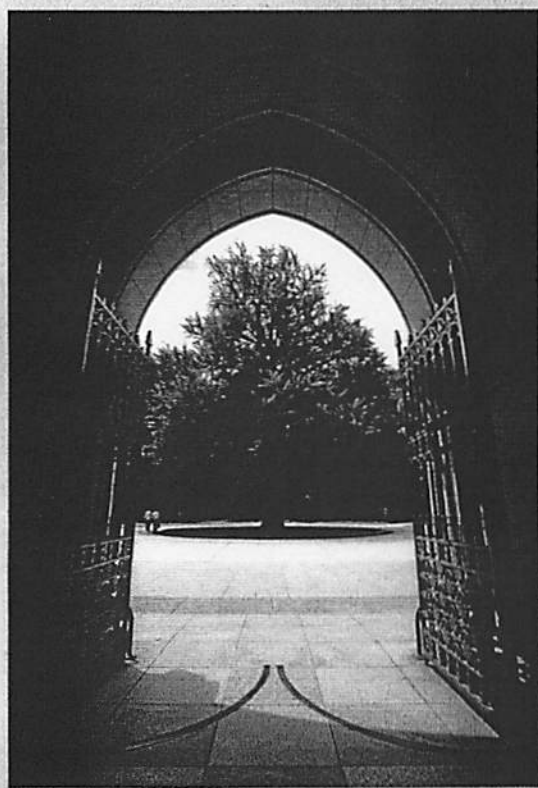


# 震災後の工学は 何をめざすのか

東京大学大学院工学系研究科 編



内田老鶴圃

## 第5章 人・物・情報流の現状と将来

青山 和浩 (工学系研究科 システム創成学専攻)  
 浅見 徹 (情報理工学系研究科)  
 江崎 浩 (情報理工学系研究科)  
 大口 敬 (生産技術研究所)  
 古関 隆章 (工学系研究科 電気系工学専攻)

末岡 英利 (工学系研究科 システム創成学専攻)  
 鈴木 真二 (工学系研究科 航空宇宙工学専攻)  
 近山 隆\* (工学系研究科 電気系工学専攻)  
 土屋 武司 (工学系研究科 航空宇宙工学専攻)  
 原田 昇 (工学系研究科 都市工学専攻)

## 第6章 医療・衛生

浅間 一 (工学系研究科 精密工学専攻)  
 片山 浩之 (工学系研究科 都市工学専攻)  
 鎌田 実 (工学系研究科 機械工学専攻)  
 佐久間一郎 (工学系研究科 精密工学専攻)  
 高井まどか\* (工学系研究科 バイオエンジニアリング専攻)

古米 弘明 (工学系研究科 都市工学専攻)  
 馬渡 和真 (工学系研究科 応用化学専攻)  
 光石 衛 (工学系研究科 機械工学専攻)  
 森口 祐一 (工学系研究科 都市工学専攻)

## 第7章 工学の新しい潮流

浅間 一 (工学系研究科 精密工学専攻)  
 太田 順 (人工物工学研究センター)  
 北森 武彦 (工学系研究科 応用化学専攻)  
 鈴木 真二\* (工学系研究科 航空宇宙工学専攻)  
 鈴木 宏正 (先端科学技術研究センター)

高増 潔 (工学系研究科 精密工学専攻)  
 寺井 隆幸 (工学系研究科 総合研究機構)  
 古田 一雄 (工学系研究科 システム創成学専攻)  
 吉村 忍 (工学系研究科 システム創成学専攻)

## 第8章 おわりに

近山 隆 (工学系研究科 電気系工学専攻、工学系研究科 副研究科長)

## 全体取りまとめ

北森 武彦 (工学系研究科 研究科長)  
 関村 直人 (工学系研究科 副研究科長)  
 近山 隆 (工学系研究科 副研究科長)  
 原田 昇 (工学系研究科 研究科長特別補佐)

水野 哲孝 (工学系研究科 研究科長特別補佐)  
 光石 衛 (工学系研究科 学術調整室長)  
 小関 敏彦 (工学系研究科 財務委員長)

## 第5章 人・物・情報流の現状と将来

## 5・1 はじめに

社会インフラは、歴史的経緯により、それぞれ個別の思想により最適設計されてきた。この章の対象とする交通運輸システムや情報通信システムも例外ではない。これまで、地震災害時には、地方公共団体を中核とするしつかりした指揮命令系統が存在し、情報の集約と伝搬を図ることができるところが前提であった。ところが東日本大震災にあつては、情報通信システムや交通システムの被災により、現場の情報を地方公共団体が把握できないだけでなく、地方公共団体そのものが被災し、物資調達や搬送の指揮を執ることができないといった事態も生じてしまった。道路や港湾等の被災による輸送道路の途絶等の情報が迅速に集まらなかつたことも、物資調達・搬送を大きく滞らせる原因であつた。また、物資が集まつても、指定場所以外にできた避難所の地方公共団体等による把握の困難や、車両、ドライバー、ガソリン等の輸送用燃料の確保の困難により、各避難所に物資が届けられない、といった場合も生じてしまった。また、同様の理由により、集落に取り残された住民の救助要請を出せない場合もあつた。

以上を鑑みるに、情報の適切な流通なしには、人流・物流も適切にできないことがわかる。さらに、情報と人・物の流れを全体として捉える社会システムが必要であり、情報通信システムと交通システム、あるいは他の社会インフラを有機的に統合したシステムが必要になつていく。人や物の流れと同じく情報の流れについても、災害を想定したシステム最適化を平時から行つていかなければならない。

