

# 大震災の環境下におけるロバストなコミュニケーションシステム

## 構築の基本問題

### 概要

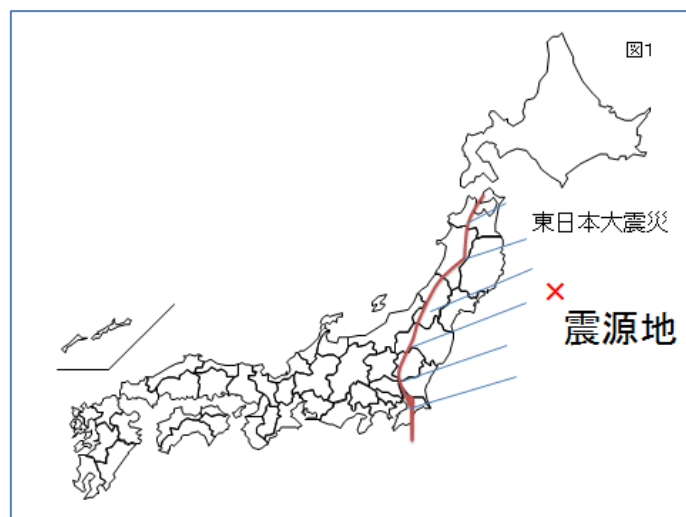
東日本大震災は将来のコミュニケーションシステム構築問題に対して多くの問題と、これに基づく教訓を与えた。本報告は、この教訓をベースとし、災害時においても十分な機能を持つ新しいコミュニケーションシステムの設計と構築のための基本概念を示し、それに基づく今後の新しい研究開発のテーマと実装のためのガイドラインを示す。

#### I 東日本大震災と教訓

2011年3月11日 magnitude9.0の大地震が発生し、東日本の広い領域をおそった。

地震発生後まもなく大津波が青森県から千葉県に至る約450kmの海岸に到来した。

この大震災は歴史的に見ても1000年に一度の大災害であった。



今回の大震災は次の3つの大きい問題について教訓を与えた。

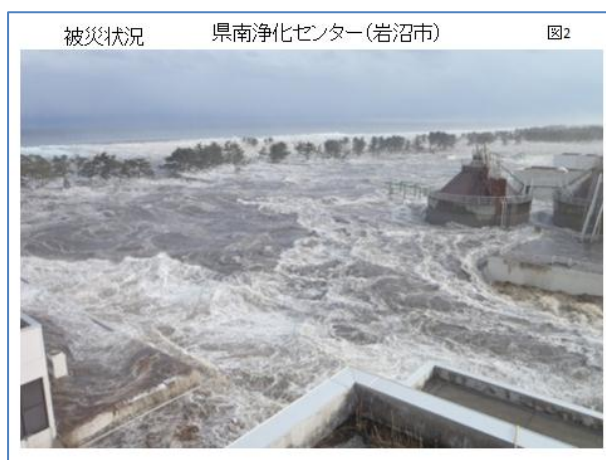
- (1) 大地震の災害
- (2) 大津波の災害
- (3) 原子力発電所の被害による災害

## 大震災による被害

- (1) 亡くなった方、行方不明者の合計は約 24,000 人
- (2) 45 万人が避難所に避難した
- (3) 10 万戸以上の建物が半壊もしくは全壊
- (4) 鉄道、道路、電力システム、通信システムを始めとする多くの社会インフラが破壊され、機能不全となった。

この一部を示したのが図2～図6である。

- (5) 福島原子力発電所群が大きい損害を受け、放射能によって住民に大きな被害を与えた。同時に原子力発電所のあり方に対して多くの問題が提起された。



## この大震災から得られた大きな教訓

(1) 現在の科学・技術の研究成果を最大限に活用しても大震災を予知することは不可能である。

(2) 大震災は予知なく何時でも発生する可能性がある。そのための対策と解決策を早急に定めなければならない。

(3) 災害の規模を推定する方法として大事なことは、過去の歴史からのデータを十分に参照し、これに基づいて規模を推定することである。

このためには過去のあらゆるデータを正確に整備し、データベース化しなければならない。

(4) このデータベースを最大限に活用し、今後起こりうる災害の状況を十分に認識し、人々にとって安全、安心な社会インフラの構築を具体的に考えなければならない。

(5) この中で特に社会インフラとして重要なものがコミュニケーションシステムである。

しかしながら、このシステムの脆弱性が今回多くの人々に強く認識された。改めて、社会インフラの中で重要なコミュニケーションシステム構築の問題解決が重要な課題となった。

(6) 原子力発電所の被害は極めて大きい社会的な問題を提起した。

しかしここでは詳細は触れない。



## Ⅱ 大震災の環境下で十分機能できるロバストなコミュニケーションシステム構築問題

### 1 構築の基本概念

健全な社会システムを構築する上で最も重要な最初の課題は当然のことながら災害に強い都市の設計をどう行うかである。

この都市設計のベースを基本とし、すべての社会インフラ構築の設計がなされなければならない。コミュニケーションシステムの構築も例外ではなく、この立場に従って行われることになる。都市設計に基づく制約のため、コミュニケーションシステム構築の上で当然色々な地理的制約、法的制約、そして経済的な制約が発生する。

