

特別講演

レジリエントなICTの実現を目指して

東北文化学園大学工学部教授
情報通信研究機構（NICT）R&Dアドバイザー

工学博士 鈴木陽一

講演者略歴

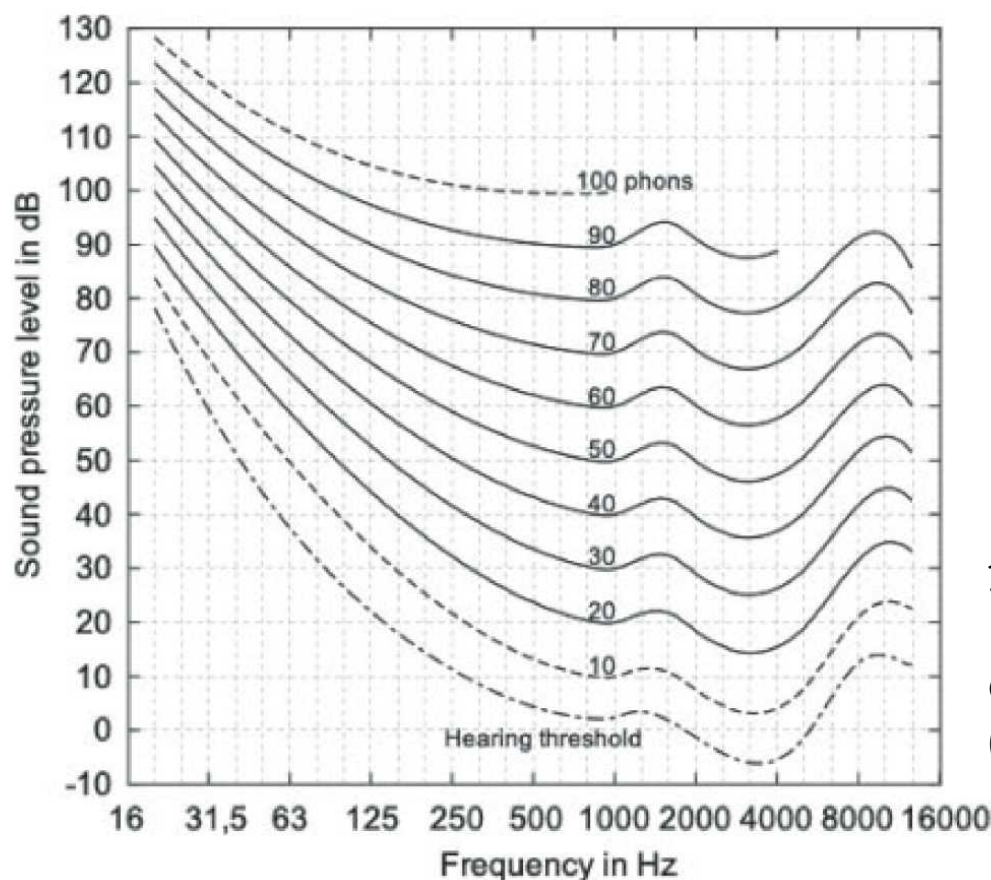
- 1954.1 両親が生まれ育った会津若松の行仁町生まれ
 - 仙台で育ち，高校はアマチュア無線・オーディオ・SF三昧
- 1981.3 東北大学大学院工学研究科博士課程後期課程修了
 - 工学博士 「音のマスキングに関する研究」
- 1999.8 電気通信研究所教授 (2019.3 定年退職)
 - ラウドネス(主観的な音の大きさ)など聴覚情報処理過程と，その知見に基づく音情報システム開発研究に従事
 - とくに音空間知覚を多感覚知覚過程と捉えた解明と空間音響技術を推進
- 2011.3 東日本大震災被災
 - 同年6月から、屋外拡声システム高度化に関する研究を開始
- 2017.11 NICT耐災害ICT研究センター長 (2021.3 退職)
- 2021.4 東北文化学園大学工学部知能情報システム学科教授・NICTレジリエントICT研究センター R&Dアドバイザー

今日の講座の内容

- 第0部 自分史 ―東日本大震災以前の研究を中心に―
- 第1部 東日本大震災がICTに与えた教訓
- 第2部 屋外拡声システムの高度化に関する研究開発
- 第3部 NICTを中心とした災害対応ICT実現に向けた研究開発
 - 耐災害ICT研究センターにおける研究活動と成果
 - 災害に耐えるICTからレジリエントなICTへ
 - レジリエントICT研究センターにおける研究活動と成果
- 第4部 災害時・非常時における放送の役割を考える―若い方へのメッセージを中心に―

第0部 自分史

—東日本大震災以前の研究を中心に—



全面改訂された等ラウドネスレベル曲線の国際規格 ISO 226 (2003, 2023)



多感覚知覚としての音空間知覚を考慮したシステム開発

- 広視野角視聴覚・体振動ディスプレイ



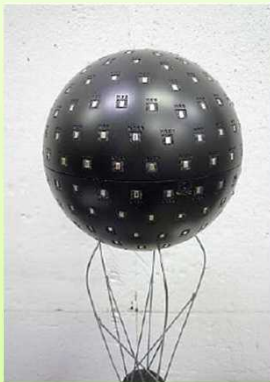
- 3D音空間知覚特性測定用スピーカアレイ



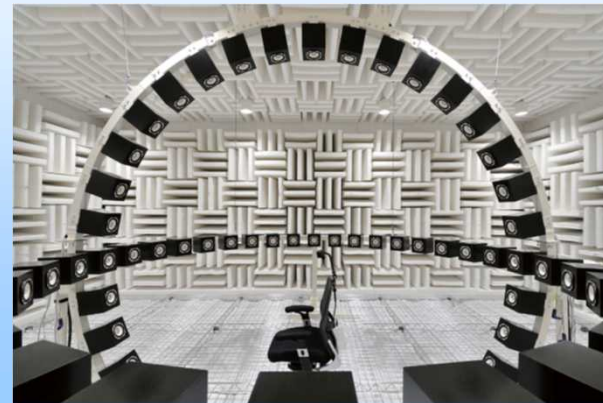
- 頭部運動感応アバターロボット—TeleHead—



- 時空を超えて精密な3次元音空間の記録・再生を実現する球状mcアレイ (SENZI, 千耳)



- 電気通信研究所の無響室に設置された60ch3D聴覚ディスプレイ

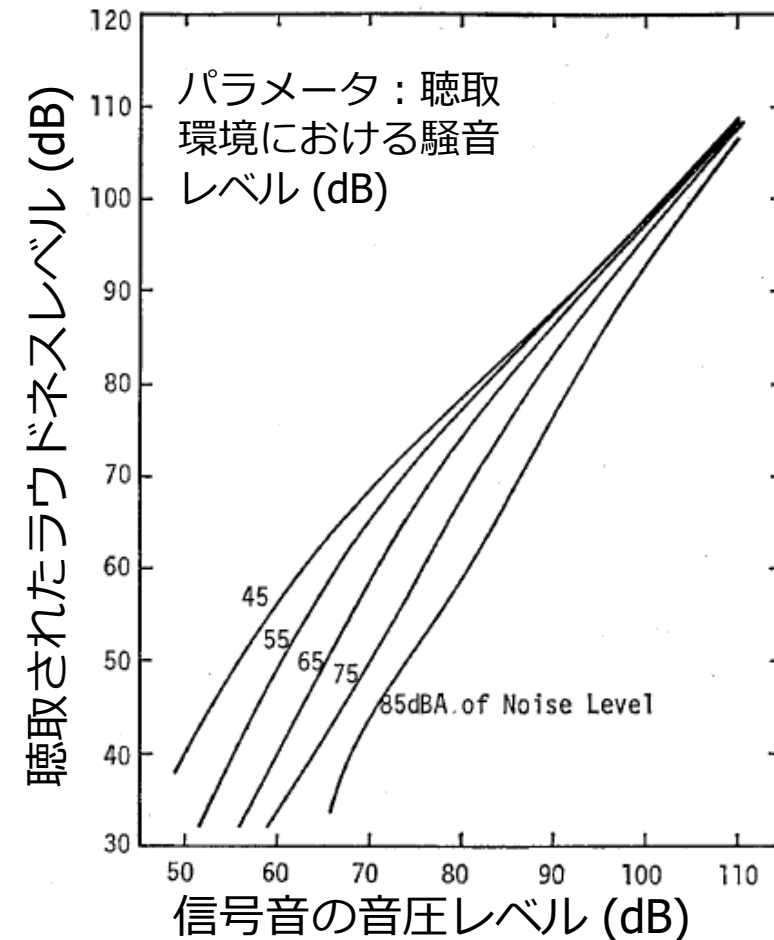


- 世界最高水準の5次HOA (高次Ambisonics) を中核とする3次元視聴覚ディスプレイ



博士論文「音のマスキングに関する研究」

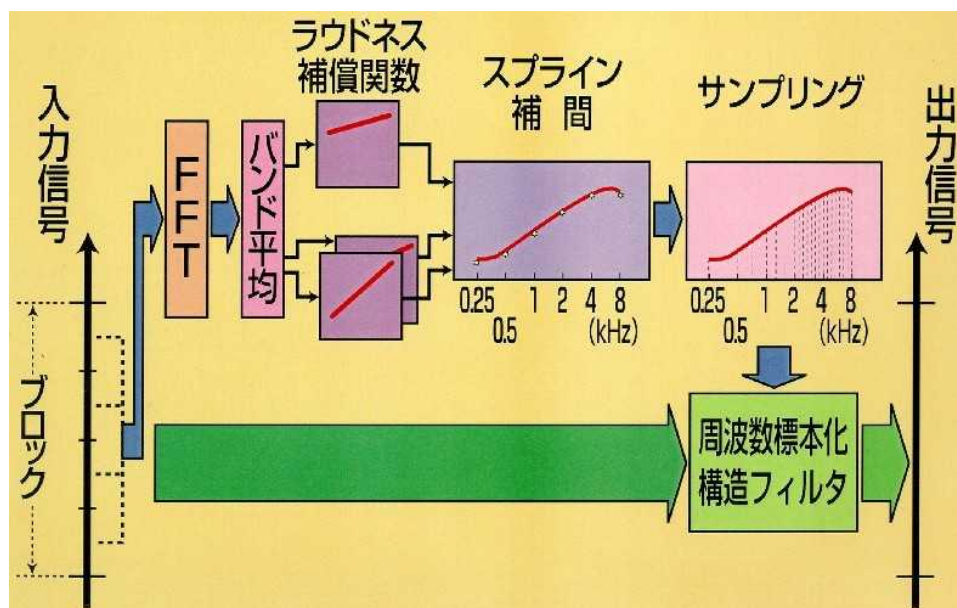
- 車中で音楽を聞く機会が増加
 - しかし騒音の中で音を聞くと目的とする音が聞こえづらくなる
- この現象が「マスキング」
 - マスキングのもとでは聞きたい音の主観的な大きさ (ラウドネス) が小さくなる
 - そのためレベルの上下による音の大きさの変化が急になる (ラウドネス補充現象) →
- そこで、マスキング下のラウドネスへの影響を補うレベル制御や周波数特性を定式化 (特許取得)
- ラウドネス補充現象は、感音性難聴(老人性難聴の典型)が示す聴覚障害と類似！



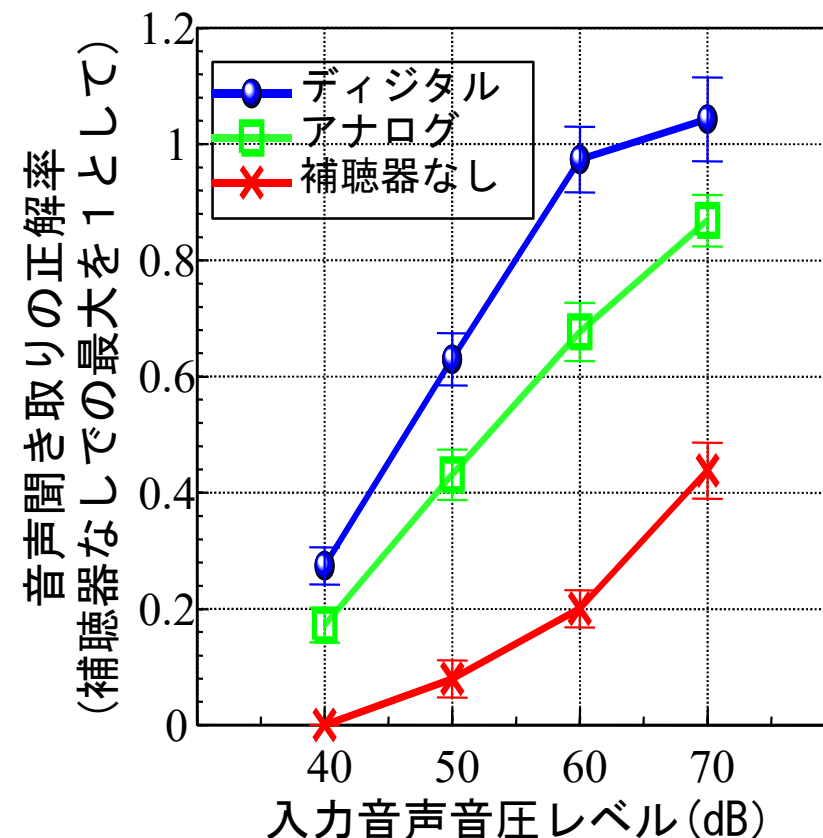
- 騒音中のラウドネス補充現象
 - 縦軸は、騒音がない場合と同じラウドネスとなる音のレベル

ラウドネス補償型デジタル補聴器の開発

- 感音性難聴（老人性難聴）の顕著な症状の一つがラウドネス補充現象
 - ラウドネス補充現象を補償し、健聴者と同じラウドネスで聞こえる信号処理を行う信号処理を開発
 - 東北大学耳鼻咽喉科との共同研究



- シンプルな信号処理と高い性能(↑)が評価され市販へ
 - しかし協業相手の事情で中断



- 日本における音声聴取能の評価は単音節や1～9の数字を使うのが通例
 - 音声理解を正しく評価できるか疑問
- 諸外国では文章や単語など意味のある言葉で評価するのが通例

語彙の難易度を考慮した聴取能評価法の開発



- 音声として意味のある単語の了解度に着目
 - 単語の難易度の統制が重要
- 難易度の評価指標に親密度を選択
 - 親密度は“なじみの程度”を表し、心的辞書をより強く反映した指標
 - 日本語単語に関する大規模なデータベースが存在 (NTT 近藤, 天野, 1999)
 - 新明解国語辞典所載の全単語の親密度を7~1の実数に数値化

■ 単語親密度の例

高親密度単語 (7.0~5.5)

アサメシ
イマドキ
ウチアゲ
オハナシ
カナアミ
.....

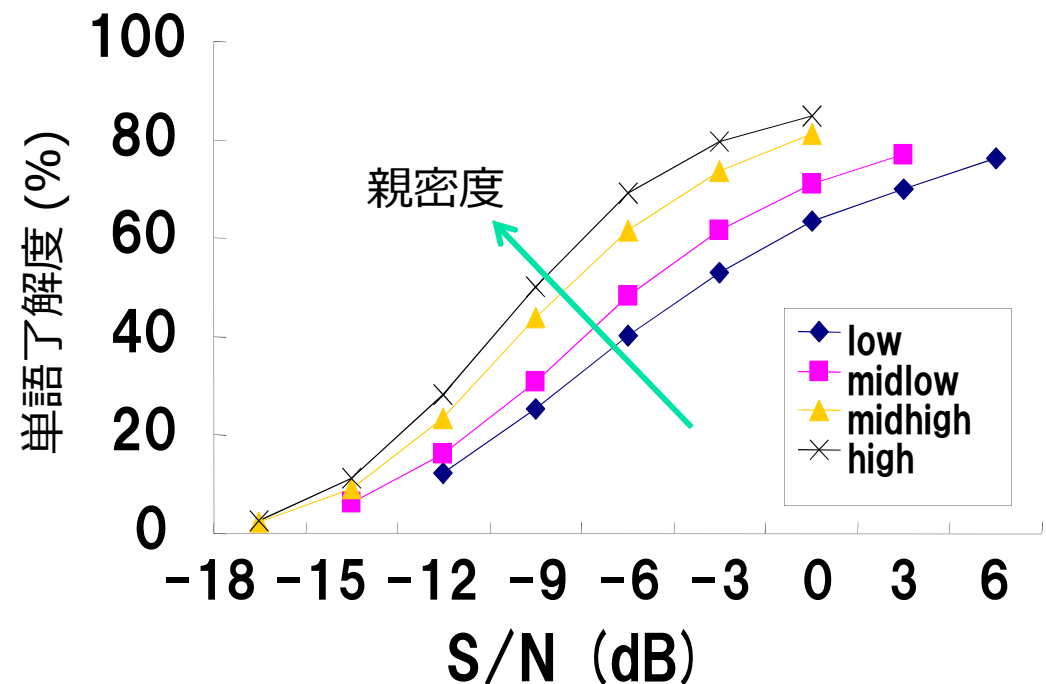
低親密度単語 (2.5~1.0)

アダナミ
イヤサカ
ガイゲン
ドウヤク
ビンカツ
.....

単語親密度を統制した音声聴取能の評価語表

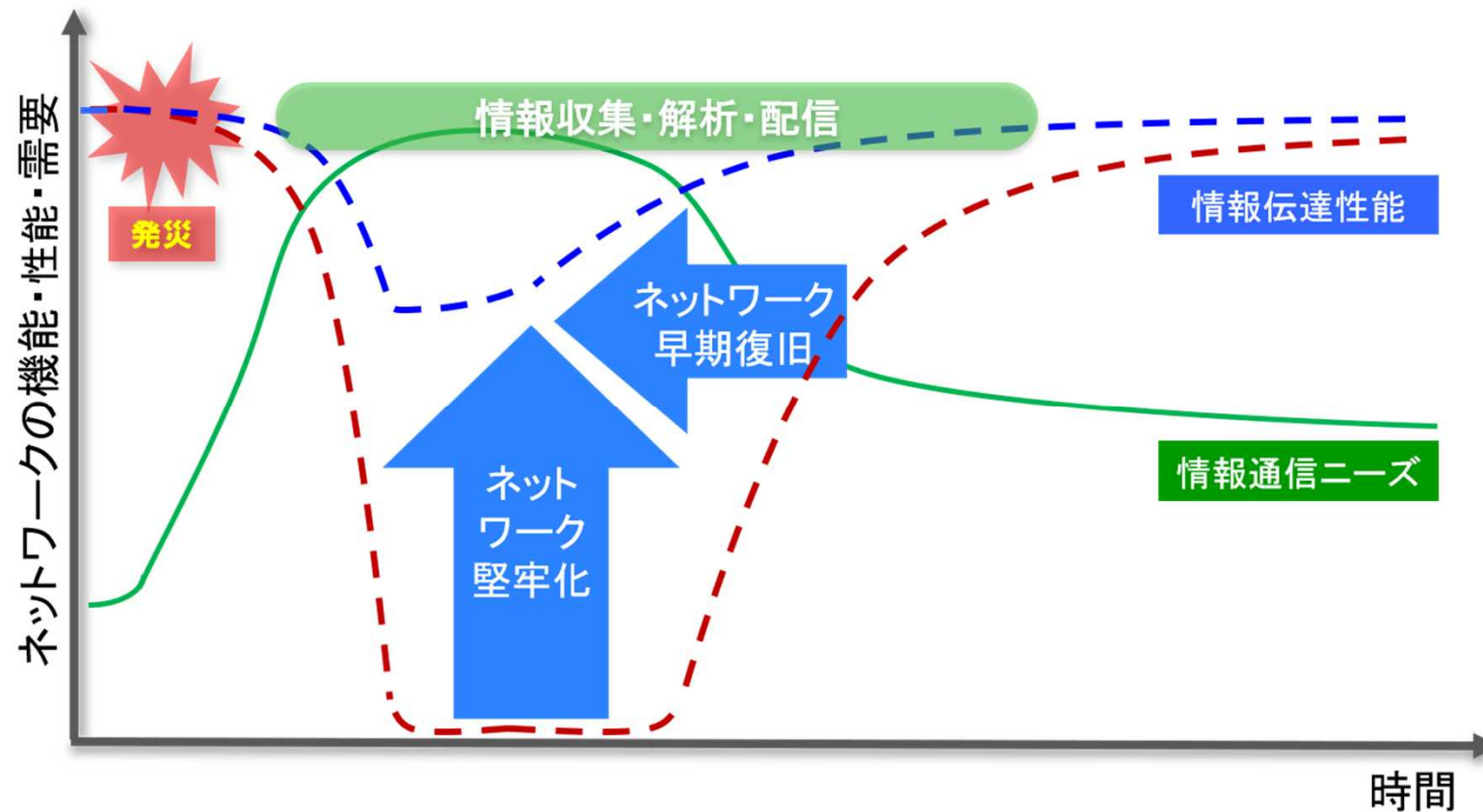
- 「親密度データベース」所載の4モーラ単語を選択
 - 4段階の親密度に分類
 - 2種類の単語表↓を作成頒布
(Sakamoto 2003, 2007)
- NTT・東北大 親密度別単語了解度試験用音声データセット
<https://research.nii.ac.jp/src/list.html>
 - 単語の語表と音声データを国立情報学研究所から頒布
 - FW03 (2003) 研究用
 - 50語/表×20表×4親密度段階
 - FW07 (2007) 臨床用
 - 20語/表×20表×4親密度段階