緊急時専用システムの別途構築はコスト高で機能しにくく、緊急対応にも転用できる平時システムの構築が必要である。

しかしながら、経済原則に囚われると過度に平時に最適化したシステムになりやすい。コスト増として嫌われがちな緊急対応技術は、標準化により、平時のシステムに最初から組み込まれているような仕組みが必要である。

また、今回の災害で、汎用性の高いコンテナやパレットが有用であったことをみると、要素部品の過度な特殊化を伴う最適化は避けるべきであり、汎用化・共用化が重要である。これは、単に部品に留まらず、地方自治体における被災対策に代表されるように、過度の專業化も脆弱であると言える。守備範囲の広い人材であれば、緊急時に生じた穴を埋めることができる。そのような人材の育成を行っていくことも今後の社会に求められる。

このことはシステムを構成する要素についてのみならず、それらを組み合わせたシステム全体の構成についてもいえる。情報・通信においても交通・運輸においても、経済効率面からは冗長性を極力排除することが望ましい。しかしながら、冗長性の過度な排除は、一部の機能不全が簡単に全体の機能不全をもたらすシステムにつながる。社会システムとして、適切な冗長性を持つシステムを構築するようなバイアスを意図的にかけていくことが求められる。

今回の被災は、個別システム設計段階における想定を大きく逸脱した大規模なものであることは、種々の報道等からも明らかになっている通りである。次節以降では、各システムに起こった事実について、公表情報をひも解いて解析し、技術的な課題とともに各インフラの将来に関して、いかなる社会システムとして脱皮していかなければならないかを述べることにしたい。

## 5・2 情報・通信

東日本大震災は、国際的にみると、情報通信インフラが整った情報通信先進国が広域規模の大震災を経験した世界最初のケースと捉えることができる。情報通信先進国では、多くの社会インフラ、社会・産業活動が、情報通信インフラに依存している。東日本大震災は、情報通信インフラの障害が与える社会・産業活動への影響の大きさを明らかにし、短期および中期での対応手法の精査と問題点、そして、長期的に取り組みべき課題と挑戦を明らかにした。

ライフラインの被害としては、電力の最大停電件数八百五十万件（復旧日数99日）、ガス（都市ガス、LPG）の最大供給停止件数二百万件（復旧日数54日）、上水道の最大断水件数二百三十万件（7月末まで復旧せず）があった。これらと比べて、通信は最大不通回線数百万（復旧日数56日）と、被害規模は小さく、かつ迅速に復旧している。また、3月11日の東北地方太平洋沖地震（震度8・4）以降も強い余震が続き、中でも4月7日には宮城県を震源とする震度6強の余震があるという悪条件であったが、サービス継続とシステム復旧のための作業は、各組織において自律的に実行され、結果として、世界が驚くほどのスピードと質を持った対応が行われた。また、情報通信システムを収容・運用する建屋や管路などの物理的堅牢性も、世界中が注目するに値するものであった。我が国の、情報通信システムに関する人的・設備的両側面において、その危機管理品質の高さが証明されたが、一方で我々は、世界最高水準の情報通信インフラを構築・運用している国として、今回の経験を共有するとともに、今後の技術面と運用面における多様な課題を認識し、その対応策の策定と実施を推進すること、日本のみならず世界への責任を果たさなければならない。

情報通信システムを構成する建屋と伝送路は、固定系の加入電話やインターネットの場合、交換設備を収容した交換ビルとそれらを相互接続する中継伝送路から成る。交換ビルからは、末端のユーザまで木構造に枝分かれした接続になっている。まず、交換ビルはリング状の県内伝送路で複数の伝送路中継局（以下通信ビルと略記）をつなげている。さらに各通信ビルは複数の家庭や企業につながる。これらが木の葉に相当し、通信ビルと家庭や企業間の部分をエントランス区間と呼ぶ。携帯電話網の場合は、交換ビルに基地局制御装置があるほかは、家庭や企業の伝送路の終端装置を携帯電話基地局に置き換えただけで、物理的な構造は同じである。ただし、携帯電話網の葉は携帯電話であり、無線で携帯電話基地局経由でネットワークにつながっている。光通信の進んだ日本では、県内伝送路もエントランス区間ほとんどが光ファイバーケーブルで構成されている。今回の災害では、津波の影響もあり、中継伝送路、通信ケーブル、交換ビル、通信ビル、携帯電話基地局すべてに大きな障害が広域で発生したのが特徴である。

## 5・2・1 発災直後数日間

津波の被害を直接受けた地域を除いた地域においては、「電力供給の喪失」が、社会・産業活動にとって、最も大きな事象であった。情報通信に関しては、これに加えて、地震と津波による「伝送路の切断」や「通信建屋の損壊」といった直接被災が加わっていた。後述のように、直接被災は停電による被災の18%程度と小さかったこと、また「新しい通信メディアとしてのインターネット」が台頭したことが特徴として挙げられる。

## (1) 地震と津波による直接的被害

地震と津波による直接的被害に関しては、NTT東日本を例にとると、通信ビルの全壊18、浸水23であり、90ルートの中継伝送路に障害が出、災害直後の数時間では加入電話とISDNの十五万回線以上に障害が起こった。岩手、福島、宮城の携帯電話サービスの場合、停電以外によるNTTドコモの停波は、津波や地震による基地局損壊97局と水没によるもの97局、伝送路故障(140区間)による中断275局(県内伝送路故障によるもの132、エントランス故障によるもの143)の計469局にすぎない。地震規模を考えると直接的な被害は意外に小さい。日本の地震に対する建築基準の高さであるろう。また、津波による通信建屋/設備の倒壊・崩壊を除けば、地震による通信建屋の被害は極めて小さいことも報告されている。