これらの制約を十分に踏まえ、最も合理的な形でコミュニケーションシステムが構築されなければならない。

次に、考察すべき重要な課題として、次の三つがある。

第一が災害時に発生する多様な人々のコミュニケーションシステムに対する要求を十分に満足させるシステムを構築する課題

第二は災害のため不可抗力的に発生する多くのコミュニケーションシステムの障害に対して、いち早くシステム全体を早急に復旧できるシステムを構築する課題

第三が今回の災害の実例を通してシステム全体を真にロバストにする総合的な研究開発と構築に対する課題

次に具体的な要求課題を以下に整理する。

### 2 災害時におけるコミュニケーションシステムへの要求

災害時における被害状況は復旧の進展によって変化し、コミュニケーションシステムへの要求も当然時間とともに変化してゆく。

このため、要求の内容を時間とともに明確に整理し、それに対応するシステムの構築問題を考えなければならない。

この中で、特に重要なのは震災発生直後の時間帯例えば、震災発生後約 24 時間の第 1 フェーズでの要求である。

以降第 2 フェーズ、第 3 フェーズ等における要求分析も十分に行われなければならない。

以下での考察は第 1 フェーズ、第 2 フェーズの一部を対象としたものである。

#### (1) 被災者の立場から

・最も重要な要求は被災者、および関係者の安否確認がコミュニケーションシステムを通して確実にされること。

(2) 行政の立場から

(i) 被災者各個人の被災状況を常に確認し、把握できること。

(ii) 被災地の各地域夫々での被害状況を確実に把握できること。

### 3 被災地で必要とされる情報のサービスコンテンツ

被災者、支援団体を始めとする各組織に対し提供する重要な支援とサービスのための情報コンテンツは次のとおりである。

(1) 各被災者に対しての生活必需品の配給の具体的なタイムスケジュール

例えば、食糧、水、医薬品、衣類等

(2) ライフラインの復旧のタイムスケジュール

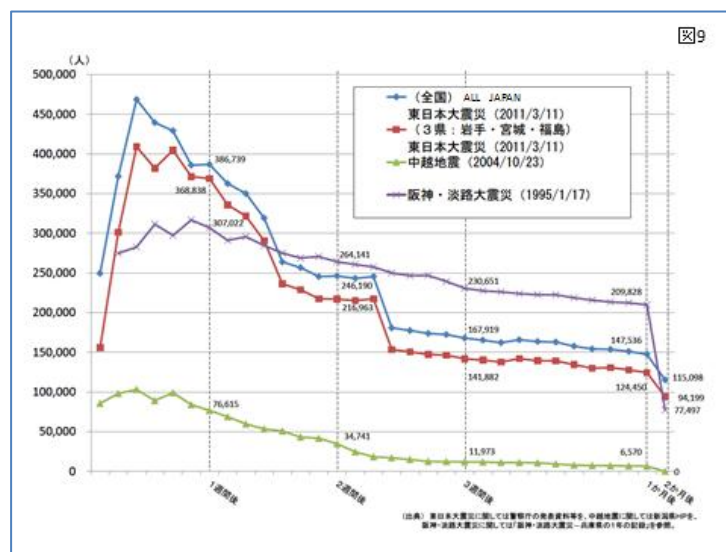
例えば、電力系、水系、通信サービス系、交通サービス系等の復旧スケジュール

(3) 自治体、NPO 等の支援団体による具体的な支援の内容とタイムスケジュール

### 4 支援のための統一化されたマネジメント確立の必要性

#### 被災地における状況

(1) 支援に必要な多くの情報が災害地の広い地域、例えば避難所等に独立に蓄積され、夫々で活用されている。そしてそれらの情報は時間とともに急速に変化してゆく。この状況は図9の避難所における被災者の変化から十分に推察できる。



(2) NPO、自治体等による支援プログラムは独立に作られ実行される。

統一的、効率的な支援環境を構築するために

(1)と(2)の情報を有機的に統合し、すべての情報を集めることにより、被災者に対して最適な支援が提供できることになる。

この実装のためのインテリジェントな情報センターの構築は不可欠である。

このセンターは同時に多くの支援エージェントに総合情報を提供することが可能であり、夫々が担当する社会インフラ復旧のプログラムを効率的に構築する上で大きい力を発揮する。

当然、このセンターの構築の一つの重要な形は、災害のためのクラウドシステムとして構築される。

### Ⅲ 大災害時の多様な要求に機能するロバストなコミュニケーションシステムの構築のために

この問題解決には次の3つのステップがまず必要となる。

(1) 災害によってもたらされた社会インフラの損傷についての徹底した原因究明とその結果の解析と現状の把握

(2) 被災者を始め支援機関、団体からの要望を十分に深く理解し、そのための対策を論理的に整理

(3) (1) と (2) の結果を用い、大災害時に十分機能できるロバストなコミュニケーションシステムの構築とそのもとでのネットワークの論理的なアーキテクチャの決定。及びその実現方法の具体策の検討

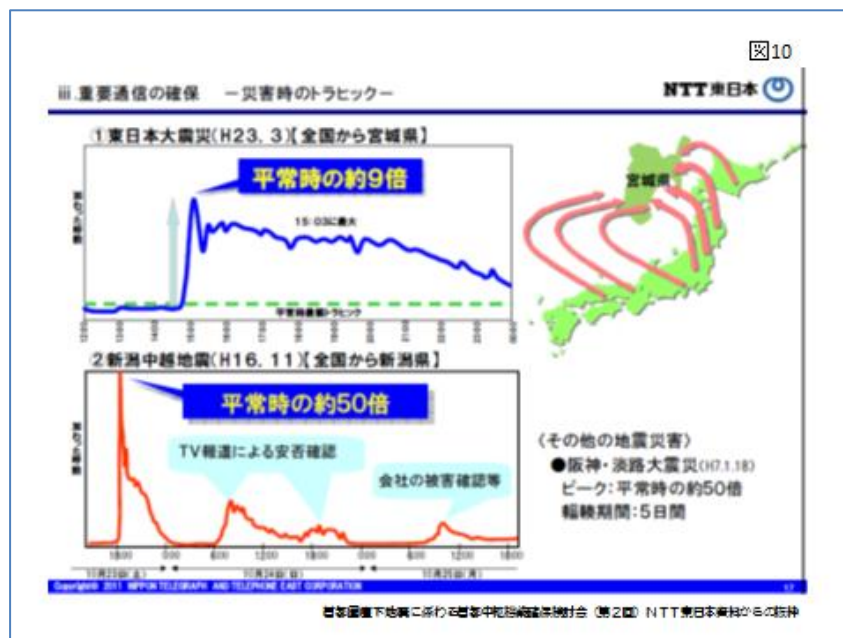
・今回の災害で将来のネットワーク設計の上で認識された重要なことは次の4点である。