- 高親密度単語
 - 日常用語の意味理解の程度がわかる
- 低親密度単語
 - 知らない単語の聞き取り度合いがわかる



第1部

東日本大震災がICTに与えた教訓



ICTとは

- Information and Communications Technology
 - 日本語は「情報通信技術」
 - Communications（複数形）は「通信する技術，機関」を意味する
- いまや，ICTは，社会（世界中）のあらゆる機能やサービスを支える社会的なインフラストラクチャ（社会基盤）の一つとなっている
- 社会を生体になぞらえて考えるとき，物流や電力網を血流に例えるなら，ICTは神経系に例えられよう
- そのようなICTが機能不全におちいったら．．．

東日本大震災による情報通信の被害と影響

東日本大震災がもたらしたこと 情報通信システムの障害

- 被害エリアにおける障害
 - ICTの基盤となる通信ネットワークの損傷・破壊
 - 携帯基地局の機能停止：
29,000（主に停電のため）
 - 被害エリア以外の障害
 - 携帯電話の通話量：
通常の50～60倍
 - 通信事業者による通話制限：
80～90%（最大）
- 政府・地方自治体，自衛隊，医療機関，被災地の社会基盤設備関係各社等の通信回線が途絶
 - 被害状況把握に致命的な遅れ
 - 被災者の安否確認情報や生活物資情報等の伝達の支障
 - 被災地との医療情報共有不全により，傷病者対応に支障
 - 避難者（特に高齢者、健康ハ
イリスク住民の）健康影響

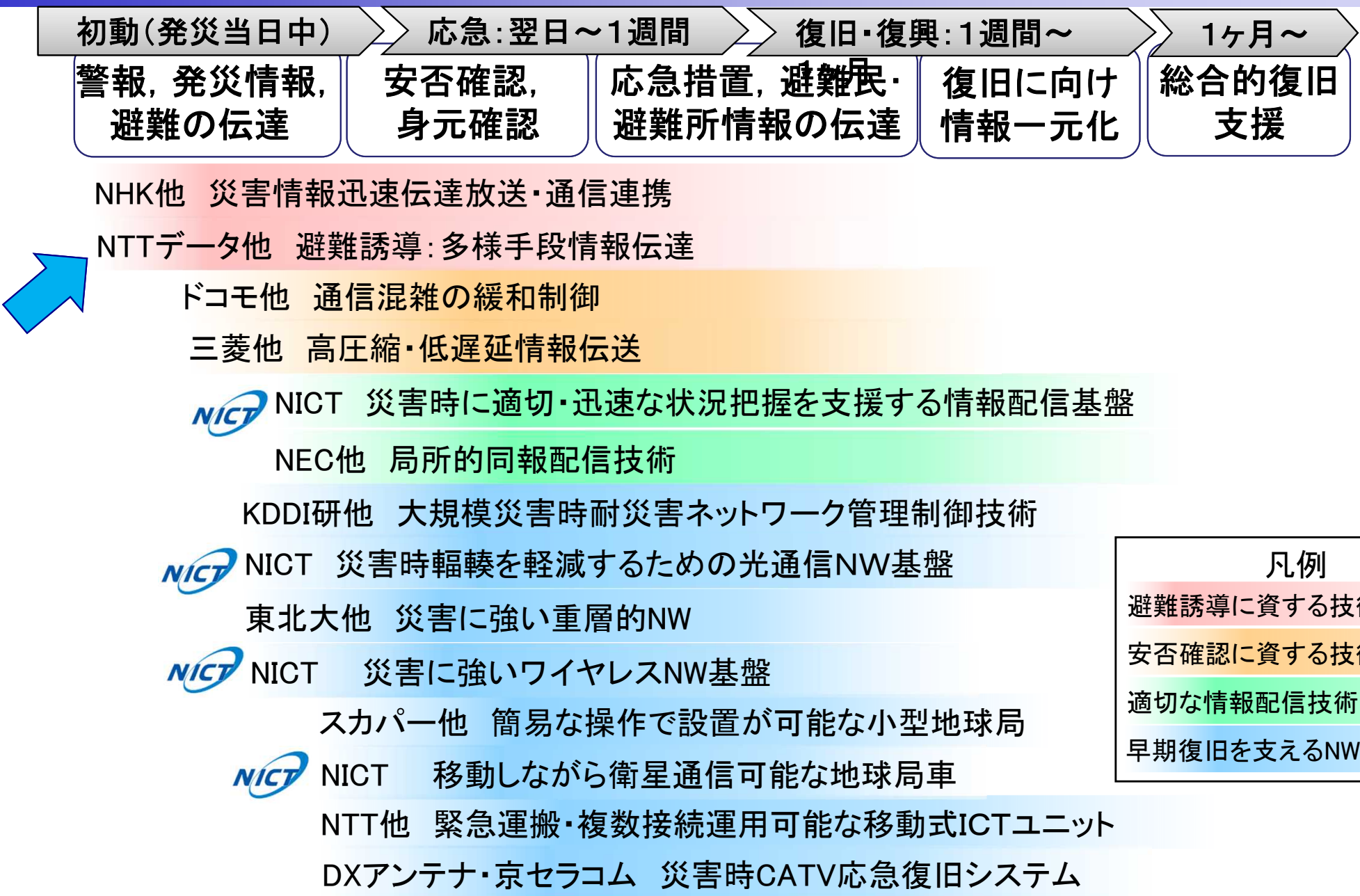


住民の生活に重大な支障が発生



災害時に頼りになる情報通信
インフラの実現が急務に

情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発



第2部

いのちを守る屋外拡声システム

— 屋外拡声システムの持つ問題点と克服技術—

東日本大震災後に開始した講演者の研究



東日本大震災における屋外拡声システムの活用と示された課題

- 防災行政無線（防災無線）
 - デジタルデバインドの心配なしに誰もが情報を受け取れ、全国への普及の広さからも災害・非常時情報伝達の重要システム
- その東日本大震災における活用
 - 大津波警報を聞いた： 52%
 - 防災無線の音の聴取状況：
 - はっきり聞き取れた： 56%
 - よく聞き取れなかった： 20%
 - 覚えていない、他： 24%

20%の市民は内容を聞取れていない！

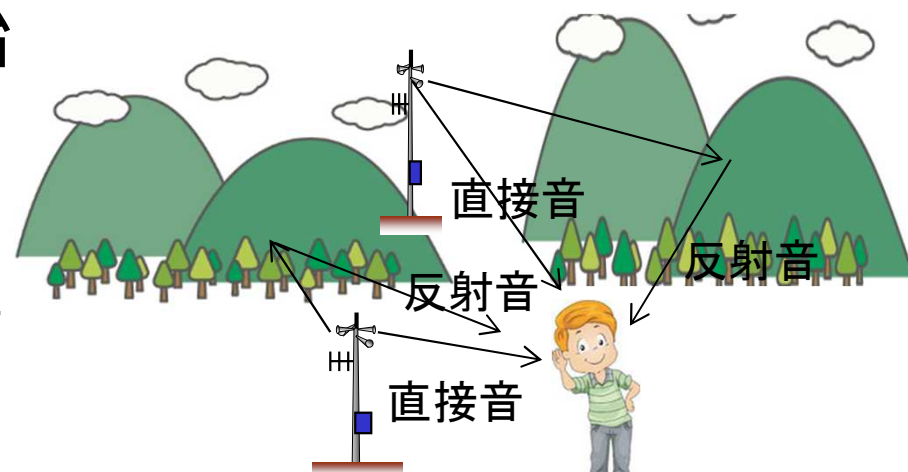


- 災害・情報伝達の多様性確保のためにも改善が必須と考えた



なぜ屋外拡声音で問題がおきたのか

- エコー：同じ音声が2つ以上に分離して聴こえる現象
 - 音声が聴きにくくなったり，音楽の響きが悪くなる
- ロングパスエコー (long-path echo) に着目
 - 屋外では数100 ms 以上遅れた音も到来し，大きな時間差を伴う音声が重なりあうことにより発生
 - しかし，ロングパスエコーによる悪影響の具体像はほとんど知られておらず，都立大学の戸井田博士の研究があっただけ※
- 震災後に気づき直ちに研究を開始
 - 2011.7 東北大学電気通信研究所の予算で研究を開始
 - 2012.3～2013.3 総務省第3次補正予算により更に研究推進
 - その後も科研費等で研究継続



同じ音が，大きな遅れを持って四方から到来 → 聞き取りづらい！

※ [大学・公的研究機関の役割を感じさせられる](#)



複数子局からの音出力混合状況と音声聴取

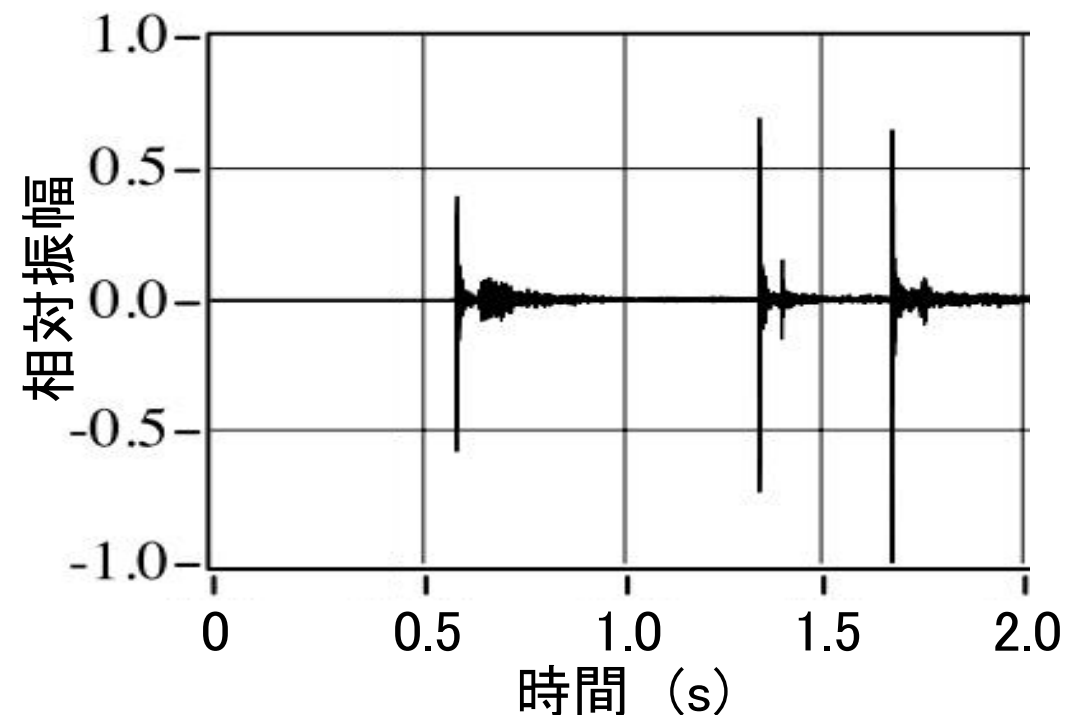
■ 東松島の3子局で測定



■ 3つの子局から同時に音が放射されたときの音の伝搬特性

■ 原音

■ 音伝搬特性を反映した音



ロングパスエコーの音声聴取への影響

- 試験文を提示し正しく回答された割合で評価
 - 試験文：ATR音声データベース所載の文章を利用
 - 文例「茶の湯が日本人の美意識を決定づけた」
 - 屋外実験：東松島市肘曲，仙台市若林区荒浜地区
 - 実験室実験：東北大学，神戸大学



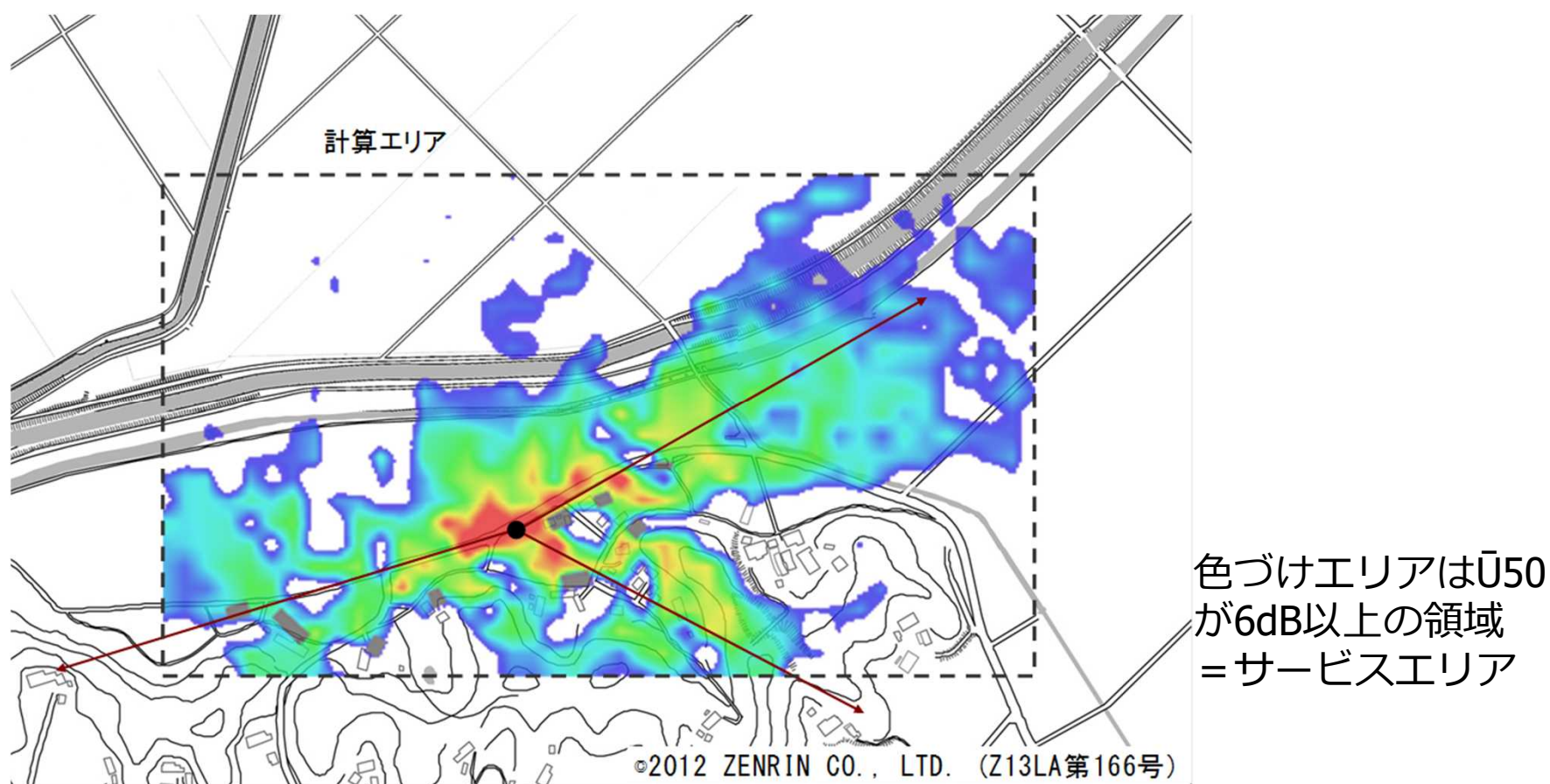
東松島市肘曲



仙台市若林区荒浜

GISと連携した音声伝達サービスエリア推定

- 反射音（エコー）を雑音とみなした評価値 $\bar{U}50$ を用いて音声聴取への影響を評価した
 - $\bar{U}50$ が6dB以上なら良好な音声聴取が可能となる
 - $\bar{U}50 \geq 6\text{dB}$ の領域は十分な音声了解度が得られるサービスエリア



ロングパスエコーに頑健な情報提示法

ロングパスエコー環境下の音声聴取能の改善を目指して

- 難易度を考慮した語彙選択
 - 難しい語彙ほど聴取環境の悪化により了解度が著しく低下する
 - 語彙の難しさを的確に表現して、適切な語彙を選択することが必要
 - 語彙の難しさを的確に表現する親密度の考慮が有効と予測
 - NTT・東北大 親密度別単語
了解度試験用語表により検証
- 音声情報の時間パターン
 - 音声（単語，文章）が長いほど悪影響が増大
 - 情報提示の時間パターンを操作する効果を検証

高親密度単語

(7.0~5.5)

アサメシ（朝飯）

イマドキ（今時）

ウチアゲ（打上げ）

オハナシ（お話）

カナアミ（金網）

．．．．

低親密度単語

(2.5~1.0)

アダナミ（徒波）

イヤサカ（厭さか）

ガイゲン（概言）

ドウヤク（同役）

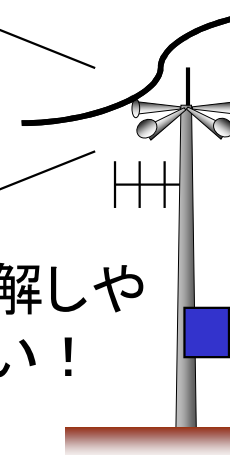
ビンカツ（敏活）

．．．．

XXXX!!!!
YYYYYZZZZZ



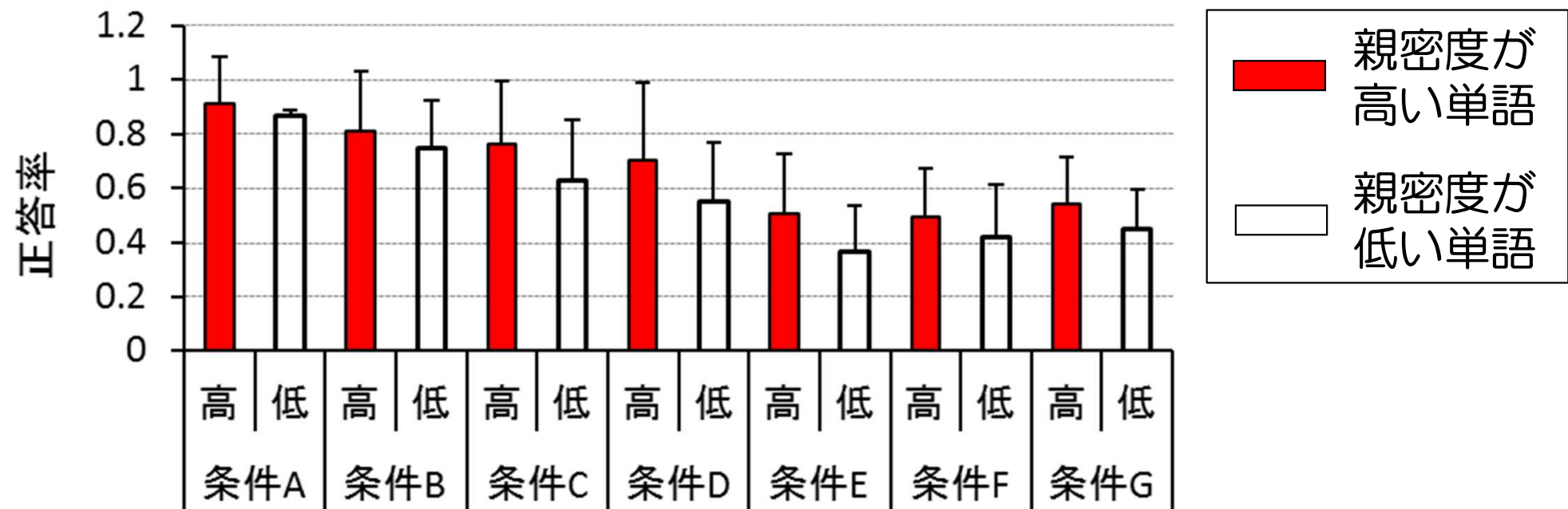
理解しや
すい！



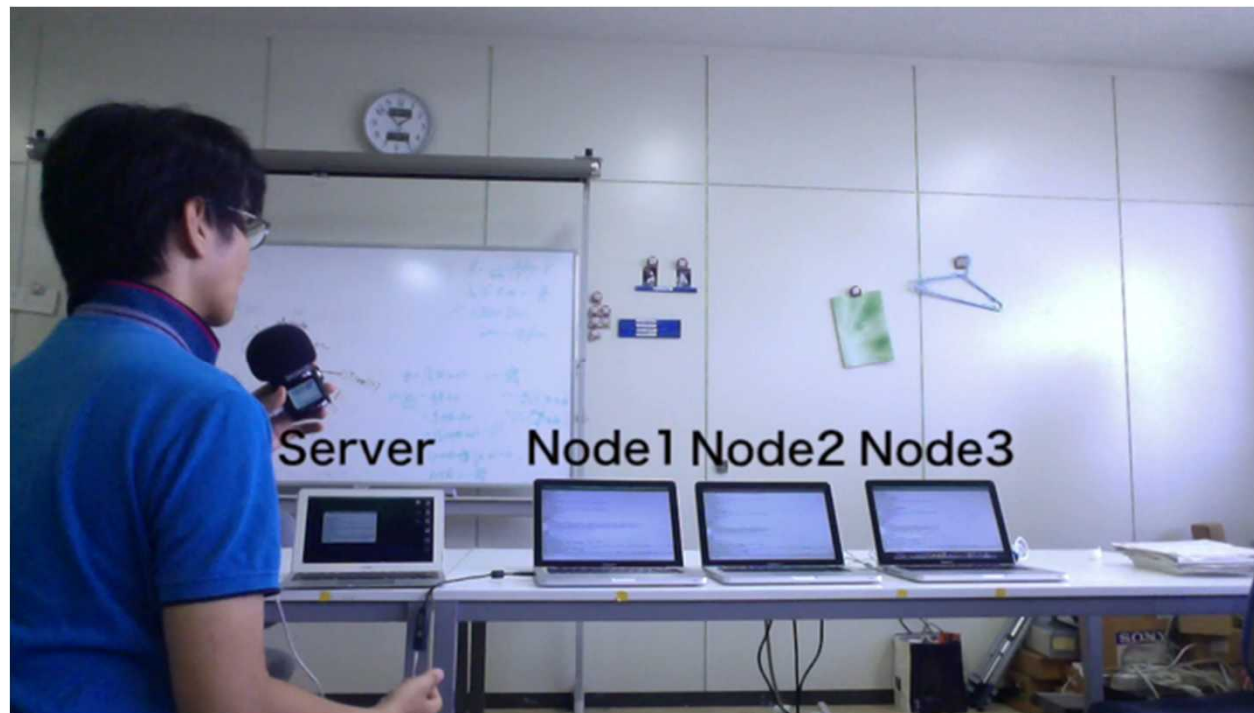
聞き取り
やすい言
葉とは？

音声情報の語彙選択における親密度の効果

- 親密度の高い単語の方が，ロングパスエコー環境において頑強に音声伝達が可能と期待できる
- 実験の結果，親密度が高い方がロングパスエコーの妨害に頑健であることを確認
 - 語彙選定の難易度統制の指標として親密度が有効



