

# 提 言

## Society 5.0 時代の 持続的社会インフラ運営

(第 1 版)

2019 年 1 月 8 日

日立東大ラボ

## まえがき

人類に豊かさをもたらす「Society 5.0」の実現に向けて、新たなビジョンを創生し、イノベーションを創造するため、「産学協創」の新たなスキームのもと、東京大学と日立、両者がそれぞれ進めてきた取り組みを融合し、2016年6月20日、東京大学内に「日立東大ラボ」を創設した。

その活動分野の一つとして Society 5.0 の考え方に基づく都市像を創るハビタット・イノベーション プロジェクトを発足させた。このプロジェクトでは、Society 5.0 を社会課題を解決しつつ QoL の向上も図るデータ駆動社会、人間中心社会と位置づけて検討を開始した。具体的には都市のデータを活用した Society 5.0 時代の都市ビジョン、QoL の観点からの都市評価、データ利活用の仕組み、都市を構成するビルのエネルギーマネジメント、ヘルスケア、データ駆動型の都市プランニング等を5つの Working Group で研究を進めている。

ハビタット・イノベーション プロジェクトが始まり、2年が経過した2018年10月に、本プロジェクトの中に、持続的に都市の社会インフラを維持・運営し、提供価値を高めていく、持続的社会インフラを検討する新たな Working Group(持続的社会インフラ WG)を発足させた。

高度成長期に建設された道路・橋梁・上下水道といった社会インフラの多くが半世紀を経過し、今後一斉に更新改修時期を迎える。また、近年地震、台風、豪雨などの激甚災害や各地で多発する局所的豪雨災害への対策が急務となっている。今後、人口減少・成熟期に入る日本社会において、拡大し続けた高度成長期のインフラを活用しながら持続可能な地域社会を構成するためにはインフラを維持する技術的側面のみならず、アセットマネジメントや自治体経営の観点からの検討も必要となると考えられる。持続的社会インフラ WG では、持続可能な地域社会の創生をめざし、増大する1人当たりのインフラコストを小さくする一方、QoL を向上させ、かつ持続的な社会インフラを実現するための方策を検討し、そのコンセプトを提言として策定する活動に取り組んできた。

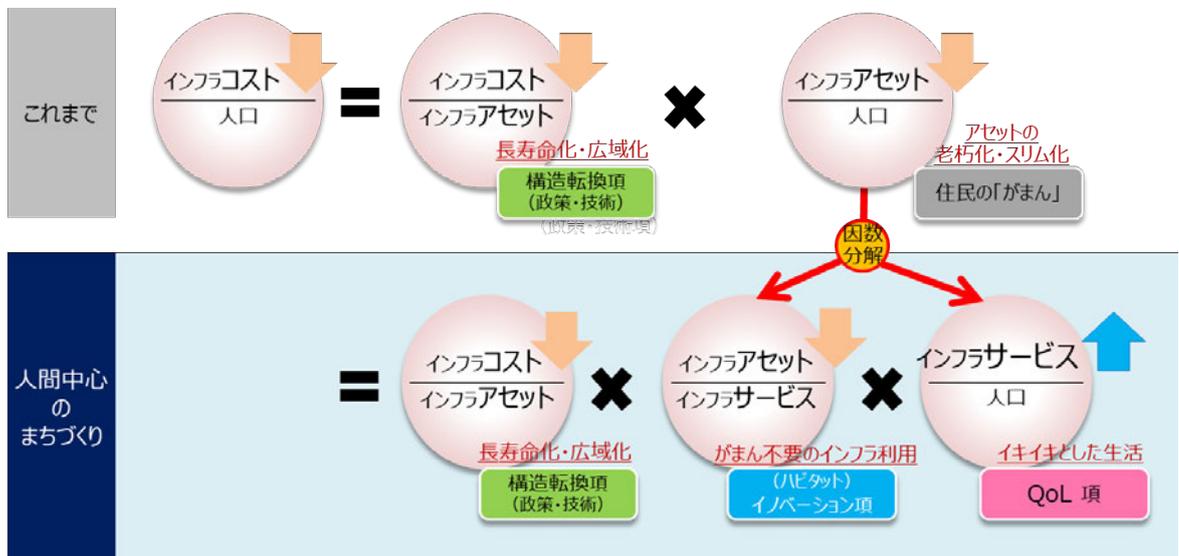
社会インフラと一口に言っても、いろいろなタイプの社会インフラが存在する。ここでは社会インフラとは、住民や地域の企業に等しくサービスを提供する、公共的な設備を指す。社会インフラには、ある拠点になる施設を伴う、例えば役所(市役所)、図書館、病院、などのセンター型、拠点をもちがサービスは自動車等の輸送手段をもちいて、地域全体に広域的に広がるデリバリー型(ごみ収集、プロパンガスなど)。そして、ネットワーク状の設備を用いるネットワーク型のインフラ(上下水道、道路、交通(鉄道、バス)、電力)がある。ここでは、特に公営のネットワーク型インフラを対象に、投資余力がある中規模以上の都市を想定し、検討を行った。また、ここではインフラの新設の計画に関しては考慮せず、日々の運用、突発的な事象(災害など)に対する運用、日々の検査や定期的な修繕、リプレイスや統廃合、などを対象にしている。

上記の前提のもと、検討した結果を提言として公開する。

1. 「持続的社会インフラ」における KPI リンクの設定

Society5.0 の実現に向けて、ハビタット・イノベーションにおける課題解決の基本的な考え方が指標 (KPI)による目標設定である。「持続的社会インフラ」の社会課題は 1 人当たりのインフラコスト(維持・運営費用)を減らすこと、一方で住民個々人の QoL を高めること、すなわち、1 人当たりのサービス量を最大化する事を目標とする。

インフラコストを下げる単純な方法は、インフラの資産量 (設備の量) を減らす事であるが、当然それに伴いインフラが提供するサービスの量も減るため、QoL は下がる方向にある。一方、サービス量とインフラコストも正の相関があるため、インフラコストを減らせばサービス量が減り、住民に我慢を強いる事になる。しかし、ここでインフラの資産を KPI として導入し、3 つの項に分割すると、資産あたりのコストの削減、サービスあたりの資産の削減(資産あたりのサービス量の増大)、そして 1 人当たりのサービス量の増大、という新たな目標が導かれる。これを KPI リンクと呼ぶ。資産あたりのコストは、運営の効率化や省力化の技術導入で削減できる。資産あたりのサービス量は、QoL を向上するサービスの範囲を広げることで同じ資産量で生み出されるサービス量の増大を図ることを考える。この考え方がここでの持続的社会インフラの基本的なアイデアである。



2. Personalized サービスへの潮流 : QoL を平等に高める社会

従来、インフラへの投資、すなわち社会資本への投資により、産業の基盤を充実させ、経済価値を高めなおかつインフラサービスの質を平均的に向上させ、QoL の底上げをしてきた。しかし例えば日本においては経済発展も以前のような高水準の成長は期待できず、インフラの基本的なサービスの質が全国的に高い水

準になった現在、社会資本への投資だけでは以前のような効果を出せなくなってきている。この状況に対する最近の流れは社会資本だけでなく、自然資本と社会関係資本にも投資し、環境価値と社会価値(ソーシャルキャピタル)を高め、これら3つの価値の向上により QoL を高めるという考え方である。すなわち、社会インフラへの投資を通じて、自然資本や社会関係資本へも投資する事で増大する環境価値・社会価値を QoL 向上に結び付けることをめざす。

また、一定水準以上のインフラサービスが万人に行き渡らせる事を前提に、個々人が受け取る種々のサービスの総和に比例して QoL 値が増えると仮定し、提供サービスの値を、統計情報・オープンデータ、インフラの運用データ、そして IoT などから集められる個々の住民の生活行動データ(例えばスマートメータのデータ)から数値として求める事を考える。これらを用いれば地域ごとのデータや個々人のデータから個々人に提供されるサービス量を求め、それが最大化されるように地域ごとのインフラのサービスを最適化する事ができる。すなわち、従来は、各地域に一定水準のインフラサービスを提供する事で QoL としては平均的に底上げがされてきたが、これは個人レベルでは受け取るサービス量にばらつきがある事を前提にしていた。しかし現在 IoT 等で測定する住民単位のデータにより、個々人が受け取るサービスを等しく最適化する事ができるようになっている。すなわち個人ごとに最適化した Personalized サービス(Personalized Service)を実現できる。

### 3. 3つの Value の創出で一人ひとりの QoL を向上データドリブンのインフラマネジメント (インフラのデータドリブン化)

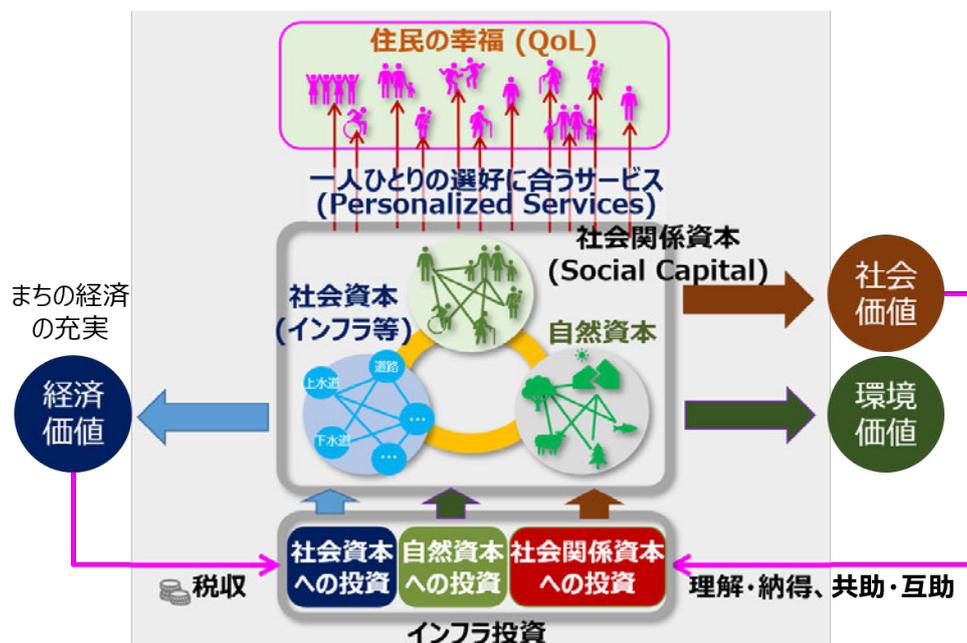
社会インフラへの投資を通じて、自然資本や社会関係資本へも投資して QoL 向上を図る、という考え方に沿って、インフラがもたらす QoL とは何かを検討し、整理した。その結果として QoL を向上させる要素(インディケータ)を Basic Value, Sustainable Value, Extended Value という3つに分類した。

Basic Value はインフラが提供する基本的価値であり、あるのが当たり前になっているが、無ければ生活に大きな支障をもたらす必要最小限のサービスをいう。これは以前から考えられている基本的な生活を支えるとともに、ここへの投資が経済価値を生むというインフラの基本的な価値である。Personalized サービスを考えた場合、この Basic Value はすべての人に等しく一定水準のサービスを提供しなくてはならない要素である。

Sustainable Value は現時点での必要性は高くないが、将来、あるいは災害などの緊急時になれば困る、生活・地域コミュニティの持続的成長を維持し、レジリエンスを向上させるために必要な備えとしての価値をいう。これは持続的なインフラサービスを支える価値である。インフラは、ライフラインとも呼ばれるように生活、そして緊急時には生命を支える重要なサービスであり、インフラそのものを強靱(きょうじん)にする、あるいは冗長性を持たせてロバストにするだけでなく、緊急時にサービスを継続するためのハード、ソフト両面の備えも Sustainable Value の範囲である。

Extended Value はインフラの本来のサービスとは異なる観点の価値であり、例えば街のにぎわいをつく

る、自然に触れて生活に潤いを与える、あるいはインフラやそのデータを用いた新たな経済的価値などがある。これはインフラを通じた自然資本、社会関係資本への投資であり、自然に接する豊かな生活を支え、Social Capitalを増加させ、それが生み出す住民の共助・互助がインフラ運営にも寄与する、という好循環を生む価値である。