(1) 大津波に対し防御する方法はない

(2) 震度7の地震に対し通信施設の中で建物自体は殆ど被害がなかった。

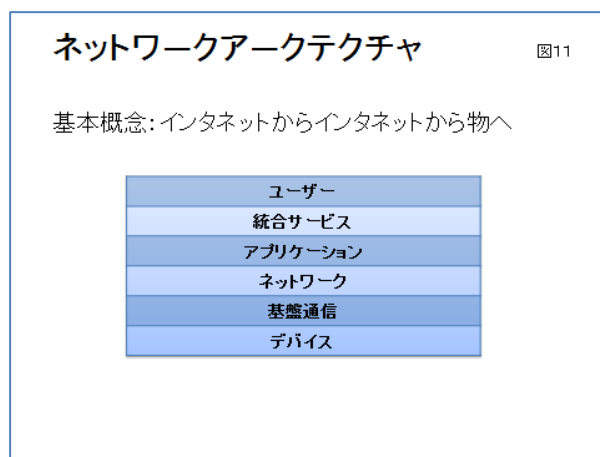
(3) 地上系の回線には多くの被害があった。

(4) この災害時には通信系に対して通常の50倍を超すコールが発生し、要求された通信処理はできなかった。



## IV ネットワーク・アーキテクチャの設計

基本となるアーキテクチャは図 1 1 のとおりである



このアーキテクチャで特徴的な構造は新しく二つのレイヤーを設定したことである。

それらがユーザーレイヤーと統合サービスレイヤーである。

このアーキテクチャは今後 Internet が Internet to Thing に進化する段階の一つのモデルとして考えられる。

### 1 ユーザーレイヤー

災害時におけるユーザーの概念は通常時と大きく異なる。

被災者となった個人はそれぞれ自由にいろいろな避難所 (Shelter) に移動する。

このため、ユーザーとしての単位として新しく Shelter を定義する必要がある。

この Shelter 自体は個人の集まりであり、この内容は常に時間とともに変化してゆく。

即ち Shelter はダイナミックに変化する

この状況を示したのが、すでに示した避難所における被災者の数の変化の図9である。

このユーザー環境の下で新しくユーザーレイヤーの論理構造を定める必要がある。

### 2 統合サービスレイヤー

災害時にはすでに述べたとおり、多くの Shelter、また自治体、NPO 等の多くの支援組織が創出される。

夫々の組織は活動に必要な多くの情報をそれぞれ独自の立場で構築してゆ

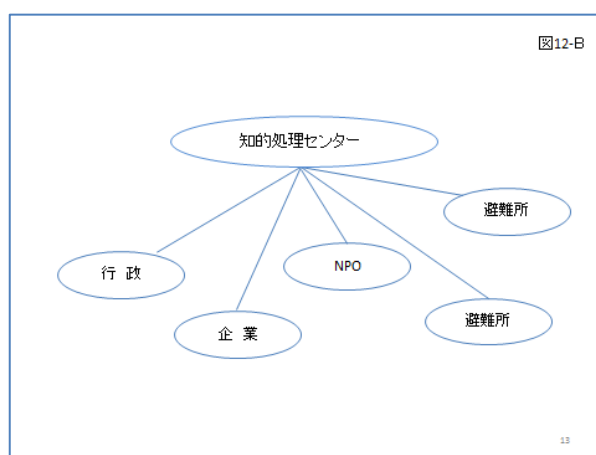
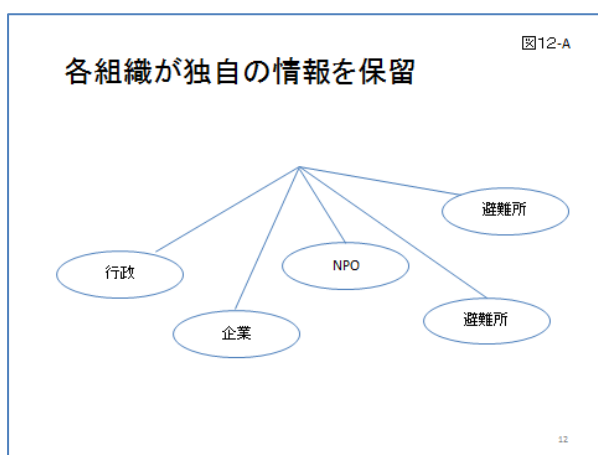


