

戦略プログラム

統合サービスシステムとしての 都市インフラ構築のための基盤研究

STRATEGIC PROGRAM

Transdisciplinary research on integration of
infrastructures for urban service system



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

研究開発戦略センターでは、国として重点的に推進すべき研究領域や課題を選び、以下3種類いずれかの戦略プロポーザルとして発行している。

戦略イニシアティブ

国として大々的に推進すべき研究で、社会ビジョンの実現に貢献し、科学技術の促進に寄与する

戦略プログラム

研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に研究することによって、その分野を発展させる

戦略プロジェクト

共通目的を設定し、各チームがこれに向かって研究することによって、その分野を発展させると同時に共通の目的を達成する

エグゼクティブサマリー

近い将来に予想される大規模災害の発生、また少子高齢化社会、低炭素社会化や循環型社会化の到来に対処するために、人口の集中する都市において様々な都市サービス機能を効率化し、また頑健性や復元力を強化することが喫緊の課題となっている。本戦略プロポーザルでは、これからの都市におけるサービス機能を提供するインフラシステム（以降、都市インフラと略記）を効率化し、また頑健性や復元性を強化するための研究推進戦略を提言する。特に、エネルギー、水、交通・物流、情報・通信などの都市生活を送る上で不可欠な都市インフラを対象として、そのサービス機能をモデル化し、仮想空間上で統合することにより、機能の評価、予測、さらに制御・管理を効率的に行うためのシステム科学アプローチの展開を目指す。具体的には、近年、研究の進展が著しい、またはその萌芽がみられる、

- 都市動態（人の移動や物の動きなど）の計測、解析手法
- 計算科学によるモデル化、シミュレーション手法
- 仮想空間上でのデータ、モデルの統合化手法

を導入することにより複雑化した都市のサービス機能の動態を評価、予測し、さらに効率的な管理を行うための統合システムを確立する。

都市は1万年の歴史を持つといわれ、日本や欧米などにおいては、都市はほぼ最終的な姿に近い完成度をもって構築されているようにも見える。実際に、1,000万人を超える人々に対して安定してエネルギーや水、食料、そして情報を提供する都市サービスシステムを構築し、また大量の人々を安全に高速で移動させることを可能とする鉄道や道路のネットワークを構築している。

しかしながら、今回の東日本大震災やタイにおける洪水は、それらの都市サービスシステムが一つの災害により脆くも崩れ去り、世界経済全体に影響を及ぼすという実態をさらけ出した。地震や洪水による被害は人口や機能が集中する世界の諸都市においてその被害リスクを大きくしている。短期間に発生する災害のみならず、中長期的にも、都市の活動が地球規模での温暖化を促進するのではないかと、逆に、人口の集中する都市はその変動の影響を強く受けるのではないかと、という危惧も拭いきれない。可及的速やかに

- 大規模災害に強い都市インフラの構築（頑健かつ復元力に富む都市）
- 低炭素社会に向けた都市インフラの構築（低炭素都市）
- 資源利用や廃棄物の循環を効率化した都市インフラの構築（循環型都市）
- 子供や老人にとっても安全で快適な都市インフラの構築（少子高齢化対応都市）

を進める必要がある。

都市インフラの整備が遅れているにもかかわらず人口の集中度が高い発展途上国の都市では、事態はさらに深刻である。これらの都市においては、新たな科学技術の投入による効率化などの効果が大きいと考えられ、早い段階で都市インフラの構築改善を推進することが望ましい。日本の経験を生かす大きな機会であり、日本の産業にとっても有力なビジネスチャンスとなることが期待される。

本戦略提案では、次世代の都市インフラを構築するためのシステムアプローチを提案す

る。本提案は、都市のサービス機能総体を仮想空間上でモデル化すること、特に、サービス機能を人や物、さらには土地利用の動き（動態）を核としてモデル化すること、に特徴がある。課題は以下の通りである。

- (1) サービス機能の何をどう計測するか、計測したデータをどう活用するか（都市動態の計測と解析）
- (2) サービス機能をどうモデル化し、予測・評価などを行うか、予測結果をどう検証するか（都市動態のモデル化、シミュレーション）
- (3) サービス機能を管理し制御するためのシステムをどう構築するか（仮想空間上でのデータ、モデルの統合による都市動態統合解析システム（Urban Dynamics Platform；以降、UrDYP と略記）の構築）
- (4) 都市動態統合解析の基盤となる時空間理論構築

これら 4 課題により、都市空間におけるサービス機能の動的な計測、モデル化、そして制御・管理方式の確立を目指す。

これまでの都市におけるそれぞれのサービスは独自に発展を遂げ、必ずしも相互に連携をとったシステムとしてその機能が統合化されることはなかった。このために、例えば今回の東日本大震災においても、電気が供給されていても鉄道システムが止まる、電気の供給が止まったために水道が止まるといったサービス提供のちぐはぐさが生じ、被害の拡大を招いた。

今後、都市インフラの効率化などに向けては、各種都市インフラの水平的な連携が重要な役割を果たすと予想される。エネルギー供給を例にとると、今後、都市エネルギー供給は複数の電力源を利用する分散化に向かうとみられるが、様々な電力源からのエネルギーを効率的に利用するには分散型の統合制御、例えばスマートグリッドシステムの採用が不可欠である。電力供給のスマートグリッド化については、すでに世界的にも多くの研究が開始された。日本はもとより世界的な経済の減速の中で、大規模な都市開発が難しくなりつつある現在、各種都市インフラの統合的な連携を図ることは、将来の負担を軽減することにつながる。

本提案で示す新たな都市インフラ構築の方法論により、近い将来にその到来が予想されている少子高齢化社会に向けた取り組みのみならず、気候変動に対応するための省エネルギー・低炭素都市、また循環型都市の実現に向けた取り組みが加速されると期待される。また、今後発生が予想される大規模災害に対して頑健かつ復元性に富む都市の構築が期待される。これらの貢献が、日本のみならず今後のアジア・アフリカなどにおける新たな都市の建設に向けても展開される意義は大きい。

Executive Summary

In this document, we propose a strategy to promote urban studies, including how to build a future urban system ; how to enhance the efficiency of urban service functions designed to deal with large-scale disasters, an aging society with fewer children, and the coming low carbon society and recycling-oriented society ; and how to improve their robustness and resilience. Especially by virtually modeling the service functions of the service infrastructure systems essential to urban life, such as energy, water, transportation and logistics, and information and communications, we aim to develop a system science approach to evaluate, predict, control, and manage those functions efficiently. Specifically, we seek to establish an integrated system (Urban Dynamics Platform ; UrDYP) to evaluate, predict, and efficiently manage the dynamics of the urban service functions by introducing the following methods on which research has been significantly advanced in recent years or has just started.

- Method of measuring and analyzing urban dynamics (dynamics of people, goods, etc.)
- Method of modeling and simulation using computational science
- Method of integrating data and models in a virtual space

Cities are said to have existed for 10,000 years, and cities in Japan, Europe, and the United States seem to be almost in their final form. In fact, service systems to stably provide energy, water, food, and information to more than 10 million people and networks of trains and roads that enable safe, speedy transportation of large numbers of people have been established in those cities.

However, the Great East Japan Earthquake and the massive floods in Thailand revealed that urban service systems in such cities collapsed due to a single disaster. The risk of damage from earthquakes and floods is higher in cities with a higher concentration of people and functions in the world. There is fear that urban activities may trigger not only instant disasters but also climate change represented by global warming in the medium and long terms and populated cities may be heavily affected by it. We need to promote the following as soon as possible.

- Establishment of an infrastructure system resistant to large-scale disasters (robust, resilient city)
- Establishment of an infrastructure system for a low-carbon society (low-carbon city)
- Establishment of an infrastructure system which enables efficient resource procurement and cycling of goods (recycling-oriented city)
- Establishment of an infrastructure system where children and elderly people feel safe and comfortable (city that is able to deal with the declining birth-rate and the aging population)

In the populated cities of developing countries where urban infrastructures have not been developed yet, the situation is more serious. The introduction of new scientific technologies is considered to have a great effect in these cities, taking into account uncompleted development of infrastructures and their large populations and areas. It is preferable to promote the establishment and improvement of urban infrastructures at an early stage. This must be a great opportunity to make use of Japan's experience.

In this document, we propose systems approach to the establishment of next-generation urban service infrastructures. This proposal features the modeling of urban functions in a virtual space especially with the movements (dynamics) of people, goods, and land use as the core of the modeling. The challenges to be addressed are as follows.

- (1) Which part of the service functions should be measured and how? How should the measured data be analyzed (measurement and analysis of urban dynamics)?
- (2) How should we model, predict, and evaluate service functions (modeling and simulation of urban dynamics)?
- (3) How do we establish an integrated system to manage and control service functions (establishment of a basic system to integrate models in a virtual space [Urban Dynamics Platform ; UrDYP])?
- (4) How do we establish a fundamental spatiotemporal information theory for urban dynamics analysis?

By addressing these four challenges, we aim to establish a system to dynamically measure, model, and control and manage urban space.

The methodologies of establishing new urban service systems proposed by this challenge are expected to accelerate not only efforts to deal with the coming aging society with fewer children but also efforts to achieve an energy-saving low-carbon city or a recycling-oriented city to tackle climate change. In addition, it is also expected that resilient cities will be built that are robust in the event of the large-scale disasters that are predicted to occur. It will be significant if these methodologies contribute to the development of new cities not only in Japan but also in other Asian and African countries in the future.