通常の情報通信ネットワーク施設に関しては、数時間の停電への対応が想定された設備が実装されており、多くの設備において発災直後数時間はサービスを持続できた。我が国におけるFTTH等のブロードバンドサービスは、旧来のメタルケーブルによる電話サービスと異なり、末端につながる一般ユーザの情報通信機器への電力供給機能がない。このため、端末側でバッテリーなどの停電補償を行っていない限り、停電時には動作しない。一方、普及の進んだ携帯電話サービスの端末は電池での動作が可能であり、上記の停波基地局以外の地域においては、発災後、避難や安否確認で最も重要な数時間の通信環境の確保がなされた。大規模停電を考えると災害時の携帯電話網への依存傾向はますます高まっていくと考えられる。

実際の被害は、地震と津波に引き続いて起こった大規模停電により増幅されている。

## (2) 電力供給の喪失

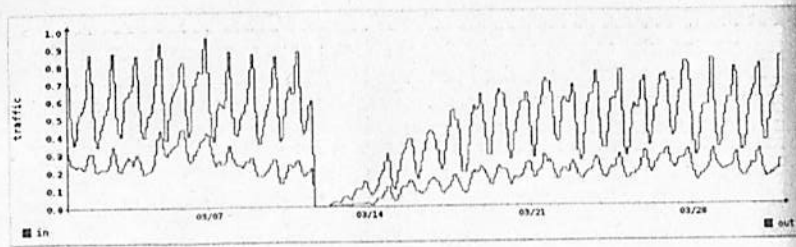
津波の被害を受けた地域はもちろんのこと、これら以外の地域においても、計画停電により電源の喪失が広域に発生した。通信設備は、電源喪失に対して、基本的には重油などを用いた自家発電装置と蓄電池による対応が行われたが、今回の電源喪失は、最大で数日間という長時間におよぶ地域が多く、通信設備の継続的運用に必要な電源供給をできなかった建屋および設備(特に携帯電話基地局)が多く発生した。障害規模の最大は地震後二日目の3月13日であり、NTT東日本のデータでは385カ所の通信ビルが機能停止に陥り、百万回線の加入電話とISDNに障害が出た。また、NTTドコモの携帯電話基地局は、最大約6720局が停波した。このうち85%は停電による中断であり、津波や地震による基地局設備、伝送設備故障等による停波は15%に過ぎない。

ただし、今回の地震での電源喪失が数時間以上になることは即座に認識され、通信事業者は、自家発電装置に必要な重油の確保(流通経路の確保を含む)と、移動可能な自家発電装置の確保に奔走した。一方、通信事業者の基幹建屋および情報通信サービスを提供するための高性能なサーバ機器が収容されるデータセンター建屋は、電力喪失と大規模な地震にもかかわらず、ほぼそのすべてが稼働を継続した。デジタル専用線やインターネット回線の運用が継続されるとともに、データセンターが運用を継続したことで、インターネット系の電子メールシステムや、ツイッターやフェイスブックなどのSNSサービス、あるいはウェブサービスが、継続して提供された。

## (3) 伝送路の切断

情報伝送路を中継伝送路と加入者系伝送路に分けた場合、前者は冗長構造を採りやすく、異経路によるバックアップを採りやすいが、後者は物理的な制約により、木構造(ネットワーク上の二点間の経路がひと通りしかない構造)の冗長経路のない構造になっている。前者に属す、国外との接続性に必須な海底ケーブルシステム(陸揚げ局を含む)には、甚大なる障

## 5.2 情報・通信

図1 宮城県におけるインターネットトラフィック<sup>[8]</sup>

害が発生したが、通信事業者間での光ファイバーの融通が即座に実行された。一方、陸上の地域間を相互接続する中継伝送路も、震源地域を中心に甚大なる障害が発生し、NTT東日本の場合90ルートに障害が出たが、通信事業者間での融通が行われ、各事業者に最低限の通信帯域が確保されるような努力が行われた。ただし、通信経路と管路の特性によって、その障害の程度には、かなりの違いがあった。また、発災後は、数日間以上、大きな震度の余震が広域に発生し、ケーブルの切断も断続的に発生したが、このような障害に対しても迅速な対応が継続的に実施された。

一方、加入者系の伝送路に関しては、物理構造上冗長構造を採りにくく、また事業者間のケーブルを融通することも一般に困難であり、復旧に関しては各事業者の自助努力によるところが大きかった。

## (4) 音声電話サービスと新しいメディアとしてのインターネット

音声電話サービスに関しては、NTT東日本のデータでは、宮城県着の加入電話やISDNの呼数は平常時の約9倍、東京都着の呼数は平常時の約4倍になった。また、NTTドコモのデータでは、東北地域における発信で最大12.6倍、着信で最大7.9倍、東京都内においても、発信10.8倍、着信4.0倍であった。このため、被災地である東北エリア向けを中心に県単位で、その他エリア向けもトラヒック（通信量）に応じた制御を実施し、最大90%程度の発信規制がかかった。音声サービスは、人間の通話時間の間、継続的に通信リソースを占有する特徴があり、このため、経済原則に基づいた投資では、災害時のトラヒック増に対応できないことが改めて示された。

一方、同じ携帯電話会社のサービスでも、パケット通信に関してはNTTドコモの30%発信規制を除き、他社は発信規制を導入しなかった。また、NTTドコモのパケットトラヒックは、東北地域で2.5倍、東京で1.1から1.8倍程度にすぎない。