#### 4. QoL 向上を加速するイノベーション

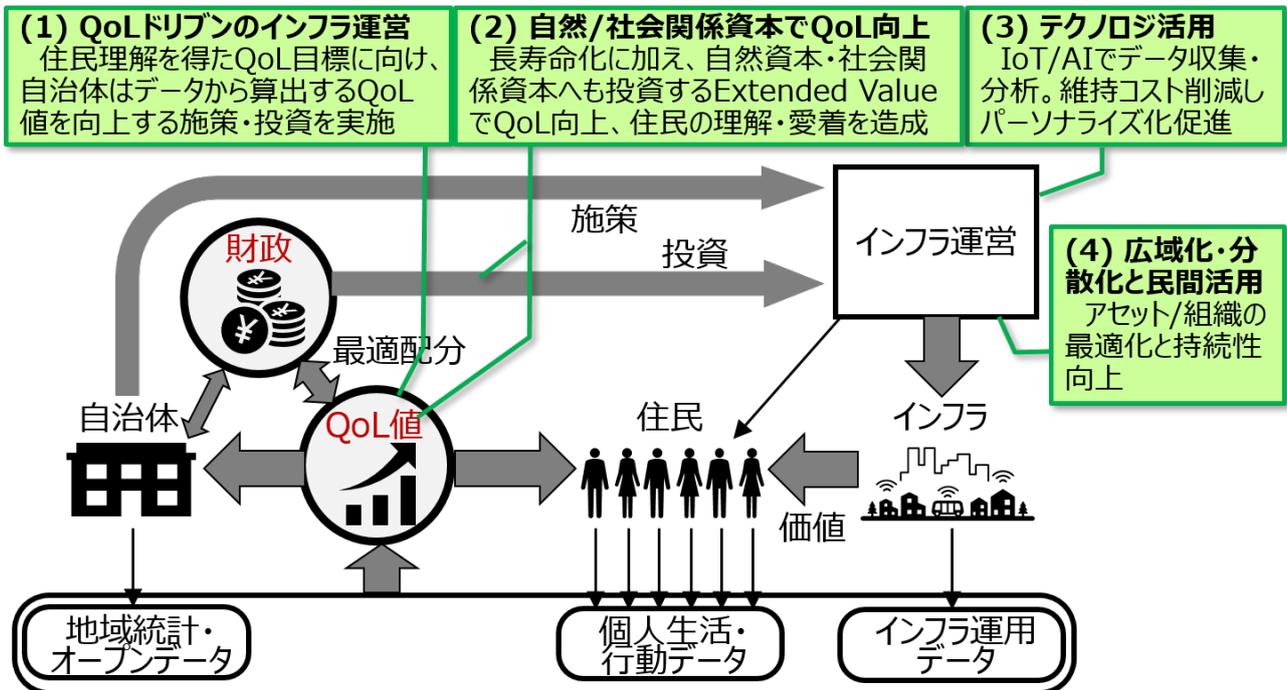
KPI リンクに立ち返ると、3つの Value による QoL 向上は主にアセットあたりのサービス量増加に寄与する考え方である。一方、アセットあたりのコストを減らす事も必要である。ここで採る方法は、大きく3つある。ひとつはスリム化・筋肉質化である。QoL に寄与しない部分をそぎ落とし、メンテナンスなどのコストがかからないインフラに変える筋肉質化である。ここには新しい工法や素材を活用するなどのテクノロジーの導入も含まれる。2つ目は広域化と民間活用である。アセットを広域化し、運営を効率化しコストを下げるとともに、各地域のアセットを有機的につなぎ分散化を図ることで災害等による部分的な機能停止に対しても強靱（きょうじん）なインフラを実現できる。また民間活用には、単にコストダウンではなく、地域ごとに閉じた人材と運営ノウハウを共有化し、各地域の運営レベルを平均的に向上させる等の効果も期待できる。3つ目の方法は IoT や AI 等の技術を積極的な活用である。これらの技術は、人手による点検などの省力化を図り、適切なメンテナンス手順を決める事で、コスト削減と長寿命化を実現する。また、例えば路面の下にある水道管の漏水を検知するセンサは同時に路面を通過する車の数や歩行者の数も測定できるし、災害発生を検知する手段にもなる。すなわちセンサのデータは緊急時の避難、平時の地域のにぎわい、あるいは経済活動の指標となり QoL を数値化するデータとして活用できる。Value の観点で考えれば、センサを導入する事で Sustainable Value としての寄与だけでなく、Extended Value としても寄与している事になる。

## 5. QoL ドリブンのインフラ運営

以上述べてきたコンセプトを実現するには、インフラの運営、あるいは自治体の運営の視点を変える必要がある。その基本は、データを用いて算出するサービス量(QoL)を最大化するように地域ごとに施策を決める、という考え方である。特に住民一人一人の QoL を最大化する運営を地域ごとに行う Personalized サービスという視点が重要になってくる。この先にあるのが住民が理解し、納得できるインフラとし、さらには住民参加、共助・互助まで発展させることである。例えば長期的な観点では、Sustainable Value への投資を増やすために水道料金を上げる、という対応が必要な場合、住民の理解と納得、さらには協力が必要である。

ここまでをまとめると、持続的社會インフラのコンセプトは、

- (1) データに基づく個々人の QoL 向上(Personalized サービス)を目標に据えたインフラ経営、自治体経営が必要であり、そのために
- (2) インフラを通して自然資本・社会関係資本へも投資をし、QoL を向上する、そして
- (3) IoT や AI 等のテクノロジーを活用し、インフラコストの低減を図るとともに QoL 測定のデータを生成し、更に、
- (4) 広域化や民間活用でインフラ運営をする組織の最適化を進める、というものになる。





# 目次

まえがき.....	i
エグゼクティブ・サマリ.....	ii
<b>第1章 これからのインフラ：住民のがまをイキイキした生活に変える.....</b>	<b>1</b>
1.1 これまでのインフラ.....	1
1.2 住民のがまをイキイキとした生活に変える、これからのインフラ.....	2
1.3 まちの社会課題と個人の選好(QoL)を、ハビタット・イノベーションで両立させる.....	2
<b>第2章 人間中心のまちづくり：経済価値向上からQoL向上へのパラダイムシフト.....</b>	<b>3</b>
2.1 これまでのまちづくり：社会資本への充実による市民のQoL（生活水準）向上.....	3
2.2 住民のQoL向上へのパラダイムシフト：個々の人に最適化したインフラのPersonalizedサービス.....	4
<b>第3章 インフラの3つのValue創出で一人ひとりのQoLを向上.....</b>	<b>5</b>
3.1 Personalizedサービスと価値創造、QoL向上の関係.....	5
3.2 人々のQoLを高めるインフラ・サービスの3つの価値.....	6
3.3 Extended Value、Sustainable Value 創造の取り組み.....	8
<b>第4章 QoL向上を加速するイノベーション.....</b>	<b>10</b>
4.1 人口減・少子高齢化の局面におけるインフラ維持管理.....	10
4.2 QoL向上とインフラサステナビリティの両立を支える技術イノベーション.....	11
4.3 住民の共助によるインフラ維持管理のイノベーション.....	14
<b>第5章 QoLドリブンのインフラ運営.....</b>	<b>15</b>
5.1 地域の人々にあったQoL向上をめざす、3つの価値の具体的なインディケータの選択.....	15
5.2 地域全体への投資で、Extended ValueとSustainable Valueを創造.....	16
5.3 QoLドリブンのインフラ運営への意思決定：価値創造と投資の可視化・定量化.....	18
5.4 住民参加によるインフラの運営.....	19
5.5 Extended Value創造を通じた経済活動の活性化・地域内での経済循環へ.....	21
<b>第6章 まとめ：日立東大ラボがめざす社会.....</b>	<b>22</b>
<b>付録：インフラ運営における価値創造のロングリスト（上水道・道路・下水道）.....</b>	<b>23</b>
<b>提言検討体制.....</b>	<b>27</b>

## **Society 5.0 時代の持続的社会インフラ運営**

# 第1章 これからのインフラ：住民のがまんをイキイキした生活に変える

## 1.1 これまでのインフラ

高度成長期に整備されてきた上下水道、道路、橋梁といった社会インフラは、その老朽化が進み更新期を迎えつつある。さらに、近年の少子高齢化・生産人口の減少により、多くの地域の財政は縮小する方向にあり、インフラ維持管理のコスト削減は、その地域にとって大きな社会課題となっている。

この社会課題を解決するために、自治体や地域は、インフラの長寿命化や管理の広域化などにより、アセット当たりのコストの削減を推進してきた。例えば、これまでは足場を組み手作業で実施してきたインフラの異常箇所確認を、ドローンなどの先端技術を活用することで作業効率を向上させることや、自治体単位であった水道サービスの運用を広域化することによる稼働率の向上など、新しい技術の適用や社会課題に対応した政策などにより進めてきた（「構造転換」）。

しかし、多くの地域では、人口減少に拍車がかかり、上記の「構造転換」だけではインフラの維持管理に限界があるのも事実である。利用頻度が低いインフラの撤去など、1人当たりのインフラのアセットの削減も必要となっている。例えば、過疎地にある老朽化した橋梁が台風の被害を受け利用できなくなり、その改修費用の捻出が困難な場合、その橋梁を日常生活で利用していた住民は、遠くにある別の橋梁を遠回りして利用することになる。つまり、「住民のがまん」による社会課題の解決である。（図1 上段の恒等式）

この住民の「がまん」の度合いが高まるにつれ、住民の QoL は低下することになり、経済活動を含め地域の発展への影響も避けられない状況となる。

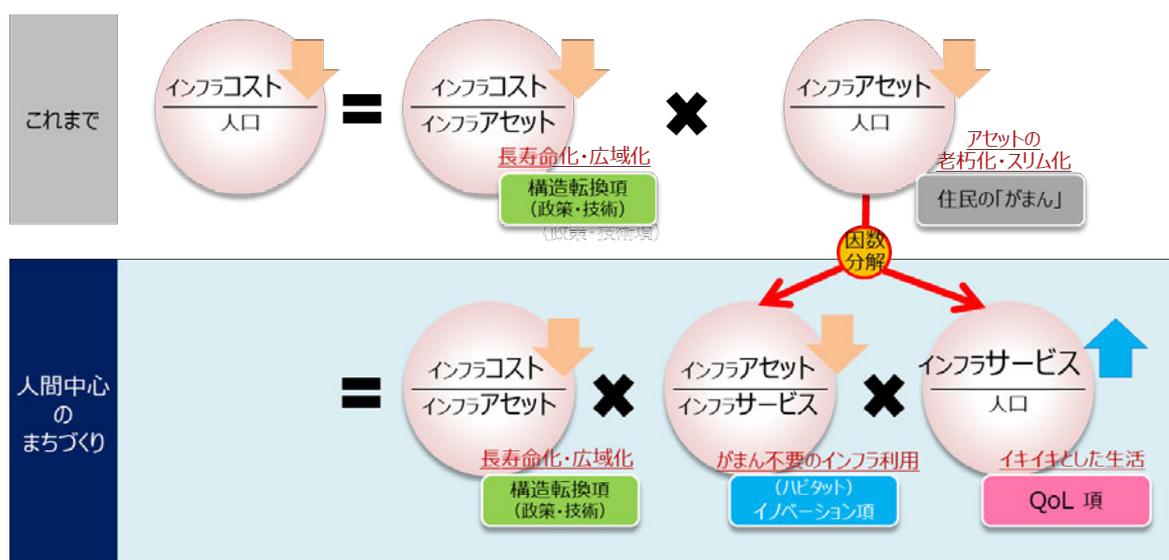


図1 日立東大ラボが提案する、「人間中心のまちづくり」の KPI リンク

## 1.2 住民のがまんとイキイキとした生活に変える、これからのインフラ

日立東大ラボのハビタット・イノベーション・プロジェクトは、地域の経済発展と社会課題の解決の両立ともに、住民の幸福な生活を実現する人間中心のまちづくりをめざしている。社会課題の解決のための「住民のがまん」を、「イキイキとした生活」に変換するフレームワークを提唱している。地域の社会インフラにおいても、「がまん」から住民を解放し、「イキイキとした生活」へ誘う存在へと変化させることを提案する。（図 1）

住民のイキイキとした生活を支えるためのインフラづくりには、インフラの資産を有効活用して住民へ提供するサービスのあり方に注目する。住民の QoL を高めるインフラのサービスを可能な限り提供することで、住民の「イキイキとした生活」を実現させる。そしてそれは、地域の活性化や経済発展へとつながっていく。

では、限られた地域の財源のなか、どのように住民の QoL を高めるインフラのサービスを拡充していけばいいのだろうか。そのためには、図 1 の下段の恒等式の「イノベーション項」にあるように、インフラのサービス当たりの資産を削減させることで、その道は開けていく。例えば、先ほど例に挙げた橋梁の削減の場合、これまでであった橋梁が利用できなくなったとしても、少し遠回りではあるが、緑豊かで景色も美しく快適に歩けることができたり、オンデマンドの便利な公共交通手段が新設されることで、インフラが提供するサービスが充実、住民が得られる価値が増加し、QoL が向上するだろう。つまり、地域のインフラの資産をスリム化したとしても、残した資産が創出する住民へのサービスを高めることで、住民のイキイキとした生活の実現を支えることが可能となる。

さらに、こうした新しいインフラのサービスを創出するイノベーションを加速させるため、政策などの「構造転換」の在り方が重要となること、ハビタット・イノベーションのインフラにおけるフレームワークで明確になる。

## 1.3 まちの社会課題と個人の選好(QoL)を、ハビタット・イノベーションで両立させる

インフラのコストを削減したいという、まちの社会課題と、住民一人ひとりのまちのインフラに求める選好をかなえることは、一見相反する。図 2 のグラフのように、これまでのまちづくりでは、住民の QoL を高めようとするとインフラコストが増加し、インフラコストを削減しようとすると「がまんのインフラ」のように住民の QoL は低減する関係があった。

日立東大ラボが提案するハビタット・イノベーションでは、住民の QoL を向上させ、イキイキとした生活を支えつつも、インフラのコストを削減する、新しいイノベーションを創生していくことで、Society 5.0 の人間中心のまちづくりを実現させる。

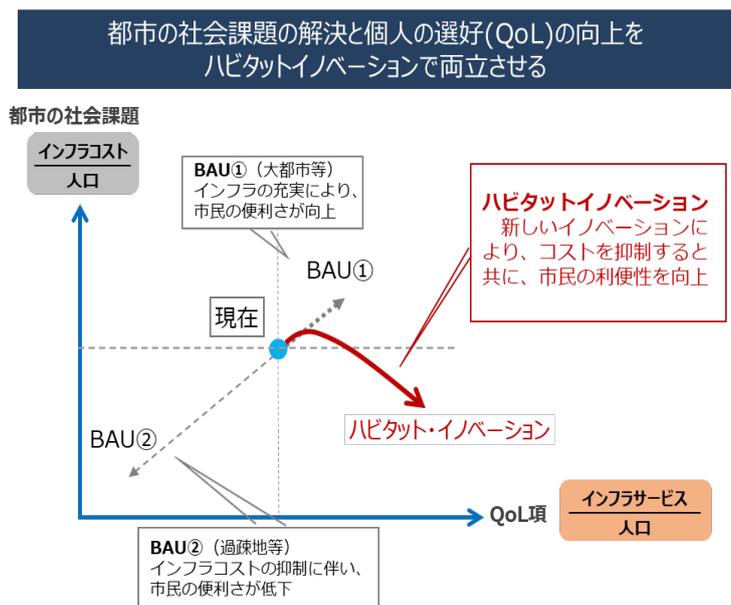


図 2 ハビタット・イノベーションの方向性

## 第2章 人間中心のまちづくり： 経済価値向上から QoL 向上へのパラダイムシフト

前章に示した、がまんせずに1人当たりのインフラコストをさげつつ、QoLを向上させるというインフラにおけるハビタット・イノベーションの考え方を実現するために、ここではQoLへの寄与分が大きいインフラへ重点的に投資し、さらに社会資本だけでなく、自然資本や社会関係資本へも投資し、全体としてQoLを向上させる方法を提案する。