目 次

エグゼクティブサマリー
Executive Summary

1. 提案の内容	1
2. 研究投資する意義	7
3. 具体的な研究開発課題	10
4. 研究開発の推進方法	15
5. 科学技術上の効果	18
6. 社会・経済的効果	19
7. 時間軸に関する考察	21
8. 検討の経緯	22
付録	25

1. 提案の内容

本提案は、人の移動や物の動き、また人口や土地利用の変動という短期から長期にわたる都市の動態（Urban Dynamics）と、都市の上に展開するエネルギーや水の供給など各種の都市サービス機能の変動を仮想空間上でモデル化することにより、都市サービス機能の水平連携を強化し、機能の効率化、頑健化ならびに復元力強化を図ることを目的とする。

本提案で開発する新たな科学技術の方法論は、

- (1) 都市動態の計測と解析
- (2) 都市動態のモデル化、シミュレーション
- (3) 仮想空間上でのデータ、モデルの統合による都市動態統合解析システム（Urban Dynamics Platform；以降、UrDYP と略記）の構築

そして、

- (4) 都市動態統合解析の基盤となる時空間理論である。

世界人口 70 億人の 60% 以上が都市に居住すると云われている。そこで消費されるエネルギーや物資は気候変動を含む様々な地球規模での事象に大きな影響を及ぼす。さらに、今回の東日本大震災やタイでの洪水に見られるように、災害による都市におけるインフラ機能の喪失は人的な直接被害のみならず物資のサプライチェーンの寸断を通じて世界に及ぶ。エネルギーや水の供給、また交通・物流や情報・通信といったライフラインのサービス機能の頑健性や復元性の確保は、単に一つの都市や地域のみならず地球全体のシステムの持続可能性を左右するといっても過言ではない。

本提案は、これからの都市インフラをどのように構築するのか、近い将来に予想される大規模災害の発生、また少子高齢化社会、低炭素社会や循環型社会の到来に対処するための都市サービス機能をどのように効率化し、頑健性、また復元力を強化するのか、そういった問題意識に立った都市研究の推進戦略を提言する。特に、エネルギー、水、交通・物流、情報・通信などの都市生活を送る上で不可欠なサービスを対象として、そのサービス機能総体を仮想空間上でモデル化することにより機能の評価、予測、その検証、さらに制御・管理を効率的に行うためのシステム科学アプローチの展開を目指す。

具体的には、近年、研究の進展が著しい、またはその萌芽がみられる、

- 都市動態（人の移動や物の動きなど）の計測、解析手法
- 計算科学によるモデル化、シミュレーション手法
- 仮想空間上でのデータ、モデルの統合化手法

を展開することにより、UrDYP を構築する。

① 都市動態の計測と解析

人の動きや物の流れ、また人口や土地利用の長期的な変動は、都市におけるエネルギーや水の需要と供給、情報・通信の量を定める大きな要因の一つとなっている。このような都市の動態に関するデータや情報を把握することができれば、都市のサービス機能を評価・予測し、管理・制御することが可能となり、都市サービス機能の効率化、また頑健性や復元性の強化につながると期待される。

しかしながら、カーナビ、モバイル携帯や電車・バス乗車用 IC カード(SUICA、ICOCA など)、IC タグ、またスマートメータなど人の動きや物の流れなど都市の動態を把握する手段が利用されているにも拘わらず、法的な規制や社会的な制約などによってそのデータ自身は非公開となっているケースが多く、動態を評価するための解析手段も確立していない。本研究では、移動体を計測する様々な手段を利用して都市動態を計測し、動態を評価・解析するための方法論を確立する。

また、土地利用の変化など広域かつ中長期的な動態の評価のためには、土地被覆の広域計測が不可欠であり、本研究では航空機や人工衛星を利用したリモートセンシング手法の確立も目指す。

② 都市動態のモデル化、シミュレーション

人の移動や物の動きをモデル化するとともに、電気、ガス、水供給や交通、情報・通信などの都市サービス機能の動態をモデル化する手法を確立する。またこれらのモデルを用いて将来の動態予測や評価（シミュレーション）を行う手法を確立する。なお、都市動態の把握では、個別の要素（人の移動や物の動き、電気、ガス、水の供給など）の相互依存性を評価することが不可欠であり、本研究では個別モデルの統合を目指す。

③ 仮想空間上でのデータ、モデルの統合による都市動態統合解析システム（UrDYP）の構築

エネルギー供給や水供給など都市サービスの効率化や頑健性、復元力強化を図るために、最適化や制御方式の設計を自由に模擬するための UrDYP を構築する。

また、UrDYP 上でシミュレーションなどを行う際に必要となる実空間におけるデータについても、社会的規制などを考慮したうえで統合化し、時空間データベースを構築する。一方で、モバイル携帯や ETC（電子料金収受システム）などの都市動態に関するデータは徐々に公開されつつあるが、本提案を実施するためには、社会的規制などの緩和が極めて重要であり、本提案では様々な規制の緩和方策や緩和後のデータや情報の解析、またモデル化についても検討する。

④ 都市動態統合解析の基盤となる時空間理論構築

都市動態の評価や予測を行うためには、様々なデータを時空間座標上で処理することが重要な手段となる。本課題では、

- 空間統計解析
- 時系列解析
- 地理情報解析

に代表される、時間座標および空間座標上で展開する都市データを解析するための基盤的な方法論の構築を目指す。

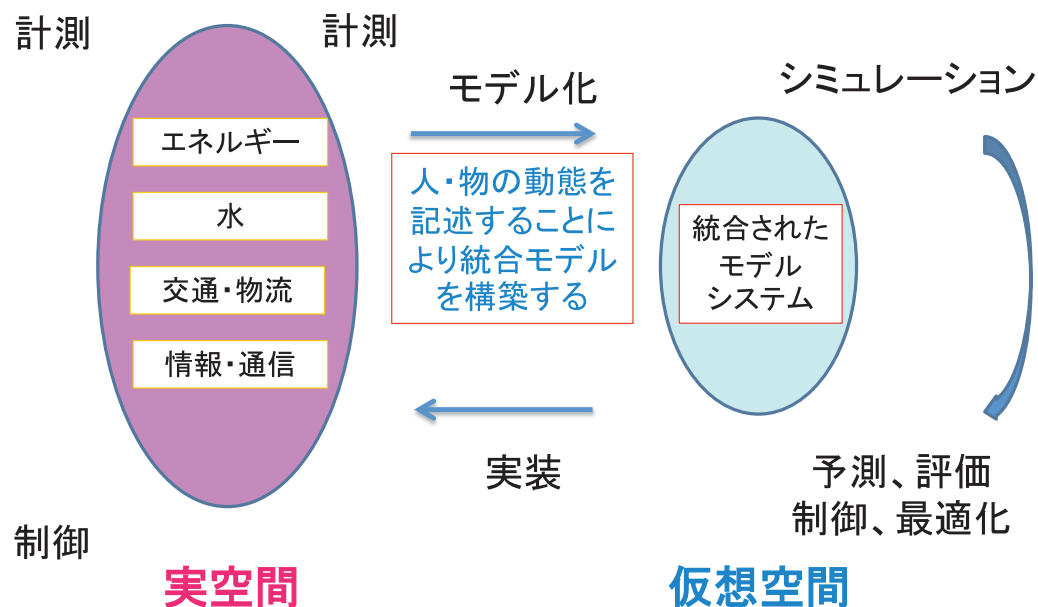


図1 本研究の構造

本研究提案は、現実の都市構築や都市改善を直接の目的としたものではなく、都市インフラの構築に向けた新たな方法論を提示することを目的とする。したがって、「現時点での日本国内の厳しい経済状況を鑑みて新たな都市づくりは不可能であり、そのような研究を行うこと自身が無意味である」、という視点には立たない。むしろ、現時点で新たな方法論による都市インフラの構築や改善を検討することが、中長期的には都市におけるサービス機能の効率化や頑健性、復元性の強化を図り、全体としてのコストが軽減する、という視点に立って研究を推進する。都市インフラの構築や改善を行うためのコストはシステム構築評価のために当然考慮するが、あくまで方法論を提示すること、また、UrDYPのプロトタイプを構築すること、を目指すものである。

本提案による研究の成果は、

- (1) 今後、情報通信技術（ICT）を取り込むことによりサービス機能の効率化を図ることが必要と考えられる国内の都市
- (2) 東日本大震災による壊滅的な被害を受け、今後、復興を図る東北の都市
- (3) 今後、新たな展開が予想される発展途上にある国々の都市

への適用が期待される。日本の都市を例にとれば、全人口の50%が30万人以下の規模の都市に住み、また都市数でも人口3万人以下の都市が全体の50%を占め、30万人以下の都市が95%を占める（図2）ことから、今後のエネルギーや資源供給の自律分散化を考慮すると、国内では3-30万人規模の都市を対象とすることが現実的と考えられる。人口

100 万人を超える都市も、30 万人規模の中都市の複合体としてそのサービス機能を分散化するという視点も重要であり、今後の自律分散化に向けた基礎的な知見を得ることが可能となる。さらに、発展途上の国々における新たな都市構築の計画が数多く予定されていることから、国内における事例を参考とした海外都市への展開は、民間とも連携したイノベーション施策の推進としても期待される。

なお、前述のように、本提案では、研究を現実の都市構築、改善に直接的に組み込むことは必ずしも想定しない。しかしながら、研究の推進に当たってはケーススタディとして具体的な都市との連携は不可欠であり、研究提案においては上記の(1)～(3)などの都市を対象として、UrDYP 上での仮想都市を構築することを前提として進める。