く。

これ等の情報はすべて各組織で独立であるため、データ構造、通信のためのプロトコル等も独自のものとなっている。

このためこれ等の情報は各組織の情報としては有効であるが、被災地域の大局的かつ効率的な支援活動に活用するためには更なる新しい手段が必要となる。

このためには、各組織の情報を一つに改めて組織化し、より高度な支援のための統合情報処理センターを図12のように構築することが不可欠である。



さらにここで集積された情報を活用すれば、災害復旧の上でも重要な情報を提供することが可能となる。

具体的には災害地の情報をもとに通信系、ロジスティクス系、電力系、交通システム系等現時点での情報の統合により、リアルタイムで高度な支援プログラムの構築が可能となる。

このレイヤーの機能を実現するための基盤技術は複数の異種の情報システムの統合を可能とする共通プラットフォームの設計と実装技術である。

また、このプラットフォームの構築のためにはオープンプラットフォームの研究開発が必要となり、これは災害クラウドシステムの一つの重要なコンポーネントになる。

## V 新しい災害に強いコミュニケーションシステム構築のための研究課題

我々は本大震災の経験から、現在活用しているコミュニケーションシステムが  
いかに脆弱であるかを学んだ。

この経験から災害に強いシステムを構築するための具体的な重要な研究課題を  
策定しなければならない。

当然策定のためには十分な調査研究が必要となるが、以下ではこの中で現段階  
で代表となる研究課題を各論理レイヤー毎に示す。

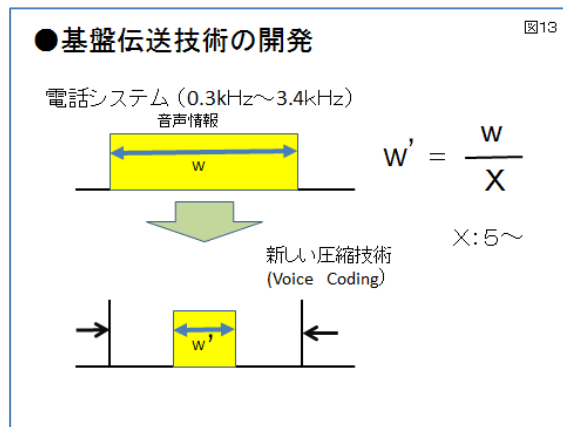
### 1 通信基盤のレイヤーにおける研究課題

第 1 の研究課題は図 10 に示すような数多く発生する多様な通信トラフィック  
を確実に相手に伝えることのできる技術の開発である。

このためには次の二つの研究課題があげられる。

#### (1) 輻輳するトラフィック環境に適応したベーシックな通信方式

発生した膨大な通信要求を成功させるために、一つの呼が必要とする通信容量  
を大巾に少なくし、しかも最低の通信品質を保証できる通信方式の研究である。  
その状況を示したのが図 13 である。

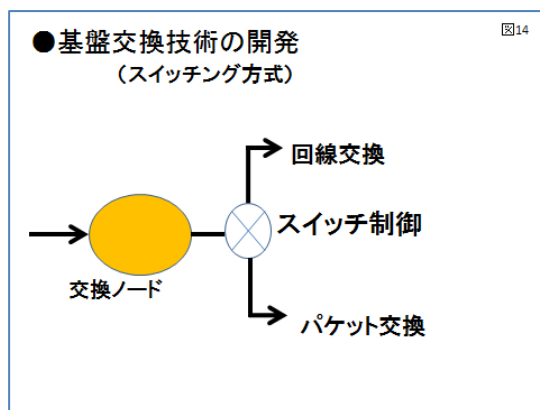


この研究は有線、無線の両通信方式について研究開発が行われる必要がある。

#### (2) 輻輳時における適応的トラフィック制御方式

災害環境下では、すでに述べた如く予想のできない程の多数のトラフィックが  
発生する。当然この呼の処理を実時間通信処理を行うサーキット交換方式で処  
理することは不可能である。

大規模な輻輳環境に対応できる方法として考えられるのが交換方式としてパケ  
ット交換方式とサーキット交換方式の二つの方式を適応的に制御して併用する  
ことである。即ち緊急性の高い呼のみをサーキット交換方式で処理し、他はす  
べてパケット交換方式で処理することである。当然ネットワークが大規模の呼  
の発生を処理できない時には全体の呼の制限も当然必要となる。



当然、呼に対し、二つの方式の切り分けのアルゴリズムは重要な課題である。特に入力した呼の中から緊急度の高い呼の選出方法の研究は重要となる。また、パケット交換方式においては情報を損はない情報パケットの蓄積と、できる限り時間遅れの少ない送受信方式の研究開発が重要である。