### 2.1 これまでのまちづくり： 社会資本への充実による市民のQoL（生活水準）向上

現代社会において、経済成長は国、企業あるいは地域にとって最も重要な要素の一つである。地域の工業化により、その地域に労働力が集まり、都市が成長する。急速な経済成長や人口増加により都市においては道路、交通、上下水道、あるいは電力などのインフラが不足し、経済成長を妨げるだけでなく、排出ガスや衛生など生活環境が悪化する。そのため、大規模で効率重視のインフラ設備が建設され、経済成長を下支えし、さらには一定水準の生活インフラが整備されることで、住民の生活水準の向上をもたらす。例えば、蛇口をひねれば飲料水が提供され、水洗トイレが普及し、冷蔵庫やエアコンなどの生活家電が普及する。所得が一定以上に増えると、自家用車が普及する。いわゆるモータリゼーションが興る。また人口の集中は、流通、娯楽など第3次産業の成長を促し、都市は成熟していく。

ここでの基本的な考え方は、社会資本に投資し、経済価値を高める、であり、社会資本の充実がQoLの向上(生活水準の向上)につながる、というものである。ここで提供されるのは、インフラによる一定水準のサービスを域内のすべての住民に提供するというユニバーサルサービスである。

社会資本に投資し、経済価値を高めるという流れは、日本では戦後、高度成長期に顕著であった、近年では中国、そして東南アジアの諸国で起こりつつある現象である。このような経済成長過程においては適切なインフラ建設への投資が必要であるが、無尽蔵には投資できず、将来的に税収で回収する想定で投資対効果を明確にする。ここで用いられるのが費用便益分析である。

一方、経済成長重視で投資を続けると、都市の成長に伴い、開発や大気汚染、有害物質の垂れ流しやごみの投棄などによる土壌や河川の汚染が広がり、周辺の森林や生態系などの自然環境を破壊し、生活環境の悪化(公害)をもたらす。これは経済価値の向上を優先すると自然資本がダメージをうけ環境価値が低下、ひいてはQoLの低下を招く事を意味する。

また、都市の急速な拡大、すなわち労働力としての人の大量の流入による人口増加は、地域への帰属意

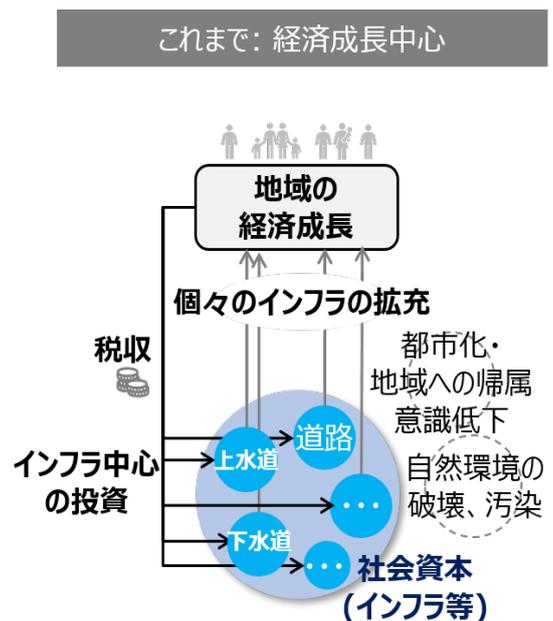


図3 これまでの地域の経済成長

識が低い人の大量流入により地域での人間関係の希薄化につながる。すなわち、社会関係資本(ソーシャルキャピタル)の低下につながる。一般的に、古くから継続的に発展してきた地域では住民同士のつながりが強く、地域への愛着も強い。そのような地域では、災害時の共助・互助はもとより地域のインフラを自分たちで維持する、という意識が強く、インフラの運用面でも住民の協力を得やすい傾向があると考えられる。

## 2.2 住民の QoL 向上へのパラダイムシフト： 個々の人に最適化したインフラの Personalized サービス

現在、社会資本へ投資し、経済価値を高める、という考え方から、社会資本、自然資本、社会関係資本へそれぞれ投資し、経済価値、環境価値、社会価値を高める方向へと考え方が変化しつつある。経済価値、環境価値、社会価値が高まる事でそれぞれの側面で QoL が向上する事になる。

インフラにおけるハビタット・イノベーションにもこの考え方を取り入れる。KPI リンクの構造転換項、イノベーション項、QoL 項と3つの観点で、インフラコストの低減と QoL の向上を図る。限られた財源をインフラそのもの(社会資本)へ振り向けるだけでなくインフラに関連する自然資本、社会関係資本へも投資し QoL 向上を図るとするのが上記の流れに沿った方向性である。もちろん、インフラそれぞれの基本的なサービスは一定水準を維持しあらゆる人に提供する。その上で、IoT 等各種センサのデータ、自治体のオープンデータやインフラの運用データ等を使って、住民個々に提供するサービス量(QoL)を算出し、個人ごとに QoL が高まる施策を行う。すなわち、個々人に最適化したインフラによるサービスを提供していく。これを Personalized サービス(Personalized Service)と呼ぶ。

おのおのの地域では、様々な人々が集い、活動し、暮らしている。インフラの Personalized サービスを実現するには、これまでの、汎用(はんよう)的なサービスだけでなく、多様化させたサービスを創案し提供することが重要である。例えば、一般的には安全で良質な水が安定的に提供されることが求められるが、不在時において、安定供給が不要な家族もいれば、エコキュートなどの蓄エネルギーによりエネルギーが安価な時間帯に安定した上水を要する家族もいる。

また、ある住民にとっては、食事のために、おいしい水が提供されることに価値を感じることもあれば、洗濯や入浴のために十分な水質であれば、安価な水に価値を感じる住民もいる。

インフラの Personalized サービスは個々人の QoL を高め、地域の経済を充実させる。また、QoL が高まることは地域の社会関係資本(Social Capital)の強化となり、Personalized サービス充実のための投資に関する住民の理解が進み、投資(財政の支出)をコストではなく、地域住民への投資として実感できるようになる。人間中心のインフラ投資の新しい循環が生まれる。

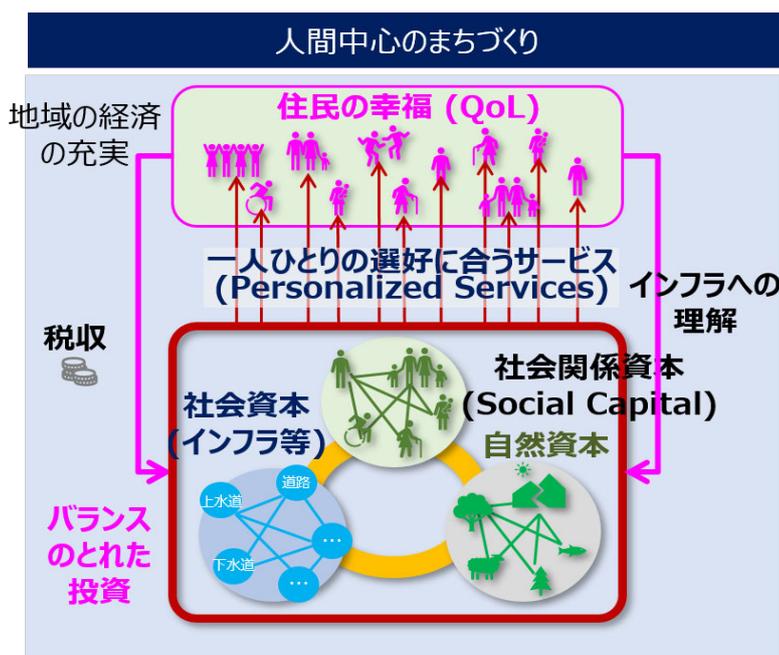


図4 Personalized サービスによる人間中心のまちづくり

### 第3章 インフラの3つの Value 創出で一人ひとりの QoL を向上

#### 3.1 Personalized サービスと価値創造、QoL 向上の関係

地域が提供するインフラのサービスを住民が利用することで初めて、そのサービスの価値(Value)が創造される。さらに、その住民がその価値を認識したり有益だと感じたりすることで、住民自身の QoL (納得感、満足感、安心感や幸福感など)が高まっていく。インフラのサービスと提供される価値(Value)、QoL について、その特徴と関係は図 5 のように整理できる。

これまでのインフラサービスは、ユニバーサルサービスめざし、すべての人々に対し基本的な機能・性能を提供することが重要視されてきた。例えば、どの家でも蛇口をひねればいつでも安全な水が豊富にでてくるし、職場や学校へも毎日安全に移動ができる。このようなインフラのサービスが地域の人々へ提供する価値である。一方、QoL に関しては、インフラサービスが当たり前であるがために、人々はその価値を意識しにくく、QoL として感じにくい。しかも、例えば、断水や交通渋滞などが生じ、受け取るサービス量が不足した場合や、時には過剰サービスが提供されている状況に対しては、不満を感じることも多く、QoL が低下することとなる。

これからのインフラがめざす Personalized サービスは、一人一人の選好に合わせた機能や性能を提供し、災害対策などの将来を考慮したものとなっていく。住民が受け取る価値の量も、提供するサービス量に近づいていく。そして、自分の選好にあったサービスを提供してくれているということが、個人にとって、心地よく、満足度もあがり、時には大切にされていると感じるなど、その人の QoL の量は提供される価値に近づいていく。提供するサービスと価値、そして QoL の量が等しくなることは、無駄のないサービスとも言え、サービスの Personalized 化は効率的なインフラの運営にもつながる。

	サービス		価値 (Value)		満足(QoL)
	サービスプロバイダーが提供する量		個人が受け取る量		個人が感じる量
	計測可能		計測可能に		計測が難しい
これまでのインフラサービス (ユニバーサルサービスなど)	・汎用的な ・ユニバーサルのな		・基本的な機能・性能 ・過不足が生じることも		・あたりまえのため、感じにくい・意識しない ・過不足で不満を感じることも
	<b>Σサービス量</b>	<b>&gt;</b>	<b>Σ価値</b>	<b>&gt;</b>	<b>ΣQoL</b>
これからのインフラサービスの方向性	・ユニバーサルのなもの(包摂性の拡充)		・同上だが、できる限り、過不足を減らす		・安心感などを感じられるように
	・Personalized		・一人一人にちょうどいい機能・性能 ・個人の選好をかなえる ・個々人のプライオリティを重視した過不足		・心地いい。満足感 ・大切にされている ・安心感 ・自らの選択による満足 ・より必要としている他の人を大切にする良心
	<b>Σサービス量</b>	<b>≒</b>	<b>Σ価値</b>	<b>≒</b>	<b>ΣQoL</b>

図 5 インフラが提供するサービスと個人が受け取る価値、QoL の関係

QoL 自体は個人が感じるものであり、直接的に計測するのは難しい。しかしながら、今後、スマートメーターなどのデジタルテクノロジーの適用が進み、個人が受け取るインフラのサービス量の計測が容易になっていく。インフラサービスの Personalized 化の進展と合わせると、このサービスは、住民にとっての価値(Value)でもあり、QoL 量となる。つまり、サービス量の計測により QoL 量を把握することができようになる。

また、サービスの Personalized 化を実現するためには、こうしたインフラの運用や住民の生活に関連するデータ、そして気象情報や自然資本の状態などを活用し、個人の選好に合わせたインフラの運用につなげていくであろう。さらに、このような個人ごとに対応するデジタルテクノロジーを活用することで、住民に意識されにくいユニバーサルサービスにおいても、「安心感」などを感じ QoL を高めていく仕組みを提供していくこともインフラの運営には重要である。

### 3.2 人々の QoL を高めるインフラ・サービスの 3 つの価値

Personalized サービスは、十人十色の住民の選好にあうよう、選択肢の多様化が重要な鍵となる。日立東大ラボでは、上下水道や道路といったインフラにおいて、どのようなサービスが価値を創造するのかを議論し、そのロングリストを作成した。そして、QoL の要素(=価値の項目)を 3 つ観点で分類した。①インフラが本来的に提供する基本的な価値(Basic Value)、②自然災害や地域の将来構想へ備える将来的な価値(Sustainable Value)、そして、③本来のサービスとは異なる観点の拡張された価値 (Extended Value) である。(図 6)

	上水道	下水道	道路
Basic Value	4 項目 (安全で良質な水、安定した水の提供、など)	7 項目 (汚水処理、水環境改善、雨水排除、など)	7 項目 (道路充足率・道路品質・モビリティ速度、など)
Sustainable Value	4 項目 (耐震等災害対策、災害発生後の行動計画、持続性、環境配慮)	5 項目 (光ファイバ網、マンホールトイレ、管路更新、など)	8 項目 (洪水時の貯水、二次被害の防止、緊急時時間短縮、など)
Extended Value	16 項目	11 項目	18 項目
高度化	5 項目 (安心感、おいしさ、料金の柔軟性、ブランド化、など)	7 項目 (熱源、敷地利用、紙製品排除、マンホールアンテナ、など)	8 項目 (道路脇住宅の借景、移動手段多様化、道路緑化、運転ストレスの無い道路、など)
多様化	8 項目 (環境対策、大人の社会見学、見せるインフラ、うるおいスポット、暑さ対策、など)	3 項目 (デザインマンホール、マンホールカード、見せるインフラ)	7 項目 (遊び場・公園、歩行者の賑わい、レガシー道路、移動する商店、など)
外部拡張	3 項目 (貯水施設を用いた電力調整力、水道管空調、など)	1 項目 (ウイルス情報)	3 項目 (道の駅、ショールーム、イベントなど)
合計	24 項目	23 項目	33 項目