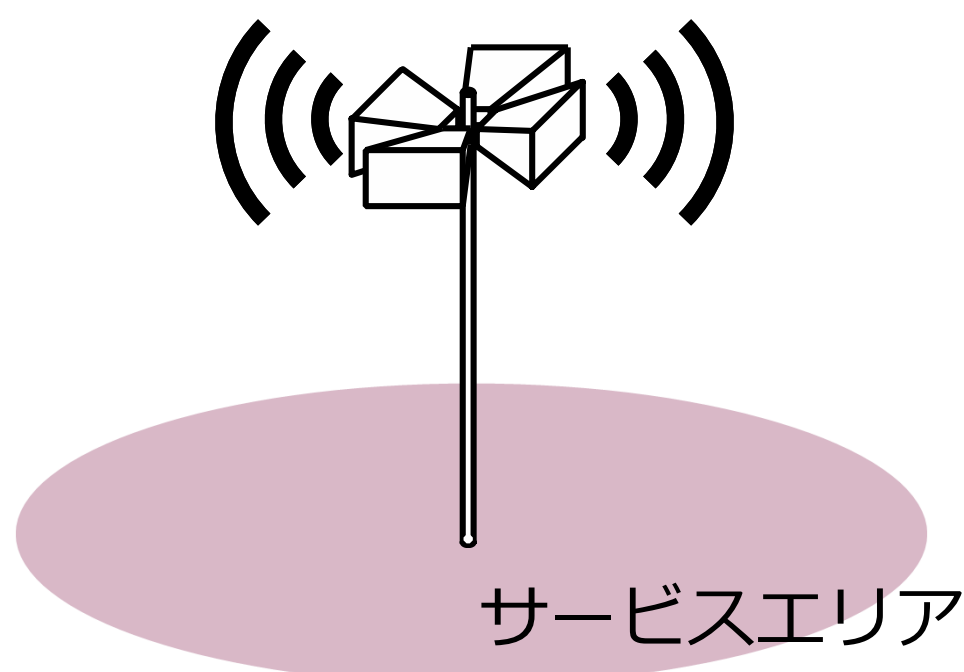
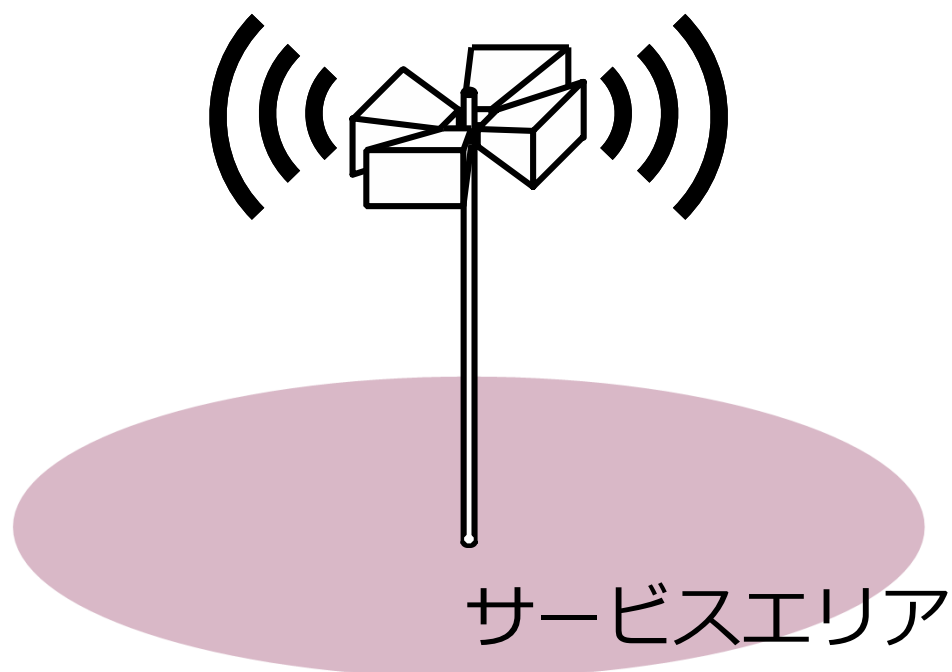
屋外拡声システムの知的な音放射タイミング制御 — 震災以来の共同研究者である菅木教授 (千葉工業大学) のプロジェクト紹介 —



小野口 平, 村上 弾, 菅木 禎史, 電気音響研究 (2014.8)

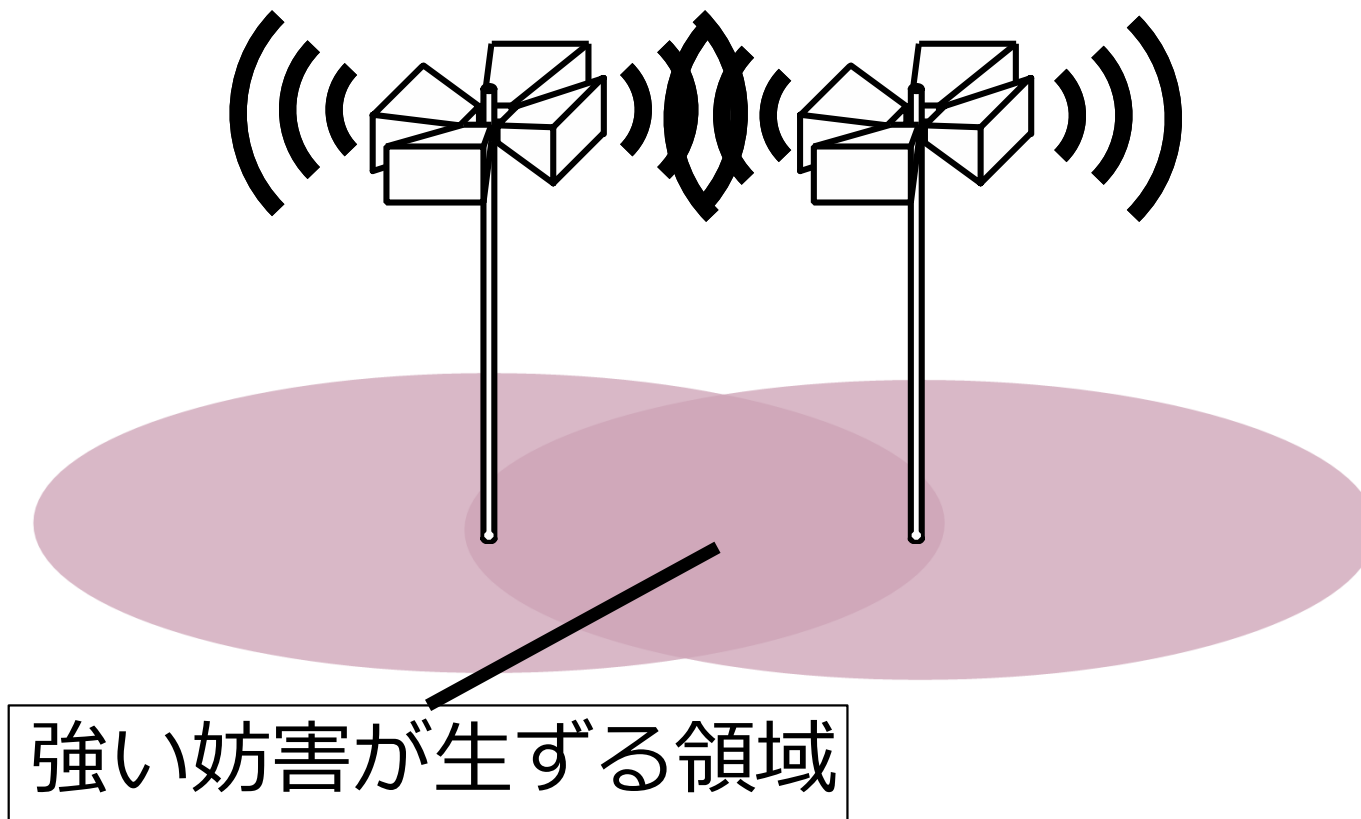
既存の屋外拡声装置による一斉放送の問題点1

- 音の強さは(基本的に)距離の2乗に反比例して弱まる
- ∴ 屋外拡声装置に十分な間隔があれば
 - ➡ 隣接する音の妨害がなく良好な拡声を確保可能



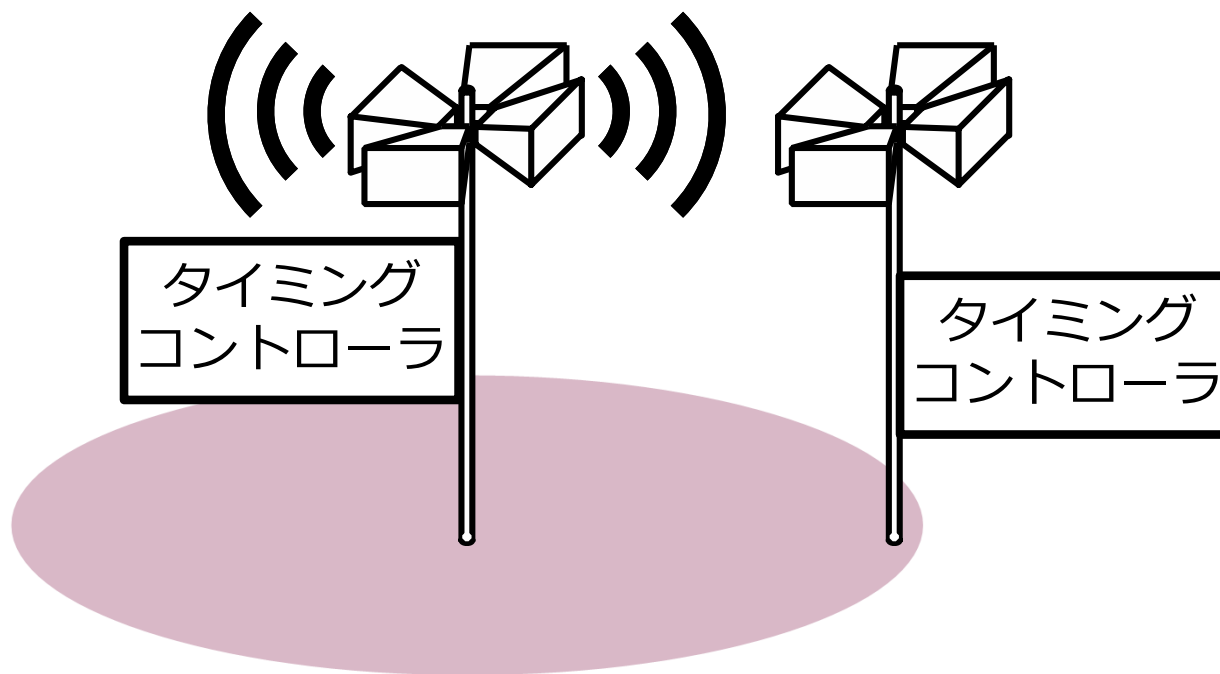
既存の屋外拡声装置による一斉放送の問題点2

- 他方，屋外拡声装置が密に配置されると
 - 隣接する屋外拡声装置の音が妨害音となって音声の聞こえを大きく阻害する



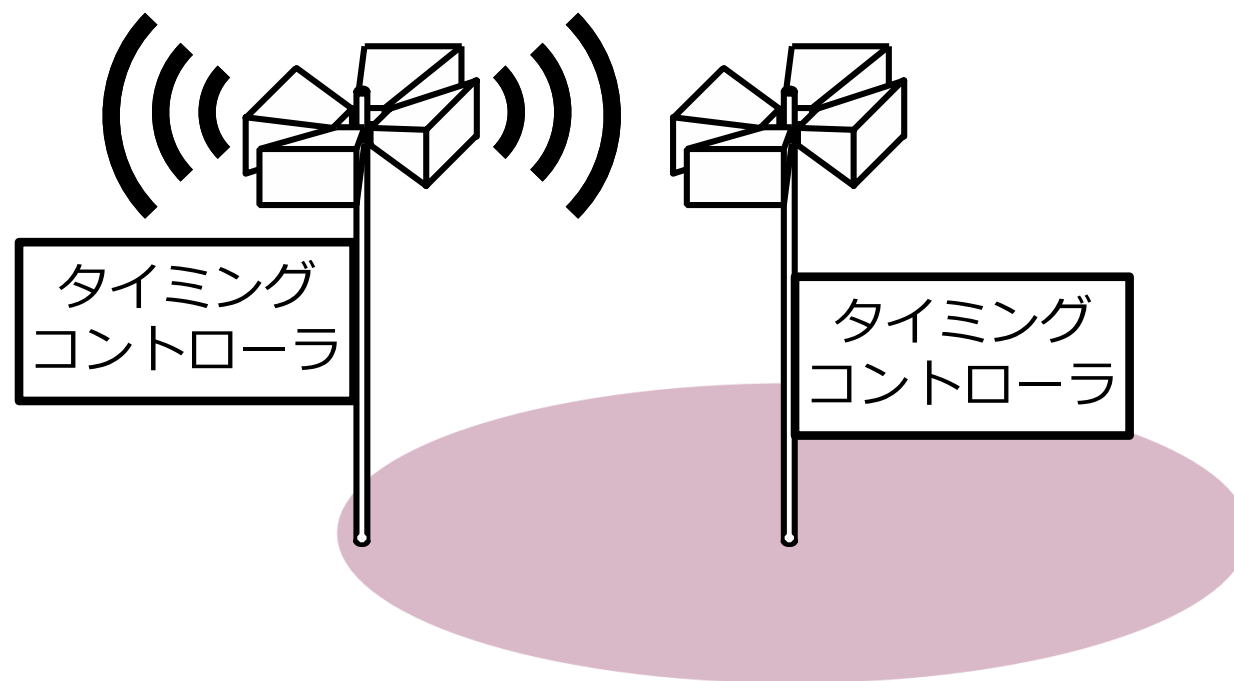
音を放射するタイミングの制御による解決

- 隣接する屋外拡声装置間で音放射タイミングを調節
 - 音情報が時間的に重なることを抑制できるのでは



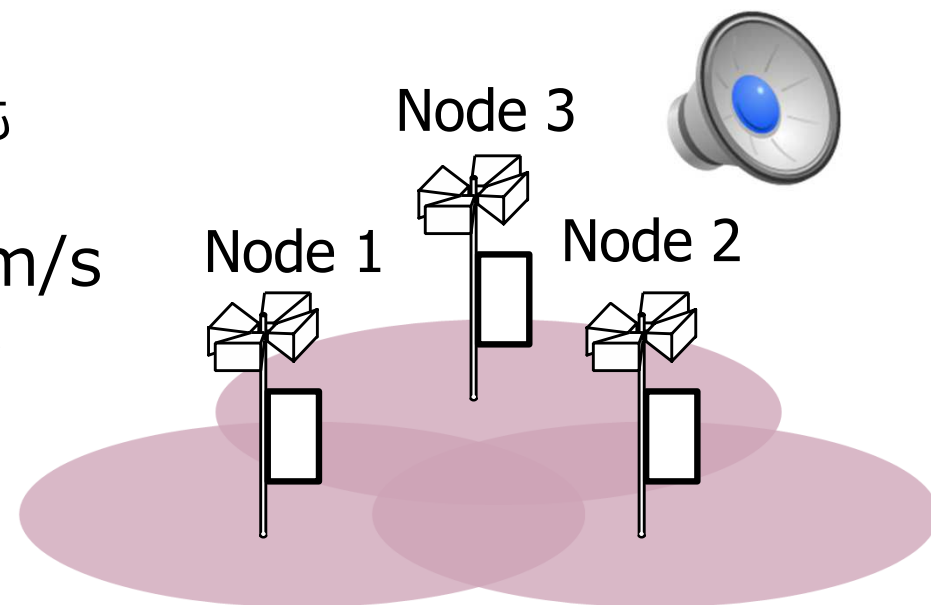
音を放射するタイミングの制御による解決

- 隣接する屋外拡声装置間で音放射タイミングを調節
 - 音情報が時間的に重なることを抑制できるのでは



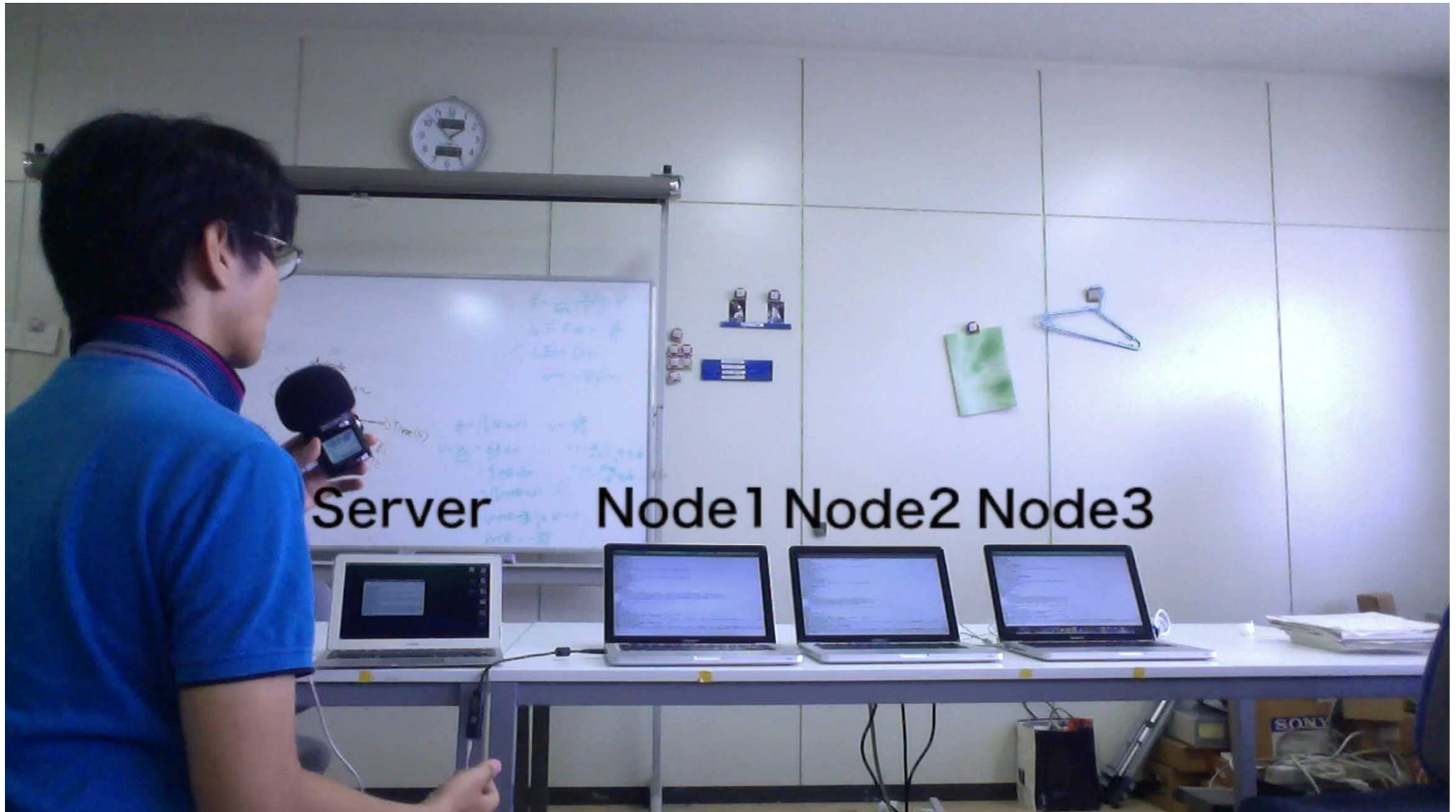
提案システムの試作

- システム構築にあたっては、事前の研究*で確認された音声空白区間（ポーズ）の重要性を考慮 *Sakamoto ApAc 2018
 - 言葉の句切りを自動判断して、区切りごとに各ノードに配信
 - 結果、各ノードの音はポーズが自動挿入され音が重ならなくなる
- 3 台の PC を用いて拡声装置のノードを模擬
 - 優先度：Node 1, 2, 3 の順に高い優先度を設定
- ノード間距離 400 m の正三角形に配置
 - サービスエリアの半径：300 m
 - $400 < 2 \times 300$ なので、3ノードともサービスエリアが重複
 - $H = 15 \text{ m}, h = 1.5 \text{ m}, c = 340 \text{ m/s}$
 $\therefore$ 時間差 $t_{12} = t_{23} = t_{31} = 0.586 \text{ s}$
- 入力信号：Node 1 に入力