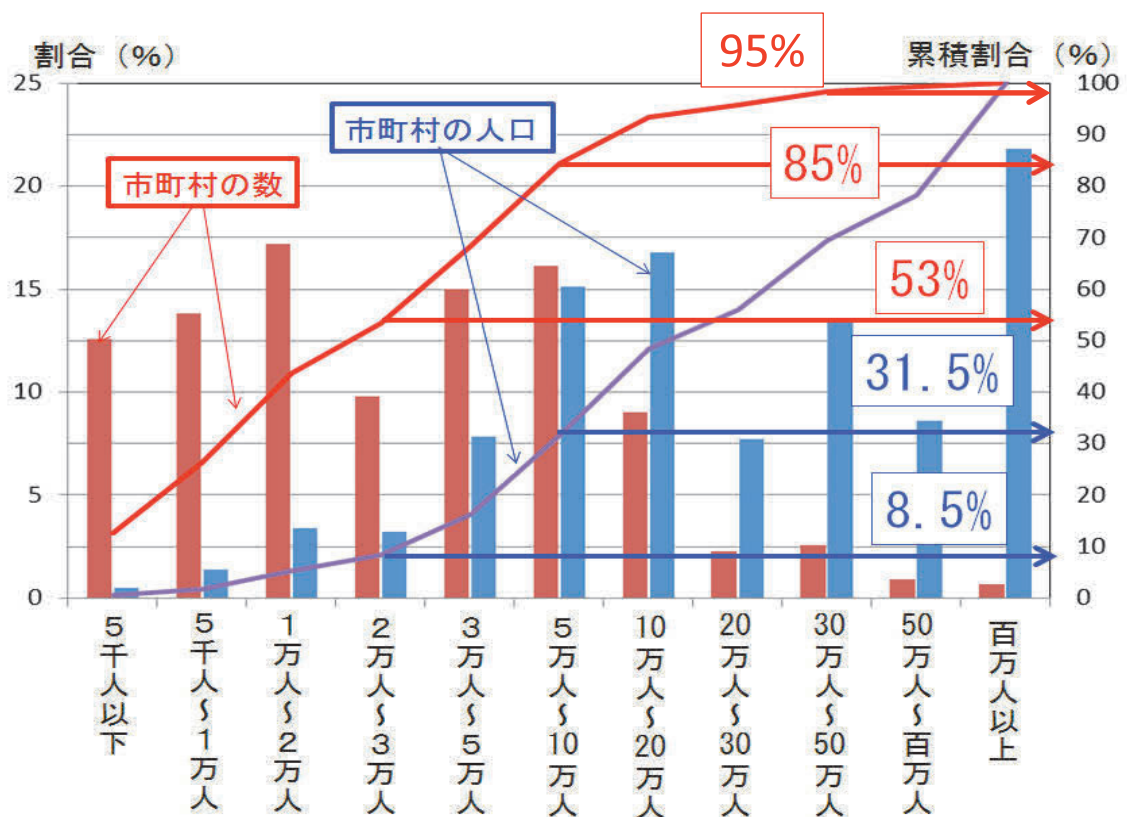


図2 わが国の市町村の実体¹

¹ 秦康範・目黒公郎：発生時刻と継続時間を考慮した都市停電の影響度評価，土木学会論文集Ⅰ巻，土木学会，第717巻61号，pp.107-117，2002.10.

コラム 1

都市の定義は千差万別であるが、広辞苑では「一定地域の政治・経済・文化の中核をなす人口の集中地域」と定義している。都市の対義語は「村落」または「農村」である。「都市」を「市」に置き換えると、地方自治法では「市」の要件として以下のように定義している。

第八条 市となるべき普通地方公共団体は、左に掲げる要件を具備していなければならない。

- 一 人口五万以上を有すること。
- 二 当該普通地方公共団体の中心の市街地を形成している区域内に在る戸数が、全戸数の六割以上であること。
- 三 商工業その他の都市的業態に従事する者及びその者と同一世帯に属する者の数が、全人口の六割以上であること。
- 四 前各号に定めるものの外、当該都道府県の条例で定める都市的施設その他の都市としての要件を具備していること。

小規模自治体の合併を促進する目的で平成 17 年に施行された「市町村の合併の特例などに関する法律」では、地方自治法第 8 条で定めた人口要件を緩和し、3 万人以上で「市」となる特例を認めていたが、平成 22 年に改正された現行法ではこの 3 万人特例は廃止された。

総務省の統計によれば、平成 24 年 1 月現在、わが国には 1,742 の市町村（含む東京都特別区）がある。この内、人口 3 万人以下の市町村の数は 929（53.3%）、10 万人以下の市町村の数は 1,452（83.4%）、30 万人以下の市町村の数は 1,659（95.2%）である。30 万人を超える市町村の数は 83（4.8%）に過ぎないが、全人口（約 1 億 2686 万人）の 42.5%（約 5,386 万人）を占めている。

都市には議会があり、役所があり、住民に対して様々な行政サービスを提供している。住民の生活を支えるためには、ライフラインの整備が不可欠であり、商業・工業活動や娯楽を営む場も必要となる。医療や福祉の充実が生活の質を高め、コミュニティの発達は共助精神を助長し住民同士のつながりを深める。しかしこれだけで都市が成立するわけではない。その周辺には、地勢、景観、文化、風習などの要素があり、さらにその外側には自然の摂理がある。人工的に作られた都市であっても、その歴史や風土、気候や気象まで含めてすべて同一という都市は存在しえず、ゆえに都市は多様であると言われる所以でもある。

都市の多様性に対応するためには、特定規模の都市を対象としたインフラシステムを構築するだけでは不十分である。大・中・小、様々な規模の都市を想定した UrDYP を基に、都市の特性に基づく人や物、自然条件から受ける影響などを入力することで、UrDYP をリアルタイムで更新していく必要がある。

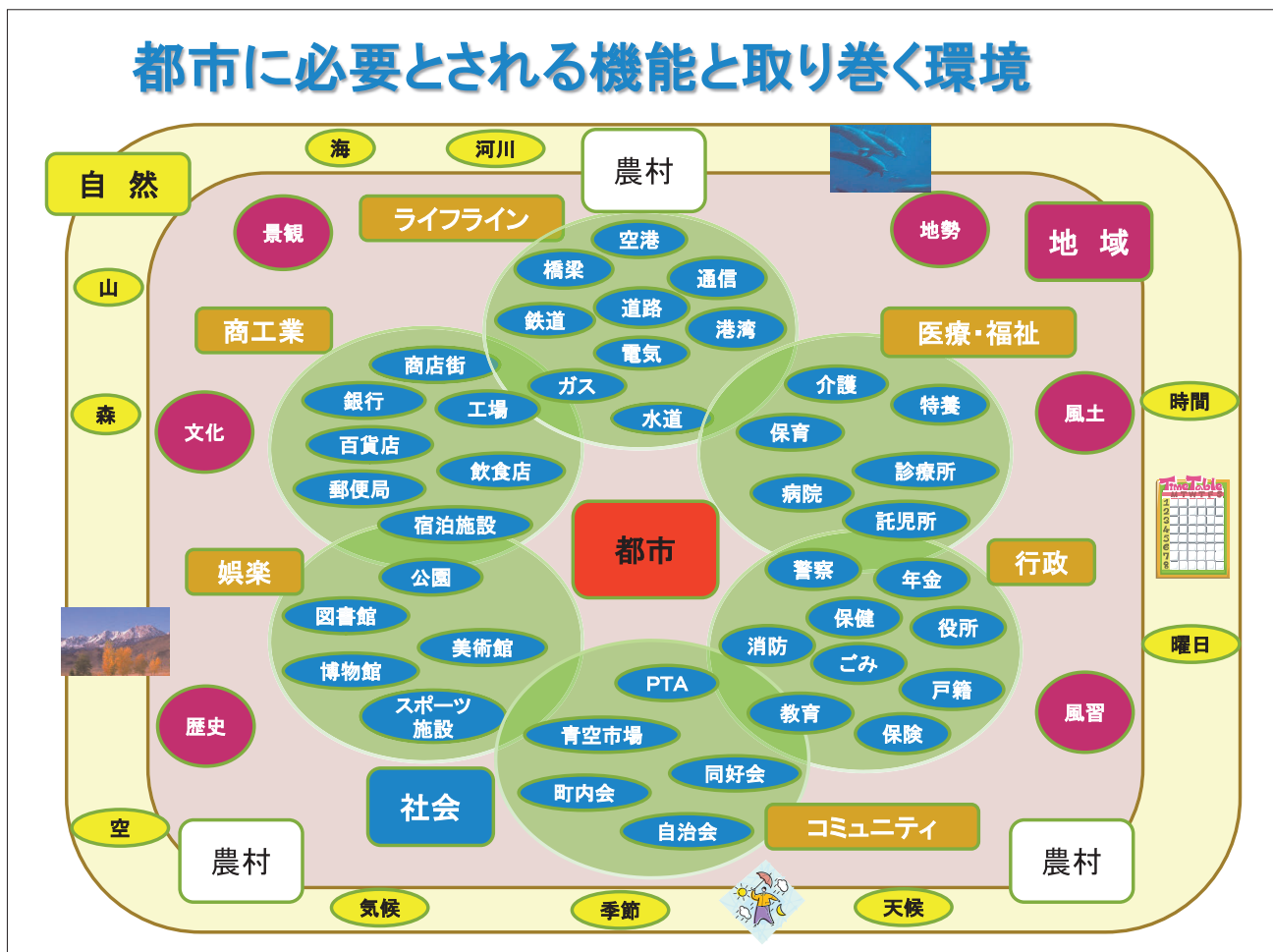


図 3 都市に必要とされる機能と取り巻く環境

2. 研究投資する意義

最新の科学技術や知恵を駆使して、少子高齢化、低炭素化、循環型、安全・安心などの課題を解消するスマートシティの建設が各地で始まっているが、巨大で複雑な都市が持つサービス機能を効率化および高度化する新しい方法論は必ずしも確立していない。都市サービス機能の高度化を実現するためには、主にマクロかつ静的な枠組みで行われてきた都市計画に、人の移動や物の動き、また人口や土地利用の変動という短期から長期にわたる都市の動態をモデル化したシミュレーションを取り入れて高度化し、効率化、頑健化ならびに復元力強化された都市を構築していく必要がある。多様化する都市の要請に応えるために、本提案に研究投資する意義は下記のとおりである。

① 少子高齢化社会への対応

長寿社会は、医療技術の進歩、食生活の改善及び生活環境の向上などによってもたらされるものであり、国民福祉の向上という観点からは望ましい状況である。しかし、わが国の場合は、余りに急激に高齢化が進展し、少子化傾向および人口減少と同時に起こったために、社会の様々な側面で歪が生じている。これら複合的な課題に対処するためには、健康・医療・介護を総合的に支援し、生活の質の向上とコスト削減の両立を目指した「統合生活支援システム」を構築し、高齢者や子供にとっても安全で快適な都市の実現を図る必要がある。

② 低炭素都市社会への対応

さまざまな社会活動が展開されている都市においては、大量のエネルギーが消費され、温室効果ガスの排出量も多い。わが国の省エネ技術は世界最高水準にあるといわれて久しいが、エネルギー、水、情報、物流・交通といった個々に最適化がはかられ、独立して存在しているために、都市全体で考えると必ずしも効率化が図られていない。今後ますます都市インフラがそれぞれに肥大化、複雑化していくことが想定される中、各種インフラのサービス機能を相互に連携させることを可能にする UrDYP の構築により、都市全体の低炭素化を実現する。