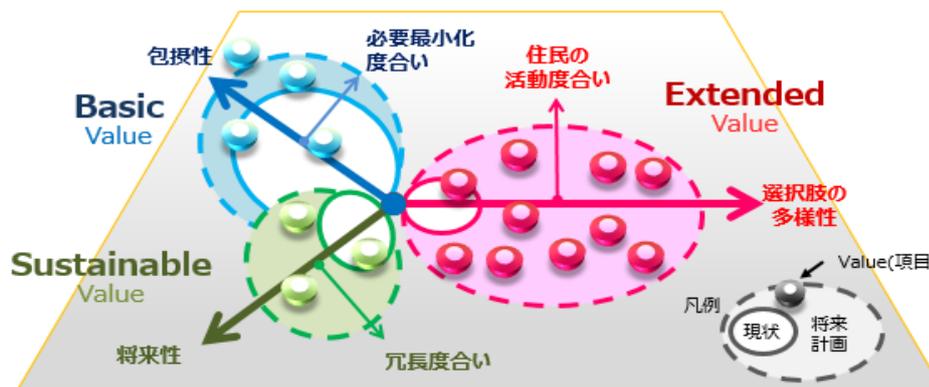
図 6 インフラが提供する多様な QoL・3 つの価値の分類

- ① Basic Value は、インフラが提供する基本的価値であり、あるのが当たり前になっているが、無ければ生活に大きな支障をもたらす必要最小限以上のサービスをいう。例えば、上水道ならば、安全で良質な水や安定した水の提供などであり、道路だと、道路の品質やモビリティ速度などである。

Basic Value の多くは、ユニバーサルサービスなどで、地域の隅々まで提供してきた価値でもあり、今後も、包摂性(誰一人取り残さない: Social Inclusive)の確保が重要である。例えば、経済合理性のみの追求により、一部の住民が利用できなくなる状況などを発生させてはならない。また、提供するサービス量の過剰による無駄の低減や、これまでのインフラのアセットとは異なる形でのサービスの提供などによる過不足の最小化はインフラ運営の面で重要である。(図7)

- ② Sustainable Value は、現時点での必要性は高くないが、将来、あるいは災害などの緊急時になれば困る、生活・地域コミュニティの持続的成長を維持し、レジリエンスを向上させるために必要な備えとしての価値をいう。上水道ならば、耐震等の災害対策や災害発生後の行動計画などであり、道路ならば、洪水時の貯水や二次災害の防止などがある。レジリエンスの他に、地域の将来を見据えた準備のための投資も、Sustainable Value に含む。例えば、民間の例であるが、JR 東日本の上野東京ラインは神田駅付近で新幹線の上部に高架橋を架けているが、その建設が容易に推進できるように、その下を走る新幹線の建設時にあらかじめ高架橋の柱を設置しておいた経緯がある。
- このように、Sustainable Value は、地域の将来性と、将来のためのインフラサービスの冗長度合いや、限られたサービスのなか有事の状況での弱者への対応度合いなどが重要な要素となる。

- ③ Extended Value は、インフラの本来のサービスとは異なる観点の価値であり、例えば街のにぎわい、あるいはインフラやそのデータを用いた新たな経済的価値などがある。上水道では、水のおいしさや、浄水場などの施設を「見せるインフラ」にすることによる親しみやファンづくり、道路では、路面の住宅などの草木などを利用した借景や、図8のパリのリゾートの例などがこれに該当する。
- この Extended Value には、「高度化」(該当インフラを通常の使用範囲で実現する、生活がより便利に、効率よく、快適になるサービス)、「多様化」(該当インフラを通常とは異なる使い方



価値	質的方向性	量的方向性	代表例など
<b>Basic Value</b>	包摂性 (social inclusive)	必要最小化度合い	・電力・水道・交通などの基本的なまちのサービスを全ての住民に ・できる限り、過不足なく提供
<b>Sustainable Value</b>	将来性	冗長度合い	・今後起こりうる地震や巨大化する台風への適応策や、将来を見据えた準備 ・将来の予測に対する「安心感」を醸成する冗長性の設定が重要
<b>Extended Value</b>	選択肢の多様性	住民の活動度合い	・まちの住民のさまざまな嗜好に合わせた、まちのサービス ・住民自身が選択することも含め、住民の活動量を活性化

図7 価値創造の方向性

により実現する、生活を豊かにする(いやし、うるおい等の)サービス・備え)と「外部拡張」(該当インフラの設備やデータを用いて異なる分野(異なるインフラ)において経済的価値を生むサービス)に整理することができる。

Extended Value の多くは、地域の人々の選好に合わせるものであり、選択肢の多様性が必要である。また、おのこの Value が住民の活動量を高めることも、地域の経済発展にとって重要な要素となる。Extended Value の外部拡張の例として、日立市での上水道の貯水や需要予測のインフラ運用データを利用した電力のデマンドレスポンス(DS)への対応の実証実験を紹介する。水道水の安定供給を確保しながら、電力の DR 要請に応じ貯水用向けポンプの稼働時間を変更させる試みであり、通常時よりも 50%程度の電力削減を達成した。このことは、Basic Value の維持に加え電力のピークカットによる Extended Value を創造し、さらに、上水道のインフラとして DR のインセンティブを受け取ることができ、地域外へのお金の流れを減らし、地域内へのあらたな投資などに活用する経済循環の一例であり、地域の経済発展につながる。

### 3.3 Extended Value、Sustainable Value 創造の取り組み

Extended Value を創造する取り組みとして、パリの砂浜の例を紹介する。図 8 のように、パリ市内のセーヌ川河畔に、夏限定のリゾートが出現する。実は、この砂浜は、自動車専用道の上に設営されている。フランスでは夏の間、バカンスで遠出する住民が多いが、パリへの環境客は年々増加し市内のサービス業などに従事する市民はバカンスを楽しみにくくなっていた。そこでパリ市は、通勤の車が減少するこの期間、セーヌ川河畔の自動車専用道を閉鎖しヤシの木や砂浜などでひとときのリゾートを演出することで、市民のためのくつろぎの場を提供した。通常は移動のための道路というインフラであるが、セーヌ川の自然を最大限活用して、市民の QoL を高める場を創出している。

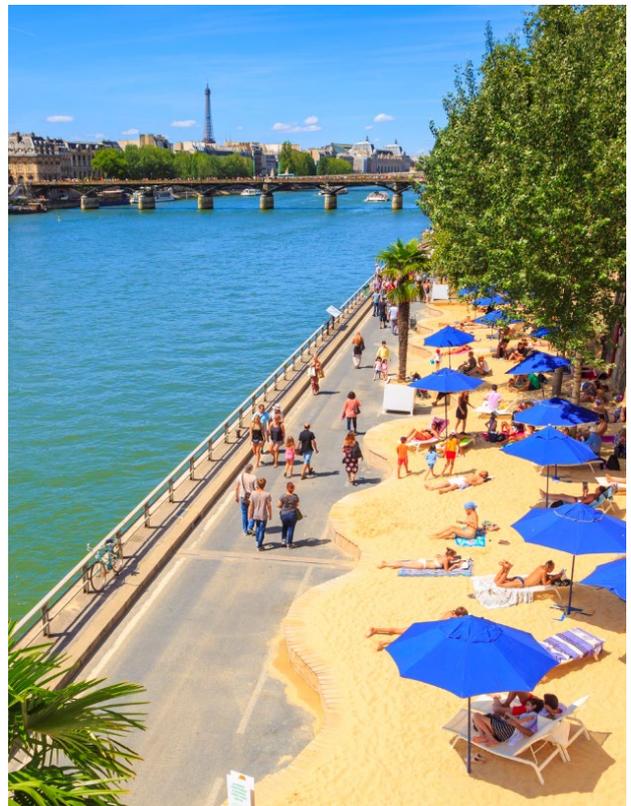


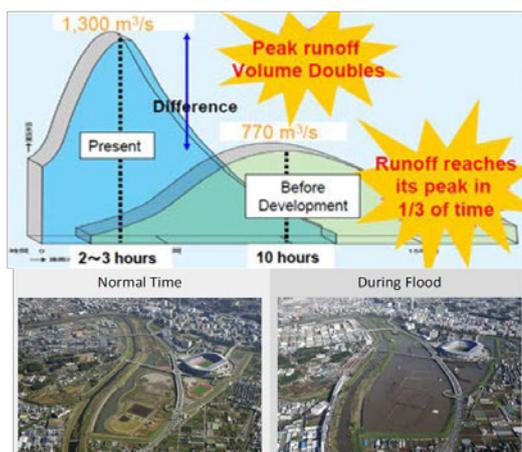
図 8 Extended Value の創出 : パリの砂浜

図 9 は、鶴見川の河畔にあるスポーツのスタジアムや練習場、公園である。その大部分は有事の際の遊水地でもある。大雨による川の氾濫を避けるため、スタジアムの一階部分にある駐車場や、その周りの公園、運動の練習場に増水した川の水を一時的に貯水する仕組みである。先般のラグビーワールドカップの開催中を含め、これまでに幾たびか遊水池として機能してきた。また、遊水した際に美しい光景が SNS を通じたコミュニケーションなどで広がるとともに、このインフラの先進的な取り組みが多くの人と共有され、住民やスポーツファンの理解や愛着も醸成している。温暖化が進む気候変動による台風の巨大化や、都市化による雨水が到達する時間の短縮化に適応したインフラ構築には多大な投資が必要となるが、こうした、他の機能を提供するインフラ(社会資本)との共用や、住民等とのつながり・愛着といったソーシャルキャピタル(社会関係資本)を活用することで、Sustainable Value と Extended Value を創造することができる。

## 深刻化する洪水から市民を守るために、スタジアムの床下空間と周辺の公園を有事の遊水池となるインフラを構築

### まちの課題：短期間・ハイピークの増水

- 台風の巨大化や都市化により、増水ピークが倍になり、1/3の時間で到達



資料：世界銀行グループ、Twitter より

### 住民やファンの心を動かすインフラ

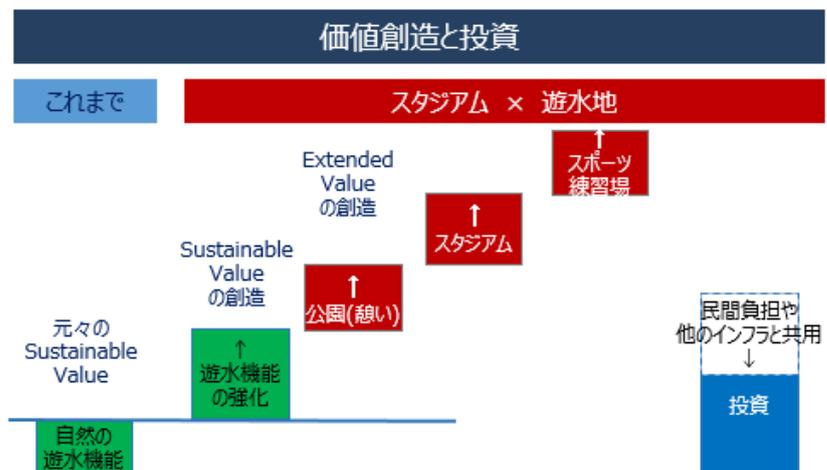


図 9 鶴見川河畔のスタジアムと遊水地の共有

## 第4章 QoL向上を加速するイノベーション

### 4.1 人口減・少子高齢化の局面におけるインフラ維持管理

日本におけるインフラ維持管理の課題は、戦後同時期に開発されたインフラが一斉に老朽化が進んでいること、人口減の局面において都市のインフラが冗長化していることの2点が挙げられる。人口減に伴う都市のコンパクト化に伴って、インフラも縮減判断されるべきであるが、都市のコンパクト化はスポンジ化現象をはじめとする面的に不均一な人口減少の中で進めなければならず、その計画は開発時以上の困難が予想される。このような状況下におけるインフラ維持管理ではまず、都市全体に広がるインフラを人口や地域産業をはじめとする都市動態を把握しながら、面的な機能検証を図りながらインフラアセットのスリム化を図る必要がある。インフラのスリム化計画の策定においては、第3章で述べた3つのインフラ・サービスの価値を参考にして、持続すべき地域の特徴をとらえた新たなサービス水準を基準として進められるべきである。インフラアセットのスリム化事例を図10に示す。2地点に橋梁を経由して2本の道路があるとすると、2地点移動のボトルネックは2地点の通行できなくなる確率と橋梁が不通になる確率である。スリム化は、これら2地点間のルートのうち、最も使用頻度の低いルートの維持管理を停止すること、筋肉質化は最も頻度の高いルートの道路を拡幅するなど規格をレベルアップすること、長寿命化は最も頻度の高いルートの維持管理工程や補修によって、耐用年数の更新に寄与することを意味する。

スリム化、筋肉質化、長寿命化

- 道路(トンネル・橋)が災害にどの程度強いか(基本的な考え方)
  - A地点とB地点の間に橋Cがあり、A地点と橋Cの間には2つのルート道路AC1と道路AC2があり、橋CとB地点の間にも2つのルート道路CB1と道路CB2があるとする

- この時、災害等で道路、橋が通行できなくなる確率をそれぞれ $P_{AC1}$ ,  $P_{AC2}$ ,  $P_C$ ,  $P_{CB1}$ ,  $P_{CB2}$ とすると、災害等でA地点とB地点の間のルートが通行できなくなる確率 $P_{AB}$ は
  - $P_{AB} = 1 - (1 - P_{AC1} \times P_{AC2}) \times (1 - P_C) \times (1 - P_{CB1} \times P_{CB2})$
  - 道路の $P_{xyz}$ を0.1の時、 $P_{AB} \div P_C$ と $P_C$ が全体のボトルネック