インターネット系の電子メールシステムやウェブサービスは、継続して提供された。ツイッターやフェイスブックなどのソーシャルメディア、すなわちSNSによる情報の発信と共有は、嘘の情報の流通の問題も認識・指摘されたが、迅速な情報の共有による人員の安否確認や災害状況の確認など、従来の通信メディアが実質上機能しなかった、発災直後の時間帯において、大きな効果と貢献が観測・認識された。発災直後から行われたUSTRREAMを用いた放送コンテンツのインターネットへの配信は、様々な理由でテレビを観ることができない人への、信頼に値する情報と映像の提供に大きな貢献を行った。今回の地震では、最大146中継局がテレビ関係で停波となったが、その配信地域への補完的情報提供手段として機能したこと、また海外への迅速な被災状況の発信にも多大な貢献をした。注目すべき点は、インターネットのサービスも、携帯電話・携帯メールも、ほぼ同じ通信インフラを用いたサービスであるが、動作したものも動作しなかったものが存在することである。

ここで、改めて認識すべき点は、インターネットを用いたサービスが維持されたのは、通信事業者を中心とした物理的な通信を担う層であるレイヤ0/1/2の運用の確保にあることが挙げられ、さらに、これは、技術よりも、むしろ「人」の自律的で迅速、かつ適切な対応力と行動力に負うところが大きい。

## 5.2.2 発災後半年までの対応

図1に示すように、甚大なる津波の被害を受けた宮城県においても、インターネットトラフィックは、ほぼ十日間程度で、震災前の状況に復旧されている。甚大なる被害を受けた携帯電話基地局（図2参照）や加入者系伝送路においても、ほぼ一カ月で、震災前のサービスエリアをほぼカバーするようになっていたが、4月7日に宮城県を震源とする震度6強の余震があり、この被災のため復旧には56日を要した（仮設備・仮設置のところも少なくない）。

通信設備の復旧過程におけるサービス継続には、マイクロ伝送路、衛星伝送路が大きな

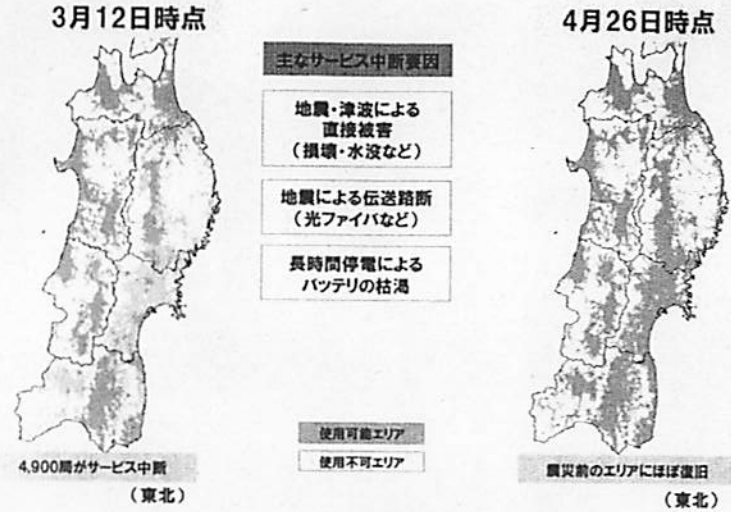


図2 NTT ドコモ携帯電話基地局の復旧<sup>17)</sup>

貢献を見せた。車載型マイクロ設備と合わせて、有線ケーブルシステムが被災地に敷設されるまでの期間、携帯電話サービスがバックホールとして機能した。複数の衛星通信システムがインターネットサービスおよび携帯電話サービスの提供に貢献し、衛星携帯電話も規模は小さいが、被災地において有効であった。フェムトセルの利用などは、その本来の目的とは異なるが、被災地において活用され貢献をした。一方、災害時に貢献することを想定して研究開発された無線マルチホップシステムは、技術の成熟度が低く、ほとんど、利用・展開されることはなかった。

また、インターネットを中心にした、災害に関連する情報の発信と収集が、その実現の速度と質にとって、クリティカルであることが強く認識された。例えば、被災地への支援物資に関しては、被災地で必要としている物資の量と場所の共有がオンラインで行われず、さらに、支援者側および支援物資の流通システムとの間でも共有することができなかったために、被災者が必要とする支援物資と、支援者が提供する支援物資のミスマッチが多数発生した。また、震災後、東京電力管内で実施された計画停電に関しては、計画停電の情報提供が、当初は東京電力のウェブサイトのみであったため、ユーザからのアクセスが極度に増加・集中した結果、ほぼサービスダウンの状況に

この経験は、その後発生した福島原子力発電所でのメルトダウンと水素爆発に関連する放射線測定量を文部科学省から情報提供する際に活かされ、適切な対応につながった。例えば、経済産業省が発表する計画停電の情報発信と、文部科学省からの放射線測定量の情報発信は、学術研究グループがまとめ役になり産官学で形成された分散的情報提供プラットフォームを用いて実施され、問題なくスムーズな情報提供を行うことができた。この情報提供に際しては、日本語以外での情報発信の重要性も認識された。これは、国外への情報発信だけではなく、日本国内に滞在する日本語を十分理解できない外国人への情報提供の重要性を再認識することに貢献した。

また、停電と節電への対応は、2011年夏の電力供給量の大幅な減少に対応するために必須のものとなった。特に節電対策は、震災直後に多くの組織で発生し、停電に対するBCP (Business Continuity Plan) の不十分さが認識された。現在、ほとんどの組織において、停電に対するBCPの詳細化と実装に向けた検討と対応が進められている。特に、企業を中心とするすべての組織において、社会・産業活動が情報通信インフラに、非常に大きく依存していることが認識され、その本質的かつ迅速な対応の必要性が認識された。