### (3) 個別電話機への電力供給方式の研究

今回の災害では多くの電話機が IP 電話に移行し、このため電力の供給が停止した瞬間から、電話機はその機能を失った。

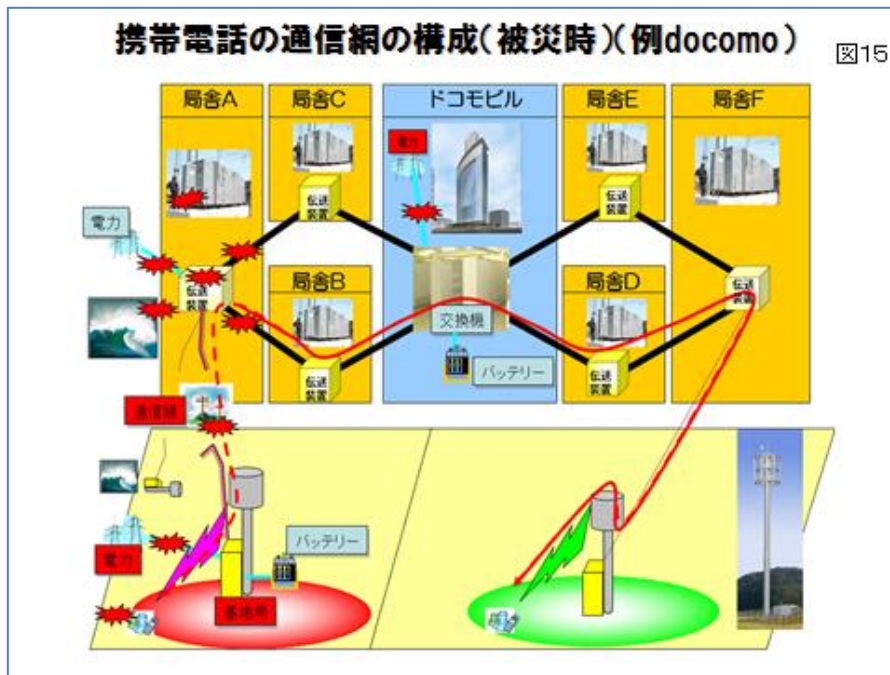
一方、旧式の電話系では電話機の通話のため電力は電話局の電源が対応している。このため回線の障害がなく、電話局が健全であった通信系では災害時でも十分に通信が確保できた。

このため IP 電話に新しい小電力のバッテリーをルーターに搭載することができれば通信系は十分に機能することができる。

このような新しい通信機器の研究・開発は重要となる。

## 2 ネットワークレイヤーにおける研究課題

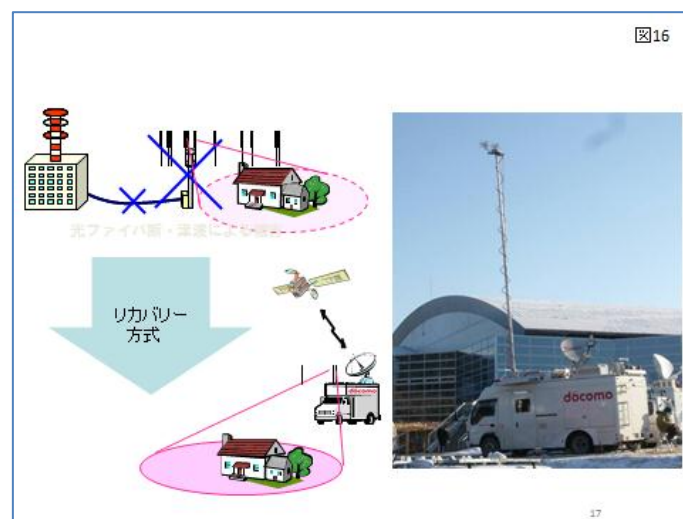
災害時には通信系ネットワークの多くの部分が損傷し、図 15 で示す如くネットワークの一部または全体が不全となる。ネットワークをできる限り早く回復させる問題を解決する重要な研究課題は次の二つである



(1) 障害部分を取り除きネットワーク全体の機能を復元するネットワーク再構築のアルゴリズムの研究

災害時には地上の状況が大きく変化し、地面のずれを始めとする多くの障害が発生する。このためケーブルの切断、交換局の破損等により、ネットワーク全体の機能が不全となる。

この環境下で有限の資源、例えばマイクロ波電装装置、衛星通信機器等が必要となる。

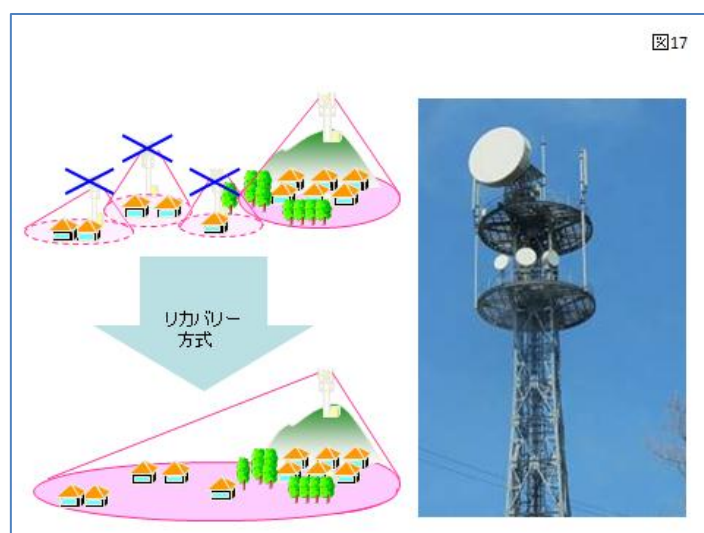


更には他のキャリア等、また自治体等のネットワークとの連携の機能を考える

ことが重要である。これにより地域全体の資源を有効に活用し、できる限り速やかにネットワーク全体の機能を復旧させる総合ネットワーク管理の研究は重要である。この中心となるものがネットワーク再構築の最適アルゴリズムの研究である。

このアルゴリズムのベースは複雑系を対象とした組み合わせ理論であるが、これを解くためには多くの制約条件が当然入る。この制約条件には物理的制約条件の他に法的、経済的、及び組織間の調整を含めた色々な条件も加味されなければならない。

一方、復旧時において通信系の機能の変更により一部のネットワークの再構築が可能となる。例えば、図17に示すように、携帯通信系のベースステーションのアンテナの特性を変更し、サービスエリアを拡大させることにより、ネットワークの再構築が可能となる。



