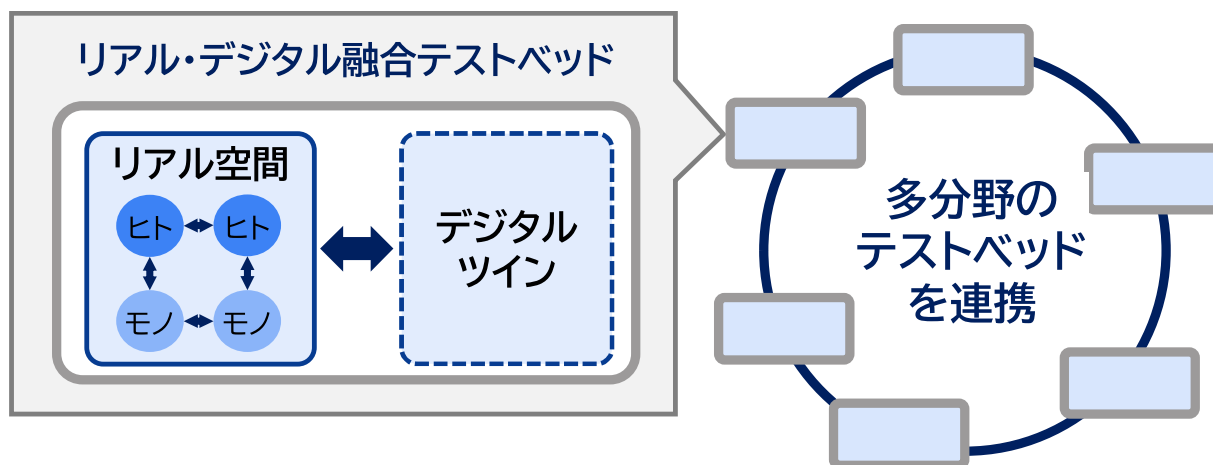
多分野連携型リアル・デジタル融合テストベッドとは、複雑な社会課題解決に資するイノベーションの市場化を支援するため、多分野にわたるリアル・デジタル融合テストベッドを連携・運用するものである（図表 4-4）。例えば、介護ロボットの研究・開発・実装においては、性能・操作性・安全性・受容性などを対人・施設内の状況下で多様なテストが必要となる。これらのテストをデジタル空間に構築された多分野のテストベッドを用いて網羅的に実施し、その結果をリアルのロボットにフィードバックすることで市場化までの時間を短縮できる。

この多分野連携型のリアル・デジタル融合テストベッドは、以下の特徴があり、複雑な社会課題を解決するイノベーションを迅速に市場化させることが期待できる。

- ・市場化までのユースケースを描き、必要な一連のテストを明確化した上、多分野のテストベッドを抽出・利用する。
- ・デジタル空間で低コストかつ高速に繰り返しテストが可能となる。B5G 通信でリアル空間とデジタル空間つなぐことで、遅延なく相互にフィードバックを行う。
- ・個々に政府・企業・大学等が構築したデジタル空間を開放、大きなコストを発生せず連携させることで、これら関係者のほか中小企業やスターアップ、学生も利用できる。

リアル・デジタル融合としては、デジタルツインの構築・活用が国内外で進んでいる。同時に、デジタルツインの構築に便利な幾つかのソフトウェアが普及してきていることから、今後、個々に構築されたデジタルツインの相互連携が進むことが期待される。

図表 4-4 多分野連携型リアル・デジタル融合テストベッドのイメージ



出所：東京大学・三菱総合研究所

#### 4.2.3. ラピッド・イノベーション・テストベッド(RITB)の展開

混然一体型丸ごとテストベッドは、まずはキャンパス等において公費により小規模なひな型（プロトタイプ）を開発した上で、研究プロジェクトでの利用や企業からの利用料収入、事業化に成功した企業・金融からの寄付や投資などにより、拡充していくことが望ましい。同時にこのひな型（プロトタイプ）を基に全国の大学や地域コミュニティに横展開し、地域の産業や社会課題を踏まえたイノベーションの創出や人材育成に資することが考えられる。