例えばJR東日本において、計画停電時に明らかになったこととして、列車の動作に必要な電力は自家発電設備によって提供されるが、列車の運行を制御する信号システムは、東京電力から購入する外部電源に依存しており、JR東日本の列車運行システムの電源供給システムの脆弱性が認識されたりした。また、節電対策は、全国的な緊急・重要課題となり、その実現には、すべての組織が対応しなければならなかった。節電対策の実施には、組織ごとに様々な施策が適用・実施されたが、ここでも情報通信システムの重要性が認識された。適切な節電対策が行われないと、組織のパフォーマンスが低下し、組織活動の継続的維持が困難となってしまう。適切な節電対策には、組織内で電力を消費する機器を、動作状況も含めて正確に把握し、この情報をもとに、対応策を検討・実施されなければならない。東京大学全学、および、工学部二号館で行われた節電対策は、まさに、情報通信システム技術を駆使したものであり、適切な情報通信システム技術が、効果的節電の実現に必須であることを証明した。エネルギーに関する危機管理・BCPの技術と運用手法の確立と実装、そして普及が必要

である。

### 5・2・3 中期的対応

総務省大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方検討会のネットワークインフラWGに提出された(株)Eedhaによる岩手、宮城、福島、茨城県を除く全国832人を対象としたアンケート調査によると、災害発生時の連絡手段として実際に採った行動は、携帯電話メール、通話(携帯電話)、通話(固定電話)、SNS、災害用伝言板(インターネット)の順で、それぞれ80・6、75、28・8、17・3、9・9%であった。ただし、実際に連絡が取れた確率は、直接会う、SNS、携帯電話メール、その他、インターネット電話(スカイプ等)の順で、それぞれ88・41、85・55、82・51、73・68、68・75%である。試行頻度が高く効果の高かったものは、SNS、携帯電話メールであり、普段使いなれた身近な携帯電話を用いた行動が多いことがわかる。

音声電話サービスに関しては、ドラスティックな技術的改善の余地は少ないが、通話時間制限、音声を端末でファイル化した後、パケット通信網で送受する等によりさらに輻輳軽減の可能性を探っていく必要がある。特に、後者に関しては、国際的にも標準化しなければならない技術である。

通信リソースを考えると、SNSの閲覧・書き込み、携帯電話のメール等、音声通信以外の通信手段の充実・改善が効果も大きく、技術的障壁も低い。今回の震災において、この種のインターネット関係技術で顕在化したのは、携帯電話のメールサービスの配信遅延の大きさである。実際、NTTドコモの報告では、災害直後においてユーザの10%はメールを届けるのに80分以上かかっていた。メールサーバ設備の充実およびデータトラフィックの輻輳制御技術等の研究開発が必要である。特に、冗長構成の採りにくいエンタープライズ区間の伝送路に関しては、インターネットへのアクセス手段を充実させるため、移動基地局の整備、衛星回線の活用等を平時からダイナミックに利用、運用する体制が必要である。

### 5・2・4 長期的対応

今回の大震災の教訓は、情報通信技術に関して長期的な研究テーマだけでなく、情報通信技術の社会におけるあり方についても問題提起された。以下に、その主だった検討課題を列挙することにする。

#### (1) 情報通信システム技術に関する研究開発の方向性

ネットワークの耐障害能力を向上させることだけでなく、情報通信ネットワークを他の社会システムと連携させ社会の神経系を構成させるために必要なインターネットと実空間の融合技術が重要になる。また、災害時には、定量化可能な物理的事実、法制度の実態といった客観的情報と、専門家の意見、個人の意見、個人の感情といったものが無秩序に氾濫しがちである。災害時の情報の信ぴょう性の確保と迅速な共有のためには、技術だけでなく真の意味での情報リテラシの確立を、教育を通じて行っていかなければならない。

#### (2) 仮想空間であるインターネットと実空間との融合

センサーやアクチュエータなどといったデバイスをネットワークに接続し、ネットワーク自身が実空間の状態を知り、それに応じたサービスを提供できる枠組みを用意するユビキタスセンサネットワーク、あるいはIoT (Internet of Things) は、研究としては前者で十年前から、昨今は後者の名前で活発に研究されている。センサーから得られた実空間情報をネットワークに取り込むことで、ネットワークが生活・社会・産業における「神経系」となる新たなインフラへネットワークを脱皮させることができる。このためには「実空間との融合」に向けての道筋を明らかにすることが求められる。この分野では、今回下記のテーマが明らかになった。

#### ● 避難者名簿や道路不通箇所、日用品入手方法などに関する情報のフォーマットの標準化

車の位置情報を用いたサービスは、震災前は、各社が独立にシステムの構築を行い、データベースもアプリケーション



ンも独立であった。しかし、ISOの国際標準化がされたため、震災後に、複数の会社のサービスシステムを、迅速に統合化でき、道路の利用可能情報を詳細に提供することができた。通常時の統合化はビジネス上の問題からできなくても、いざというときには統合化できるよう技術の標準化が重要である。

● ID空間の整備

今回は、避難所の認識のためのIDや、避難所で無線LANにアクセスする際のESSIDやパスワードなど、ID空間の整備が不十分で、被災者の方々は混乱した。利用にあたって、情報の周知が容易ではなかった。「ID空間の管理」は、長期視点で、しっかりと、整備すべき問題と考える。

● センサーの永続的駆動技術

「神経系」の末端につながる各種のセンサーやアクチュエータ、特に前者は、数が膨大であることからハードウェアのコスト以上にメンテナンスコストの低減が必要となる。この観点では、現在の電池駆動のセンサーは電池交換に伴う運用コストが大き過ぎる。このため、光、熱、電波といったセンサー周辺の環境からエネルギーを得て、半永久駆動するセンサーの開発が必須である。あるいは、無線通信でネットワークにつながるこの種のセンサーに関しては、外部から無線電力伝送で電力供給することも検討していく必要があるだろう。

(3) 耐障害性の高いネットワーク

今回の災害では、ネットワークが地震と津波による直接的、停電による間接的影響により、物理的に様々な形で分断が起った。また、時間的にも分断形態が大きく変化したことに特徴がある。