知的な音放射タイミング制御システム実装

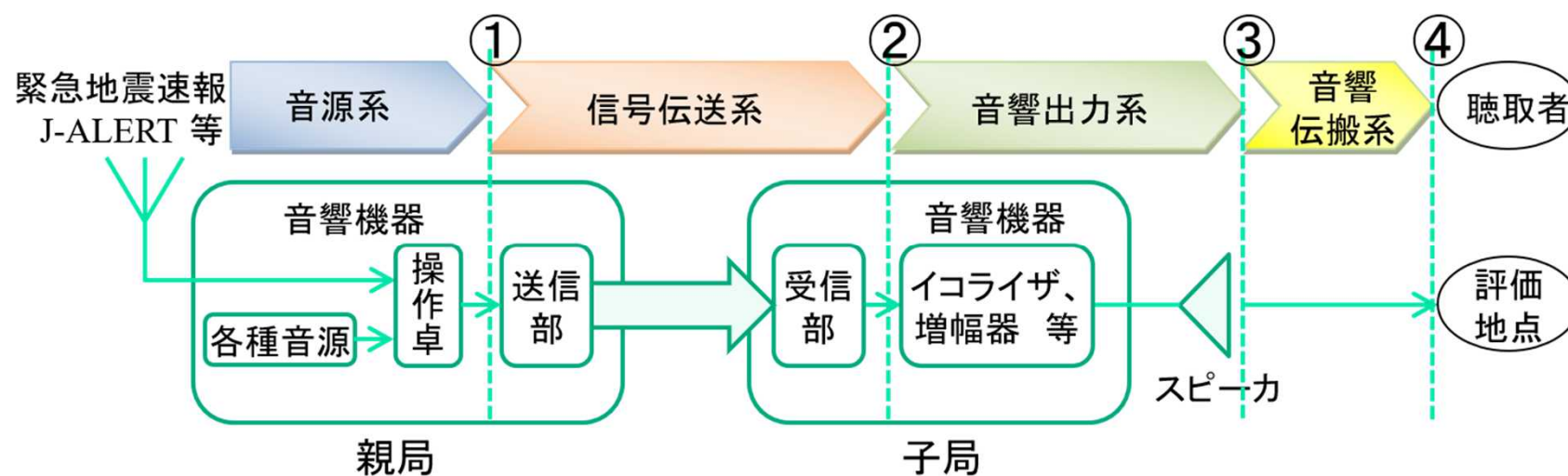
提案システムの動作検証





日本音響学会(ASJ)

屋外拡声性能確保のための技術規準



音響学会における屋外拡声技術基準の策定

- 日本音響学会（略称：ASJ）
 - 本連合大会の一員
 - 目的：音響学全般の研究を促進し社会へ寄与
 - 東日本大震災後，屋外拡声システムの課題解決への貢献をめざした活動を積極的に推進
 - 2013年1月 屋外拡声に関する調査研究委員会設置
 - 2017年7月 ASJ屋外拡声規準（第1版）を公開
 - 2020年8月 規準に基づく検査報告書・検査表公開



- 2020年から消防庁の「災害情報伝達手段の整備等に関する手引き」にて紹介されている

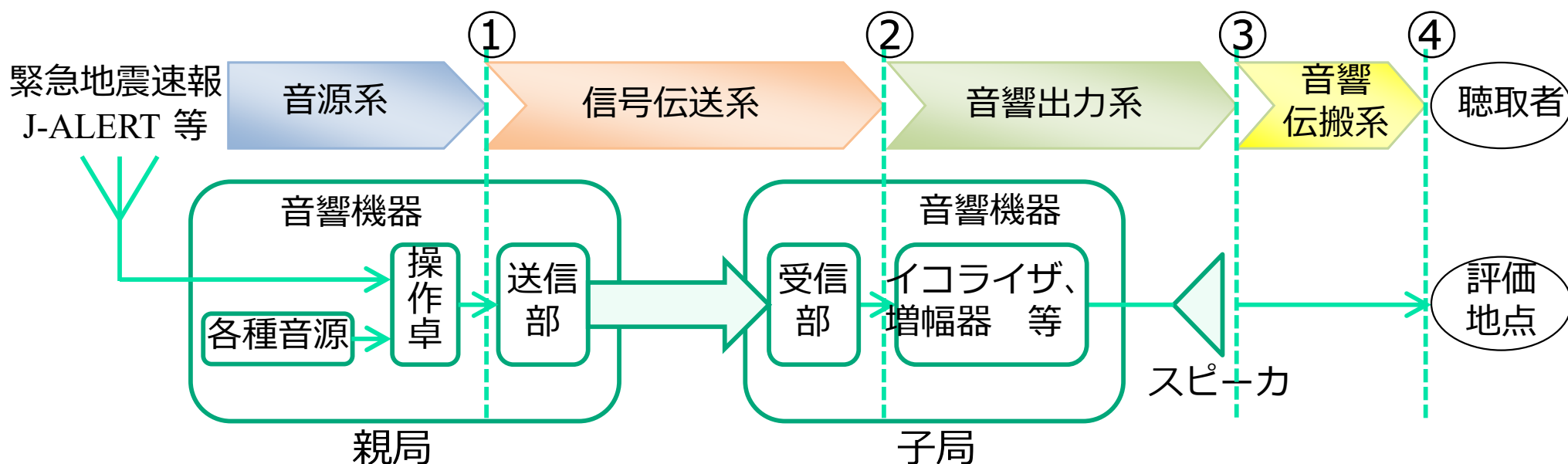
- <https://www.fdma.go.jp/mission/prepare/transmission/transmission001.html> の参考資料4

災害等非常時屋外拡声システム性能確保のための ASJ 技術規準 (略称:ASJ 屋外拡声規準)	
2017年7月25日第1版	
日本音響学会 災害等非常時屋外拡声システムのあり方に関する技術調査研究委員会	
目次	
1. 概要	1
2. 適用範囲と想定するシステム	2
3. 用語の定義	5
4. 屋外拡声システムの性能確保	8
4. 1 音源系に関する事項	8
4. 1. 1 音源系の出力	8
4. 2 信号伝送系に関する事項	8
4. 2. 1 信号伝送系の出力信号	8
4. 3 音響出力系に関する事項	10
4. 3. 1 パワーアンプの出力信号	10
4. 3. 2 スピーカー	10
4. 4 音響伝達系に関する事項	12
4. 4. 1 評価地点	12
4. 4. 2 SOT 比	12
4. 4. 3 聴取試験	15
5. 性能確保策の実施と記録保持	19
参考文献	21

注記：本文書内において他の文が規準本文であり、図で囲われた部分はそれを実施する際の参考として示す解説部分である。また、内容に関しては今後の研究の進捗状況を踏まえ学会の判断により変更する可能性がある。

屋外拡声モデルに基づく検査ガイドライン

- 音声を明瞭に伝えるための、音響システムの検査ガイドライン
 - 屋外拡声システムのモデル（下図）に基づいて音響システム系を表現し、①～④におけるチェックの項目と手順を示している
 - システム上流（音源づくり）から下流（受音）に向かって、各段階で設計どおりの信号であるかを確認し記録することを規定
 - 最終的な聴取ポイントにおける聴取結果の評価手法について詳しく説明
- 屋外拡声システムの構築・運用の調達では、ぜひ仕様書で言及を!!



インフラサウンドへの着目 —津波の早期検知の実現に向けて—

可聴音ではない音による災害対応ICT



インフラサウンド計測への着目

インフラサウンドとは

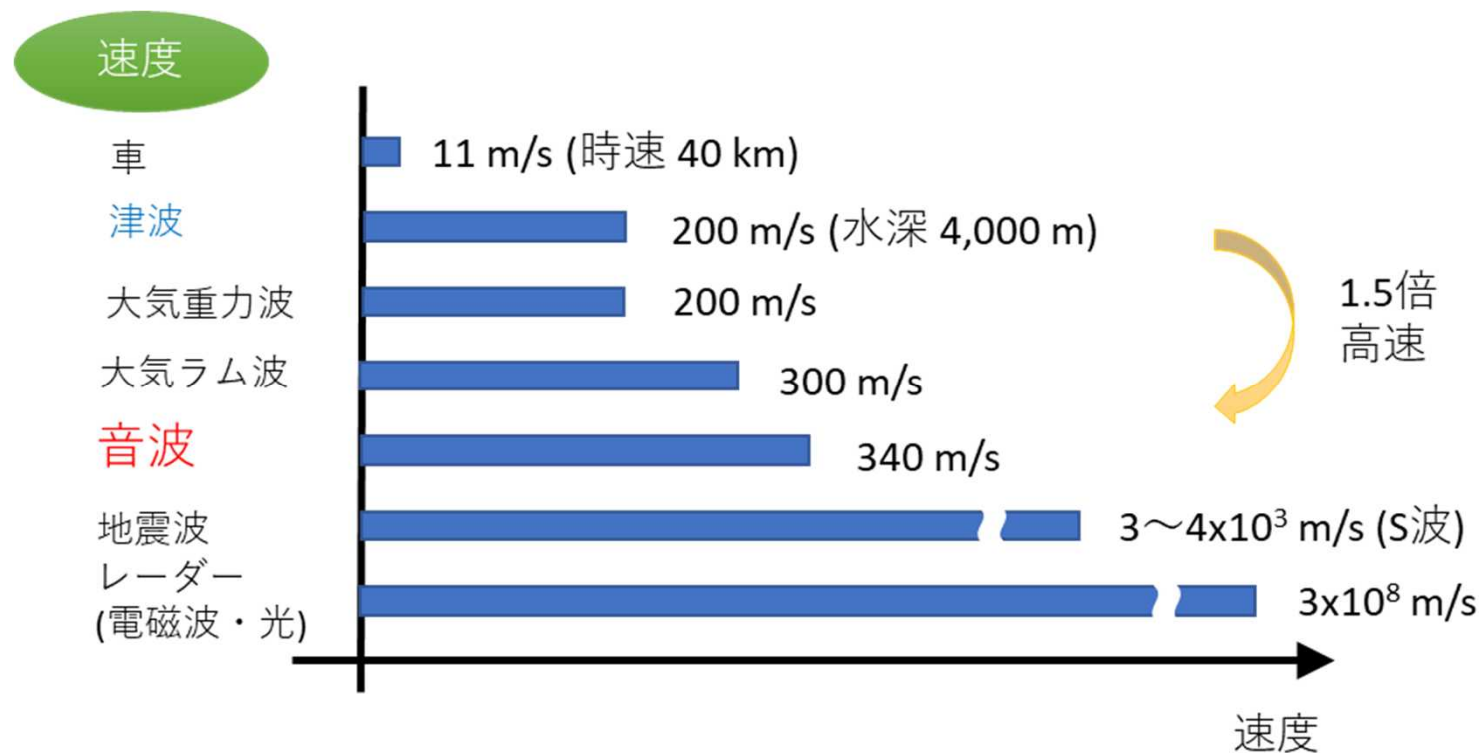
- 人間の可聴周波数範囲 (およそ20Hzから20kHz) より低い周波数の音
 - 大きな地球の活動 (火山噴火や海面変動) により発生
 - 波長が長く, 減衰しにくいいため遠くまで届く
 - 周波数が10mHz (0.01Hz) なら波長は約34km
- 参考
 - 音波: 媒質の速度と弾性力との相互作用で生ずる波 (機械波の一種)
 - 機械波: 媒質の速度と力の相互作用で生ずる波
 - 津波 (重力波) や池の波紋 (表面張力波) も機械波の仲間



インフラサウンドセンサ観測の意義

- NICTの研究者から誘いを受け、共同研究を開始 (2016)
- 意義：震源が遠い津波の早期検知が可能となる
 - 音波の伝搬速度は津波（重力波）のおそよ1.5倍
 - インフラサウンドは長距離伝搬する
 - ⇒ 発生源が遠い津波の兆候を早期に捉えることができる
- 火山噴火の検知や火口位置の推定も可能
 - 夜や霧など映像が有効でない場合でも有効

東北大学NICT
マッチング
ファンド採択



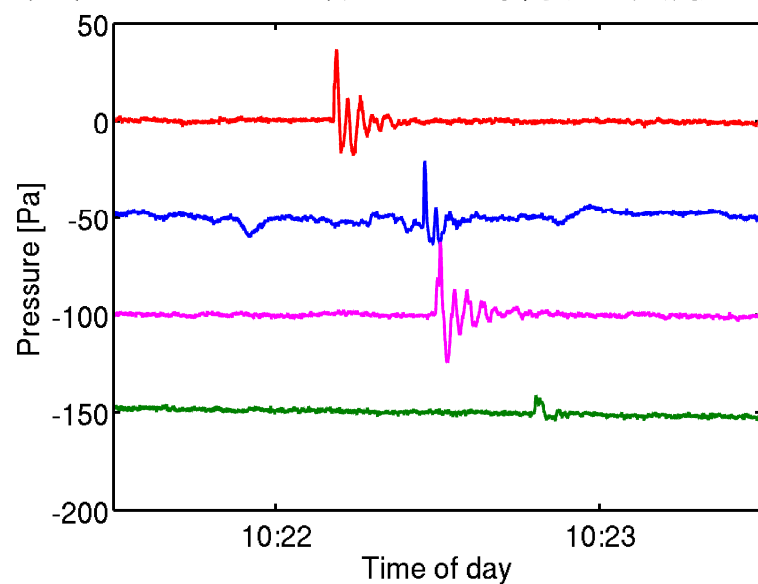
インフラサウンドへの着目

インフラサウンドによる音源位置推定

- RaspberryPiとスマートフォン用のMEMS気圧センサを用いたセンサデバイスを構築
 - 仙台の他，大学・高専と連携して桜島の周囲にセンサデバイスを配置
- 桜島火山の爆発的噴火の観測結果と音源推定



異なる 4 地点での観測波形



京大桜島観
測所観測点

鹿児島大
観測点

東大高峠
観測点

鹿児島高
専観測点

南岳

- インフラサウンドによる噴火の音源位置の推定を実証

第3部

国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)を中心とした 災害対応ICT実現に向けた研究開発と成果

2012.4～



センタービル外観

耐災害ICT研究センターからレジリエント研究センターへ

世界トップレベルの研究拠点を整備，産学官が連携し，災害に強い情報通信実現のための研究と社会実装を推進

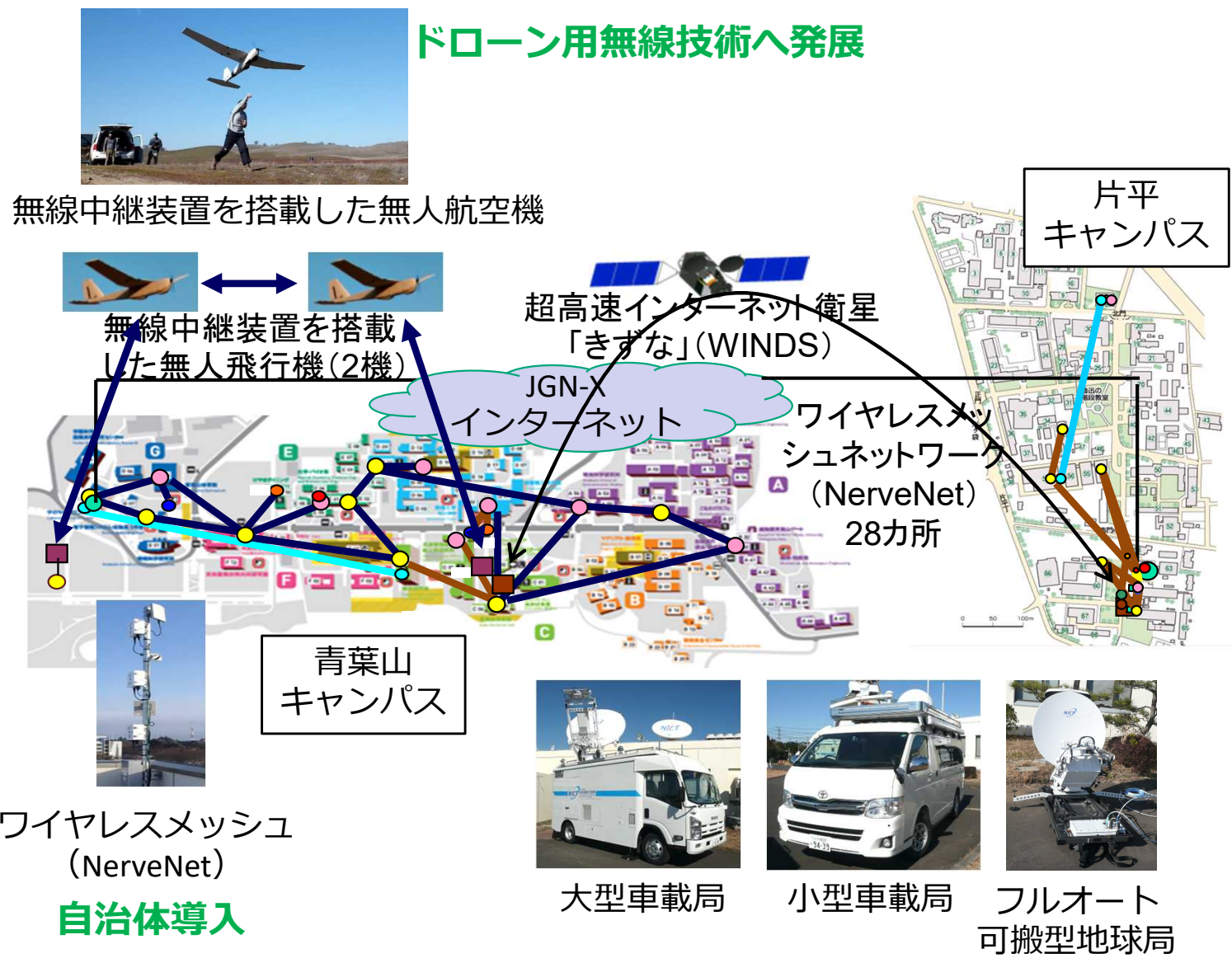
- 2012 (H24).4 耐災害ICT研究センター発足
- 2014 (H26).3 センタービル開所
- 2021 (R03).4 レジリエントICT研究センターへ改編
 - 本部（東京・小金井市）内に東京分室設置



NICT 耐災害ICT研究センター における研究と成果

2012.4～2021.3

設立当初(2013)に構築したテストベッドとその後



無線中継装置を搭載した無人航空機

ドローン用無線技術へ発展



大規模計算機クラスタ
SOCDA実用化, 自治体導入

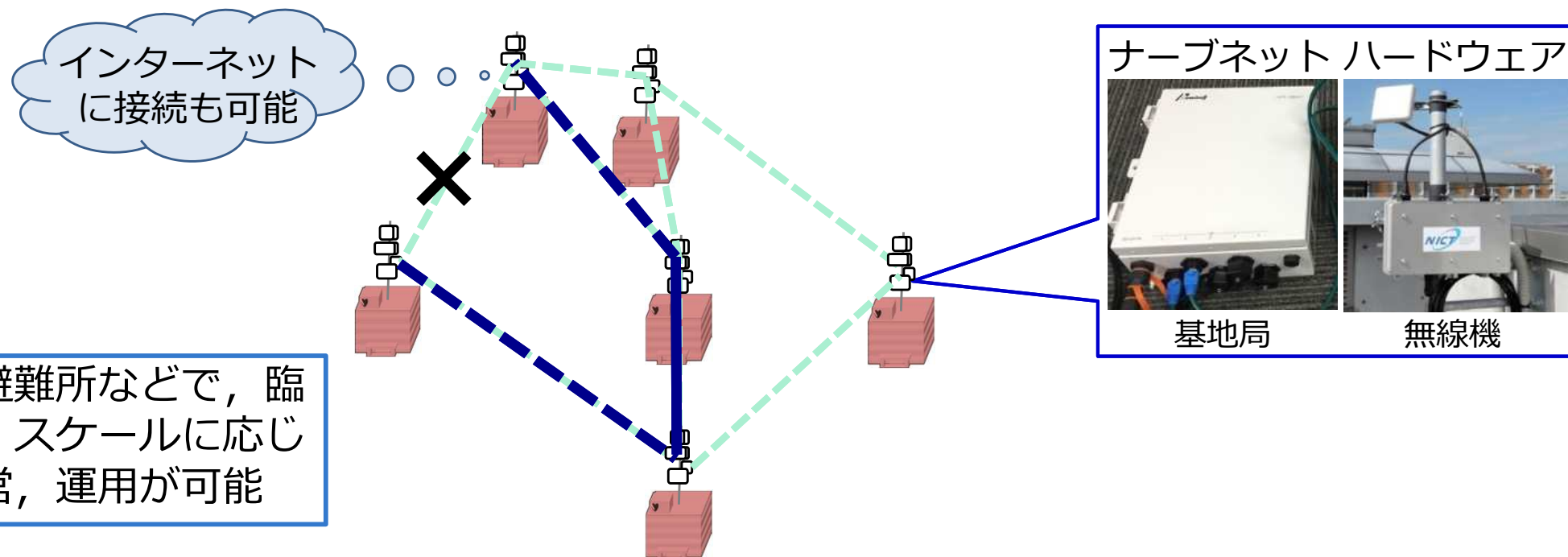


光ネットワーク実験装置
弾力的光スイッチング技術開発

ETS-9研究へ発展

災害に強い自営通信網システム “ナーブネット”