③ 循環型社会への対応

循環型社会を実現するためには、廃棄物を減らし（リデュース）、物や資源を再利用（リユース）し、再使用（リサイクル）できるものは再使用する 3R を徹底する必要がある。しかし、東日本大震災やタイの水害でも明らかになったように、単独の自治体や企業の努力では 3R への対応が困難となる事態も想定される。こうした問題に対処するためには、資源の利用や物の循環を効率化した物流システムを構築し、地域や全国レベルでの相互運用を図る必要がある。拡大を続ける物の動きを、供給、利用、廃棄から再使用、再利用まで統合的に計測、モデル化、評価・管理することにより、循環型社会の実現に貢献する。

④ 大規模災害への備え

自然災害が今後も様々な形で日本の国土を襲うことが予想される中、防災・減災のための統合システムの構築は、我々の安全を託すことができる持続可能な日本を実現するための重要かつ緊急の課題である。わが国の優れた研究成果を都市の防災・減災の現場に活かすためには、防災・減災科学の先端技術化だけでなく、それらを統合するシステム構築に向けた研究開発が不可欠である。先端的な防災科学技術を最大限活かした都市システムの構築により大規模な災害時にも迅速かつ効果的な対応を図ることを可能とする。

⑤ 東日本大震災被害地域への対応

少子高齢化、人口減少、地場産業の崩壊といった課題は、日本全国に共通する課題であるが、東日本大震災の被災地域においては、本来であれば時間をかけて対処していく課題を、短時間で解決する必要に迫られる。エネルギー、水、交通・物流、情報・通信などのライフラインを統合化、システム化したソリューションを開発し、被災地域に実装することで都市の頑健性を高め、また、そこに至るまでの解決のノウハウを共有することで、日本全体の防災力を高めていく必要がある。

⑥ 都市事業の海外展開への対応

都市サービス機能の高度化への要請は単に日本国内における課題ではなく、都市への人口集中が著しい新興国や途上国においても喫緊の課題である。巨大都市、中規模都市、小規模村落など、多様な地域、環境に適用可能な複数のソリューションを開発し、わが国発の都市インフラとして輸出することで、地球規模での都市問題の解決に貢献する。

このようなシステム輸出は、日本の産業にとって有力なビジネスチャンスとなることが期待される。

⑦ 日本における老朽化都市インフラへの対応

わが国では、1950年代に始まった高度経済成長により、道路、鉄道、上下水道、発電所、港、橋梁といったライフラインの整備が急速にすすんだ。それから半世紀が過ぎた今日では、耐用年数を迎える設備も増え、その修繕、改修のための費用も増大している。既存の都市においてはインフラをゼロから設計し、パッケージで導入することは困難であるため、今あるそれぞれのインフラを活用しつつ、その更新時期にあわせて、機能の高度化、省エネ化、低コスト化を図る必要がある。部分的なインフラの更新にも対応したソリューションを開発することで、老朽化した都市インフラの効果的かつ効率的な更新を実現する。



図 4 研究投資する意義

3. 具体的な研究開発課題

エネルギー、水、交通・物流、情報・通信などの都市生活を支える都市サービス機能を仮想空間上でモデル化することにより、機能の評価、状態の予測、さらに制御・管理などを効率的に行うことができる「都市建設の新たな方法論の構築」を目指す。従来の方式では、異なる都市サービス機能間の連携は容易ではないことから、本提言では、人の移動や物の動き、エネルギー使用状況の変化、そして人口や土地利用の変動など短期から長期にわたる都市の動態に着目する。具体的には、人や物などの動態と、都市の上に展開するエネルギーや水の供給などの各種の都市インフラサービス機能のダイナミクスをモデル化し、仮想空間上で統合することで、シミュレーションに基づく予測、評価、制御、最適化などを行える都市動態統合解析システム（UrDYP）の研究開発を実施する。（図 5 参照）

研究開発課題は、大きく以下の 4 つに分類できる。

- (1) サービス機能の何をどう計測するか、計測したデータをどう活用するか（都市動態の計測と解析）
- (2) サービス機能をどうモデル化し、予測・評価などを行うか、予測結果をどう検証するか（都市動態のモデル化、シミュレーション）
- (3) サービス機能を管理し制御するためのシステムをどう構築するか（UrDYP の構築）

これらの課題に加えて、

- (4) 都市動態統合解析の基盤となる時空間理論構築
- についても取り組む。

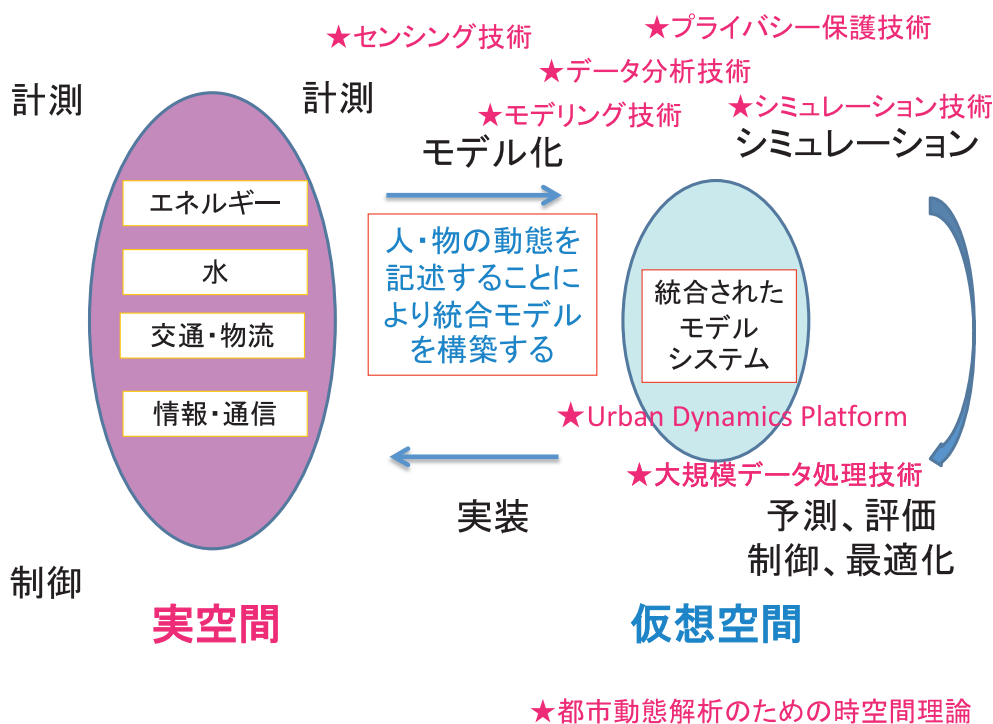


図 5 研究開発課題の位置付け

3.1 何をどう計測するか、計測したデータをどう活用するか(都市動態の計測と解析)

① センシング技術

何をどう計測するかに関しては、工学的には、既存のシステムやアプリケーションで取得しているデータをどう活用するか、そして新たにどのようなデータをどのように取得するかという2つの観点がある。

例えば人や車の動態を把握するためには、すでに道路側にセンサが設置されており、さらに自動車を動くセンサとして各種の情報を収集するプローブカーの運用も始まっている。また、携帯電話の位置情報を利用して、人の移動を把握する技術が注目を集めており、NTTドコモでは、モバイル空間統計として、個人を特定できない情報にしてデータを公開する試みを開始している。

これらのデータを利用する観点からは、携帯電話を利用した人の位置のセンシング技術、ETC（電子料金収受システム）のデータを利用した車と人の移動のセンシング技術、監視カメラ画像解析による人の流動をセンシングする技術、交通カードの情報による交通機関と人の移動のセンシング技術などが研究開発課題の候補である。また、TwitterやFacebook、Flickerなどのソーシャル・ネットワーキング・サービス利用者が発信する情報もセンシングデータと位置づけられる。

電力、ガス、水、鉄道などの各種の社会インフラにおいては、それぞれの管理対象の流れや動きのデータをリアルタイムに取得し、制御システムに高度にフィードバックする仕組みがすでに整備されている。ただし、これらで取得されるデータは基本的に個々の都市サービス機能のインフラの中だけで活用されることが前提である。従って、他の社会インフラのシステムやサービスにとって参照する意味がある、適度な粒度、精度、周期などで提供するためには、次項②で述べるデータ分析、変換方式が大きな課題となる。

一方で、これまで収集されていなかったデータの取得には、新たなセンサの開発と多様なセンサを組み合わせたプラットフォームの整備による都市インフラ向けセンサネットワークの研究開発が求められる。また、リアルタイムや準リアルタイムに限らないタイムスケールでのセンシングも重要な視点である。都市には、日々の人の移動や物の動きのみならず、週、月、年単位で捉えるべき動態があり、長期的な人口や土地利用の変化などの都市全体の成長や衰退をも考慮する必要がある。これらを見るデータとして、現象面からは航空写真や道路や鉄道の交通量などがあるが、より網羅的かつ詳細な把握には既存のデータを統合的、統計的、分析的に処理する技術や調査手法が求められる。

② データ分析技術

リアルタイムにセンシングしたデータや、既存の都市インフラのシステムからのデータ、長期に蓄積したデータなどを統合、分析することで、従来は把握できなかった人の移動や物の動きなどの都市動態と都市インフラが提供するサービス機能との関係性などを推定、分析することが可能となる。そのため、多種多様なデータの中からの適切なデータの抽出、対象モデルへのマッピングなどによる複数データの関連付け技術なども不可欠である。本技術によって、人や物の移動や活動状況によるエネルギーや水などのリソースの需給変化の分析と推定、土地利用の経年変化と人の移動との関係の分析などが期待される。

研究課題として、大規模で多様なデータを扱える、分析的データマイニング技術、探索的データマイニング技術があげられる。

③ 大規模データ処理技術（並列分散処理）

様々な場所からリアルタイムで集められる大量のデータと、既存の膨大な情報を分散した状態で統合して扱うための技術が必要である。IC タグの普及やセンサネットワークの発達などにより、今後爆発的に増大するであろう膨大な量のデータを、1箇所に集約し、集中的に処理することは不可能である。また、個別にサービスを提供する自治体や事業体などが、それぞれの独自の環境で大量データを保管し分析することは現実的でなく、クラウドなどの共通プラットフォームを用いることにより、安全にコストをかけず処理をする傾向が進むと考えられる。このような環境をも想定し、データの転送量を抑えつつ、高速かつ効率的に大量のデータを並列に処理するためのデータ管理技術と分散処理技術が必要となる。