● ネットワークの低消費電力化

広域の停電が起こった場合、地震後一、二日後に広範囲な障害が出る。回避するには、通信ビルにおける通信装置の低消費電力化と補助電源の大容量化も重要であるが、自然エネルギーによる携帯電話等の充電設備を役場・学校・公民館・病院などの公共施設に平時から設置することが重要である。さらに、携帯電話基地局だけでなく、公衆無線LAN

AN基地局に関しても、消費電力が少なく、太陽光や風力などの自然エネルギーで継続運転可能な基地局を配置しておく必要がある。

● インターネットの中継における多経路の確保

経済原則だけに流れると、ネットワーク相互接続ポイント(IX)の利用が減少し、個々のプロバイダ間の直接的接続(Private Peering)の普及や、それに伴うIXへの接続の解除(Depeering)等により、インターネットの構造が本構造に近くなり、経路の冗長性が薄れてしまう。IXの地域分散と合わせて、経路の冗長性を増すような施策が必要である。

● 耐障害性の高いアクセス・ネットワークに向けた検討

岩手、福島、宮城においては、多数のNTTドコモの基地局が震災被害によって停波したが、約六割の基地局は、基地局そのものの障害ではなく、伝送路故障によりサービス停止している。被災地の災害直後数時間のライフラインを確保するには、基地局が動作しているかぎり、それなりの通信サービスを継続できることが望まれる。省エネルギーとは相反するかもしれないが、レジリエントなネットワークに向け、冗長構成を採りにくい無線基地局と交換機収容局の間のエントランス区間にもインターネットの技術を導入し、通信リソースの激変にも耐えられるよう研究開発を行う必要がある。

(4) 災害時の情報の信ぴょう性の確保と迅速な共有

今回の災害では、ネットワークの耐障害性に関して、脆弱な点が多々あることがわかり、ネットワークの耐障害性向上が必要なのはもちろんである。しかし、同時にわかったことは、情報の確かな共有に関しての研究開発がそれ以上に重要であるということである。情報を出すべき機関が出すべきときに出不なかつたため、住民の安全な避難に支障が生じたり、無責任なうわさの伝搬により甚大な風評被害が生じたりしている。情報流通経路を明確化し、災害時の情報の信ぴょう性の確保と迅速な共有は、ソーシャルメディアサービスの拡大とともにますます重要になってきている。定量化可能な物理的事実、

法制度の実態といった客観的情報と、専門家の意見、個人の意見、個人の感情といったものを的確に表現し迅速な共有を行えるよう、真の意味での情報リテラシの確立を目指した教育を行っていかねばならない。

### 5.2.5 情報通信システム技術を用いた社会システムの方向性

システムの研究開発と市場展開は、「持続可能性」を持った社会インフラとしての観点に立つて行われなければならない。より具体的には、「リスク管理」、「生産性向上」、「快適性」、「創造性」を同時に持つシステムである。第一のステップとして、東日本大震災を受けて我が国が取り組まなければならない緊急課題として認識されたのは、「エネルギー」の問題であり、具体的には、中長期的には「省エネルギー」、長期的には「新エネルギー（＝創エネルギー）」の実現である。

「省エネルギー」は、社会産業の質と量の低下を前提にすることはできず、むしろ、これまでの社会産業活動の質と量の維持とさらなる向上を、より少ないエネルギーで実現することを目指し実現させなければならない。さらに、「持続可能性を持つ」という意味においては、継続的かつ持続的にイノベーションを創造・創出するに資する透明性を持った社会インフラを実現するに資する、神経系と頭脳系にあたる情報通信インフラの構築に資する研究開発活動を展開しなければならぬ。これによって、我々は、世界最高品質・最高効率の社会・産業インフラを実現し、国際社会への貢献と国際競争力を持った産業を創造するべきであろう。

### 5.3 交通・運輸

東日本大震災の被害を大きくした主要な原因の一つは、交通の遮断と、それによる運輸システムの機能不全にあった。災害発生時には、個別の道路の早期復旧も重要な課題ではあるが、災害時にも広域運輸網の機能をできる限り維持し、また、早期の機能回復を可能にするような交通・運輸網を、平時から構築し維持していくことは、社会全体の耐災害力を高めるうえで重要な課題である。本節ではこの課題の解決策を探る。

### 5.4 人・物・情報流の将来—ソーシャルロジスティクスへの道—

二十一世紀の社会・産業基盤は、情報通信システムがその創造性と持続性の実現には必須であり、情報通信システムと現実の社会で展開される物との連携、すなわち、実空間に存在する物（シングズ Things）の状態の把握（センシング Sensing）と制御（アクチュエーション Actuation）の設計と実装が、人・物・情報が相互作用する社会・産業活動全体の効率を決定することになる。さらに、この社会産業活動を支える社会インフラは、インフラの透明化によるサービスのソーシャル化と地産地消が促進されるフェーズを経て、インフラの提供がインフラ提供事業者（プロバイダ）に依存しない「ソーシャルインフラ」化へと進化するフェーズへと進展するであろう。

#### 5.4.1 エコなスマート・ロジスティクスシステムへの挑戦

人間にたとえれば、IT/ICT機器やIT/ICT機器が動作する場所であるコンピュータールームやIDC (Internet Data Center) は「脳」にあたり、ネットワークは「神経系」である、「賢く能率的な脳」と「俊敏に動作する神経」が、人間の効率的で機能的な活動を実現しているのは明らかである。さらに、これは、イノベーションの持続性の実現に資するインフラでなければならぬ。