**スリム化**：すべての2地点間で、通れなくなる際の影響度の少ない道路・橋梁は放棄  
**筋肉質化**：影響が大きい部分を優先的に強化したり、新たな道路・橋梁を整備  
**長寿命化**：影響が大きい部分を優先的に補修したり、耐用年数の長い設備に更新

図10 インフラアセットのスリム化・筋肉質化・長寿命化

## 4.2 QoL 向上とインフラサステナビリティの両立を支える技術イノベーション

従来のインフラ維持管理は打音検査や目視検査といった人手と作業員の経験に依存することが多く、人口減と専門性を持つ人材確保の観点から改善が必要となっている。また、市町村合併に伴い、自治体の管理する面積が広大となり、面的に広がるインフラ管理は困難さを増している。これらの課題は、省人力化、非専門人材でも扱える汎用性、橋梁裏をはじめとする容易に近づけない箇所の検査手法、膨大な検査データの迅速かつ容易な解析技術、導入コストの低減、導入実績の容易判断と可視化といった技術イノベーションによって解決されていくことが期待されている。我が国でもインフラ維持管理の体系的な技術開発を目的として、内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム」(SIP)において、インフラ維持管理・更新・マネジメント技術が推進された。

インフラ維持管理の従来検査は専門員による手作業で行われており、したがって検出項目は人間の五感（視覚・聴覚・触覚・臭覚・味覚）のいずれかによる。技術イノベーションによって、①複数の検査項目を同時計測できる、②検査結果の解析時間の短縮、③検査結果を活用した予兆診断・寿命推定の実現、④可視化困難な埋設物の検査などの項目について省人力化、迅速化が可能である。技術イノベーションの事例を図 11 に示す。レーダー検査による内部可視化と AI 活用による橋梁床版内部の異常検出を可視化（図 11 (a)）、従来のひび割れ検出の可視化像と寿命との相関データを活用し、コンクリート床版の疲労寿命を評価可能となり、補修タイミングや補修効果の検証が可能となる（図 11(b)）。さらに、水道管の水栓部に高感度の振動センサを設置し、水道管の漏水を継続的に、かつ面的な管理で実現することができる。（図 11(c)）。

SIP
**57-1 インフラの点検効率化を助ける橋梁の高速・自動レーダー診断技術**

**時速80kmの超高速で計測！**  
**橋梁床版内部の異常を透視！**

**■概要・長所(特徴)・スペック**

- 複雑なレーダーデータの微弱な変化をデジタル信号処理とAIにより自動分析
- 橋梁床版内部の0.1mmオーダーの含水した亀裂や土砂化を検知
- 一日に数100kmの大規模分析が可能に
- WEB上の地図に診断結果をマッピングする一元管理システム(ROAD-Sシステム)により道路管理者による点検の効率化を支援

**■活用実績**

3自治体がすでに試行導入中、現在さらに2自治体で計測・分析予定

データ一元管理システムのインターフェース

**■ユーザーの声**

床版内部の劣化は、舗装上からは判断できない。非破壊で内部の状況が診断できるシステムは有用。

費用面で道路全体の探査は、実施できていないのが現状。価格面においてもシステム導入による効果は大きい。

**問合せ先**

東京大学 生産技術研究所(担当: 水谷 司) TEL:03-5452-6098 E-mail:mizu-t@iis.u-tokyo.ac.jp  
株式会社土木管理総合試験所 管理部企画課 TEL:03-5846-8385(代表) HP:https://www.dksiken.co.jp/blog/news/date/2018/5214/

**メディア掲載情報**

- NHK Eテレ「サイエンスZERO」(2017年7月30日放映)
- 日経コンストラクション(2018年3月12日号)

図 11(a) SIP「インフラの点検効率化を助ける橋梁の高速・自動レーダー診断技術」

**SIP 57-2 マルチスケール統合解析によるRC床版の疲労余寿命評価**

**劣化・損傷したRC床版の 対策優先順位付け、補修タイミング・補修効果の事前評価が可能に！**

床版の疲労解析における主びずみコンター図の例

**■概要・長所（特徴）**

- 高度な FEM 解析に損傷劣化状態（現時点）をインプットすると重交通荷重に対する疲労余寿命の計算が可能
- 種々の実験で検証された疲労モデルを採用
- 対数積分法で効率的に疲労解析を実施
- データ同化手法により、現時点の損傷情報（ひび割れなど）を入力することで、余寿命が評価可能に
- 材料劣化（ASR、凍害、塩害）の影響が考慮可能

**■AI による評価の高速化**

- FEM を使った疲労解析の手間と時間を軽減するために、AFEモデルを作成
- 下面のひび割れ図から余寿命が瞬時に評価可能！

ANN学習用のひび割れ → マルチスケール解析 → 疲労寿命を計算

ひび割れ図をランダムに自動生成 → 初期値入力 → 1000 個の計算結果

ANNモデル構築 → 学習結果 → 検証用のひび割れ → 検証結果

実橋床版のひび割れパターン

**■今後の展開**

- 凍害を受けた床版に対応するため、凍害モデルの精度検証を実施予定
- 実構造物群への試行評価を計画中

**■解析事例**

- 下面のひび割れ状況から余寿命の評価が可能！（輪荷重走行試験の実験値と整合）

実験値との比較（活荷重たわみ）

RC床版の疲労たわみ予測

データ同化による乗り込み成功

6方向ひび割れモデルを使ったRC（鉄筋コンクリート）のマルチスケール(MS)解析

RC片断表面のひび割れ図（実験値）を初期値としてMS解析に入れる

観測回数 10万回 294万回 2306万回

問合せ先 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻(担当:石田 哲也)  
TEL:03-5841-7498 E-mail:tetsuya.ishida@civil.t.u-tokyo.ac.jp  
HP:http://concrete.t.u-tokyo.ac.jp/mem/ishi/

図 11(b) SIP「RC 床版の疲労余寿命評価」

**自社開発の「超高感度振動センサ」と「次世代IoT通信」を組合せ  
継続的に、高精度に漏水を検知**



- 検知** 自社開発の超高感度振動センサで漏水検知
- 通信** 次世代IoT通信を活用した漏水データの継続送信
- 分析** センサ計測情報の機械学習による漏水検知の高精度化
- 表示** Webブラウザからの簡単アクセス。漏水状況を継続監視
- 調査** 人手による調査で漏水箇所をピンポイントに特定

図 11(c) 「超高感度振動センサ」と「次世代 IoT 通信」を組み合わせた高精度の漏水検知

面的に広がったインフラ維持管理を上記五感センシングで維持管理する設備を活用して、生活空間をセンシングできる可能性がある。図 12 にインフラの維持管理イノベーション技術がインフラ劣化と住民生活双方に寄与することを俯瞰（ふかん）した。五感センシングはインフラ維持管理に活用できると同時に、人流・防災・住環境などのモニタリングにも活用できる。これらセンシングデータをドローンで面的に取得するなどの工夫によって、地域の網羅を進めることができる。先に触れた水道管の漏水センサデータの時系列的解析によって、漏水と同時に得られる人流などの振動と区別することが可能なアルゴリズムが開発されている。これによって、インフラ維持管理だけでなく、街区等の人出や交通量把握といった新たなサービスへの展開が期待できる。

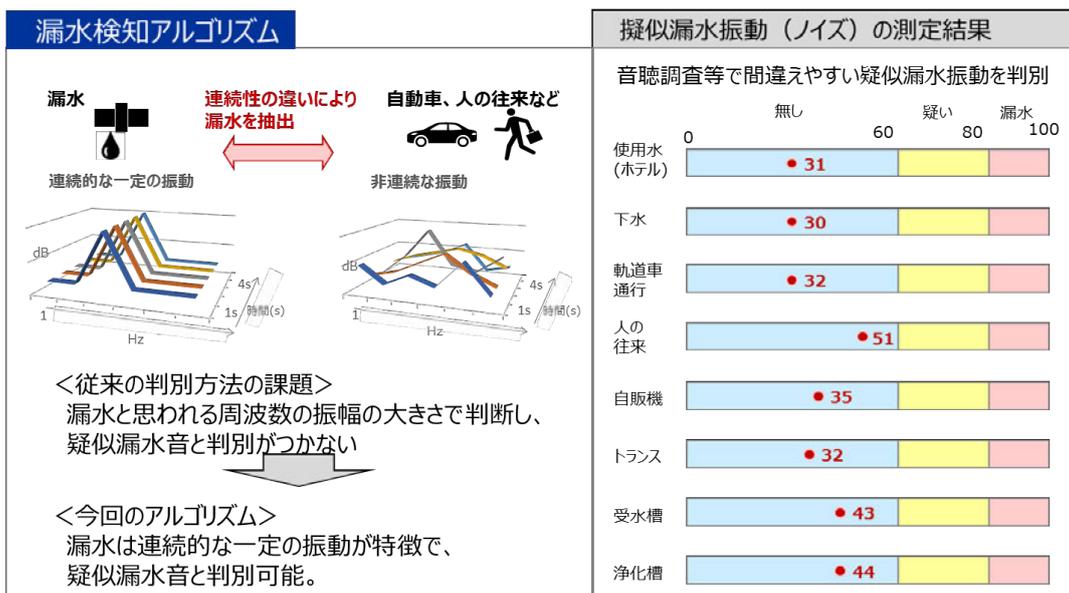


図 12 インフラの維持管理イノベーション技術によるインフラ劣化と住民生活への寄与

### 4.3 住民の共助によるインフラ維持管理のイノベーション

インフラ維持管理の担い手不足を補償する試みとして、住民参加によるインフラ劣化の通知の事例がある（図 13）。スマートフォンで劣化した道路等の写真を指定サイトにアップデートすると、インフラ維持の部局に通知され、投稿された画像に基づいて、補修順位を決定して順次補修する仕組みであり、約 6000 件の解決実績を生み出している。生活のデジタル化を活用することによって、補修する行政の省人員に寄与すると同時に、参加する住民も高度な判断技術を有することなく、簡便な手段で協力できる。

- 千葉市は東京大学と連携し、地域の課題をスマホを活用して市民から情報発信してもらい、Web上で公開・共有・解決する「ちばレポ」を開始（2014）
- 機械学習、最適資源配分などを機能追加し、全国自治体への展開を図る



資料：千葉市・総務省公開資料より

図 13 千葉県「ちばレポ」：住民参加によるインフラの維持管理

## 第5章 QoL ドリブンのインフラ運営

以上述べてきたコンセプトの実現には、QoL ドリブンによる新しい運営方法に移行することが重要である。その基本は、インフラが提供するサービス量(提供価値・QoL に漸近する)を最大化するように、地域ごとに施策を決める、という考え方である。特に住民一人一人の選好はさまざまであるので、地域としての QoL の総和を最大化する運営を地域ごとに行う、Personalized サービスという視点が重要になってくる。限られた地域の財源のなかで、この QoL の最大化には、インフラのみならず、それを取り巻く地域のさまざまな資本を活用したサービス化が重要であり、その中には、地域社会の人と人とのつながりといった Social Capital の醸成も含まれる。つまり、これからの QoL ドリブンのインフラ運営には、住民が理解し、納得できるインフラのサービスが鍵となり、さらには住民参加、共助・互助まで発展させることである。そして、そのためには、地域ごとの特性に合った、将来の発展につなげることも重要である。

### 5.1 地域の人々にあった QoL 向上をめざす、3 つの価値の具体的なインディケータの選択

おのおのの地域は、その特性や将来像に合致する QoL を向上するインフラサービスを提供することが重要である。地域ごとに、域内のインフラ・アセットや自然環境、そしてソーシャルキャピタルは異なり、また、地域の進むべき将来像や住民一人一人の選好も異なるので、これからのまちづくりには、第3章で紹介したような、インフラが創造する価値のインディケータのリストから、その地域に重要なインディケータを複数選択し、不足しているものについては独自のインディケータを新たに設定することで、これからのインフラサービスの具体化が図れる。