このような新しい自動運転の機能を機器に追加することも有効な手段である。改めて通信系の新しい機能追加の研究も重要である。

## (2) 輻輳したトラフィック発生環境下での各ノードの通信容量の動的最適分配方式の研究

災害時においては既に図10に示したように通常の数十倍のトラフィックが発生する。

この発生したトラフィックを通常のネットワーク管理方式で対応することは困難である。このためにはサーキットスイッチング、パケットスイッチングに対応する夫々の呼の発生状況を常に観測し、呼の発呼規制を含め各ノードから複数の次のノードに至る通信容量をダイナミックに変更し、ネットワーク全体として最適なスループットを達成するネットワーク管理システムの研究が重要である。

## VI アプリケーションレイヤー

今回の大震災時には数多くの異なるネットワークの利用者からアプリケーションコンテンツに対し、数多くの要求が発生した。これらの要求を十分に整理し、その要求を満足するアプリケーションコンテンツを開発することは極めて重要である。現時点における要求度の順にその要求コンテンツを列挙する。

(1) 災害時における被災者及び災害と関係ある人々の安否を早急かつ確実に確認する機能及び同時に被災者の現在の状況を完全に把握する機能。

これらの機能を次に述べる Shelter に対してのアプリケーション層に実装、実現する研究開発は不可欠である。

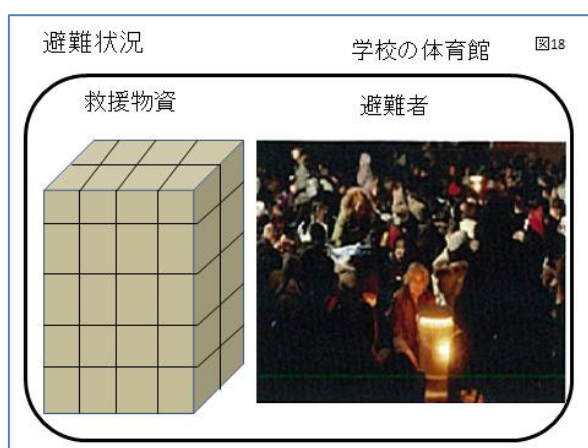
(2) 被災者に多くの支援機関からの支援に関するすべての情報を一元化し、必要な情報を適確にそれぞれの組織及び被災者に伝える機能。

それらは例えば水、食料、電力サービス、医療サービス、コミュニケーションサービス、交通サービス等の提供に関するダイナミックなスケジュール情報である。

更には重要なものに自治体、NPO 等の具体的な内容の支援サービスプログラムの情報がある。

また、これ等の情報を被災者に届ける具体的なメディアの提供も被災時の状況の中で、同時に考えなければならない。

(3) 送られた支援物資を効率的に被災者に届ける管理システムの開発  
特に支援者と被災者との間での十分な供給と要求のバランスを十分に確保することは被災者にとっては大変重要であることが今回の震災で明確となった。この機能がないと図 18 に示すような事態も生まれる。



(4) 被災者から提供された個人情報を実際に高いレベルのセキュリティで蓄積し、活用する技術

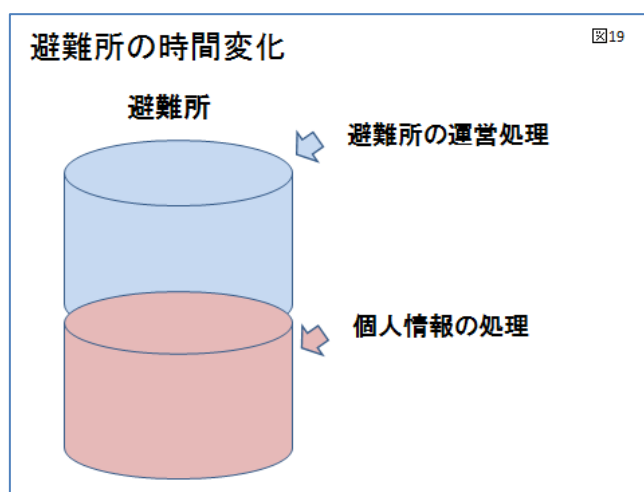
## Ⅶ 総合サービスレイヤー

災害発生時には数多くの Shelter に人々が集まり、それに対応する支援組織が立ち上がる。支援組織としては種々の NPO、自治体を始め多くの組織があり、夫々の組織は独自の情報システムを構築する。しかしながら、各組織の情報は統一された形ではなく、独自の方式の下で種々のメディアを通して発信される。もちろん夫々のドメインではそれらの情報は十分に活用されている。しかしながら、総合的なしかも有効な支援環境を構築するためには夫々の組織の情報を一元化し、効率の良い総合的な支援環境を構築しなければならない。このためにはオーブンプラットフォームの研究開発は重要となる。具体的には総合的情報センターの構築が不可欠である。

この統合された情報センターはすべての支援活動の中心的な存在となる。このセンターは異質の情報環境下で立ち上がる災害クラウドシステムでもある。

## Ⅷ ユーザーレイヤー

震災時におけるユーザーの定義は通常の場合のユーザー定義とは大きく異なる。震災時には多くの人々が被災をし、被災者は公式のまたは非公式の避難所（以下 Shelter）に避難する。この Shelter が重要なユーザーの中核となる。しかしながら、このユーザーの状況は既に図 9 に示す如く時間とともに急速に変化する。この状況の下でユーザーレイヤーにおいての重要な課題は Shelter の論理構造と必要とされる機能を明確に定式化し、詳細な実装の方法を考えることである。Shelter は論理的には図 19 に示す通り、二つの階層に分けられる。