- 生物の神経構造にならった編み目状（メッシュ型）の自律・分散型ネットワーク（NICTが東日本大震災の以前から研究開発）
 - ネットワークの編目がほころびても瞬時（ミリ秒単位）に経路を切り替え、ネットワーク通信を維持
- 災害に強い独自のネットワークを簡単に構築可能
 - 頑健なネットワークとして常設し、平時からの利用が理想的
 - 被災地等で臨時・応急的に様々なスケールで設営・運用が可能

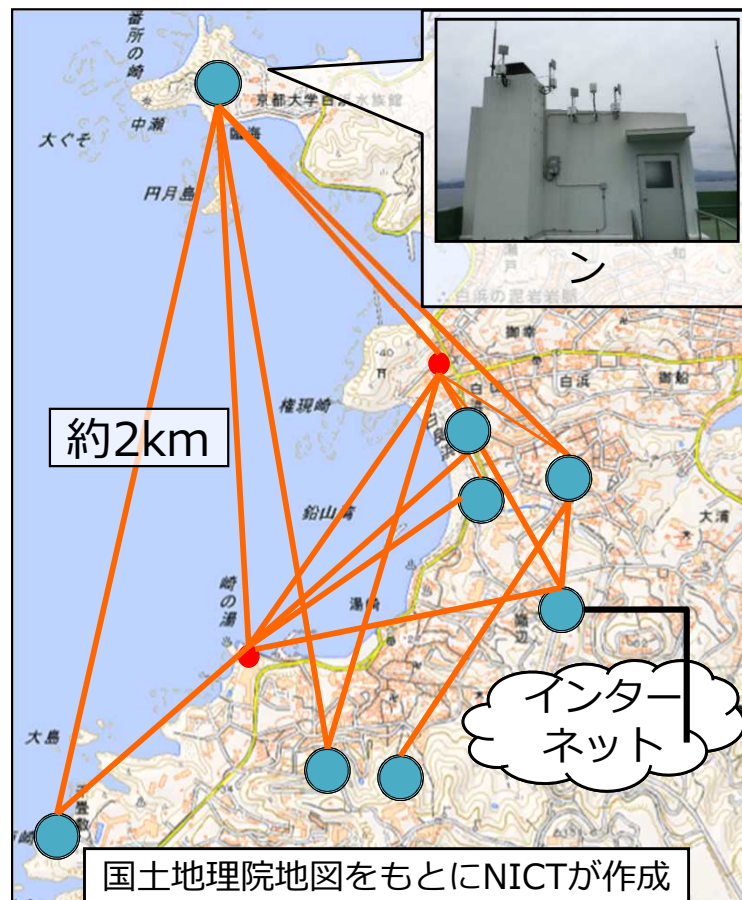


ナーブネットの早期地域実装例

ナーブネットによるフィールドプラットフォーム

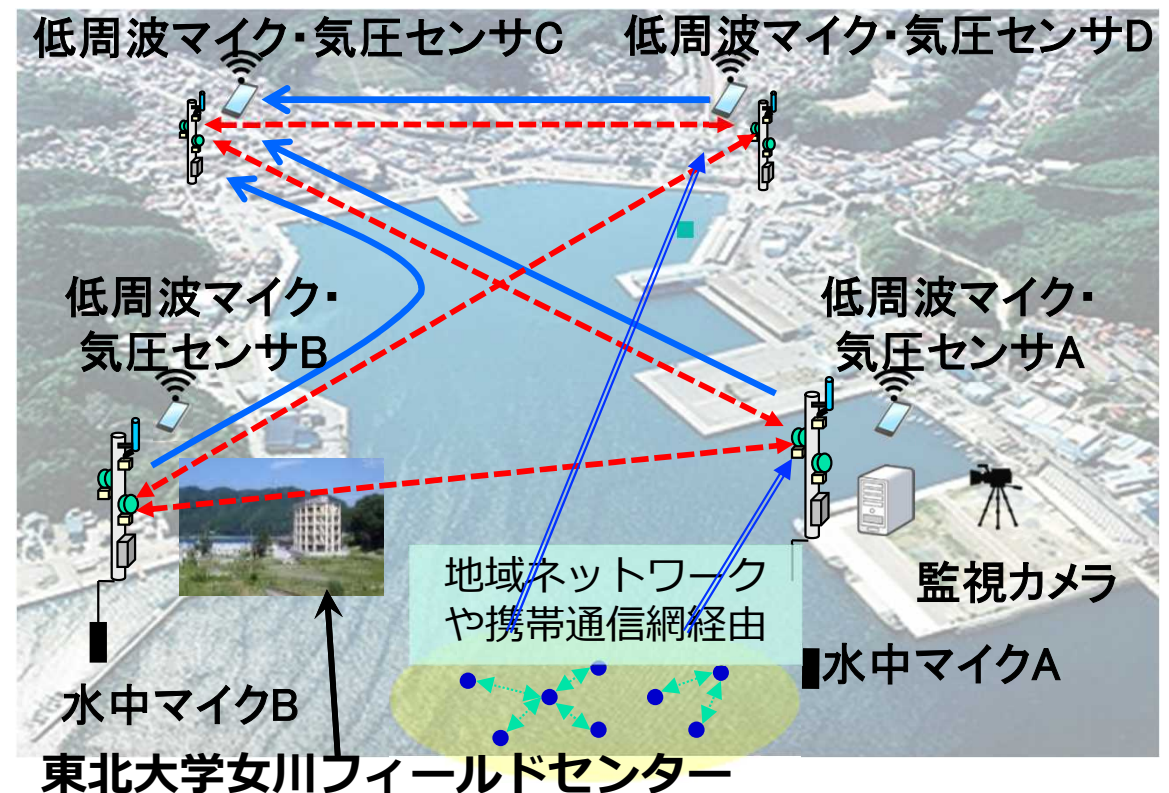
■ 和歌山県白浜町での地域実証

- 平時： 観光・ワーケーション・自治体情報
- 災害時： 災害情報伝達・交換



■ 宮城県女川町研究プラットフォーム

- 平時： 女川町でのカメラ画像配信
漁業・密漁船探索
- 災害時： カメラによる海の状況
把握や拠点間の通信確保



ナーブネットの現在



白浜町が所有・運営するナーブネットへ

レイヤ2に
論理セグ
メントを
設定

Shirahama Beach Wi-Fi 観光客・住民向けフリーWi-Fi セグメント

遠隔地職員用 Wi-Fi セグメント

職場間常時接続TV会議用 セグメント

コミュニティFMバックアップ セグメント

自治体クラウドなど行政系 (LGWAN) 接続セグメント

インターネット
へ接続

インターネット
とは分離

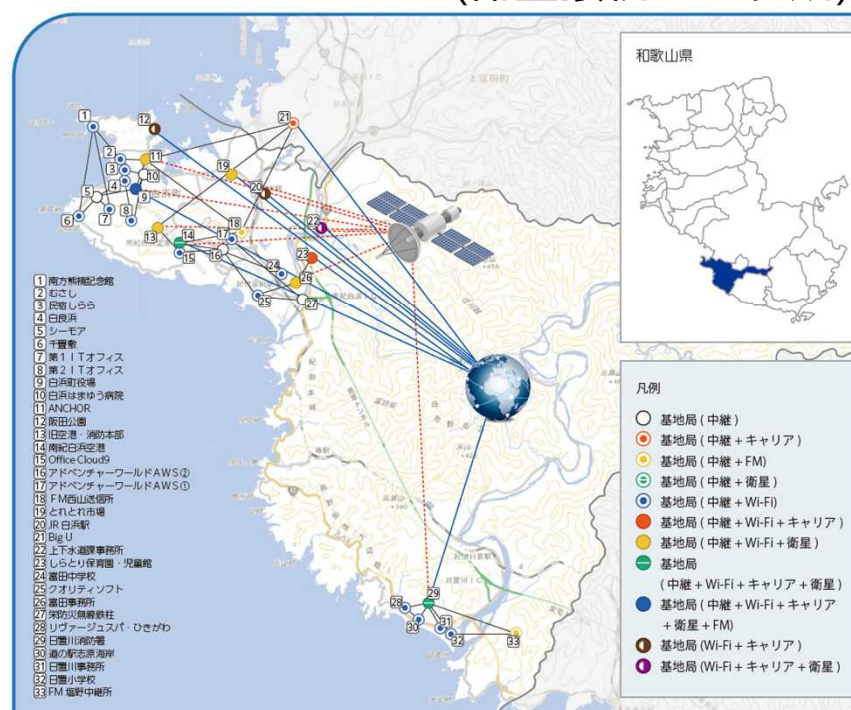
白浜町内全 23 箇所

Shirahama Beach Wi-Fi 設置スポット



白浜町NerveNet全図

33ヶ所に設置
(衛星接続は8ヶ所)

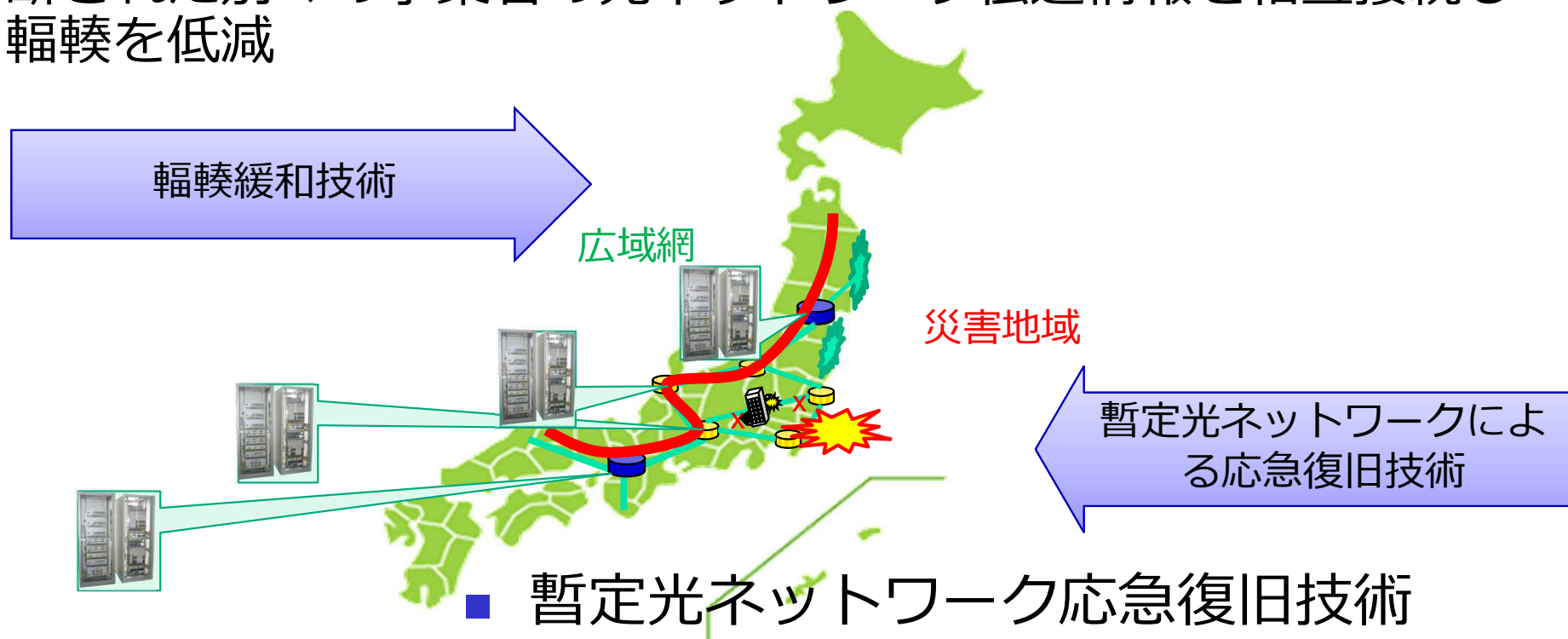


出典：白浜町

光ネットワーク強靱化技術の研究開発

■ 輻輳（ふくそう）緩和技術

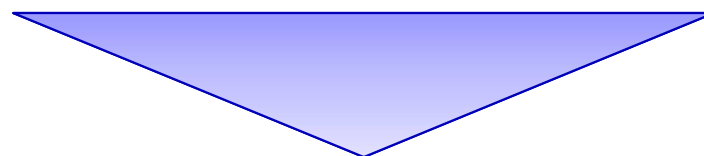
- 安否確認などによる通信激増に対し、ネットワーク装置を臨機応変に制御して国内全域における情報の混雑，渋滞（輻輳）を低減
- 分断された別々の事業者の光ネットワーク伝送情報を相互接続して輻輳を低減



- 利用可能な通信装置と優先復旧する通信装置を最大限に利活用して、暫定的な光ネットワークを構築・運用し，通信を素早く復旧

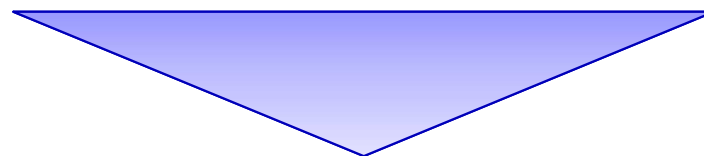
リアルタイム社会知解析技術の研究開発

- リアルタイム性が高いSNSを災害時に役立つ/役立てたい
- ただし、SNSは情報量が膨大→ 必要な情報を探すことが困難
- 情報の信憑性、デマによる混乱も懸念される



意味理解によってこれらの問題を解決し
災害対応を支援するシステムを研究開発

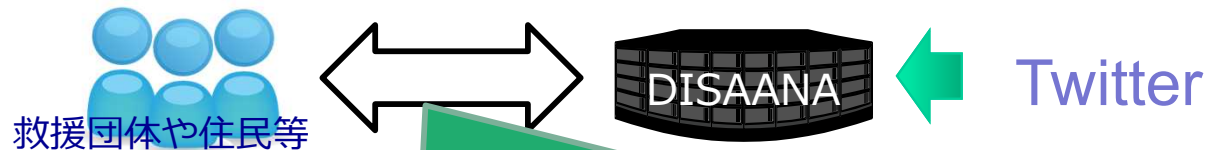
- ツイートを待ってリアルタイムに社会知を解析するシステム



- 積極的に対話を求めるリアルタイム社会知解析システム
 - 防災チャットボットSOCDA (ソクダ; SOCIal-dynamics observation and victims support Dialogue Agent platform for disaster management)

ツイッターによるリアルタイム社会知解析

- Twitter (現在はX) 上の災害関連情報を即時に深く意味的に分析・整理
 - 災害状況の把握・判断を支援し，救援，避難の支援を行う世界初の質問応答システムとして開発された
 - ツイートしてから5秒で分析結果を提供可能
- ➡ 一刻を争う中での状況把握，判断の支援を行うDISAANAを開発



住民、救援団体からの質問（例：「熊本県で何が不足していますか」）に瞬時に回答

2015/4から一般公開

熊本地震の際，首相官邸で活用

- ・ 指定避難所以外のニーズ把握
- ・ 日々変化する要望の把握

↓
熊本県へ指示

H2016/5 読売新聞夕刊一面等
報道多数

回答を地図上に表示し、被災状況を俯瞰可能

回答をピンポイントに抽出



地図データ©2016 Google, ZENRIN

リアルタイム社会知解析技術が可能にすること

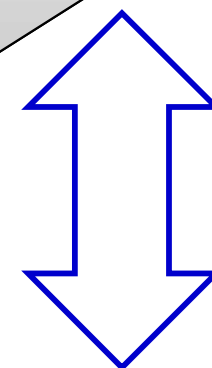
デマ対応にむけ矛盾情報の提供が可能に

■ 東日本大震災試用版の動作例

質問：千葉の石油コンビナートで何が発生している



回答候補が抽出された
ツイート：
…今後の雨が非常に強い酸性雨になります…



回答候補と矛盾するかも
しれないツイート：
…酸性雨になるという
のはデマです…

矛盾する情報を同時に検索し提供することで情報の信憑性を判断する材料を提供

待ちのシステムからチャットボットへ

- X (旧Twitter) を使う問題点
 - 情報源は自発的な被災報告だけなので網羅性が不完全
 - 匿名アカウントのためデマへの完全な対処が困難
 - 救援側からの連絡が困難

自発的情報発信を待つだけだと...

～川が氾濫して
1mほど床上浸水
しています！

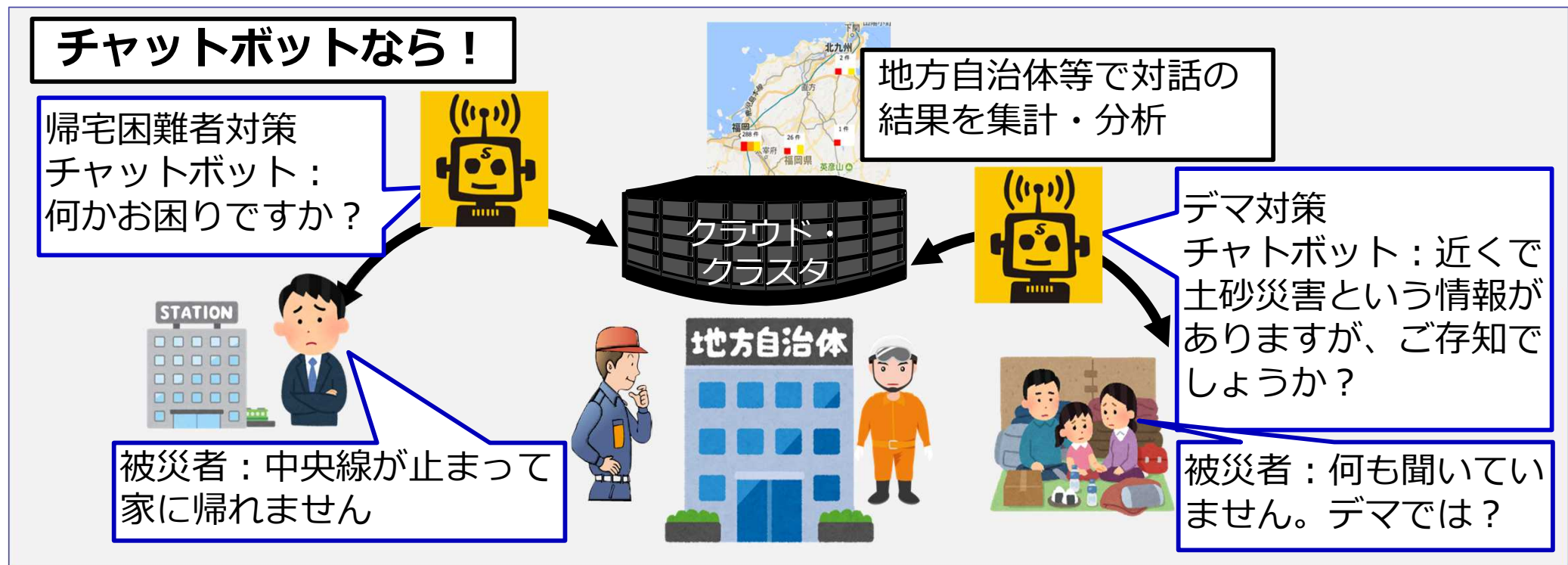


～で土砂崩れが起
きてます！

毛布が足りないけ
ど．．．

待ちのシステムからチャットボットへ

- X (旧Twitter) を使う問題点
 - 情報源は自発的な被災報告だけなので網羅性が不完全
 - 匿名アカウントのためデマへの完全な対処が困難
 - 救援側からの連絡が困難
- チャットボットの導入 (2018)
 - スマホで多くの人と同時に対話
 - 能動的に情報収集や重要な情報のプッシュを実施
 - 対話結果の自動集計・分析
 - 効率的な救援へ



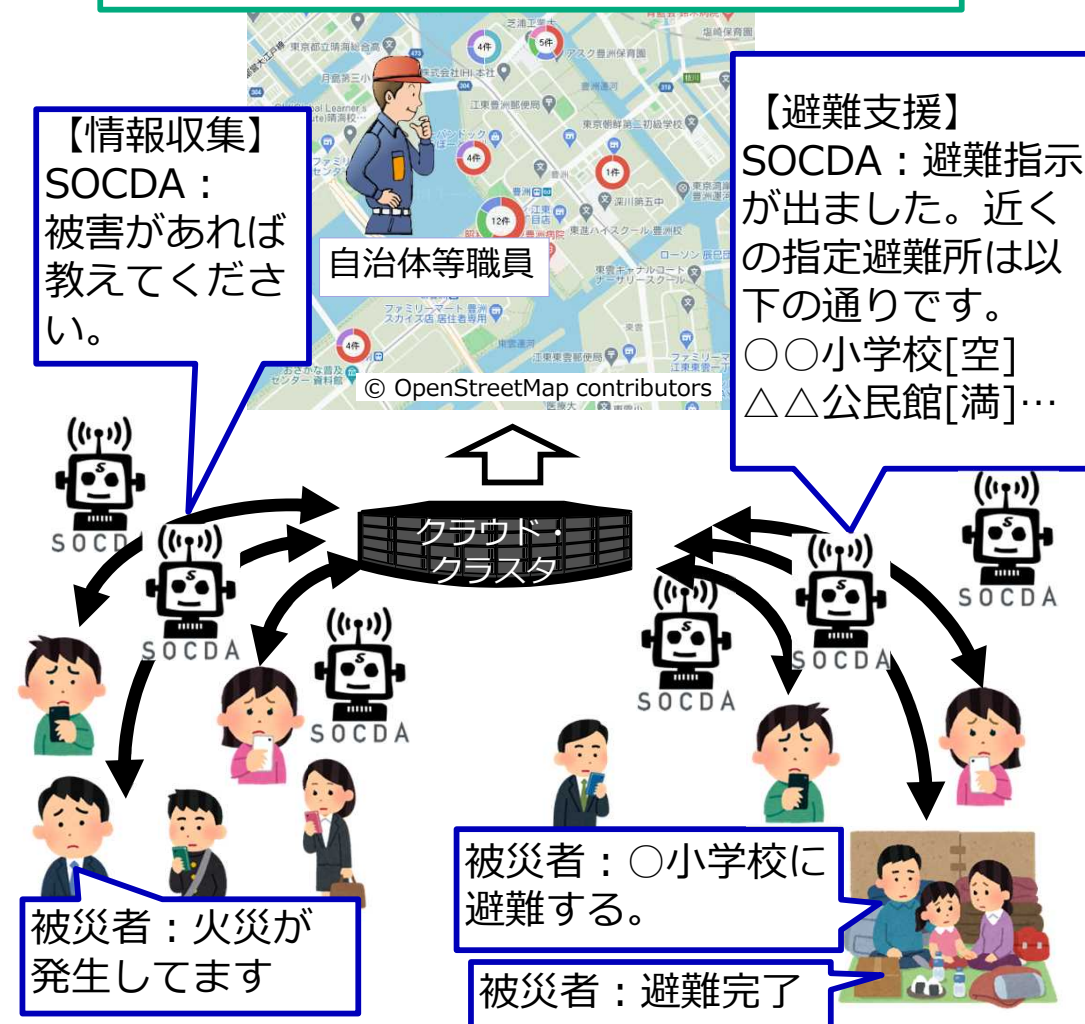
リアルタイム社会知解析の最先端技術

防災チャットボット SOCDA

- AIを備えた防災チャットボット
 - 人間(職員)に代わり、大勢の被災者等と自動的にLINEで対話
 - 主要機能1：被災情報収集・分析
 - 主要機能2：避難支援
- 内閣府SIP第二期による推進
 - 防災科学技術研究所、ウェザーニューズ、NICTの3機関がLINEの協力を得て研究開発し、実用化済み
 - 導入自治体数：120 (2025.3現在)
- AI防災協議会から無償利用可能なSOCDAのLINE公式アカウント「AI防災支援システム」を公開中
 - LINE ID: @socda
- ウェザーニューズがSOCDAの技術をサービス化
 - サービス名：リスク連動型デジタルクロノロジーサービス「リスクロ」

■ SOCDAなら!!