- 地域（自治体×市民）は、個々人の特性・将来像に合致する複数のインディケータを選択し、地域の人々に合ったQoL向上を目指す

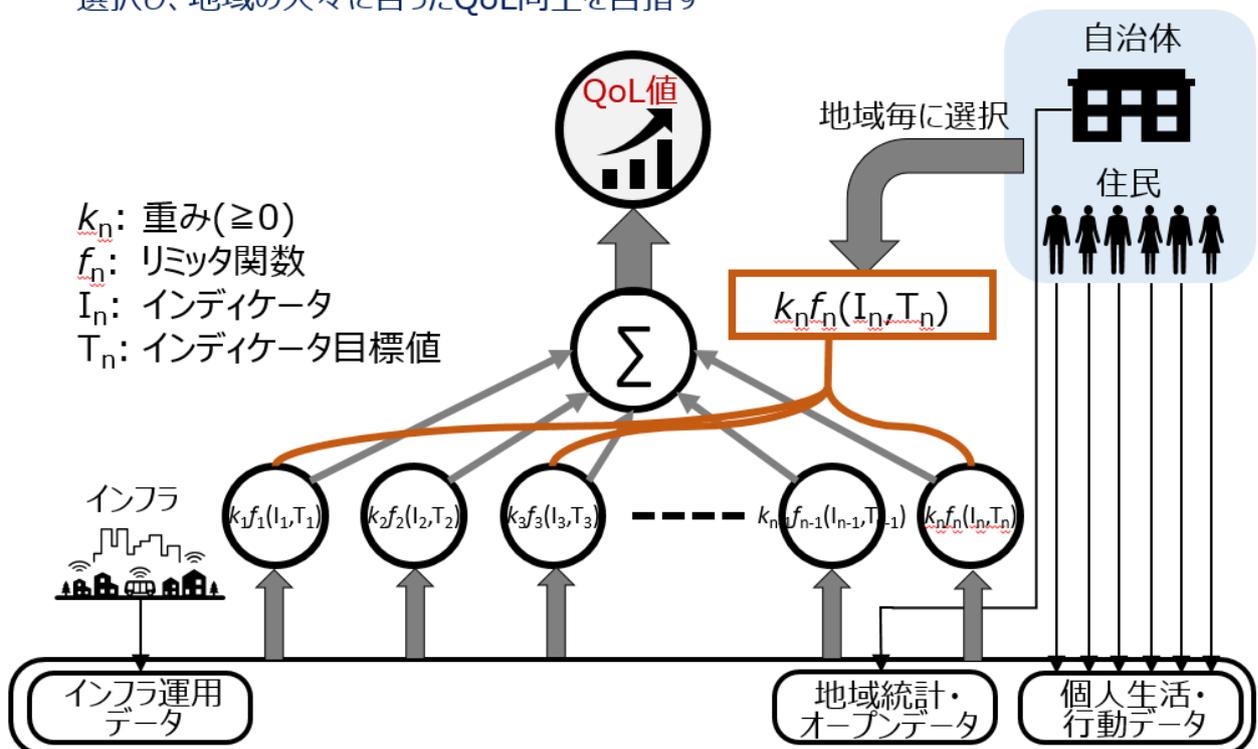


図 14 インディケータの選択：Personalized の入り口

具体的には、図 14 に示すように、おのこの地域は、対象とするインディケータ( $I_n$ )を複数選択し、インディケータごとに重みづけ( $k_n$ )をする。そして、地域のインフラ運用のデータや、人口、産業、土地利用や気象などの地域のオープンデータ、そして、地域の人々の生活に関連するデータなどをもとに、地域としての QoL の量を算定する。インディケータの組み合わせと重みづけ、地域の現在の状況と将来予測のデータにより、地域としてのインフラ運営の計画が立てやすくなる。例えば、上水道を例にとってみると、浄化施設の更新に合わせて、浄化プロセスを市民に見せる公園にしたうおいスポットのような効果を考えたとして、これ自体がインディケータ (I) であり、その地域(自治体など)が、QoL としての効果の重みづけ (k) を考える。その浄水場の周辺に住んでいる人の人数や属性、気象データとともに、将来的には個人の移動や SNS 等への発信状況などから、QoL の状況を把握し、インディケータの適用の計画や意思決定、その後の運用方法の修正などをダイナミックに実行することができる。さらに、その他のインディケータも同様に扱うことで、全体を束ねた計画、実行も可能となる。

## 5.2 地域全体への投資で、Extended Value と Sustainable Value を創造

インディケータを多く選択することで住民の QoL を高めることは可能となるが、インフラ運営のための地域の財政は限られている。現実的には効果が高く、効率のよいインディケータへの投資が重要となる。そのために、インフラ中心の社会資本への投資だけでなく、その地域にある河川や森林・農地などの自然資本や、住民等のネットワーク、信頼などの社会関係資本(Social Capital)を利用した投資により、Sustainable Value や Extended Value を創造することが重要である(図 15)。例えば、第 3 章で紹介したパリの砂浜の事例では、閑散期の自動車専用道路を一時的に閉鎖し、地域の中を流れるセーヌ川を海に見立てた借景(無償)として活用している。また、鶴見川の遊水池の事例では、スタジアムや公園などの他のインフラを組み合わせることで投資を抑えている。さらに、SNS などを通して住民やスポーツファンがその先進的

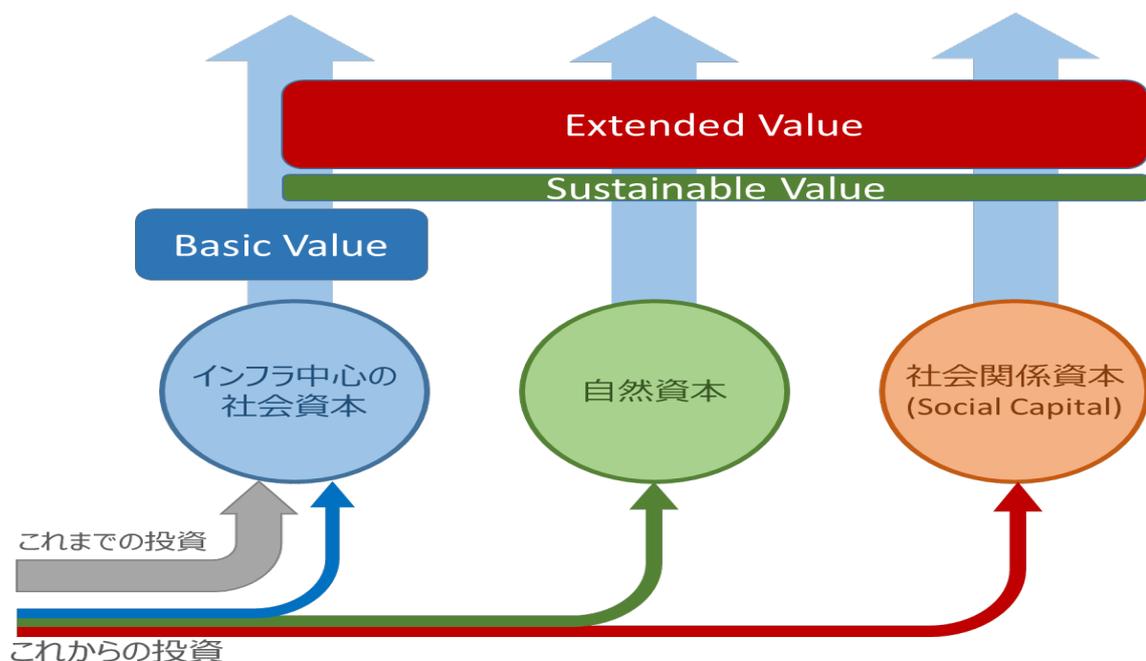


図 15 自然資本・社会関係資本を活用し 3つの価値を創造

なインフラの仕組みの共有するなど、社会関係資本を通し、洪水防止に役立っていることに共感するなどの愛着を育み QoL の向上へとつないでいる。そして、住民の QoL が向上することで、地域の経済活動の活性化を促し、次のインディケータの選択へとつながっていく。(図 16)

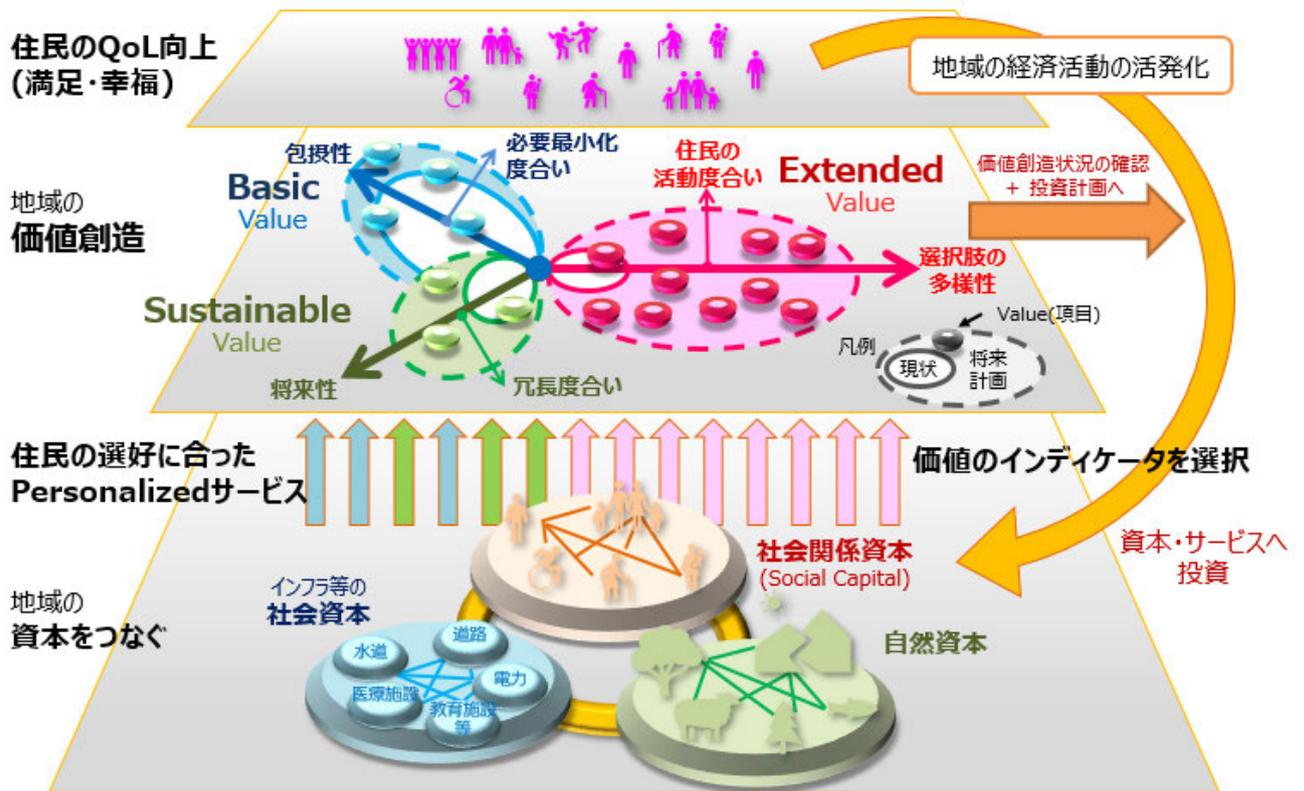


図 16 地域の資本をつなぎ、3つの価値を創造。地域の経済活動により、資本・サービスへの投資へ

図 17 は、千葉県柏市の柏の葉にあるアクアテラスである。大雨等での河川の氾濫を防ぐための調整池であり、これまでは、通常の調整池と同様に侵入できないように柵で囲まれ殺風景なインフラであった。計画的な地域の開発が進むなか、柏の葉アーバンデザインセンター(UDCK：官民学連携のまちづくり推進組織)が中心的な役割となり、県と市の公共と三井不動産を主とする周辺地権者等の民間企業との連携により、「見るだけの池から触れ合える水辺へ」をテーマに柵を取り払い遊歩道などを整備し、市民の憩いの場を創出した。完成後の管理などの運用においても、UDCK



資料：UDCK 等より

図 17(a) 柏の葉の遊水池：Before と「アクアテラス」

と柏市の間での管理協定を結び、周辺地権者の共益費負担などにより実現している。近年、その周りには商業施設も新設され、まちのにぎわいも一層のものとなっている。災害防止の Sustainable Value を維持しながら、池や水生生物などの自然資本の活用と、公園などの他のインフラの機能や商業施設との連携などにより、憩いやにぎわいといったさまざまな人々の QoL 向上の Extended Value を創造している。

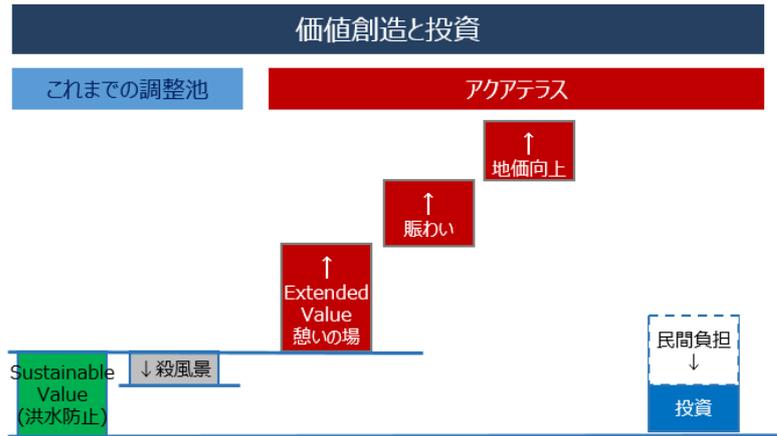


図 17(b) アクアテラスによる Extended Value の創造

### 5.3 QoL ドリブンのインフラ運営への意思決定： 価値創造と投資の可視化・定量化

このインディケータを利用することで、QoL ドリブンのインフラ運営における住民への価値の創造と投資の定量化と見える化を進めることが可能となる。このことにより、地域としても、これからのインフラサービスの提供に向けた計画と意思決定を迅速に進めることが可能となる。

図 18 は、そのモックアップであり、左側に創造する価値を定量的に表示した。3 つの価値（Basic Value と Sustainable Value、Extended Value）に分類し、価値の項目（インディケータ単位）で、創造される価値の量を面積で表示し、積み上げグラフでその総量が分かるようにした。上水道を例にとると、