Low の階層は各個人の被災者と Shelter との情報授受を支援する層であり、また各個人情報の集積を必要とする。

Top の階層は外部との情報支援、Shelter 全体の Management を支援する層である。

以上述べたことを整理するとユーザーレイヤーにおける研究課題として次の 3 つがあげられる。

- (1) Shelter の論理表現と必要とされる機能の明確化とその実装
- (2) 被災者と Shelter の Low 部分に対応する機能を果たすため高齢者にとって使いやすいユーザーインターフェースの開発
- (3) 独立した Shelter を支援する各外部環境との密な情報の相互流通のためのアーキテクチャ

なお、このユーザーレイヤーの考え方は今後 Internet が Internet to Thing に発展する段階の一つのモデルとなる。



## Ⅸ 今回の大震災を通して得られた重要な教訓

(1) 孤立した Shelter をつなぐ Internet の環境整備は必ずしも容易ではなかった。

(2) Shelter にいる多くの人々は高齢者が多く、Internet を始め IT 環境に対応できる人が少ない。このため PC の提供にも消極的なケースが多く見られた。

(3) Internet で被災者に提供される情報は直接 Shelter がそれぞれ持つ環境に必ずしも合わず有効でなかった。

被災者にとって重要な情報はそれぞれの被災者に特化した情報である。

Internet はそれらの個別情報を必ずしも十分に提供できなかった。

これを解決した方法の一つが、図 20 に示す小規模 FM 放送局と簡易ラジオの提供であった。



(4) Internet の利用者に対しては当然 Internet は安否確認を始め、情報交換の上で大変重要なメディアとなった。

(5) 地域コミュニティにおける IT 環境の整備と人材育成は今後も重要な課題である。

## X 復興事例

### NTT docomo の復旧のプロセス<sup>(1)</sup>

復旧の流れを整理すると次の5つに分けられる。

第1が被害状況の調査と内容の把握。第2が復旧のプロセスのガイドライン。第3が復旧に投入された人的、物的リソース。第4が復旧作業の実際の内容と投入された通信機器。第5が最終結果である。

#### 1 被害状況の調査

- (1) 97の基地が津波によって完全に破壊され、他の97の基地も破壊された。
- (2) 140の基地が光ケーブルの切断事故により機能を停止した。
- (3) 4900の基地は被害を免れ、停電でも装置内のバッテリーの使用により約3日間は機能を継続した。しかしその後電力系の停電により、多くの地域で完全に機能を停止した。

#### 2 復旧のプロセス

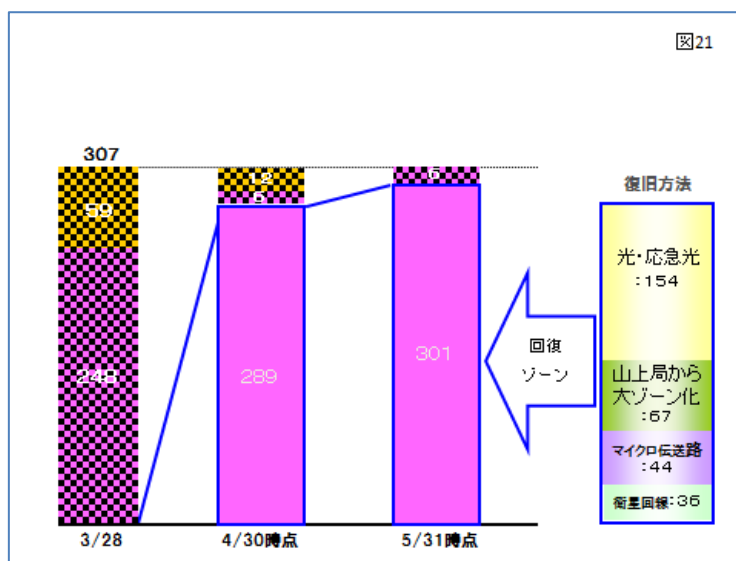
(1) 復旧に向けての基本方針が3月28日に決定された。内容は次のとおりである。

- (a) 5月末までに損傷を受けた307の基地局を修復する。
- (b) 4月末までに原発の被災地域の損傷を受けた51の基地局を修復する。

#### (2) 実際の復旧のレコード

- (a) 289の基地局が4月30日までに修復された。
- (b) 301の基地局が5月31日までに修復された。
- (c) 原発被災地域の51の基地局が4月30日までに修復された。
- (d) 6の基地局は道路が不通のため、5月末までには修復されなかった。