地方自治体等で対話の結果を集計・分析



紹介動画：<https://www.youtube.com/watch?v=vvxoMFgd5c8>



耐災害ICT研究協議会の設立と運営(H25.5設立)

■ 目的

- 災害に対して強靱なICTの実現に関する研究が、災害時の人命・財産の保全並びに災害からの復興・再生に極めて大きな役割を果たすと認識
- 総務省及び情報通信研究機構、東北大学並びに耐災害ICT研究を実施する民間企業や大学関係者等の間の連携・協力を推進
- その成果を社会において最大限に活用

■ 活動

- 耐災害ICT研究の進捗に関すること
- 耐災害ICT研究に関する情報の収集及び交換
- 耐災害ICT研究に関する情報発信及び成果展開

【主な活動例】



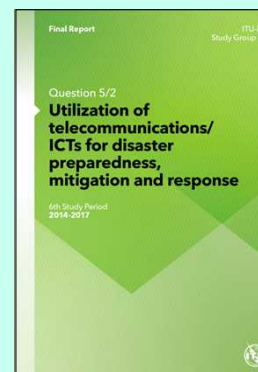
ガイドブック



出展



シンポジウム開催



国際標準団体への技術情報のインプット (ITU、APT)



総務省
技術政策課、東北総合通信局

情報通信研究機構
レジリエントICT研究センター

東北大学
電気通信研究所・災害科学国際研究所

研究開発実施機関
耐災害ICT研究受託者等

自治体等
ユーザーのみなさま)

災害に強い情報通信ネットワーク 導入ガイドブック

- 協議会のモデルシステム検討WGが、自治体と協力し自治体目線で、災害に対する自治体の備えに役立つことを期待し編集，作成
- 大規模な災害が発生し，自治体が平時の業務遂行に利用している情報通信サービスが途絶した場合，自治体業務への影響を回避又は緩和できる情報通信ネットワーク・サービスを紹介

災害に強い 情報通信ネットワーク 導入ガイドブック2024

2024年11月

耐災害ICT研究協議会



まえがき

東日本大震災時において、情報通信ネットワークに被害や障害が発生し、自治体業務（災害対応、定常業務）に支障が生じました。この経験を踏まえ、今後、同等又はそれ以上の大規模な災害が発生した場合であっても、自治体職員の内滞な業務遂行を支援する情報通信ネットワーク・サービスの導入を図るために、2014年6月に第1版ガイドラインを策定致しました。

その後、耐災害性が強化されたICT（情報通信技術）の急速な進歩を踏まえ、その後の新たなサービス等の開発動向を踏まえ2度の改訂を行いました。また、ガイドラインというタイトルは、昨今、規則的な意味合いの書籍に使われることが多くなってきたことから、本改訂より名称をガイドブックに改めさせていただきます。

本ガイドブックは、近年の風水害を含めた大規模な災害に対して、自治体が平時の業務遂行に利用している情報通信サービスが途絶した場合、自治体業務への影響を回避又は緩和できる情報通信ネットワーク・サービスに関する対策等の動向を紹介し、今後発生する可能性が高い災害に対する自治体の備えに役立つことを期待しています。

目次

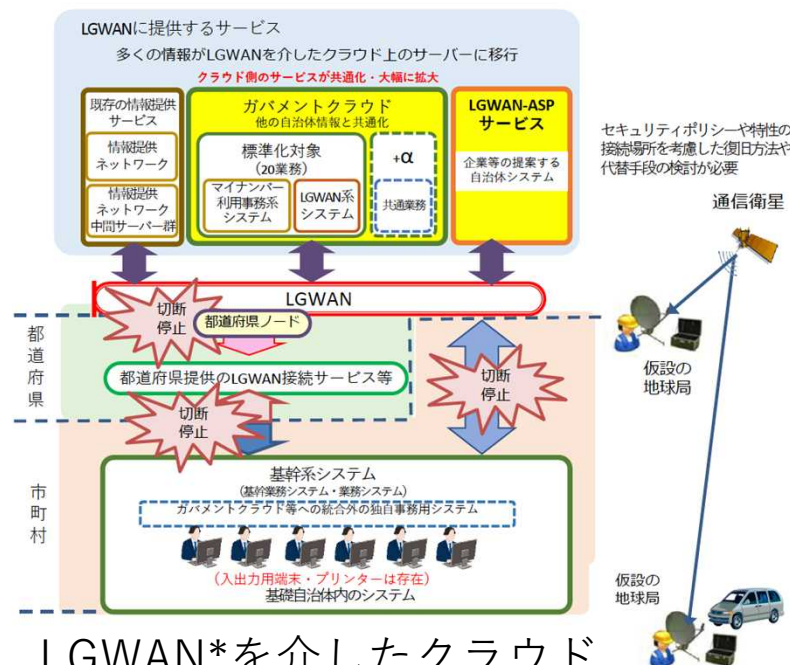
まえがき

I. 大規模災害等の教訓とリスク	2
II. 自治体を取り巻く環境の変化と新たな課題	10
III. 危機管理の重要性	20
IV. 災害（防災）情報システム	32
V. 行政情報システム	48
VI. 導入実装可能な耐災害ICTのご紹介	60
VII. 自治体が活用可能な支援措置等	72

データ集

組織・改訂履歴

災害に強い情報通信ネットワーク導入ガイドブック2024



LGWAN*を介したクラウド
化の進展後の対策イメージ

*local government wide-area network

災害に耐えるICTからレジリエントなICTへ

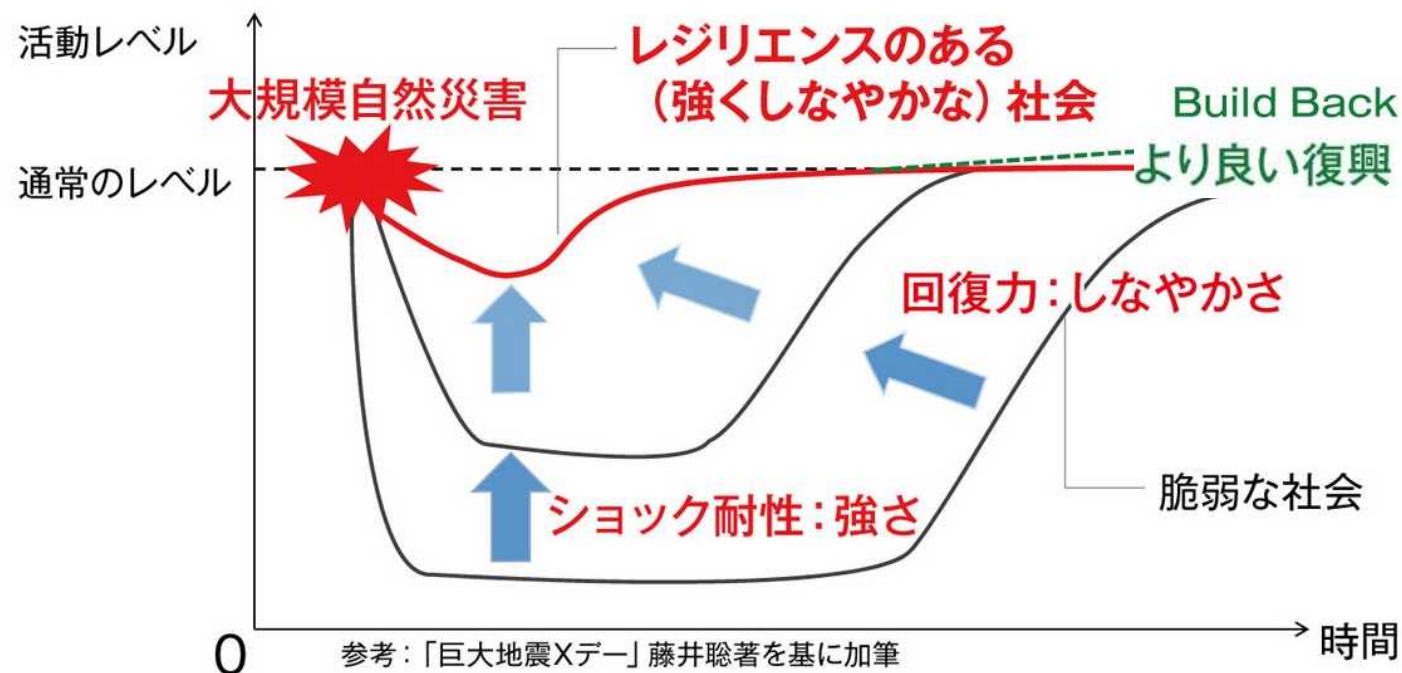
レジリエント/レジリエンス

- レジリエント/レジリエンス (resilient/resilience) はラテン語のresilire (跳ね返る) に由来*
 - 17世紀初頭に英語に取り入れられ, 19世紀には木材や金属など材料の耐性を示す技術用語として使われ始める
- 1970年代ころから, 生態系, 個人のトラウマなどの文脈で利用され始める
 - 例: 個人がいかにストレスを乗り越えられるか (精神的回復力)
- 現在では, ICTをはじめとする工学, 医療・福祉, 社会, 経済など様々な分野, 局面で使われている

「困難な状況から回復する能力」「対応力」「適応力」「弾力性」...

レジリエント化の背景と意義

- レジリエントで安全・安心な社会(第6期科学技術・イノベーション基本計画)
 - 平時から, 時間経過によるニーズとリソースの動的変化に適応し, 求められる機能を継続的に提供できる社会
- 災害対応から国土強靱化への概念拡大
 - 大規模自然災害時に, 人命を守り, 経済社会への被害が致命的にならず, 迅速に回復する「強さとしなやかさ」を備えた国土, 経済社会システムを平時から構築



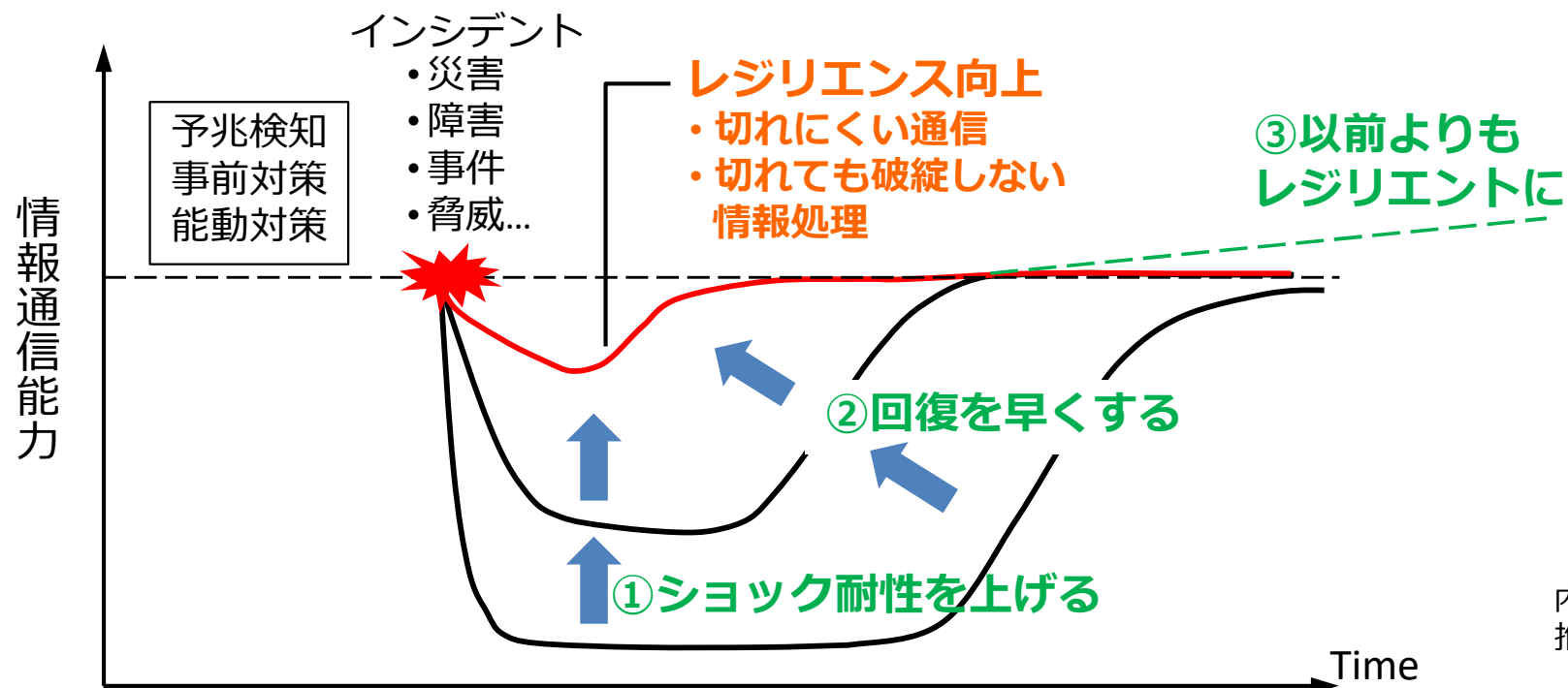
目指すべきレジリエントな情報通信技術

■ レジリエンス実現の要

- 事前準備・心構え
 - 多様性と普段使いが鍵
- 衝撃への強さ＋持ちこたえるしなやかさ
- 強い回復力

■ 大規模自然災害などの急激な動的事象に対し「情報通信」の

- ①「能力低下を最大限抑制」、かつ
- ②発生前の能力への「回復を最大限に早く」、さらに
- ③発生前に比べてむしろ「向上した性能や機能」をも備えうる



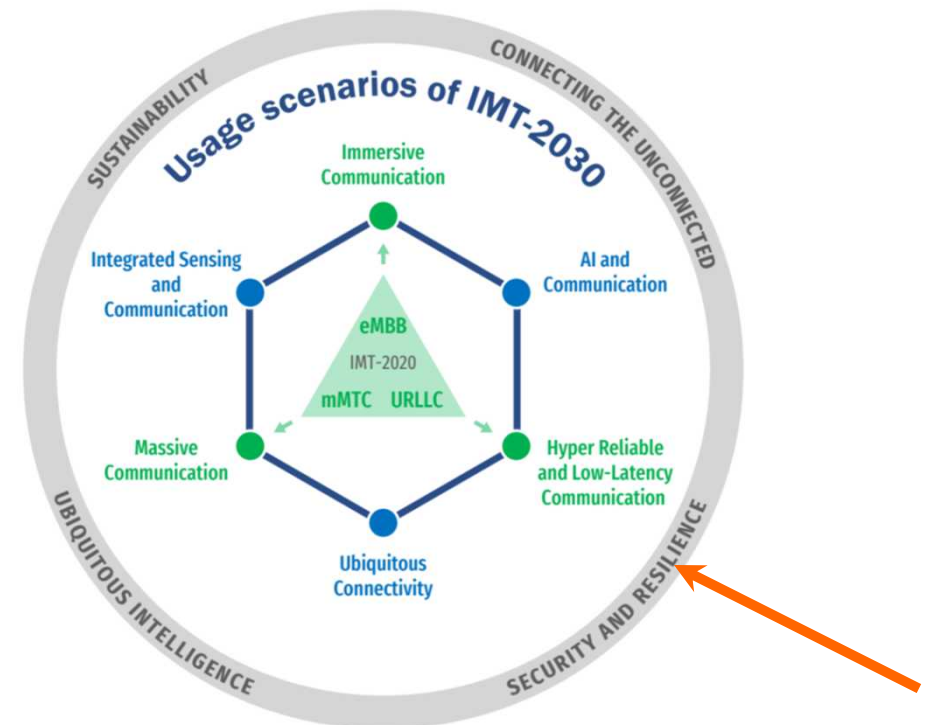
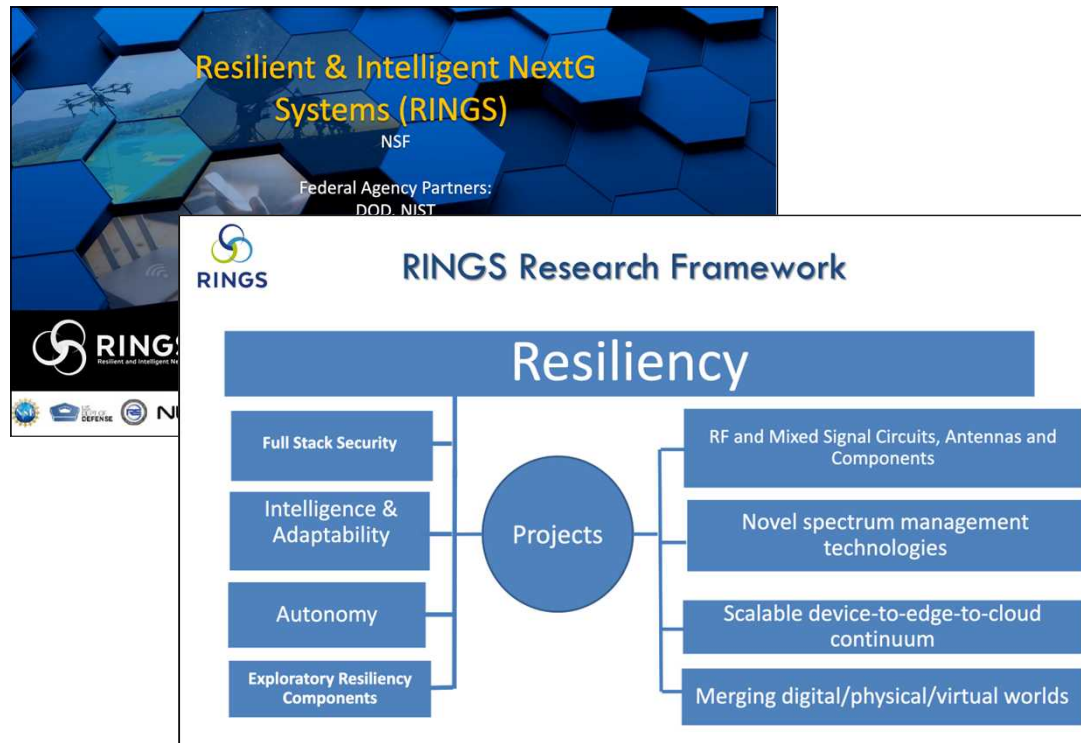
ICTのレジリエント化は国際的な動向でもある

- 米国NSFもレジリエンスを次世代ネットワークで重要視
 - 官民ファンドRINGS (Resilient and Intelligent Next-Generation Systems) プログラム
 - 2022 年37件を採択でスタート
 - 50万～100万\$以上/件、3～4年間

- ITU-R Framework for IMT-2030 6G で“Resilience” を明記

- Sustainability
- Ubiquitous Intelligence
- Connecting the Unconnected
- Security and **Resilience**

※IMT: international mobile telecommunication



NICT レジリエントICT研究センター

“ICTで世界をレジリエントに”