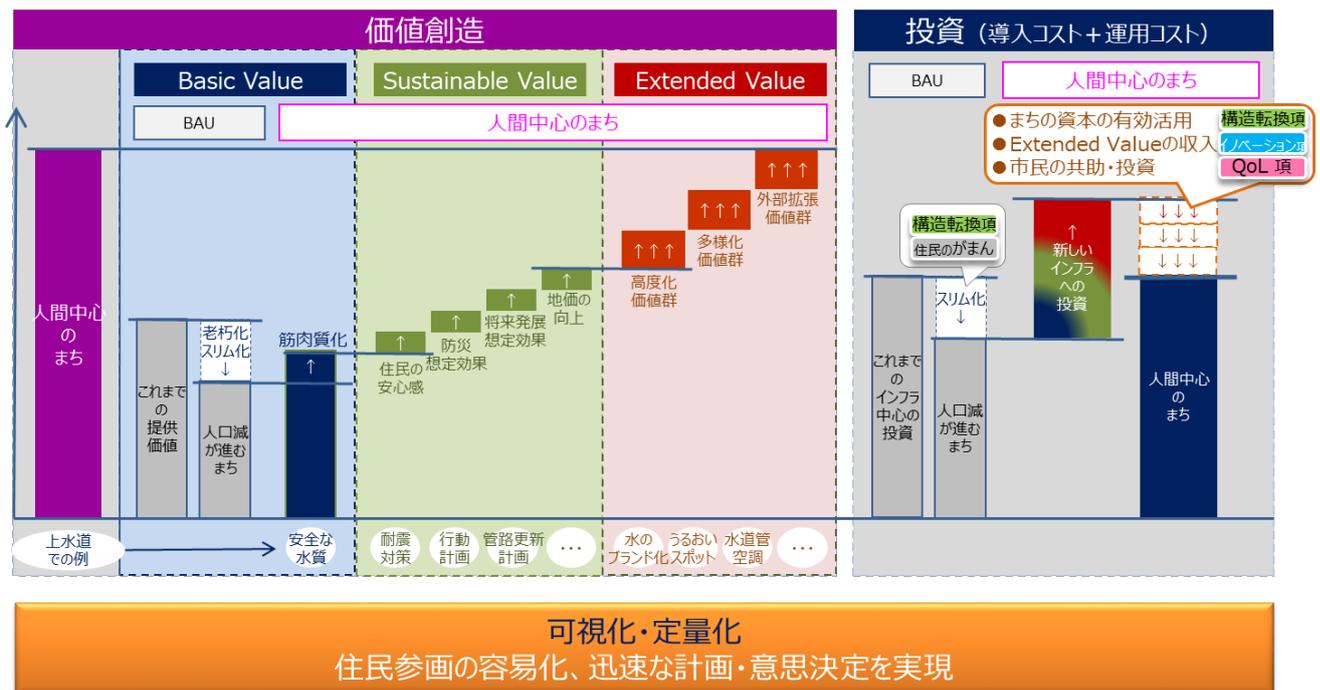


図 18 まちのこれからのインフラを計画・意思決定のためのツール

Basic Value は老朽化などのスリム化による価値の減少と安全な水質のさらなる確保などによる「筋肉質化」を定量的に表現し、さらに、Sustainable Value として、耐震対策や有事の際の行動計画、Extended Value として、水のブランド化、うるおいスポットの価値を定量化する。

同図の右側は、価値の創造のための投資の量を表しており、価値創造との関係をわかりやすくしている。こうすることで、地域全体を俯瞰（ふかん）した将来の検討が容易になり、よりスムーズな意思決定が可能となる。住民にとっても、限られた地域の財源のなか、さまざまな政策と合わせて、より QoL が向上するサービスの選択や、QoL 低下への影響が少ないアセットの削減などが、地域のこととして建設的に検討できるようになる。

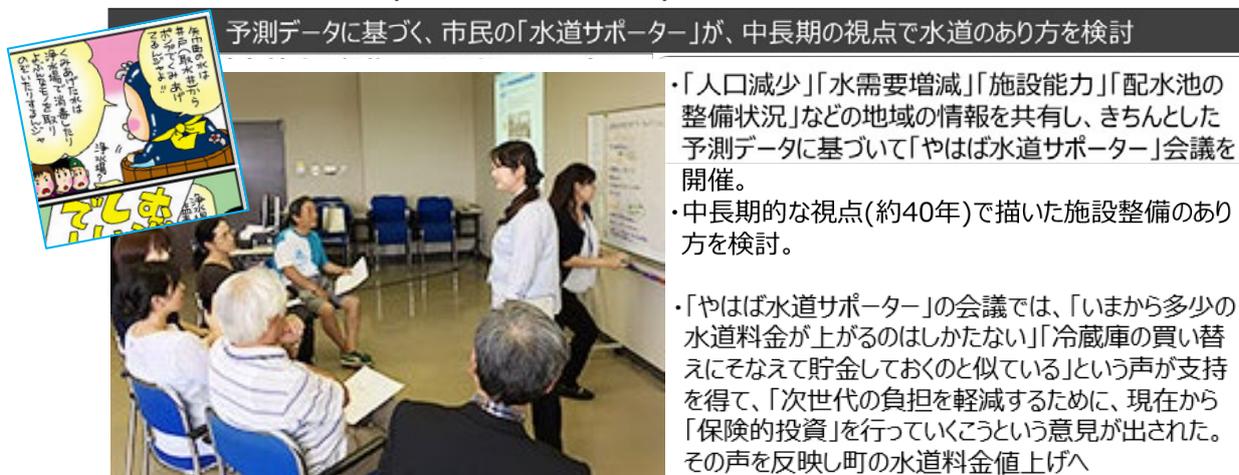
## 5.4 住民参加によるインフラの運営

住民の QoL を高めるインフラ運営に移行するためには、住民のかかわり方も変化していく。特に、Basic Value のスリム化や、Personalized サービスなどを地域の施策として意思決定するためには、住民自身が、地域の一員として理解・納得し、そして地域のあらゆる人々の QoL の向上のために最適なインディケータを考え、提案するプロセスが重要となる。そのためには、インフラ運営の厳しい現状や将来予測を含め、その地域がめざす将来像や、それに関連するさまざまな情報やデータを住民と共有することが重要である。Basic Value としてこれまで提供し続けてきた水道や道路などのインフラは、あって当然の存在であり、日常生活においてその価値を意識する住民は少ない。しかし、人口減少などで、いったん老朽化や閉鎖などが生じると、住民は QoL の低下を強く感じてしまう。

### ■ 住民も未来を創造する自治体の水道事業(岩手県矢巾町)

- 岩手県矢巾町では、「当たりまえ」の水道の現状を市民に理解してもらうとともに、将来の水道について、市民とともに考え、意思決定するプロセスを構築
- データに基づいて、住民の合意を得て政策を決める
- 将来への備え(Sustainable Value)を理解し、価値を認識

予測データに基づく、市民の「水道サポーター」が、中長期の視点で水道のあり方を検討



- ・「人口減少」「水需要増減」「施設能力」「配水池の整備状況」などの地域の情報を共有し、きちんとした予測データに基づいて「やはば水道サポーター」会議を開催。
- ・中長期的な視点(約40年)で描いた施設整備のあり方を検討。
- ・「やはば水道サポーター」の会議では、「いまから多少の水道料金が上がるのはしかたない」「冷蔵庫の買い替えにそなえて貯金しておくのと似ている」という声も支持を得て、「次世代の負担を軽減するために、現在から「保険的投資」を行っていく」という意見が出された。その声を反映し町の水道料金値上げへ

資料：矢巾町公開資料等より

図 19 住民も未来を創造する自治体の水道事業（岩手県矢巾町）

例えば、人口減少が続く岩手県矢巾町では、中長期的な視点での将来の在り方の検討を、住民参画で推進した。人口減少、水需要増減、施設能力などの現状と将来予測の情報を住民と共有することに加え、水道設備などの実地を住民の目で視察してもらうことや、住民に「やはば水道サポーター」になってもらい、将来を議論する会議を重ねることで、矢巾町の水道の現状と将来を理解してもらった。そして、最終的に水道料金の値上げを含む、水道政策についての合意形成へとつながっていった。(図 19)

また、インフラの運用の段階における住民参画の事例として、第 4 章で紹介した千葉県の「ちばレポ」が挙げられる。これは、道路などの異常発見プロセスに、住民の参加を組み入れたものである。住民は自分のスマホでインフラの異常箇所の写真を撮ってアプリで送るだけで、いつでもインフラ維持管理の一端を担うことができる。その情報は千葉市のホームページで公開され、市も迅速な対処へと向かう。地域の住民の社会関係資本(Social Capital)をうまくつなげた事例であり、参加した住民のなかには、インフラへの愛着を感じる住民も出てくるだろう。

このように、あって当然と思われている地域のインフラの現状や将来について、住民に理解してもらい、納得し、さらにインフラに愛着を感じたりファンになってもらうことも視野に、住民自身が地域の将来のための計画や意思決定、そして運営に参加することが、これからのインフラづくりにおいてますます重要となる。つまり、住民間の関係・ネットワーク・信頼といった社会関係資本(Social Capital)の強化・醸成への投資により、地域の社会課題の解決と共に、さまざまな新しい Value の創造が可能となり、イキイキとした生活を高めていく。また、Social Capital が高まることで、地域のインフラ運用への住民の共助や住民からの投資も組み合わせることが可能となる。

日立東大ラボでは、松山市において、まちづくりの議論に住民参加を促がす実証実験を進めている。地域に関する、人口、交通、天候、観光客の人流などの情報を活用し、その地域の過去・現在・将来のイメージをビジュアルに共有するツール(City Scope)を用意し、住民が主体となって将来のまちづくりを考える活発的な「場」を創出しようとしている。現在、松山アーバンデザインセンター(UDCM：官民学連携のまちづくり推進組織)がその役割を期待されており、City Scope の試験導入を実施している。(図 20)



図 20 日立東大ラボが進める UDCM での City Scope のデモンストレーション

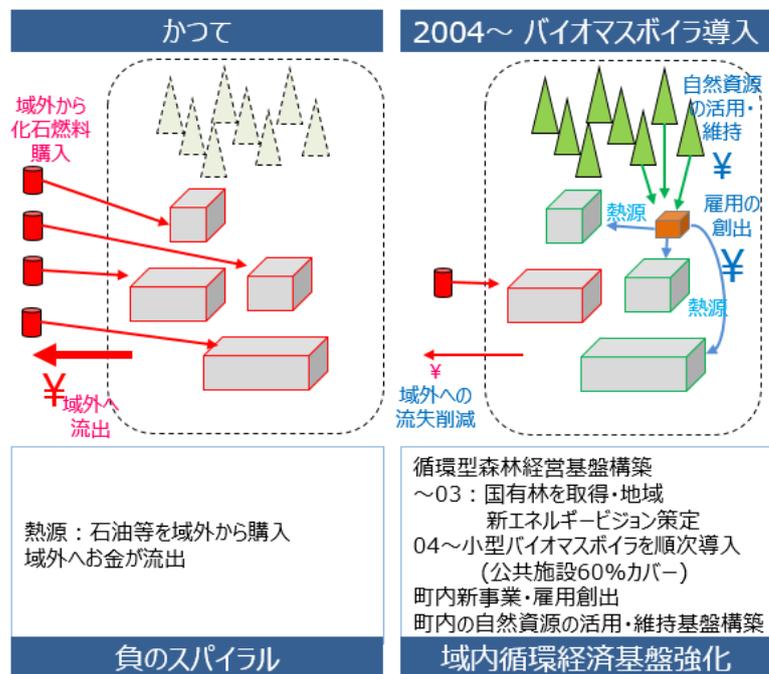
## 5.5 Extended Value 創造を通じた経済活動の活性化・地域内での経済循環へ

第3章で紹介した日立市の水道インフラにおける電力のデマンドレスポンス(DS)の事例では、DSに応えインセンティブを得ることができる。また、図17の柏の葉のアクアテラスの事例においては、その周辺の商業施設と一体的にデザインしたことでアクアテラスと連動したイベントなどの効果により人が集う空間となった。そして、地域の経済活動の活性化にもつながっている。つまり、インフラ運営での Extended Value 創出を通じ、その地域の経済価値を向上させることができる。

さらに、インフラ運営において、地域にある他のインフラや自然資本、社会関係資本(Social Capital)を活用することで、地域外からのリソースの調達などを低減することができる。つまり、地域外への資金流出を抑止し、地域内でその資金を有効に活用する、地域内での経済循環の仕組みを創ることがことができる。

図21は、人口減少が進む北海道下川町(人口約3千人。面積は東京23区と同等)の事例である。これまで、同町では公共施設などの熱源の化石燃料を町外から調達してきたが、町内の88%を占める森林を活用した循環型森林経営基盤の構築に向け、町内にある小中学校や福祉施設、育苗施設、温泉施設などに小型バイオマスボイラを順次導入してきた。また、町内の限界集落には、エネルギーの自立を実現する脱炭素コミュニティ(「バイオビレッジ」)を設立し太陽光パネルとバイオマスボイラを利用した熱電併給システムを新たに導

入するなど、公共施設の熱源の60%以上をカバーするまで至った。域外からの化石燃料の購入から町内で生産する木質バイオマスの使用に切り替えたことで、燃料費用の削減効果は、2017年には約1,900万円となり、その半分を再生エネルギーボイラーの更新費用に充て、残りを保育料の軽減措置や乳幼児等医療費扶助などの子育て支援の充実に投資している。また、バイオマスボイラーの導入により、ボイラーの運営そのものに加え林業や端材をチップに加工する工場やチップの販売においても雇用を創出し、町外へのお金の流出を抑制し、町内での資金の循環を高め、町としての経済的な自立性も強化している。さらに、住民の家庭での剪定(せんてい)した木材などをバイオマスの材料に提供することで地域内商品券の流通や、森林環境教育などの学びの充実化などにより、住民間の社会関係資本の醸成にも力を入れ、地域内の経済循環を強化したまちづくりを推進している。



資料：下川町、NPO 法人しもかわ森林未来研究所公開資料より作成

図21 北海道下川町での地域内の経済循環の取り組み

## 第6章 まとめ：日立東大ラボがめざす社会

日立東大ラボがめざす、Society 5.0 時代の持続的社會インフラは、住民の生活視点でサステナブルな地域を創造することであり、これまではインフラそのものへの投資が中心であったものを、住民のイキイとした生活を支える価値の創造のためのインフラ運営への投資という構造に変換するものである。

その実現に向け、日立東大ラボは下記を提言する。

- (1) QoL ドリブンの自治体経営：住民参画等を通じ、住民の理解を得た、住民の QoL 向上の地域の将来像・それを実現する施策と投資を実施。
- (2) 自然資本・社会関係資本（Social Capital）で住民の QoL を向上：社会インフラ（社会資本）自体の長寿命化に加え、地域に存在する、河川や森林、農地といった自然資本や、住民の信頼関係やネットワークといった社会関係資本（Social Capital）へも投資することで、住民の QoL を向上させる Extended Value や Sustainable Value を創造。また、これからのまちづくりへの住民の理解や納得、満足感、さらに、社会インフラ運営への愛着も醸成しながら、住民の共助や投資の促進。
- (3) テクノロジーの活用によるイノベーションの促進：Personalized サービス実現のために、さまざまな情報・データの活用・分析、迅速な意思決定の支援を IoT/AI などのテクノロジーを活用。
- (4) 広域化・分散化と民間の活用：さらなる、効率化と最適化に向け、広域化や分散化、そして、民間のノウハウを活用。