この状況を示したのが図21である。



### 3 復旧に投入された資源

#### (1) 人的資源

全体として 4,000 人が復旧に投入された。仕事の内容は以下のとおりである。

(a) 2,300 人が実際の被災地の復旧作業に従事した。

(b) 1,700 人がロジスティック支援を含めた後方支援に従事した。

#### (2) 物理的資源

(a) 可搬の 10 台の衛星基地局が 30 の異なる孤立地域で作業スケジュールに従って活用された。その一例が図 16 である。

(b) 可搬の 21 台の基地局が 31 の異なる孤立地域で作業スケジュールに従って活用された。

(c) 可搬の 30 台の電源車が 64 の孤立した地域で作業スケジュールに従って活用された。

### 4 復旧作業の内容

1) 154 本の光ファイバーの修復

2) 孤立地域への結合のため、44 のマイクロウェーブ装置の活用

3) 高台に設置された基地局の送信系アンテナの方向性の制御

この制御によって、図 17 で示した如くより広いサービス領域がカバーでき、孤立した通信領域がカバーされた。

### 5 最終結果

NTT docomo の復旧プログラムは 5 月末までに予定の 98% の復旧を完了した。

この全体の流れを示したのがすでに示した図 2 1 である。

### NTT 系システム全体の復旧のプロセス

以上述べたのは NTT docomo の復旧の概要である。

NTT グループの全体の復旧の流れを時間とともに詳細に示したのが図 2 2、図 2 3 である。

図22

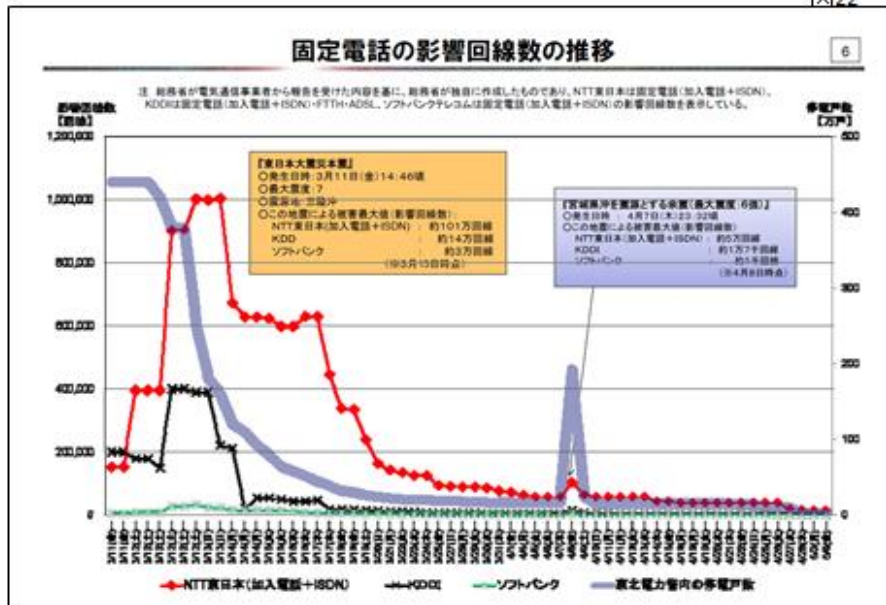
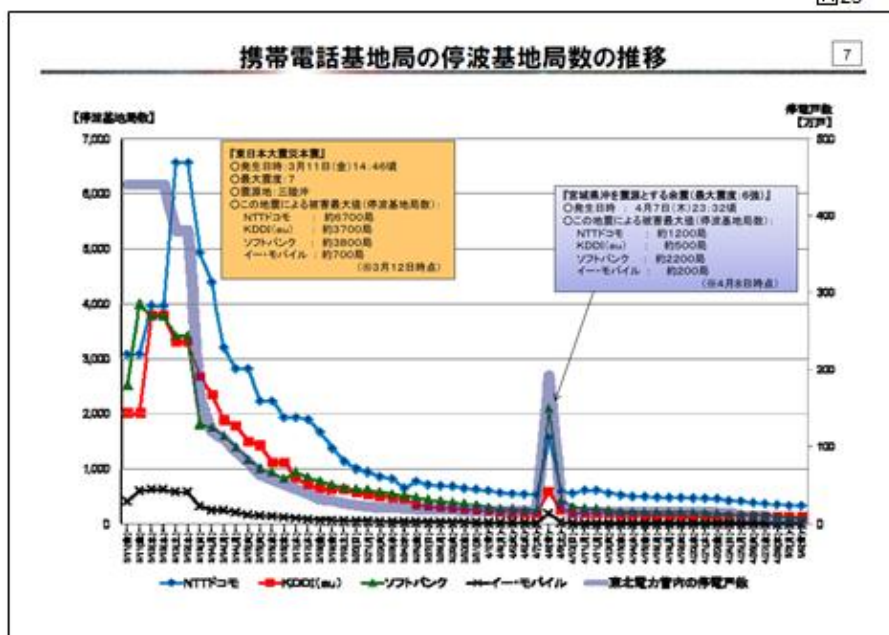


図23



この図からわかるように復旧の中で2回目に生じた4月7日の大地震による被害の状況もよく把握できる。  
 結論として、NTTグループの復旧への積極的な努力が十分になされたことにより、予想よりはるかに短い期間で復旧を終了することができたことが理解できる。

## 結 論

東日本大震災は現在我々が日常利用している社会インフラがいかに脆弱であるかを明確に証明した。

この教訓から特に社会インフラの中で重要な位置を占めるコミュニケーションシステム構築の今後の課題について多くのことを学んだ。

結論としては災害時でも我々の日常生活を守り、社会生活に必要とする機能を十分提供できるロバストなコミュニケーションシステムの構築問題の解決がいかに重要であるかということである。

この問題解決のための最も重要な課題は第 1 段階として、今回の震災の下で現在我々が使用しているコミュニケーションシステムにどのような本質的な問題があったのかを技術的問題だけでなく広い立場から徹底的に調査研究することが不可欠である。残念ながら、現在このような発想に基づいた総合的な調査研究は行われていない。今後、産学官の強力な連携のもとにこのためのプロジェクトを発進させることを強く願うものである。

この総合的な調査・研究から行われれば今後ロバストなコミュニケーションシステムを構築するための広い立場からの多くの知見が得られ、これをもとに新しいコミュニケーションシステム構築の基本方針がより明確に示せることになる。同時にこの成果は今後我が国で発生する可能性のある多くの災害に対処できるコミュニケーションシステムの構築の問題解決に大きく寄与することができる。

## 謝 辞

本報告をまとめるに当たり、いろいろな資料を提供していただいた NTT グループのメンバーに厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- (1) NTT docomo : 東日本大震災:被害及び復旧状況と新たな災害対策