効率的で持続的な都市空間の発展を実現するスマートシティーの実現には、地球全体を覆うセンサネットワークの構築と、センサノードやアクチュエータノードをはじめとしたすべてのデジタル機器の協調動作が実現されなければならない。さらに、これらの動作は、中央集約的に管理制御することは不可能であり、ローカルおよびグローバルの両方において自律分散的な協調動作環境が構築・管理・運用され、持続的 (Sustainable) な進化 (Innovation & Revolution) を実現するに資する基盤を前提としなければならない。このようなシステムは、エコシステムと捉えることができる。

エコシステムとは、「食物連鎖など生物の相互関係と、生物とそれを取り囲む無機的環境の間の相互関係を総合的に捉え

### 5.4 人・物・情報流の将来—ソーシャルロジスティクスへの道—

人	都市
脳・頭蓋	クラウド
頭蓋骨・血管	データセンター
脳神経	サーバ、スイッチ
神経	インターネット
身体	ファシリティー
骨	建造物
感覚器	センサー
筋肉	アクチュエータ

図3 ICTと都市設計の概念

た生物社会のまとまりを示す概念」であり、「エコシステムは周辺の状況などにより変化するが、その系の中で互いに働きかけて安定化する性質がある」とされている。エコの語源はギリシャ語の「家」であり、そこからエコロジーやエコノミーと言った概念が生まれている。ビジネス（エコノミー）においては、関係する企業・組織がビジネス活動もにおいて協調と競争を行うことで、利益やイノベーションと創造を持続し、その構造を変化させていくことを意味しており、エコロジーは人間生活と自然の調和を実現することを意味しており、エコシステムは、以下のシステムの要件を満足しなければならない。

- ① 自立性 (Independence)
- ② 自律性 (Autonomy)

- ③ 交差性 (Interactiveness, Interoperability)
- ④ 適応性 (Adaptability, Agility)

③ 交差性 (Interactiveness, Interoperability)  
 ヒトは、いくらすばらしい筋肉や骨（コンポーネント）を持っていても、コンポーネントを上手に制御するための神経と頭脳がなければ、非効率な動作しかできず、時に、機能しない事態も発生してしまう。また、優れた制御システム（神経系+頭脳系）は、同じエネルギーでより多くのアウトプットを生産することができる。一方で、コンポーネントやモジュールの取り換え (Alternativeness) が可能なシステム設計を行うことによって、革新的な新しいコンポーネントの導入が可能にしなければならない。

④ 適応性 (Adaptability, Agility)  
 社会・産業活動を実現する社会インフラには、情報通信システム以外に、交通システム、上下水道システム、発送配電システム、都市ガス、建築物等の様々なものがあるが、それぞれのシステム自身の目的だけでなく、結果的に、すべてのシステムが統合化され、協調動作するようにしなければならない。このシステムは、新しいサービスや産業を、容易にかつ安価に展開可能としなければならない。

めに、透明性と相互接続性を持ったインフラの展開と整備が進められなければならない。

ステップ1…センサーや制御機器が、相互接続され、協調動作し、人と物の移動が自在に管理制御可能なインフラを構築する。

ステップ2…ユビキタスに存在するセンサーや制御機器、さらにこれらの機器が生成するデジタル情報が、ほぼゼロの低コストで流通可能なインフラが登場する。

ステップ3…このユビキタス・デジタル・インフラを用いた新しいサービスが、グローバル規模で創造・展開する。

## 5.4.2 東日本大震災の挑戦

東日本大震災は、上述した二十一世紀のエコシステム型社会インフラに対して、改めて我々が優先度を持たせるべき観点や課題、そして挑戦の方向性を示唆したと考えることができる。災害発生時の短期および中長期での対応策や、復興施策の意思決定のためには、社会インフラのすべての状況と人の状況の把握が必須であり、すなわち、社会インフラのデジタル化およびスマート化、さらにソーシャル化による、情報の透明化と共有が実現されなければならないことは、当然なこととして再認識された。我々は、これを、「ソーシャルロジスティクス」の必要性が顕在化されたと捉えることができるかもしれない。災害時の情報伝達・共有インフラとして、力強く機能したのは、インターネットシステムであった。インターネットは、自律性、自立性そして相互接続性を持ち、常に、システムを構成するモジュールに対する選択肢(alternatives)を提供することで、エコシステムを構成した。インターネットシステムは、常に、障害の発生、新技術の登場と導入(ある意味、予想外の災害と見ることもできる)を前提として、日々のシステムの運用と管理、修正が行われてきたシステムであったため、災害時に機能したと考えることができる。交通システムあるいは物流システムも、災害時にも機能するためには、同様の特徴を持たなければならない。人と物の流通に際して、輸送システム全体の状況が把握可能で、人や物がこの情報を用いて自律的に利用可能な輸送媒体を選択することができるような構造を持つことで、様々な、予期できないシステムへの変化に対応した物流システム・輸送システムが構築可能となるであろう。物流と人の要求が、グローバル規模で統合され相

互参照され、独立な意思決定が全体の安定化につながるシステムが、現時点では存在していなかったため、今回の災害時のロジスティクスシステムは、十分には機能することができなかった。すなわち、システムがグローバル規模で協調動作できなければ、突発的な大きな変動への対応ができないことを示唆したし、このようなシステムの研究開発と実社会への展開が必要であることを示唆した。

東日本大震災が発生する以前から、議論されてきた二十一世紀の社会インフラの重要な特性として、「持続可能性」が挙げられてきてきた。「持続可能性」には、様々な意味が存在するが、今回の大震災によって、「回復力(resilience)」、「自律性(autonomy)」、「分散性(decentralization)」そして「多様性(diversity)」の重要性が取り分け認識されたと言えよう。また、経済的な側面からは、マニュアル化、集中化、画一化が進行してきたが、これが、災害に対する脆弱性を増大していたことが明確化された。いわゆる、リスク管理(危機管理)を含む経済的合理性を持った社会システムの構築が進められなければならない。グローバルな結合性を持ちながら、地産地消型での自立的/自律的な経済システムの構築が必要である。現在の情報通信システムにおけるクラウドシステムやP2Pシステムも、スマート・ロジスティクスシステムも、インフラの提供者が存在することを前提としたソーシャルシステムの実現の段階であると言える。