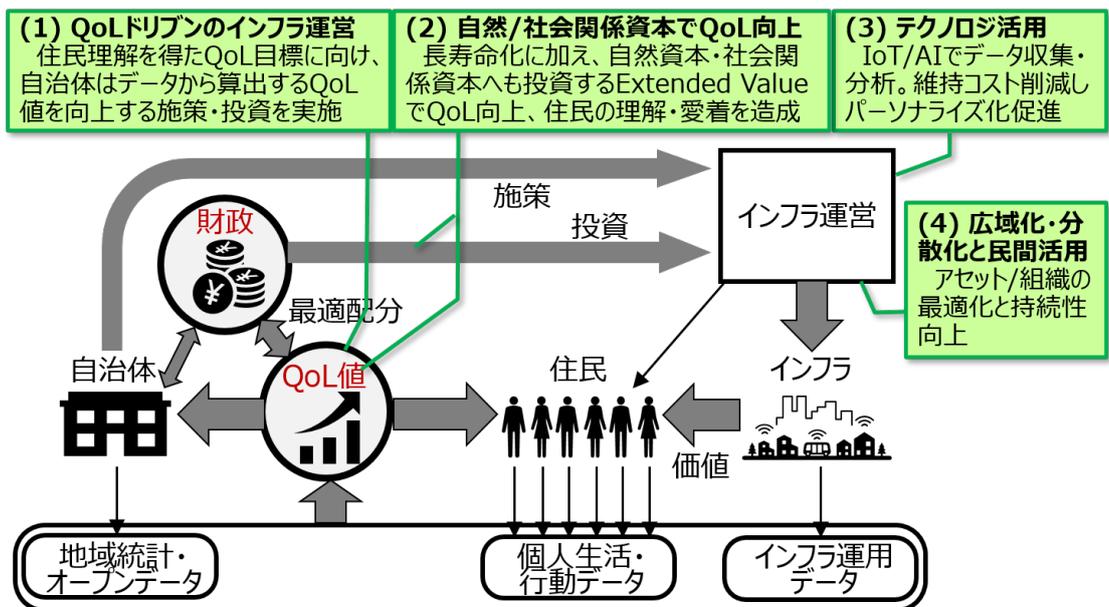


図 22 めざす社会：Society 5.0 時代の持続的社會インフラ運営

以上

付録： インフラ運営における価値創造のロングリスト（上水道・道路・下水道）

上水道				
#	分類	名称	内容	
1	Basic Value	安全で良質な水	水道事業ガイドライン業務指標（平均残留塩素濃度など、17項目）	
2		安定した水の供給（サービス持続時間）	水道事業ガイドライン業務指標（施設利用率、漏水率、給水普及率など34項目）	
3		健全な事業経営	水道事業ガイドライン業務指標（営業収支比率、家庭用料金など45項目）	
4		平均水圧	一定の水圧で水が供給される(例：蛇口から一定範囲の水圧で水が供給される)	
5	Sustainable Value	耐震等災害対策	水道事業ガイドライン業務指標（系統間の原水融通、浄水施設の耐震化率など17項目）	
6		災害発生後の行動計画	(a) 被災箇所の探知能力(情報集約機能)、(b) 主要(N)箇所の復旧計画策定、(c) 同箇所被災時の住民への給水計画策定、(d) 複数被災時の優先復旧計画策定、(e) (b)に対する訓練の実施、(f) (c)に対する訓練の実施	
7		持続性	管路更新等	
8		環境配慮	低炭素型浄水場等	
9	Extended Value	(1)、「高度化」 (該当インフラを通常の使用方を する範囲で実現 する、生活がより 便利に、効率よく、快適になるサ ービス)	安心感	高い水質の水が出る・利用できることによる住民の安心感
10			おいしさ	アンケート等による評価
11			料金の柔軟性	定額料金など
12			ブランド化	ブランド化による水道価値向上
13			適温での提供	給湯設備の普及。例：温泉等の熱源を利用して、一定温度の水を供給する、あるいは温水を供給する
14		(2)「多様化」 (該当インフラを通常とは異なる 使い方により実現する、生活を 豊かにする(いやし、うるおい等の) サービス・備え)	環境対策	水道事業ガイドライン業務指標（再生可能エネルギー利用率、浄水発生度の有効利用率など6項目）
15			大人の社会見学	浄水場、管路交換現場など。共感・信頼を高め、水道ファン・サポーターをつくる
16			見せるインフラ	工事現場や、稼働現場を見せることで、親近感・臨場感を醸成
17			楽しむインフラ	インフラファンを楽しませる、施設を見て楽しむ周辺のカフェ・公園など
18			水トラッカー	水道ファンや子供たちが楽しむ、水道のトラッキング情報提供
19			うるおいスポット	人通りの多い場所に、うるおいスポット(噴水、滝、せせらぎ、池、水槽)を設ける。人通り(歩行者)の多い歩道、広場、公園に設置
20			浄水施設の観光施設化	自然ろ過など地域特性を利用した水利施設の観光地化（北海道小樽市などで実績あり）
21			暑さ対策	ミスト等敷設箇所数

22		(3)「外部拡張」	貯水施設を用いた電力調整力	電力余剰時に水を汲み上げ、不足時には汲み上げを止める事で調整力として活用
23		(該当インフラの設備やデータを用いて異なる分野(異なるインフラ)において経済的価値を生むサービス)	公園や商業システム	浄水場などの上部空間の有効活用
24			水道管空調	水道管を部屋に通すことで空調効果。しかも透明な管なら見た目も楽しめる。(島根県雲南市役所庁舎で実績あり。夏場に市役所のガラスに水を循環で流し、水が豊かであること、庁舎の省エネに利用している)

道路				
#	分類		名称	内容
1	Basic Value		道路充足率*	道路の配置が、防災上必要な基準に概ね達し、修復・誘導的な手法により健全な街区・画地が形成し得る水準に達していること
2			道路品質	舗装状態、歩道状態
3			モビリティ速度	モビリティ速度(end to end の速度): = $\Sigma L / t$ (L: 希望移動距離、t: 実質移動時間)。実質移動時間は、迂回、渋滞があれば増え、案内等があれば減る
4			地震に強い道路	緊急輸送道路上の橋梁の耐震化
5			道路周辺建造物	市街地等の幹線道路の無電柱化
6			ユニバーサルサービス	高齢者、障害者でも円滑に移動ができるバリアフリーな道路
7			除雪計画	冬季の除雪計画、予算化(官民分担)
8	Sustainable Value		洪水時の貯水	地下部分の道路を遊水池として活用
9			二次被害の防止	(事例)地震でずれた道路の側溝は放置しておくとも雨水が漏れ出し、路面の陥没にもつながる
10			緊急時時間短縮	救急時の医療物資や患者の搬送時間短縮
11			混雑緩和	災害時など大きな道路が混雑する場合、迂回路としての役割 →[Basic Value へ] 平常時、朝晩の混雑時の専用レーン化、車線数変更、一方通行化
12			緊急時混雑緩和	災害時など大きな道路が混雑する場合、迂回路としての役割
13			災害発生後の行動計画	(a) 被災箇所の探知能力(情報集約機能)、(b) 主要(N)箇所の復旧計画策定、(c) 同箇所被災時の住民への誘導・情報提供計画策定、(d) 複数被災時の優先復旧計画策定、(e) (b)に対する訓練の実施、(f) (c)に対する訓練の実施
14			地下データとの共有 他のインフラデータの連携による他インフラの効率運用	ガス管・上水道・下水道・地下鉄の敷設状態との一元管理。災害復旧時のリスク低減、地下埋設物工事の計画円滑化
15		持続性	舗装補修率、橋梁/トンネル更新	
16	Extended Value	(1)「高度化」(該当インフラを通常の使い方をする範囲で実現)	借景	道路わきの住宅などのコラボで、道の景観を向上し歩きたくなる道の創出
17				移動手段多様化

18	する、生活がより便利に、効率よく、快適になるサービス)	交流人口増加	観光客など交流人口の増加による経済効果
19		物流など経済活動活性化	農産物や鮮魚等の出荷効率化・出荷量拡大、企業の参入促進
20		道路緑化	歩道など道路上の緑地拡大による景観向上、CO2削減
21		バリアフリー	歩道などのバリアフリー化、点字ブロック設置
22		歩行者・自転車・自動車の3区別多様化	自転車専用レーン、自転車専用レーンの多様化利用
23		運転ストレスの無い道路	違法駐車、飛び出し、見通し、追い越しなど、気を使う要素を低減した道路
24		(2)「多様化」 (該当インフラを通常とは異なる使い方により実現する、生活を豊かにする(いやし、うるおい等の)サービス・備え)	遊び場・公園
25	じぶんの菜園、花壇		街路樹の下や中央分離帯、路上駐車で走行価値の低い車線を活用した、土いじり空間の創出
26	歩行者優先の賑わい創出		都市計画に基づいて、地域の「賑わい」の創出地点に、(a) 自動車の侵入を制限した歩行者優先道路の設置または転換(N箇所)
27	道路の占有		再生都市特別措置法で規定されている「道路の占有」(歩道、道路にオープンカフェや駐輪場を占有設置できる許認可)を利用した活性化
28	冷熱媒体(エネルギー活用)		アスファルトの蓄熱の活用
29	レガシー道路(道路自体が観光地)		昔の街道や、著名人が愛用した道などの文化的な価値化
30	移動する商店・オフィス・住居		ラッシュ逆方向の空いているレーンの活用。朝・夕で移動
31	(3)「外部拡張」 (該当インフラの設備やデータを用いて異なる分野(異なるインフラ)において経済的価値を生むサービス)	道の駅	地域の物産を販売するなど地域振興の拠点
32		新車や旧車のショールーム	ナビを利用して、自分の移動中に、話題の新車やクラシックカーに遭遇する情報を提供。イベントとして道路を使う
33		イベント(地域内外の人の交流)	マラソン大会やサイクリング大会(例:フランス・メドックマラソン)

下水道			
#	分類	名称	内容
1	Basic Value	汚水処理	汚水の収集・浄化
2		水環境改善	河川、湖沼、湾などの水環境、衛生状態の改善
3		雨水排除	分流式の場合は汚水と別の雨水管で(合流式の場合は汚水と同じ管)で雨水を排除
4		再生水	下水を処理して、トイレや噴水、洗車等に利用
5		リン資源	下水中のリンを取り込んだ活性汚泥(微生物群)からリン結晶抽出。化学肥料として活用

6			コンポスト（肥料）	活性汚泥(微生物群)を乾燥させてコンポストとして利用	
7			資材	下水処理場に流入する無機物（土砂など）を資材（セメントやレンガなど）として再利用	
8	Sustainable Value		光ファイバ網	下水道管渠内の光ファイバ網により非常時も設備間の通信を確保	
9			マンホールトイレ	災害時にマンホールに直結するトイレ	
10			雨水排除・水位監視	速やかな雨水排除により豪雨時の内水氾濫抑制	
11			持続性	管路更新。管路全体の寿命を決める破損可能性の高い管路を常に交換し、寿命を一定水準に保つ	
12			ハザードマップの活用	地震などで管路や設備が被災する可能性を示すハザードマップを作成する。更にハザードマップに基づき、被災可能性の高い管路・設備の強靱化を行う。あるいは被災を前提に被災時の対応手順や必要資材を事前に準備する	
13		Extended Value	(1)「高度化」 （該当インフラを通常の使い方を する範囲で実現 する、生活がより 便利に、効率よく、快適になるサ ービス）	熱源	冬暖かく夏は冷たい下水熱を熱交換器を通じて融雪や冷暖房に利用
14	敷地利用			施設上部空間の利用。公園など	
15	紙製品排除			介護者の負担低減を目的とした紙オムツ受け入れ。ディスプレイ活用	
16	メタンガス			廃棄する活性汚泥(微生物)の嫌気性消化により生成したメタンガス生の発電利用	
17	炭化燃料			廃棄する活性汚泥(微生物)を炭化し、石炭火力発電の混焼燃料利用	
18	敷地利用			下水道管内に設置したセンサ（水位計）情報をマンホールを通じて通信	
19	マンホールアンテナ			明電舎が製品化。マンホールのふたを利用して、無線電波を強化。マンホールごとの水位を無線でデータ管理	
20	(2)「多様化」 （該当インフラを 通常とは異なる 使い方により実 現する、生活を 豊かにする(いや し、うるおい等) サービス・備え）			デザインマンホール	ご当地特有のマンホールにより知名度向上、観光資源化
21				マンホールカード	ご当地マンホールのカード。各種イベント（マンホールサミットや下水道展など）や市役所での配布を通じて市民啓蒙を図る
22		見せるインフラ	見学、映画撮影		
23		(3)「外部拡張」 （該当インフラの 設備やデータを用いて異なる分野(異なるインフラ)において経済的価値を生むサービス）	ウイルス情報	汚水に含まれるノロウイルス等の濃度を計測し、流行情報とエリアをいち早く特定	

## 提言検討体制

### 東京大学

牧原 出	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
石田哲也	東京大学大学院 工学系研究科 教授
滝沢 智	東京大学大学院 工学系研究科 教授

### 日立製作所

鈴木 敬	日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンタ 主管研究員
長谷川隆	日立製作所 研究開発グループ 東京社会イノベーション協創センタ 主任研究員
太田裕之	日立製作所 研究開発グループ エレクトロニクスイノベーションセンタ 主管研究員
山野井一郎	日立製作所 研究開発グループ 制御イノベーションセンタ 主任研究員
谷本幸一	日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンタ 主任研究員
吉本尚起	日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンタ 主任研究員
板橋一男	日立総合計画研究所 研究第一部 政策グループ 主任研究員