④ プライバシー保護技術

UrDYP には、膨大な個人に関する情報が収集、蓄積される。プライバシーを保護するには、高度なセキュリティ管理技術に加えて、匿名性を担保しつつ個人情報扱う技術などが重要となる。また、名寄せによって意図しない形で個人のプライバシー情報が集約される危険性も想定に入れて、社会受容性を勘案しつつ、バランスのよいプライバシー保護技術の研究開発を実施する。

3.2 サービス機能をどうモデル化し、予測・評価などを行うか、予測結果をどう検証するか（都市動態のモデル化、シミュレーション）

① モデリング技術

個々の都市インフラのシステムを、相互に接続するための設備やネットワークを構築するなどして直接統合することは現実的には困難である。従って、仮想空間上でそれぞれのインフラが提供する各種サービス機能をモデル化し操作する技術を開発し、それらを連携させ統合することを目指す。さらに、人の移動や物の動きといった都市の動態をモデル化することにより、仮想空間上でのシステムの連携の高度化と統合化を図る。また、モデル化する対象の粒度や精度、現実のデータとの同化の容易性など、モデル自体の妥当性の評価も行う。

② シミュレーション技術

異種の都市インフラを連携させるためには、個々のインフラのモデル化に加え、シミュレーションによる動作の予測や相互作用の推定などが重要となる。様々なシミュレータを統合するためのアーキテクチャの違いを吸収するプラットフォーム、刻々と収集されるデータとリアルタイムシミュレーションの結果とを同化し調整する技術、さらにシミュレーション結果を表示するにあたって、人間が評価しやすい情報の集約および提示技術などの研究開発を実施する。

また、予測結果を検証する方法についても検討を行う。

3.3 サービス機能を管理し制御するためのシステムをどう構築するか（仮想空間上でのデータ、モデルの統合による都市動態統合解析システム（UrDYP）のプラットフォームの構築）

個々の都市インフラのシステムの自律的、安定的な稼動を担保しつつ、他のシステムからの情報や人の移動や物の動きなどを参照しながら連係動作を行うことを可能とする、都市の動態に着目したインフラ横断のモデリングとシミュレーションのためのオープンプラットフォームのプロトタイプを作成し、そのプラットフォーム上で動くサービスを開発するためのツール群を用意する。

本プロトタイプは、様々な特性（情報系と制御系のアーキテクチャなどの差異、リアルタイム性やセキュリティ強度への要求など）を持つシステムを連携させるとともに、頻繁に追加・変更されるサービスへの共通プラットフォームとなる。

本プロトタイプの適用先としては、大きく(1)今後、情報通信技術を取り込むことによりサービス機能の効率化を図ることが必要と考えられる国内の都市、(2)東日本大震災による壊滅的な被害を受け、今後、復興を図る東北の都市、(3)今後、新たな展開が予想される発展途上にある国々の都市、の3種の可能性が考えられる。いずれの前提にも対応可能な普遍的な方法論と汎用的な都市サービス機能の実現を目指す。

また、複数の都市インフラが同じタイミングで完成し、連携を開始する状況は現実的には想定しづらい。そのため本プロトタイプは段階的なシステムやサービスの構築、拡張などに加え、都市自体の成長や変化にも柔軟に対応していくことが求められる。また、都市のサービスを長期間止めることは許されないため、高い信頼性と保守性も要求される。

さらには、大規模災害が発生した場合をも考慮し、同一プラットフォーム上で、平時、災害時、復旧時の3つのモードとサービス機能を切り換えて実行できることを目指す。

① 具体的サービスシステムの構築

自治体や企業向けサービスの例としては、社会的課題解決の視点に立ち、地域エネルギー管理システム、参加型意思決定支援システム、災害時緊急避難誘導システム、感染症防止システム、資源リサイクルシステム、観光案内システム、災害時復旧計画システム、交通渋滞予防システム、などが考えられる。また、個々のサービスやUrDYPの運用者には、システムの監視保守サービス、評価・分析支援サービス、監査などにも耐えうる情報の整合性担保サービスなどが不可欠となる。

② 新しい都市型サービスの研究

「人の移動や物のリアルタイムな動態」に代表されるような、従来の単独の都市インフラシステムのみからは得られなかった情報がUrDYPに集約され、流通する。セキュリティやプライバシーに留意しつつ、これらの情報を有効活用することで、これまで存在しなかった情報や、予測不可能だった状態を可視化することができるようになり、自治体や企業、個人にとって有益な新たなサービス（例：地域全体のエネルギー最適化サービス、高度にユーザ向けにカスタマイズされたサービスなど）が実現可能となる。

UrDYP がいわゆる「情報銀行²」の役割を果たした際に、どのような新しい都市型サービスやビジネスモデルが可能となり、またそれらのサービスをどう構築し、運用するのかに関しても研究開発の課題である。

3.4 システム科学の基礎的理論をどう構築するか（都市動態統合解析の基盤となる時空間理論構築）

上記の研究開発を進めるには、都市動態統合解析のために様々なデータを時空間で処理する理論など、より基礎的なシステム科学技術の研究課題に取り組む必要がある。

具体的には、空間統計学、時系列解析、地理情報解析などがあげられる。また、都市インフラ構築方法論の基盤となるシステム科学理論群、超分散システム構築方法論、複雑系ネットワーク論、超分散型計算アルゴリズム、巨大複雑系社会経済システム学、都市インフラシステムの認識科学と設計科学、情報制御統合型の信頼性保障技術、オープンシステムサイエンス、ソフトシステムズ方法論なども重要な研究課題となる。

² 情報銀行：携帯電話会社や検索会社、通販会社など複数の組織に断片的にたまっている個人情報をも効率よく利用し、個人向けサービスを格段に向上させるための仕組み。銀行には“個人口座”ごとに情報が名寄せされており、企業が利用料を払って情報を入手する。情報が使われた個人には利子（報酬）が支払われる（柴崎教授 WS プレゼン資料より引用）。

4. 研究開発の推進方法

都市の建設には、行政機関・地方自治体、インフラ事業者、住民などの多様な意思決定者が関与する。各自治体における首長に権限がある場合が多いが、より広域的なエネルギーや水の供給サービス、また道路や通信サービスなどは都市の単位を超えて国に権限がある場合も多い。その権限も、所掌に応じて複数の部局が関与している。さらに、インフラ事業者同士は競合関係にあり、住民も多様な価値観を持っている。

このような中で、将来あるべき姿を共有しながら、それを実現するためにどのようなシステムを構築するか、各サービスシステムの権限や責任の分担をどうするかといった現実の都市の建設の議論に資する科学的知見を研究成果としてあげていくために、以下のような点に特に注意を払って研究を推進することが重要である。

① 総括チームの設置

様々な対象に対し、幅広い時間・空間スケールでモデル化し、シミュレートする必要があるため、一つの方法論やツールではカバーできない。複数の研究開発課題を走らせ、それらを統合化する試みが重要である。したがって、プロジェクトには総括チームを設置し、それぞれの研究開発課題の成果であるモデルの統合化・体系化を図り、プラットフォームを構築する役割を請け負う。設置時期は、個々の研究開発課題の成果が見え始めてからが適切である。

② 自治体との連携

初めに述べたような多様な意思決定者が現場で利用しうる成果とするために、地方公共団体、地方公共団体が所管する研究機関、関係省庁現業機関などに所属する研究者や政策立案者、事業担当者などが参画したチーム構成を必須とする。

シミュレーションに際しては、変数の選択、パラメータの決定、シミュレーション結果の妥当性の評価などに上記関係者の意見を取り入れる。

③ 研究成果のオープンソース化

原理や方法論までで研究を閉じず、使い勝手のよいソフトウェアとして現場に実装していくために、オープンソースとして公開することを義務づける。共同研究先の地域固有ではなく、汎用的に利用していくことのできる研究成果部分の水平展開を積極的に図る。

オープンソース化するにあたっては、開発者と利用者の双方にとって円満な仕組みを実現するために、知的財産権に関する専門家のサポートを付けて調整を行う。

④ データ公開など社会システムの変革

文部科学省が中心となり、関連省庁を巻き込んだデータ収集・共有・公開の仕組みを検討し、構築することが望まれる。データベース化や匿名化処理技術などの研究開発を進めるとともに、制度的課題について対処する必要がある。

発展途上国では比較的制度的な制約が緩い場合も多く、うまく国際共同研究事業を進め

られれば、研究成果を出しやすく、制度改革の契機にもなりうる。今後の都市インフラの市場がこれらの発展途上国にあることを鑑みると、発展途上国との共同研究開発体制を構築・維持することも視野にいれるべきである。

⑤ 特業制度

災害時の的確な判断やよりよい都市づくりのために、都市に対して権限と責任を持つ各自治体の首長のもとに、各インフラ業者の情報が集約される仕組みが必要である。公共事業や都市の基本的なサービスに関するものを特別業種と定め、社会の公的利益のために必要な情報を入手することを可能にする制度（特業制度）を試験的にある自治体に導入し、研究を進めることが望ましい。

インフラ業者が持つ情報は、個人情報の保護に関する法律や企業利益の保護などのために、その取扱は各業者・自治体の判断に任せられ、これまでほとんど開示されてこなかった。しかし、社会の役に立つという目的と情報の価値が明確化されれば、状況は変わると考えられる。

⑥ UrDYP 運用センター（仮称）の設置

プラットフォームの普及促進を目的として、UrDYP 運用センター（Urban Dynamics Platform Center）を設ける。本センターは、プラットフォームの持続的発展のために、財団法人のような形態で、プロジェクト終了後も継続されることが望ましい。

UrDYP センターは、以下の役割を担う。

- 都市の建設支援に資するプラットフォームの開発・運用： オープンソースとして公開された研究成果を多くの人に利用してもらうことにより、フィードバックを得て、更なる改善を図る。また、そのためのコミュニティを維持する。
- 各種データベースの構築・管理