一方で、「安全」は、常にリスク管理として捉えられなければならない。災害や革新的な新技術は、システムを不安定な状態に遷移させるものであり、システムが、この状態遷移を契機として、安定した新しいシステムに変化することが可能な社会システムの構造設計と実装を行わなければならない。

最後に、災害時には、「常時動いていないシステムは機能しない」ことも、改めて示した。すなわち、常時利用され稼働しているシステムでなければ、突発的な事象への対応は、不可能である。常時利用され稼働しているシステムは、突発的な事象に常に対応・対処しているシステムでなければならぬ。これは、常に新しい技術や革新的な技術を導入可能なシステムアーキテクチャでなければならない、という意味でもある。また、社会インフラが、特定のインフラを提供するプロバイダに完全に依存することの危険性も顕在化された。すなわち、インフラのソーシャル化の必要性である。「人」や「コンテナ・パレット(等)」は、それら(object)が自律的/自立的に移動可能であるから、移動手段に依存しない移動が可能で

ある。情報インフラも、「人」や「移動する物」が、自律的／自立的に、システムを構成することができれば、プロバイダに依存しないインフラが構築される。すなわち、情報と移動する物が、融合した社会インフラは、人と物が、人と物が自由に移動可能な社会インフラを形成することになる。すなわち、プロバイダ（＝インフラの提供者）に依存する必要のない、ユーザ機器によるインフラの構築・運用能力である。

### 5・4・3 「新しい財産」の保護と蓄積

1980年に出版されたアルビントフラーの著書「第三の波」では、脱工業化社会における人と組織が持つ財産としての情報 (Intellectual Property) の価値の重要性が示唆されている。実際、東日本大震災における基礎自治体および企業等における情報の喪失が問題となった。これだけではなく、社会や国が守るべきものは、第一に命、次は財産である。情報を守るために、コンピュータのハードディスクを取り出して避難した人がいたことは、情報が財産として認識されているからであろう。交通インフラは、人と物を移動させる機能を持つ。災害時には、人を移動させ命を守る責任を持つ。情報インフラは、財産としての情報の退避を実現させなければならぬし、このようなインフラの構築によって、人は命を最優先にした行動をとることができるようになるであろう。

情報が財産であることは、過去の状況を未来の世代が利用可能であるということも意味している。社会全体の状況をデジタル化し、次世代の飛躍のための財産として保存蓄積し利用可能するための技術と政策を整えることは、我々の世代の次世代への責任となるであろう。震災など、予期しない事象が発生したときのデータは、これに対応するための実践的で効果的な研究開発の実施には極めて重要な財産となる。

## 5・5 おわりに

東日本大震災におけるロジスティクスシステムおよび情報通信システムは、震災後一カ月間で完全復旧し、緊急対応の迅

速性と高品質性は、まさに世界最高品質であった。これは、システムを構成する設備や技術よりも、むしろ、日本人の高い危機対応能力にあったと言えよう。すなわち、我々の危機対応に関する教育の方向性は間違っていないと言えよう。しかし、当然ながら完全であったとはいえず、多くの改善点も認識された。今回の経験を十分に総括し、世界最高水準の人材の育成のための教育カリキュラムの充実を目指さなければならないと考える。

### 参考文献

- [1] 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会、東日本大震災を踏まえた今後の被害想定の主な課題・海溝型地震に伴う広域災害への対応 (概要) (オンライン) (引用日2011年10月31日) <http://www.bousai.go.jp/fishin/chu bou/higashinohon/8/4.pdf>
- [2] 東日本電信電話株式会社、東北地方太平洋沖地震による被害及び今後の見通しについて (オンライン) (引用日2011年10月31日) [http://www NTT.co.jp/news2011/1104/pdf/110427b\\_2.pdf](http://www NTT.co.jp/news2011/1104/pdf/110427b_2.pdf)
- [3] 大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会、参考資料 (オンライン) (引用日2011年10月31日) [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000125189.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000125189.pdf)
- [4] 株式会社NTTドコモ、東日本大震災被害および復旧状況 (オンライン) (引用日2011年10月31日) [http://www.google.co.jp/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2Fwww.NTTdocomo.co.jp%2Fcorporate%2Fif%2Fbinary%2Fpdf%2Flibrary%2Fpresentation%2F110428%2Fnotice\\_110428-1.pdf&rct=j&q=%E6%9C%AC%E6%A0%BC%E5%BE%A9%E6%97%A7%E8%A8%88%E7%94%BB%E3%8](http://www.google.co.jp/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2Fwww.NTTdocomo.co.jp%2Fcorporate%2Fif%2Fbinary%2Fpdf%2Flibrary%2Fpresentation%2F110428%2Fnotice_110428-1.pdf&rct=j&q=%E6%9C%AC%E6%A0%BC%E5%BE%A9%E6%97%A7%E8%A8%88%E7%94%BB%E3%8)
- [5] 入江恵 (大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会ネットワークインフラWG) (オンライン) (引用日2011年10月31日) [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000117676.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000117676.pdf)
- [6] 資源エネルギー庁、平成21年度(2009年度)エネルギー需給実績 (速報) (オンライン) (2010年11月)
- [7] 江崎浩「なぜ東大は30%の節電に成功したのか?」幻冬舎(2012)