多分野連携型リアル・デジタル融合テストベッドについては、大学キャンパス等で運営される混然一体型丸ごとテストベッドにおいて、今後、単目的のリアル・デジタル融合型のテストベッドが複数構築されていくと想定される。まずは丸ごとテストベッド内でこれら単目的のテストベッドを連携させるひな型プロトタイプ）を開発した後、実社会のテストベッドに展開していくことが考えられる。実社会のテストベッドの開発・運用については、例えば地域のテストベッドは自治体や不動産・交通事業者が主導、各業界のテストベッドはそれぞれの業界団体が主導するほか、汎用（はんよう）的なテストベッドは民間サービスとして事業化することが想定される。

# 第5章 新たなデジタル経済圏 を育むために

---

## 5. 新たなデジタル経済圏を育むために

国家単位の経済圏にオーバーレイする形でグローバルなデジタル経済圏の構築が進んできた。メガ PFER が君臨するデジタル経済圏は、その発展の過程で寡占的でクロズドな性質を強めてきた。そのため参加者の多様性や主体性、社会インフラとしての信頼性やレジリエンスの十分な確保が難しいなど、限界を露呈しつつある。メガ PFER のデータの取り扱いに係るガバナンスの不透明性への懸念は、医療や教育、交通や防災、エネルギーなどの分野で今後期待される重要データ利活用の阻害要因となる可能性がある。今後社会が安心してデジタル化を進めるためには、こうした懸念を払拭すべく、レジリエンスや安心安全、参加者主権に価値を置く対抗軸を形成する必要がある。

新たなデジタル経済圏では、メガ PFER 中心の経済圏の欠点を解消すべく、オープンで分散型の基盤に多数のプレイヤーが参画・貢献し、責任や果実を応分にシェアすることが志向される。参加する個々のプレイヤーが自らのデータの主権を確保し、自らのデータを基軸に他者データとの自由な連携を通じてビジネスモデルを設計したり、さまざまなサービス間でデータを自在に移し替えて最適な活用を探ったり、データから得られる収益をコントロールするなど、データ利活用において大幅な主体性を発揮することが可能になる。

本稿では、こうした新たな分散型のデジタル経済圏を支える ICT 基盤について、ネットワーク・プラットフォーム・サービスのレイヤーごとに、その必要性や課題、導入に向けた道筋の検討を行った。

プラットフォーム層の中核機能となるトラスト基盤の構築は、次世代インターネットを形成するグローバルな営みであり、国際標準化が必要な領域である。日本も Trusted Web 構想など独自の取り組みを推進し、技術開発に加えて応用産業への拡張、エコシステムの構築など社会実装へのロードマップを具体的に示していく必要がある。その成果を活用しながら、政策や技術、社会応用など多様なテーマで国際協調しつつ国際標準化への貢献を進めることが重要である。

分散型基盤の特徴であるレジリエンスや安心安全の確保により、各地域において、住民や都市の重要データがはじめて本格的に流通し、幅広い産業で活用されることになる。それによりもたらされる価値は極めて大きい。その価値を外部に流出させず、地域や産業、コミュニティの内部に留保することが重要である。そのためにはデータ流通による価値創出と分配を実現するエコシステムを、主導権をもって構築する必要がある。地域やコミュニティ、企業や消費者は、メガ PFER がお膳立てしたインフラやサービスを使うだけのユーザーから、データのエコシステムを自ら設計し選択し管理するプレイヤーへと変化することが求められる。

例えば地域におけるデータエコシステムを形成するために、地域のプレイヤーはデータの地産地消を可能にする分散型インフラの構築や、地域ごとのデータ流通プラットフォームの形成、地域の課題解決に資するイノベーションを生むテストベッドの構築・活用などに取り組むことができる。地域のデジタル通貨などはその萌芽（ぼうが）的な事例である。分散型 ICT 基盤の構築・活用を通じて身の回りのデジタル経済圏の形成に主体的に寄与することを通じて、各地域はその大きな果実を手にする。

担当者

西角直樹、下村雅彦、仙頭洋一、綿谷謙吾、木根原良樹

本件に関するお問い合わせ先

株式会社三菱総合研究所

〒100-8141 東京都千代田区永田町二丁目 10 番 3 号

【内容に関するお問い合わせ】

政策・経済センター

電話：03-6858-2717 メール：pecgroup@mri.co.jp

【報道機関からのお問い合わせ】

広報部

電話：03-6705-6000 メール：media@mri.co.jp