コラム 2

都市に関わる研究には、さまざまな実データが必要であり、データの収集や共有化ができない場合には、モデル化やシミュレーションの精度が著しく悪くなる。しかし、個人情報保護法やデータ目的外使用の禁止などの法的な規制、社会的な制約があり、各サービスシステムがそれぞれに収集したデータや情報を共有化し、相互利用することは難しい。また、インフラ構築のコストデータなどについては民間企業が保有しているものも多く、データの収集は容易ではない。さらに都市行政においては、情報の管理やサービスシステムの管理を含め、所掌に応じて複数の部局が関与するため、自治体が保有しているデータの利用に関しても、さまざまな調整が必要である。

民間企業が保有するデータに関しては、少しずつオープン化される動きがある。例えば、NTT ドコモが提供するモバイル空間統計を活用した、街づくりに関する共同研究が進んでいる。震災後には、本田技研工業・トヨタ自動車・日産自動車提供のカーナビによる通行実績情報のデータをもとに、Google が自動車通行実績情報マップを図示できるようにしている。これらの取組みにより、情報の公開や共有化の有用性は認識され始めていると思われる。

有用性が具体的に見えてくることにより、情報の公開の流れも強まると考えられ、その意味でも、特定の自治体と共同して具体的に研究し、都市インフラをモデル化し、シミュレートすることによる効果を具体的に関係者に示す（「見える化」する）意義は大きい。

5. 科学技術上の効果

本提言の実施により、学術分野間の融合促進と、システム科学分野の研究推進および本分野で不足する研究人材の中長期的な育成、ならびに海外研究者との連携が促進される。

これまでわが国における都市インフラは、エネルギー、水、交通・物流、情報・通信など、それぞれの分野で個別に研究開発が進み、各システム内を高度に統合することで、性能や信頼性の向上を図ってきた。わが国のシステム構築・運用方式は、それぞれ単独の分野では世界最高水準であり、都市インフラのサービスの高い品質と安定供給が日本の社会や産業の発展と成長を支えてきたと言っても過言ではない。しかし、環境対策やエネルギー政策への対応、災害への頑強性や障害からの復元性への要求、今後予想される少子高齢化社会など社会構造の変化への追従など、今後の研究・技術開発ニーズを考慮した場合には、十分な研究開発が行われているとはいえない。さらにアジア・アフリカなど海外にも、わが国の都市インフラを普及させようとした場合、様々な地域の地勢的、社会的、経済的な要求に応えるには、柔軟にサービスの種類や質を制御できる共通プラットフォームと都市インフラ向けのセンサネットワークなど時空間計測手法が必須であり、それらの開発には基礎的なシステム科学の知見、都市インフラへの深い理解と各種のシステムやサービスの開発・運用に携わってきたノウハウの連携と統合が必須になる。

UrDYP は、これまでにない大規模な異種システム間の連携プラットフォームであり、そこで扱われるデータの規模や多様さは、従来技術の延長では処理が困難と予想される。新たな計測手法を用いた、都市動態統合解析の基盤となる時空間理論の構築が必要であり、空間統計解析、時系列解析、地理情報解析などの分野には大きな研究課題がある。また、センシング、モデリング、シミュレーション、大規模データ処理、セキュリティなど各種の技術を総合したプラットフォームを作り上げるには、多岐にわたる研究開発分野の知見を統合していかななくてはならない。これまで協働が十分でなかった、計測、制御、シミュレーション、データベース、ネットワーク、セキュリティなどの専門分野の研究者の連携により、新しい発見とパラダイムを切り拓いていく必要がある。

加えて、すでに海外で取り組みが始まっている、超分散・超大規模のデータ処理・分析・制御を可能とするため、都市インフラ構築方法論の基盤となるシステム科学理論群、超分散システム構築方法論、複雑系ネットワーク論、超分散型計算アルゴリズム、巨大複雑系社会経済システム学、都市インフラシステムの認識科学と設計科学、情報制御統合型の信頼性保障技術、オープンシステムサイエンス、ソフトシステムズ方法論などに取り組む必要があり、こちらも横や縦の連携による相乗効果や新たな学術体系の構築が期待できる。

このような観点は人材育成の面でも極めて重要である。これまで存在しなかった都市インフラ統合化プラットフォームの研究開発という極めて高い共通目標のもとに、異分野の研究者が集い、連携・融合による研究を進めることで、従来技術の延長では不可能であった異種システム間連携のための大規模データ分散処理の分野で、日本が世界をリードする科学技術成果の創出が期待される。また、海外研究機関との共同研究や、アジア・アフリカなどの都市をターゲットにして様々な調査や分析を進める中で、海外研究者との連携も加速される。

6. 社会・経済的效果

第2章で述べた少子高齢化、低炭素化、循環型などの多くの社会的課題に対し、過疎化、ゼロ成長、巨額の赤字国債、財政逼迫などの社会的様相が重なり、さらに産業界における国内投資の減少、生産拠点の海外移転による国内キャッシュフローの減少、庶民のたんす預金の増大など、先の読めない状況が続いている。

一方、戦後まもなく建設された上下水道、道路、橋梁、電気、ガス、水道網などのライフラインは、次々と耐用年数を迎え、全体として無秩序で無計画な改修工事は、使用者の支払うコストの高騰に直結し、さらに市民生活の不安要因となる可能性がある。

これらの顕在化しつつある社会的課題に起因する不安を払拭するには、どれだけの投資があればどれだけの便益を確保できるかという明確なビジョンが必要である。そして、明瞭なビジョンを立案するには、各種の都市インフラと人や物の移動などの都市動態を含めて全容を掴むことが必須である。しかし、現在の都市はあまりに専門化、複雑化する一方で、それぞれのインフラ独自の制御モデルで個別最適化は進むものの、互換性を持たず、その都市の首長すら、全体像を把握する術を持たない。そのため、都市の将来ビジョンは場当たり、対症療法的に留まり、住民多数の賛同を得ることは困難である。

一方、スマートフォン、SUICA、ETCなどの情報通信技術の進歩により、都市の主人公とも言える個々人の生活状況を、時事刻々と把握できるようになっている。これらいわば先端技術の副産物である個人情報を活用することで、個々人に合わせたオーダーメイド的行政サービスの実現につなげることも可能であるが、個人情報保護の社会的要請の下、ほとんど未利用である。

本プロポーザルは、第2章で述べた様々な社会的期待を同時に満たす、または、将来的には満たすことを納得し得る最適解としての都市ビジョンを、首長だけではなく行政職員や民間企業、市民がそれぞれの意見を集約・検討し、合意形成をなし得る統合サービスシステムとしての都市インフラの構築を目指すものである。

なお、この都市インフラの基礎となる UrDYP には、ライフライン事業者が有する情報及び個人の3次元動態情報を持続的に収集していくことが最も重要であり、そのためには、低コストで、各事業者、利用者の負担にならない情報収集の仕組み作りが必須となる。その社会・経済的效果を、平時、災害時、復興時、において述べる。

① 平時

既存インフラの施工時期、耐用年数、仕様、必要経費などを3次元情報として統一し、個人の行動情報と合わせてモデル化して、都市のサイバー空間に埋め込むことができれば、様々な計画を長期的かつ多角的視点で試行することができる。

例えば、上下水道や道路工事を連携させて行い、長期的に見た工事費の削減、電気ガス水道などの共同溝化による美観向上による環境産業の促進など、社会コストを削減しつつ住みやすさを向上させる都市計画を立案し、企画立案者や市民、施工者、企業などの関係機関、関係者の合意を形成しやすくなる。

また、人や車の移動動態を分析することにより、道路網や歩道の見直しを図り、徒歩や自転車による移動がしやすい都市建設など、利便性と低炭素化の両立にも寄与する可能性がある。また、海岸域の避難道の確保など、多くの考慮すべき項目を当事者の目線でシミュレーションすることが可能になる。

このシミュレーション結果を画像や映像として呈示することにより、都市建設の合意形成を加速させ、迅速かつ的確な都市計画、災害対策の策定を容易にすることは、説明会、議論、討論などの時間を削減し、行政コストの削減にもつながる。

市民にとっても、明確な将来ビジョンを共有することは、行政に対する信頼感の醸成につながり、不便を受容する土壌の形成にも繋がる。

② 災害時

市民の動向、所在情報をもとに、災害の種類、規模や各個人の能力、所在地に合わせて最適な避難情報を送信する事が可能となる。また、行政としても、独居老人や障害者など、社会弱者の所在情報は、全住民の迅速な避難実現のための重要な情報となるし、地元住民にとっても、声かけ、集団避難など互助のきっかけともなる。

また、水、食料、衣料、医薬品などの物資の最適な搬入、分配、傷病者の緊急搬送、治療などに絶大な効果が期待される。

③ 復旧／復興時

将来の人口予測、産業推移に合わせた都市復興計画の迅速な策定が可能となり、被災者と将来ビジョンを共有しつつ、一体感、連帯感の下、復旧ではなく復興のための努力に専念することができる。また、シミュレーションにより、地元企業や各住民が仮想空間を通じて、復興ビジョン策定に関与し、復興の各フェーズにおける個々の役割を確認しつつ迅速な合意形成を行うことができれば、避難対策の効率化とともに、住民が希望を持って、日々の生活や活動を進めることが可能となる。