2021～（第Ⅴ期中長期計画）

レジリエントICT研究センターの構成

- **研究開発**：レジリエンシを備えたICT, 社会をレジリエントにするICT
- **国土強靱化**：産学官・地域連携・実証等による成果の社会利用の推進

産学官連携・国内連携・国際連携による
研究開発・イノベーションとレジリエンスの推進

サステナブルICT システム研究室

ロバスト光ネット ワーク基盤研究室

企画連携 推進室



- ・協議会等の産学官連携活動
- ・標準モデルやガイドブック策定

国・地方公共団体
公共セクター

- ・利用者参加実証実験
- ・総合防災訓練等での成果活用

共同研究等
大学・研究機関

- ・共同研究等
- ・成果の技術移転

企業、NPO等を含
む民間セクター

通信環境急変 (電波伝搬やネットワーク)対応技術

1. **タフ環境適応無線アクセス技術**：機械学習等を活用して電波伝搬特性を予測した結果を用いて、通信資源 (経路・方式を含む) 配分の最適化を行い、ロボット協調作業のような高い通信要件を継続して提供する技術
2. **自己産出型エッジクラウド技術**：クラウドサーバの通信が途絶した場合でも、ローカルで利用可能な資源 (計算機・データ・通信回線) によりサービスを再構成する技術

ユースケース例：複雑な構造をもつ建物内での群ロボット遠隔制御

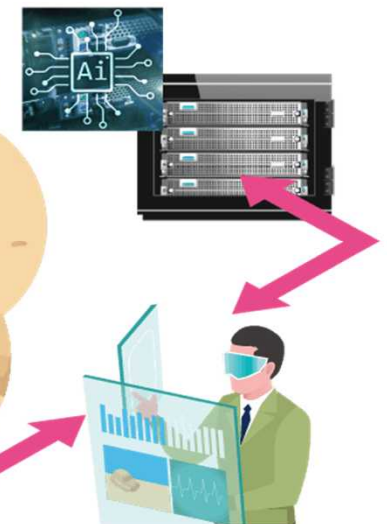
電波伝搬環境が動的に変化し、高い伝搬損失 (150dB以上) や強い外来干渉を受ける場所がある

→無線通信にとって過酷な環境

しかし、一方で映像 (10Mbps以上) や制御コマンド (サブミリ秒以下遅延) の伝送が必要

→高い通信要件

ML/AIや、高性能計算手法を活用



閉じた空間における群ロボット作業の実現に向け東北大学等の研究機関と連携した研究開発を実施中

電波や無線に関する知識がなくても、誰もが簡易にネットワークの構築・管理を可能に

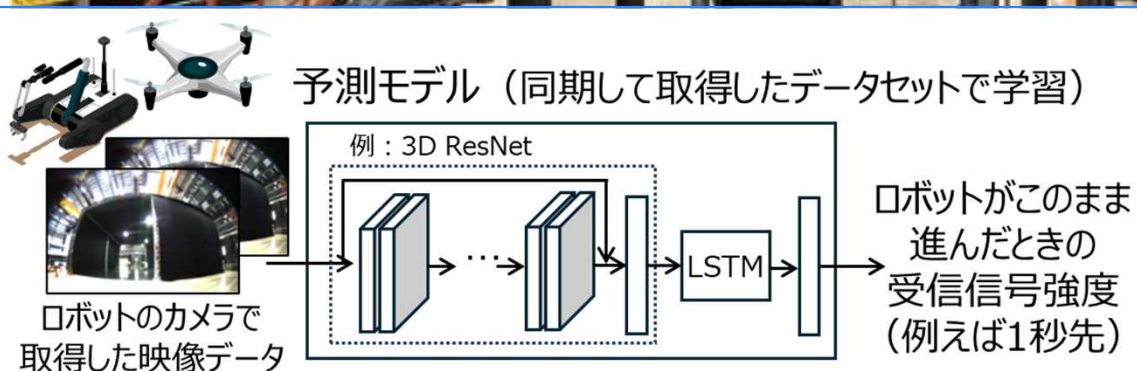
カメラ映像による電波強度予測技術の開発

- ロボットのカメラやレーザレーダ（ライダ）の情報にAI技術を適用して，ロボットが動く先（例えば1秒後）の電波強度を予測し，通信途絶を避ける技術を開発

日本原子力研究開発機構における実験



実験用ロボット



カメラ映像による電波強度予測技術の実証

- 電波強度予測に成功。さらにシミュレーション・電磁界解析で学習モデルを作成, 転移学習の利用で予測精度を向上
- 福島第一原発1号機モックアップ*で強度予測手法を実証 (2.4GHz帯Wi-Fi)
 - 予測モデルのハードウェア化 (FPGA)とLocal5G帯での実証を推進中

Imaging data acquired by robot. Sample number = 1 (Frame rate = 5 fps)

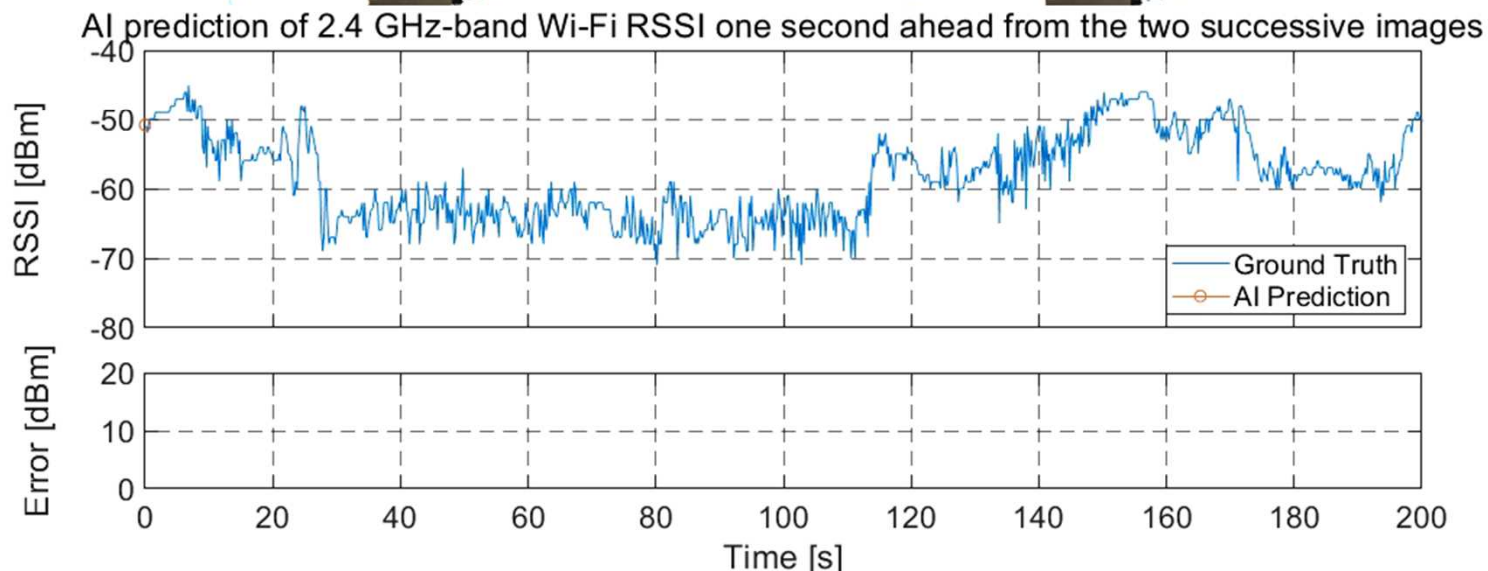
Frame 1/2



Frame 2/2



* 日本原子力研究開発
機構所有施設



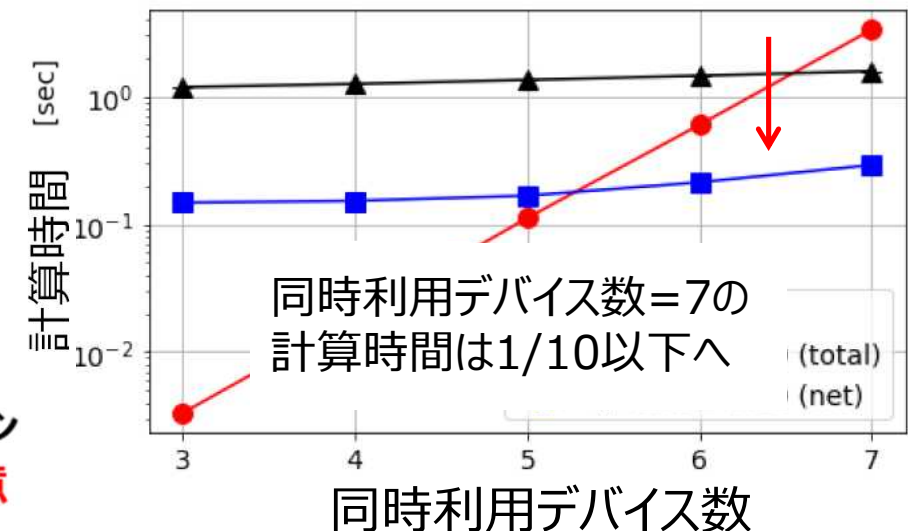
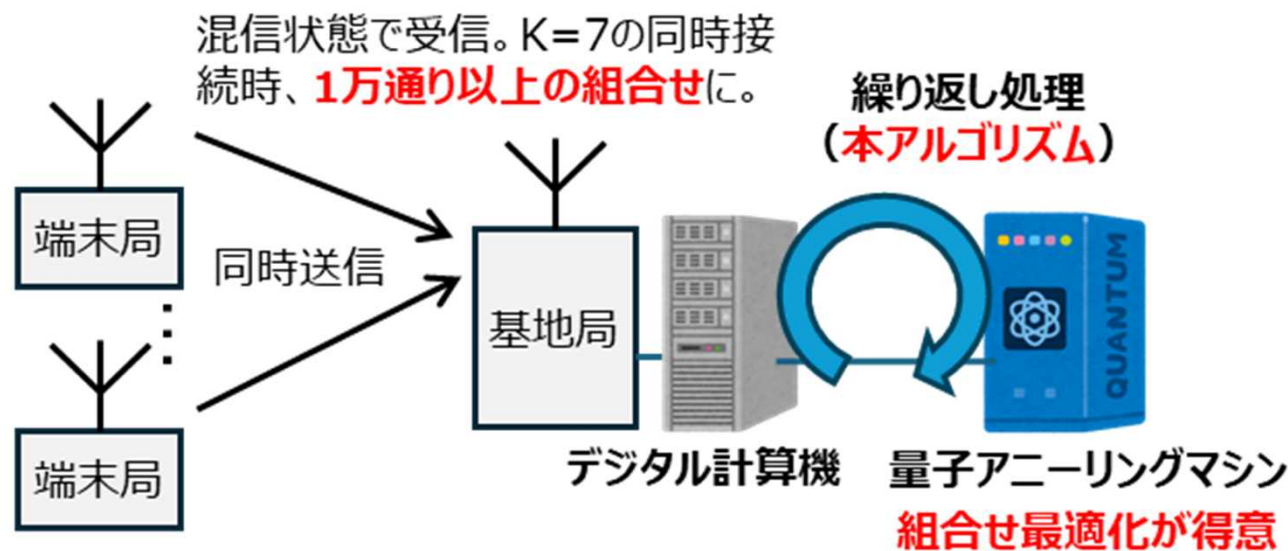
量子アニーリングによる超多数接続技術の開発

- 利用可能な周波数資源に限られる場合でも、B5G/6Gで求められる超多数接続を実現する技術を開発
 - デバイス密度で5G比10倍以上の実現へ（特に上り回線）
- 量子アニーリングマシンとデジタル計算機を併用するハイブリッド計算手法*（組み合わせ最適化を量子アニーリングマシンで解く）を考案，性能を検証

*) 最適な組み合わせの候補から，送信されてきたbitの対数尤度比を計算

計算時間を1/10へ短縮

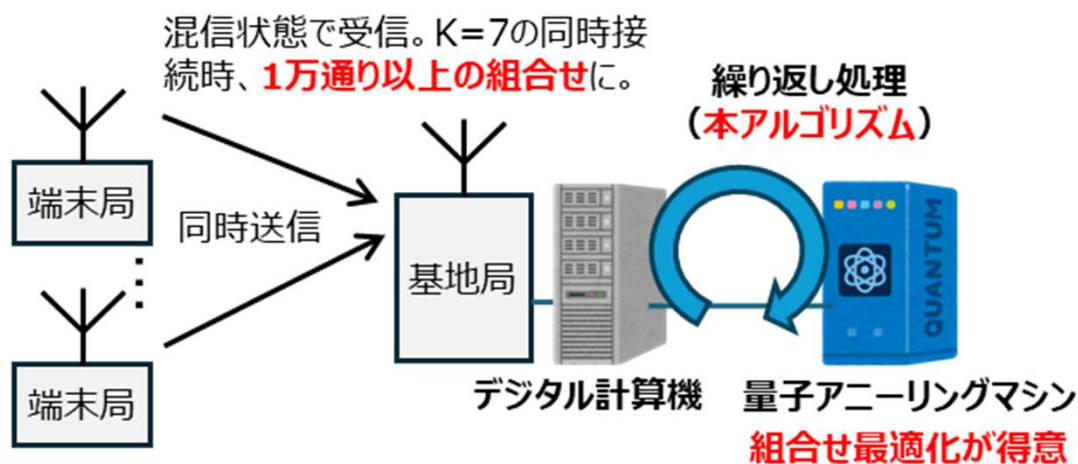
赤：厳密計算
青：提案方法



量子アニーリングマシン（D-wave社）を利用した実験結果

量子アニーリングによる超多数接続技術の実証

- 考案したハイブリッド計算手法を用い、同一チャネルを同時に複数デバイスで利用した際に基地局で多数接続信号の分離を行う技術を提案
- 世界初の電波発射を伴ったオンライン処理での屋外通信実験により、非直交多元接続への適用をフィールドで実証
 - 5G信号への適用実験、実証も完了

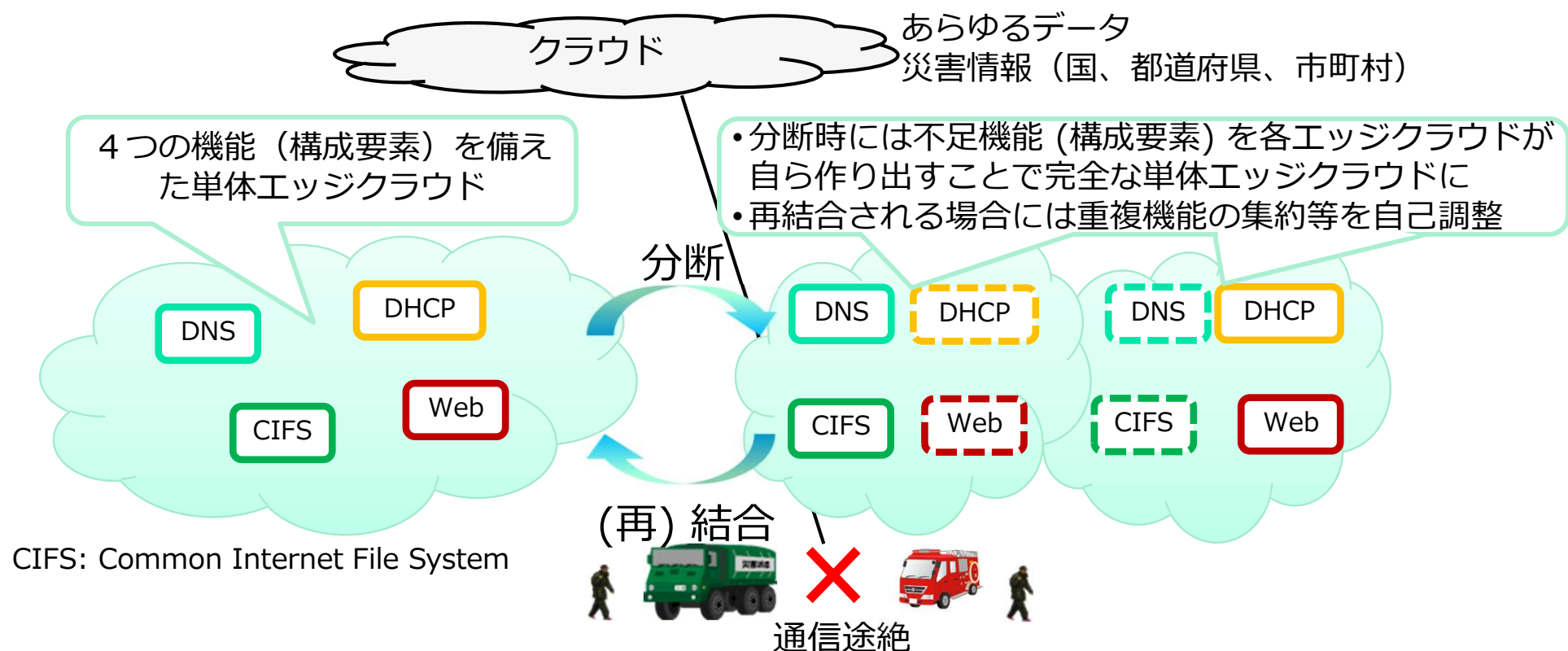


8台, 10台
でも検証

非直交多元接続における信号分離への適用

途切れても破綻しない自己産出エッジクラウド

- **自己産出型**：生物が自らの構成要素を環境に応じて自ら作り出すことにより、分裂や結合が生じてもそれぞれの集合全体として元の機能を維持できるという性質、およびその概念*1.2
- **自己産出型エッジクラウド**：クラウドサーバ接続が途絶しても、エッジ側の生存ノード間で自律制御を行い、各ノードのリソースに応じてサービス構成要素を分担し継続利用を可能とするクラウドサービス



※1 Varela, F.J., *Principles of Biological Autonomy*, 1979, Pearson Professional Education: NJ, [ISBN 0135009502](#).

※2 Maturana, H.R. and Varela, F.J., *Autopoiesis and Cognition: the Realization of the Living*, 1980, D. Reidel: Boston; Springer, [ISBN 9027710155](#);

機関横断型通信システムX-ICS: クロスイクス

■ Cross-Agency Information and Communication System

- 自己産出型クラウドサービスの現在形
 - ナーブネットのノードにモビリティを与えた段階といえる
- 公衆通信途絶エリアの災害実動機関（消防・警察・自衛隊・海上保安庁・DMAT など）による情報収集，共有，クラウドサービスを自己産出型で実現
 - 各ノードは複数通信インタフェースを備えた計算機とバッテリーで構成
 - ノード間の直接通信により情報の送受信（バケツリレー方式）が可能

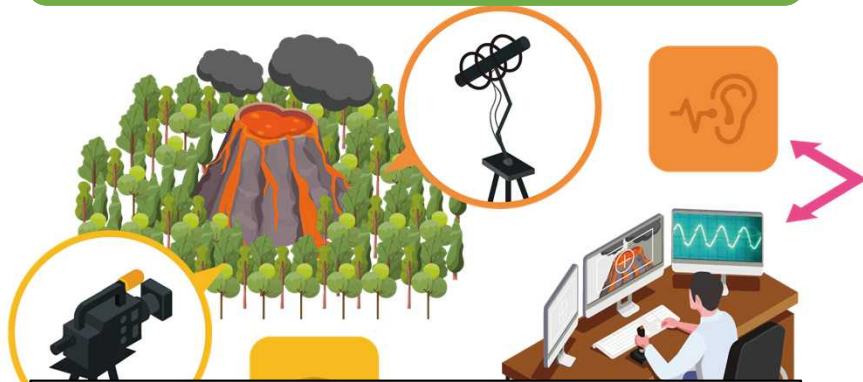


レジリエントな自然環境の計測・可視化・解析技術

1. 映像IoT：4K映像をセルラー回線でも低遅延・低コストで伝送，AI解析により噴煙，降雪，降灰，高波，浸水等を検知
2. インフラサウンド計測：高精度・小型・低コストセンサーを開発し全国に展開，津波や火山などを早期に検出

ユースケース例：カメラや各種センサを利用した自然災害発生の検知

映像IoT技術



- ・火口付近に商用電源を使わないネットワークカメラを設，置運用試験中
- ・桜島周辺の映像解析による噴煙検知を検証中

インフラサウンド計測



- ・国内25か所のインフラサウンドセンサ観測網を構築、音源位置解析手法を検証中
- ・桜島の深夜の噴火の検知，能登半島地震やトンガ海底火山噴火の津波の検出

映像IoT技術がめざすもの

- 4Kカメラ映像をセルラー回線でも低遅延・低コストで伝送する
多様な機能を持つシステムを構築
 - 電源自律性にも配慮したシステム構築が可能
- AI解析により噴煙，降雪，降灰，高波，浸水等を検知