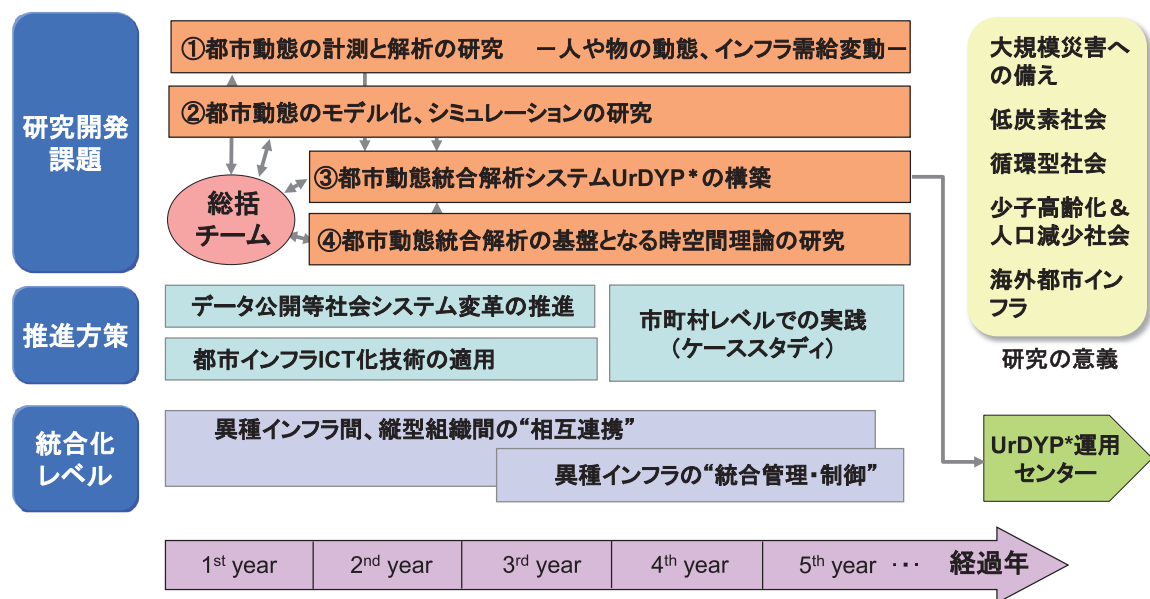
個人情報活用の先鞭を付けることは、わが国で遅れているとされるサービス産業振興の起爆剤となることが期待される。その兆しは、TwitterやFacebookなどのソーシャル・ネットワーキング・サービスで、個人情報の最たるものである所在情報を、ネット上で公開することの便益の浸透からも推察される。

東日本大震災は、世界で一番災害対策の整った日本で起こった事象であり、世界各国は、その動向を注目している。したがって、研究開発されるシステムや技術は、海外への技術移転が容易と考えられる。爆発的にスマートフォンやICカードが普及している発展途上国こそ、実証フィールドとして最適ともいえる。システムの研究開発と同時に実証に必要な多機能端末を設計し発展途上の地域において実証することも可能となる。

7. 時間軸に関する考察

都市インフラシステムの統合化に関する研究は、都市サービス機能を計測し、仮想空間上でモデル化・予測・制御することを目的とするため、低炭素社会、循環型社会の実現や、インフラ輸出に資するものと大いに期待される。また、近い将来に予想される首都直下型地震、東海・東南海・南海大地震などの大災害に備え、都市サービス機能の頑健化、復元力強化を図るため、本提案の研究は喫緊の課題である。

これまでに述べた、都市インフラ構築のための基盤研究の推進について、時間軸上の位置づけを図 6 に示す。



*)UrDYP: Urban Dynamics Platform

図 6 研究開発推進のための時間軸に関する考察

図に示すように、1章、3章で述べた4研究開発課題のうち、①都市動態の計測と解析の研究、②都市動態のモデル化・シミュレーションの研究は、初年度から開始するものとする。①②の研究成果は、次年度以降の③都市動態統合解析システム UrDYP の構築と、④都市動態統合解析の基盤となる時空間理論の研究へと適宜展開される。一方、各課題研究に加え総括チームを立ち上げ、4研究課題を連携させ有機的に推進するものとする。

推進方策の中では、データ公開など社会システム変革の推進と、都市インフラ ICT 化技術の適用検討は早期に行い、都市動態の計測と解析の研究、都市動態のモデル化、シミュレーションの研究を実効あるものとする。また後半では、研究の中間成果を市町村レベルのケーススタディで実践評価する。研究プロジェクト終了にあわせ、UrDYP 運用センターを設置し、研究成果のデータ・モデルを恒常的に更新・運用し、将来にわたって成果の適用を図る。

8. 検討の経緯

平成 22 年度に、JST 研究開発戦略センター（CRDS）が研究開発戦略立案を検討すべき次年度のテーマとして「統合サービスシステムとしての都市インフラ構築のための基盤研究」が取り上げられ、平成 23 年度 4 月より都市インフラチーム（総括；木村英紀上席フェロー、チームリーダー；安岡善文フェロー）が構成された。本提案に至るまでに、下記のような検討を行った。

8.1 検討の視点の明確化

都市には、様々なステークホルダーがかかわっており、国土交通省をはじめとした行政機関、地方自治体、研究機関なども、いろいろな角度のキーワードで研究が行われてきている。まずは、文献調査・ウェブ調査などにより、対象周辺領域を含む国内外の既存研究プロジェクトの調査、企業の動向を行い、現状の把握に努めた。その上で、どのような視点で戦略プロポーザルを切り出すべきか、その新しさは何かを明確にするために、チーム内の議論・有識者訪問調査により、以下のような視点を定めた。

- エネルギー・水・情報・物流／移動の基盤インフラをシステムという共通項で結びつけ、都市サービス機能の高度化を実現する。
- これまでは主にマクロかつ静的な枠組みで行われてきた都市計画を、人の移動や物の動きをベースとしたミクロ・動的なシミュレーションを取り入れて高度化する。
- 震災対応は都市構築のなかの一側面として取り扱い、主眼にはすえない。

有識者調査では、下記の方々にご意見を伺った。

天野 玲子	鹿島建設株式会社 知的財産部	部長
飯野 穰	株式会社東芝 スマートコミュニティ事業統括部	主幹
森 邦弘	東京ガス株式会社	常勤監査役
山川 浩之	東京ガス株式会社	緊急保安部長
大垣眞一郎	国立環境研究所	理事長
森口 祐一	国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター	センター長
原田 健夫	新日本製鐵株式会社 君津製鉄所 環境資源エネルギー部	部長
岩橋 良雄	日鉄日立システムエンジニアリング株式会社	代表取締役社長
天野 肇	ITS JAPAN	専務理事
加藤 孝典	東京都 総務局 総合防災部 防災対策課	係長
石川 義彦	東京消防庁 消防技術安全所 消防技術課	課長
中野 義彦	防衛省陸上幕僚監部	課長
吉田 稔	被災者支援システム全国サポートセンター	センター長
青木 純一	株式会社日立製作所 ディフェンスシステム社	主管
齊藤 邦男	宮城県 亘理町	町長
丸山 宏	統計数理研究所	副所長
柴崎 亮介	東京大学空間情報科学研究センター	センター長
原 辰次	東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻	教授
古田 一雄	東京大学 大学院工学系研究科システム創成学専攻	教授
菅野 太郎	東京大学 大学院工学系研究科システム創成学専攻	准教授
山形与志樹	国立環境研究所 地球環境研究センター	主席研究員

8.2 ワークショップにおける検討

平成 23 年 10 月 22 日に、科学技術未来戦略ワークショップ「都市インフラシステムの統合化」を開催し、有識者との議論を通じて、都市における個別機能の統合化がなぜ難しいのか、今後の新たな都市作りや既存都市サービス機能の改善において、これまでにない視点からの新たな科学技術研究分野の立ち上げが可能か否か、可能であればその課題は何か、について検討した。

その結果、

- (1) 都市サービス機能の水平統合は国内外の新たな都市作りに不可欠な手法である
- (2) 仮想空間上でのモデリングやシミュレーションなどシステム科学技術の展開が必要である
- (3) 特に、人の移動や物の動きまた土地利用の変化などが都市サービス機能に大きな影響を及ぼすことから、その計測・モデリング・シミュレーションが重要な鍵となる
- (4) 都市サービス機能間の連携は、自律分散的なルーズカップリングが現実的であるなどの都市インフラの統合化や連携を推進するポイントが明らかとなった。

一方で、

- (5) すでに確立した都市サービスにおいては水平連携への展開は難しいのではないか
 - (6) 社会的な制約により必要なデータの収集や共有化が難しいのではないか
 - (7) 全体的な管理の権限を誰が持つのかを明確にする必要がある
 - (8) 都市の在り方そのものについての議論も必要である、
- などの疑問点も提示された（詳細はワークショップ報告書³を参照）。

³ <http://crds.jst.go.jp/output/pdf/11wr08.pdf>

WS プログラム (敬称略)

10:00~10:20 はじめに

- ・主催者挨拶：木村英紀 (JST/CRDS)
- ・趣旨説明：安岡善文 (JST/CRDS)

10:20~12:20 ご講演 (説明 18 分+質疑 4 分、7 名)

10:20~10:50 前田章 (日立製作所 情報制御システム社)

「スマートシティを支えるシステム技術」

10:50~11:20 柴崎亮介 (東京大学)

「都市サービスを支えるデータ統合」

11:20~11:50 山形与志樹 (国立環境研究所)

「統合型都市シミュレータの開発」

11:50~12:20 丸山宏 (統計数理研究所)

「設計科学としてのシステムズ・レジリエンス」

(12:20~13:20 休憩)

13:20~13:50 古田一雄 (東京大学)

「サービスシステムとして見た都市インフラのレジリアンス」

13:50~14:20 山川浩之 (東京ガス)

「東京ガスの地震防災システムと

スマートエネルギーネットワークの普及・推進に向けて」

14:20~14:50 坂内正夫／天野肇 (国立情報学研究所／ITS JAPAN)

「交通インフラと都市システム」 ※安岡善文代理発表

(14:50~15:10 休憩)

15:10~17:00 パネルディスカッション

- ・座長：目黒公郎 (東京大学)

18:00 終わりに

- ・閉会挨拶：木村英紀 (JST/CRDS)

付録

I. 代表的なスマートシティ関連のプロジェクト／研究事例

【国内】

1. あきたスマートシティ・プロジェクト（日本 IBM、伊藤忠商事など）

秋田市は「あきたスマートシティ・プロジェクト基本計画」を 2011 年 3 月に策定し、エネルギー受給の見える化や再生可能エネルギーの導入、グリーンツーリズムの推進、電子地域通貨導入など、最先端の知見を駆使する多彩なプロジェクトを展開し、都市のスマート化と同時に地域経済の活性化を目指している。本計画の実現のため、様々な社会インフラから情報を収集・統合し、分析を行い、政策を決定するために必要な情報を迅速に提供する情報基盤が必要となる。同基本計画の第一フェーズとして、秋田市内すべての建物や施設のエネルギー使用量をはじめ、道路、橋などの社会インフラに関する基本情報や市内の交通状況など多様な情報を一元的に集約して可視化し、最適化していくための「スマートシティ情報統合管理基盤」の構築を開始する。

本基盤でエネルギー・データの計測・集計・分析を行うための環境を構築し、エネルギー使用状況の見える化や削減支援サービスなどを通じ、効果的な使用量削減を図る。秋田市では本基盤を公共施設や道路、橋梁など都市を構成する様々なインフラの包括的な管理システムとして活用した、広域行政サービスの提供も視野に入れている。

<http://www.city.akita.akita.jp/city/ev/mn/smartcity/kihonkeikaku/smartkihonkeikakut.htm>

2. 仙台エコタウン（日本 IBM、カゴメ、シャープ、三井物産など）

仙台市は震災復興計画素案で基本理念に「新次元の防災・環境都市」を掲げ、15 年度までの 5 カ年計画で、自然エネルギーを活用したエコタウン計画を進めている。震災ではエネルギー不足が問題になったことから、非常時にも一定の電力を供給できる体制を整える。復興住宅を建設する地域などに自然エネルギーに加え、スマートグリッドやコージェネレーション設備を導入する考え。電気自動車やプラグインハイブリッド車の普及も促進する。

計画の一つの核として、日本 IBM やシャープ、カゴメなど約 20 社とともに、津波の被害を受けた農地約 23 ヘクタールで 2012 年秋に国内最大級の水耕栽培・食品加工の事業を始める。事業費は約 100 億円。塩分を除去して再び農地として使うには多額の費用と時間がかかるため、土を使わない水耕栽培を導入する。カゴメが水耕栽培のノウハウを提供、野菜づくりから加工までを一貫して手掛ける。生産工場や加工工場は、同地域に建設する出力約 4000 kW のメガソーラーでつくる電気や、もみ殻をボイラーで燃やして生み出す熱などで稼働させる。日本 IBM は IT を使い各種エネルギーの効率を高める仕組みを提供する。

農地に工場を建設することになるため、仙台市は政府に特区を申請して実現する方針。対象地を持つ農家と仙台市が長期の賃貸借契約を結び、事業収入を賃料に充てる。

http://www.jice.or.jp/sinsai/sinsai_detail.php?id=1627

3. 日立市スマートシティ（日立ライフ、日立製作所、日野自動車）

日立ライフが保有する日立市内の社宅跡地を再開発し、IT や再生可能エネルギーなどを駆使した環境配慮型都市スマートシティを整備する。2012 年 3 月までにメガソーラーによる電力供給の実現可能性などを事前調査し、2012 年度に再開発計画を立案する。

事前調査では集合住宅や戸建て住宅の建設を想定。スマートメーターで電力消費を把握し、電力の流れを最適化するスマートグリッドに加え、電気自動車など低炭素型交通システムの導入も検討する。

日立市ではさらに新エネルギー導入促進協議会（NEPC）の助成事業「平成 23 年度 次世代エネルギー技術実証事業」により、EV バスの路線バスへの導入・普及における運行ノウハウの蓄積および課題解決を目的に、日野自動車製の EV バスの実走行を通じた実証試験を行う。また、EV バスの運行には乗用車型 EV の数倍の電力が必要であり、導入する地域の電力供給への影響を考慮した充電管理が必要となる。今後、各地域で太陽光発電などの再生可能エネルギーの導入が予想される中、供給側である再生可能エネルギーの発電量の予測に基づいた EV バス運用におけるエネルギーマネジメントシステムの実証試験も同時に実施する。また、大容量のバッテリーを搭載する EV バスは、災害時において電力供給源としての機能も期待されるため、コミュニティエネルギーマネジメントシステム（CEMS）や EV 用充電器、EV 充電器管理システムなどとの連携も検討する。

http://sumai.nikkei.co.jp/news/gyoukai/detail/MMSUn_5000014102011/

<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2011/10/1024.html>

【海外】

4. Real Time Rome, Wiki City Rome (MIT, SENSEable City Lab)

Real Time Rome は、MIT の SENSEable City Lab で 2006 年に始まった、人や交通の分布をリアルタイムで検知、表示するための先行的なプロジェクトである。ローマを歩く人の携帯電話の通信データを分析し、地図上に一定間隔で視覚化・比較するとともに、バス、タクシーなどのデータから交通の動きの表示、ローマの観光名所への訪問数の計測なども行った。これにより、街の動きをリアルタイムに把握することが可能となった。

また、2007 年からはさらに研究テーマを拡張し、人の位置情報を一方的に捉えるだけでなく、その情報を生かして都市が反応する双方向型の Wiki City プロジェクトを開始した。このプロジェクトでは、位置情報や時間情報を蓄積、交換できるプラットフォームを構築し、これらの情報を都市内の携帯端末やウェブサイト、信号や標識などにフィードバックすることで、都市システムの効率性をさらに向上させることを目的としている。また都市計画の政策担当者や市民、観光客らは、自らの行動を計画するのに参考となる情報を得るだけでなく、判断や行動の結果がさらにプラットフォームに入力されるため、より効率的で双方向的な都市の動態把握が実現される。

<http://senseable.mit.edu/realtimerome/>

<http://senseable.mit.edu/wikicity/>

5. UrbanSim/UrbanVision (UC Berkeley)

UrbanSim は、UC Berkeley を中心として 1998 年に開発されたオープンソースの都市シミュレータ。都市における土地利用、交通、経済、環境などの要素とその相互関係を予測し、都市開発に係わる政府、開発業者、企業、個人などの計画作成を支援する。

具体的には、人口分布、住宅密度分布、世帯分布（収入、年齢、家族数、家屋種別ごと）、地価などの予測に用いることができる。UrbanSim を拡張して、3 次元 CG 表示とシナリオ作成を実現した UrbanVision も開発されている。

すでに Detroit, San Francisco, Paris, Seattle, Brussels などの多くの都市の都市計画に適用事例がある。

<http://www.urbansim.org/Main/WebHome>

6. アジア発展途上国における衛星技術活用（アジア開発銀行、JAXA、東京大学）

宇宙航空研究開発機構（JAXA）とアジア開発銀行（ADB）は、2010 年に災害管理、気候変動の緩和・適応、森林監視、水資源管理への衛星技術の活用促進に関して協力関係を締結した。

衛星からのデータによって、気候変動に大きな影響を与える森林面積や植生の変化などが把握できるほか、災害時に衛星から送られる広範囲の気象状況や被害状況を活用し、住民の避難誘導や復旧活動に役立てるなどのプロジェクトを推進する。

より具体的なプロジェクトの一例として、Flood Warning Service from Space to Mobile Phones がある。このプロジェクトでは、衛星からの降雨観測データから、準リアルタイム降雨量観測を行い、GIS 情報ベースの洪水流出モデルに適用することで、洪水予測が可能となる。この予測情報を市民が持つ携帯電話に伝達するとともに、携帯電話による人の分布などの現場情報をフィードバックすることで、行政による住民の避難誘導などにも利用できる。

http://www.jaxa.jp/press/2010/07/20100728_sac_adb.pdf

II. その他の主なプロジェクトや提言（概要のみ）

【国内】

7. 経済産業省「次世代エネルギー・社会システム実証事業」4 地域

日本型スマートグリッドの構築と海外展開を実現するための取組み。

- (1) 横浜市 スマートシティプロジェクト
- (2) 豊田市 家庭・コミュニティ型低炭素都市構築実証プロジェクト
- (3) けいはんな エコシティ次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクト
- (4) 北九州市 スマートコミュニティ創造事業

<http://www.meti.go.jp/press/20100408003/20100408003.html>

8. 北九州アジア戦略・環境拠点都市

アジアの各都市で抱える様々な課題を「環境」の視点で解決する「課題解決型都市」を目指す。日本経団連の「未来都市モデルプロジェクト」の一つ。

<http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2011/013/honbun.pdf#page=127>

【海外】

9. 米国ダビューク 2.0（アイオワ州ダビューク市、米国エネルギー省、米 IBM など）

スマートシティの構築ノウハウ獲得のため、市の社会インフラを連携させ、効率的な運営を図る。

<http://www.dubuque 2.org/>

10. オランダ アムステルダム・スマートシティプログラム（アムステルダム市、アクセンチュアなど）

スマートグリッドと交通システムの連携による CO₂ 削減を図る、EU 初のインテリジェントシティプログラム。

<http://www.nedo.go.jp/content/100105905.pdf>

11. 中国 天津エコシティ（中国政府、シンガポール政府、など）

非常に高いエコロジーの品質基準を掲げ、中国内外への展開を目指すモデルシティ。

<http://www.tianjineco-city.com/en/index.aspx>

12. アブダビ マスダール・シティ（アブダビ政府、MIT、GE など）

CO₂ 排出量ゼロを目標とし、域内の太陽光/太陽熱発電などの再生可能エネルギーで電力などを賄い、海水淡水化プラントで造水、EV や次世代交通システムを導入した、自己完結型の都市を目指す。

<http://www.masdarcity.ae/en/>

13. Effective Modelling of Urban Systems to Address the Challenges of Climate Change and Sustainability (OECD Global Science Forum)

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) Global Science Forum のレポート。既存の都市のモデルを概説するとともに、都市モデルの利用と効率改善によって、気候変動への対応と持続可能な都市を実現することを提言している。

<http://www.oecd.org/dataoecd/20/37/49352636.pdf>

■戦略プロポーザル作成メンバー■

安岡 善文	フェロー	(システム科学ユニット)
目黒 公郎	特任フェロー	(システム科学ユニット)
前田 章	特任フェロー	(システム科学ユニット)
本間 弘一	特任フェロー	(システム科学ユニット)
豊内 順一	フェロー	(システム科学ユニット)
森 猛	フェロー	(システム科学ユニット)
武内 里香	フェロー	(システム科学ユニット)
勝山 光太郎	フェロー	(電子情報通信ユニット)
金子 健司	フェロー	(電子情報通信ユニット)
木村 英紀	上席フェロー	(システム科学ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2011-SP-06

戦略プログラム

統合サービスシステムとしての 都市インフラ構築のための基盤研究

STRATEGIC PROGRAM

Transdisciplinary research on integration of infrastructures for
urban service system

平成 24 年 2 月 February 2012

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター システム科学ユニット
Systems Science Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地

電話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

© 2012 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GA C CTAAC TCTAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