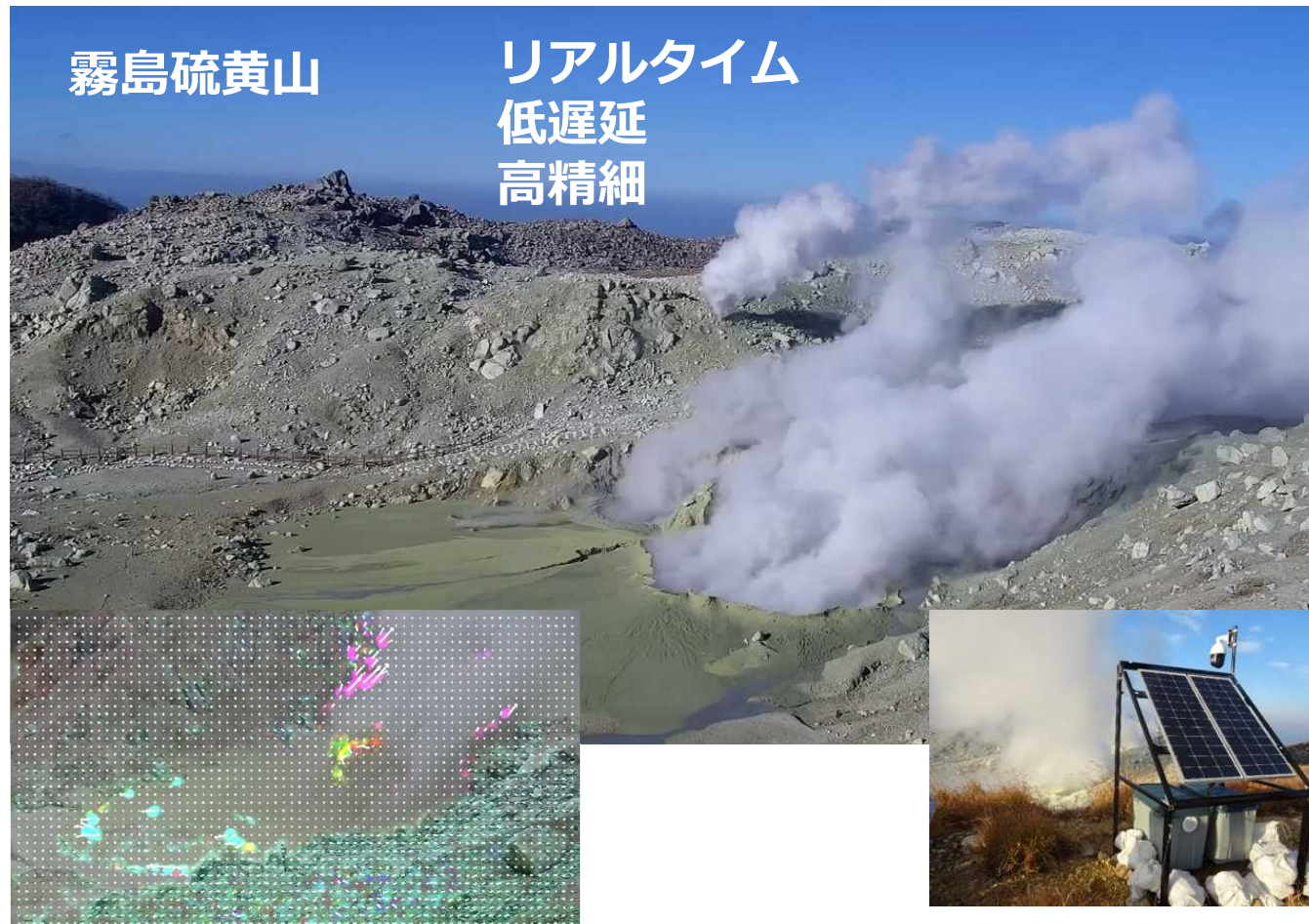


ズーム・チルト・パンが可能なカメラ映像
(千曲市高台から平地を望む)

映像IoT情報による降雪の検知
(降雪部分を赤色表示)

火山・火口の映像解析による噴煙検知を検証

- 火口付近に商用電源を使わないネットワークカメラを設置し、3年にわたる試験運用中



噴煙の形状や方向をリアルタイムにAIで検知

- ・ 開発した低電力管理技術により自立稼働
- ・ セルラー回線を利用，商用電源なし



(参考) 気象庁設置カメラ画像

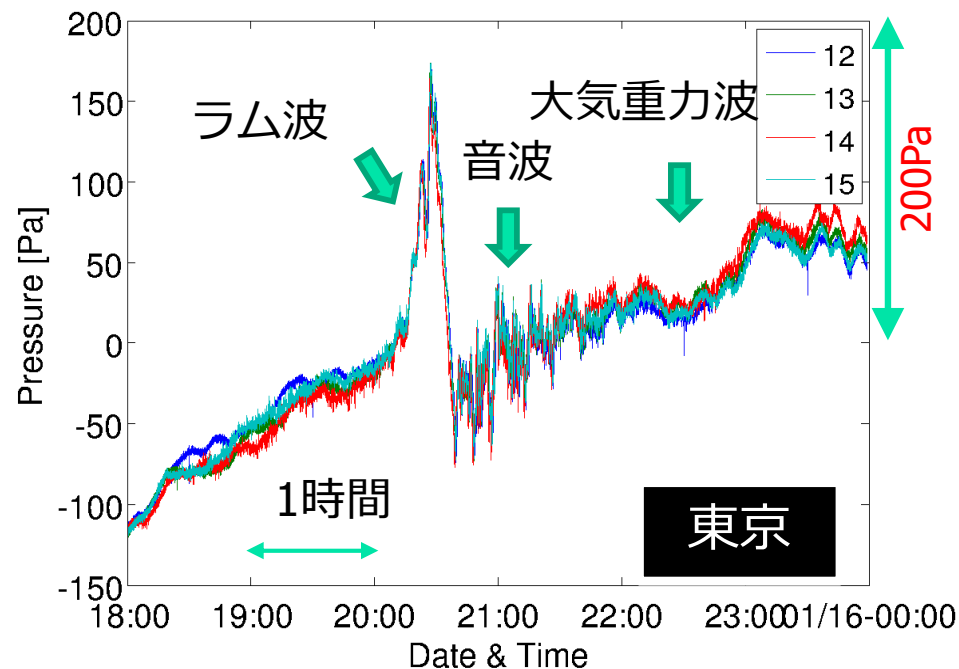


地元えびの市主催の火山防災訓練で活用

インフラサウンド計測技術

津波の早期検知に向けて

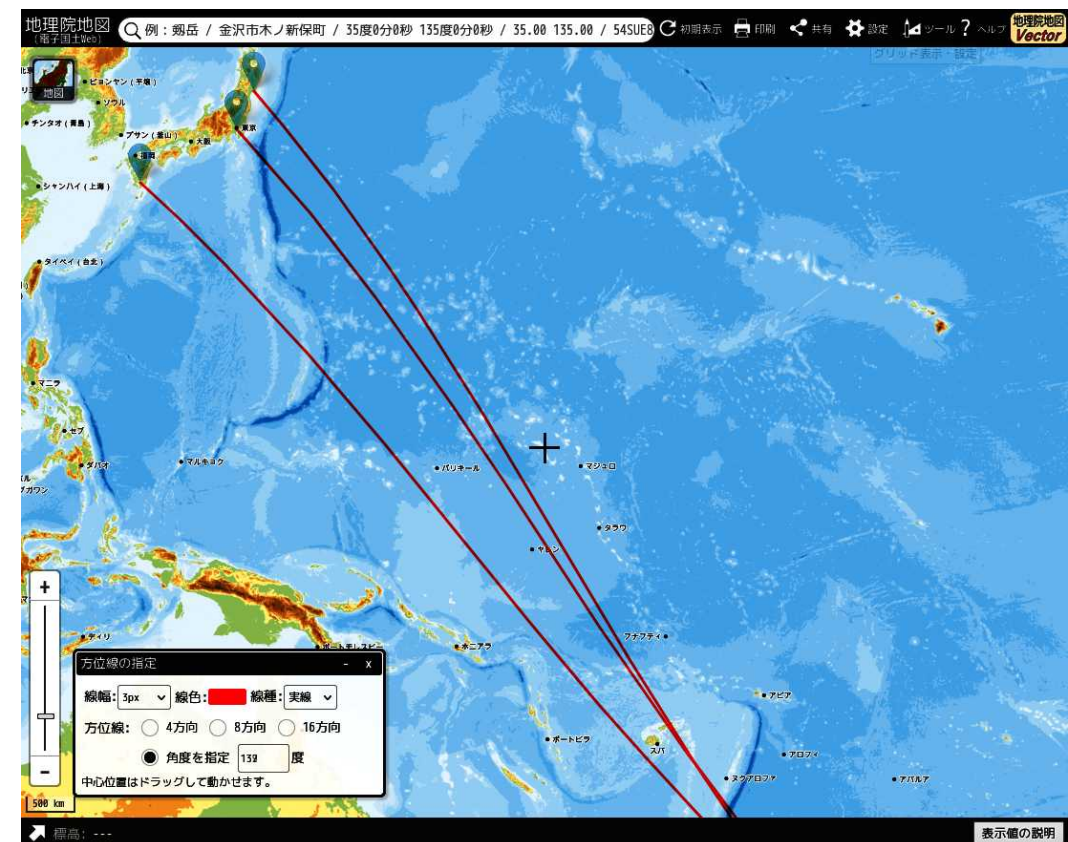
- 2022.1のトンガ海底火山噴火によるインフラサウンドの観測↓と到来方向推定↓に成功



- これを機に、津波の早期検知に向けて全国25カ所にセンサーデバイスを配置

- 到来方向推定結果

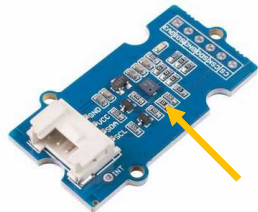
- 左から鹿児島、東京、仙台に設置された多チャネルセンサによる到来方向推定線



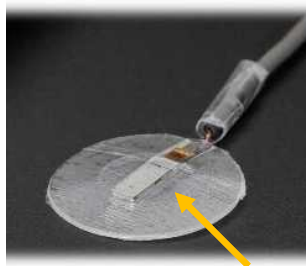
インフラサウンド計測技術

インフラサウンド計測が目指すもの

- 震源が遠い津波の早期検知などの応用には全国的なインフラサウンドセンサの配置が必要
- 小型・安価・高精度なインフラサウンドセンサを開発観測
 - 特性を異にする2種類のセンサのハイブリッド構造による高性能化
 - 0.1Hz以下：MEMS気圧センサー
 - 0.1Hz以上：超低周波マイク



気圧・温度
センサ
(DPS310)



超低周波マイク
(RION)
一円玉の中央にある突起物がマイク



観測装置モックアップ

全国25カ所のセンサ



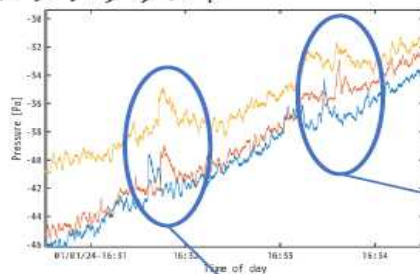
日本気象協会のインフラサウンド・モニタリング・ネットワークで公開中のデータのうち7地点はNICTが提供



能登半島地震による津波のインフラサウンド観測

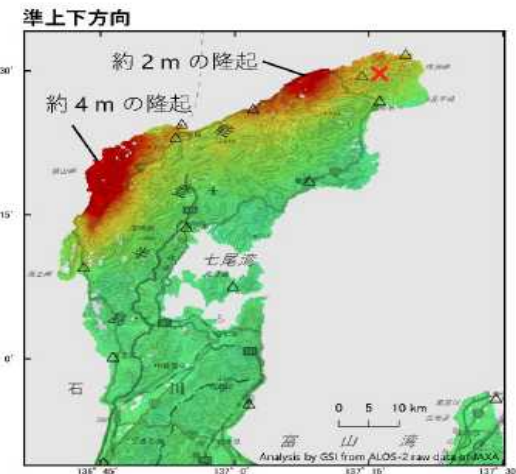
■ 愛知県で観測された2度にわたるインフラサウンドの到来方向推定結果

愛知でのインフラサウンド観測データ



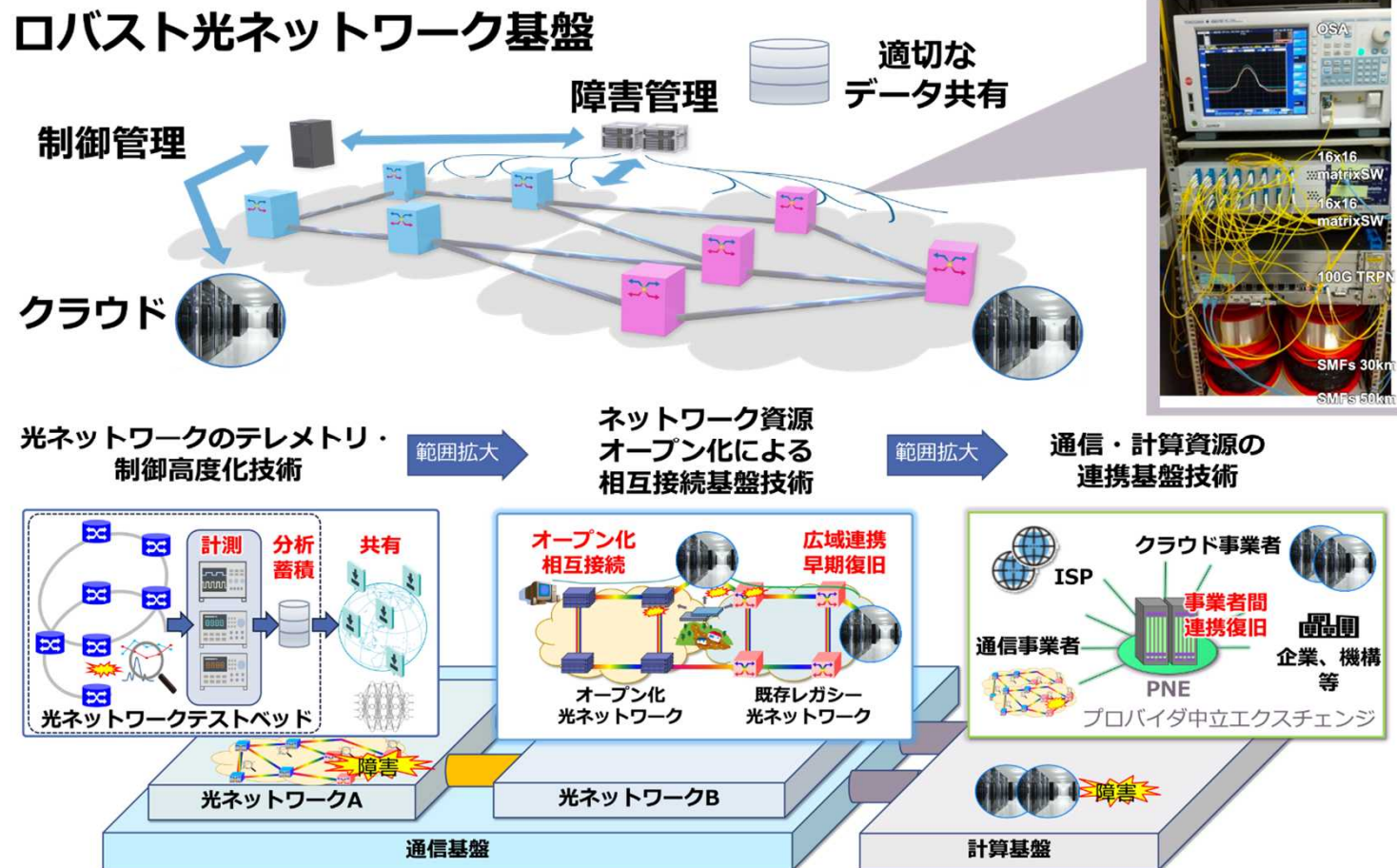
地震調査委員会「令和6年能登半島地震の評価（令和6年2月9日公表）」から抜粋

「だいち2号」による衛星観測データ（暫定値）



ロバスト光ネットワーク基盤の実現

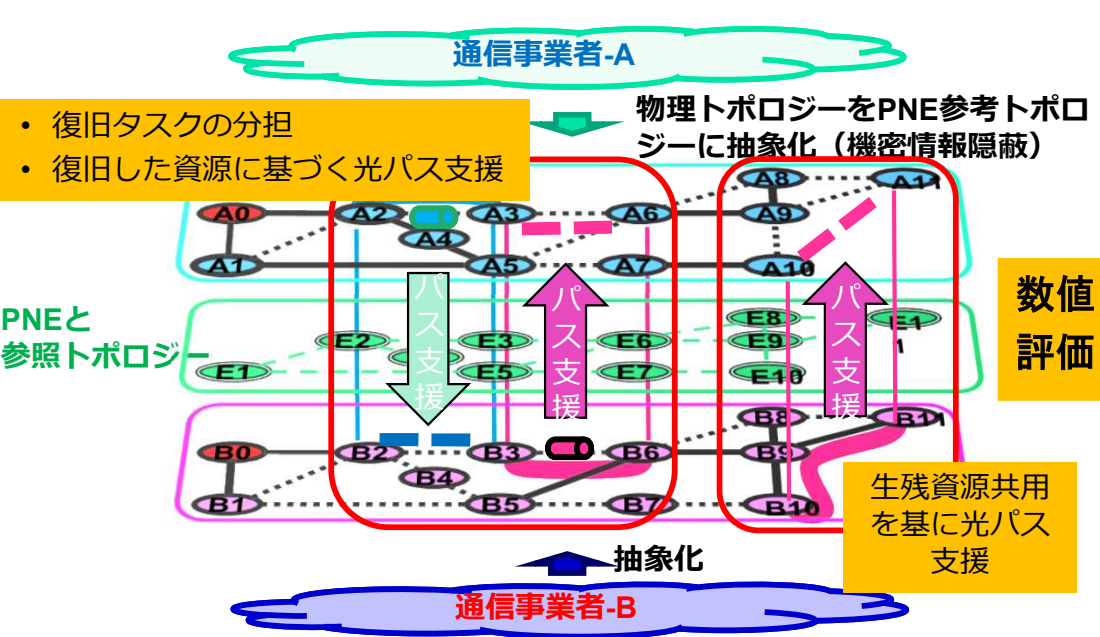
- 大規模障害や災害などにロバストな光ネットワーク基盤技術を確立
 - 光ネットワークの潜在的故障源を検知・予測する耐障害性能向上技術
 - 性能低下抑制のための適応制御基盤技術
 - 障害発生時に速やかに機能回復するための基盤技術



通信事業者間の新たな連携手法による早期障害復旧

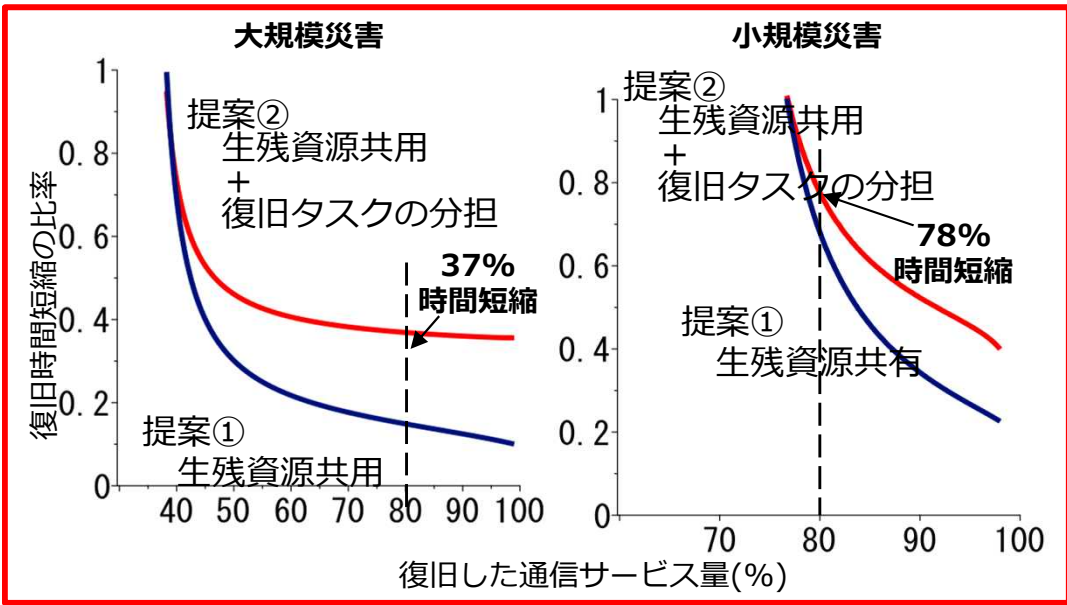
- 各通信事業者から独立・中立・共通の「プロバイダ中立エクスチェンジ (PNE)」を設定
- 物理光ネットワークトポロジー通信事業者の営業秘密
 - 抽象化してPNEにおける参照トポロジーとし，秘密情報の漏洩を防止
- 通信事業者間の生残資源共用，復旧タスクの分担，旧スケジューリングを参照トポロジー上で実施する手法を開発

復旧時間が大規模災害で30%以上，小規模災害で70%以上に短縮



※PNE：プロバイダ中立エクスチェンジ

UC Davisとの共同研究



単独復旧に対して連携復旧の場合の復旧時間の顕著な短縮効果 (ONDM2023最優秀論文)

クロスイクス みちのくALERTにおけるX-ICS利用

■ 2024.11みちのくALERT (陸上自衛隊東北方面隊主催)での利用



東北方面総監 牛嶋陸将



LCAC揚陸



X-ICS搭載車両 上陸



SIP4D

インターネット

1 災害情報共有

2 津波予測に基づく
避難警報

対策本部

1 災害情報共有

2 避難警報

指揮所

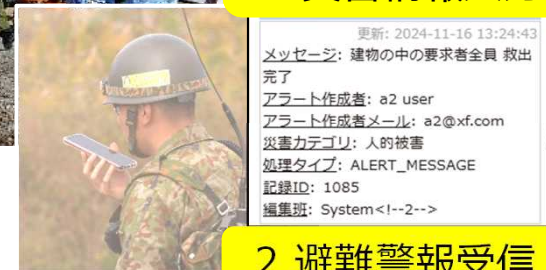
X-ICS

通信途絶を想定した災害現場・指揮所の隊員の情報共有、災害現場から入力された最新情報のSIP4Dとの共有、津波予測に基づく避難情報の災害現場への配信といった双方向の情報共有に成功



X-ICS

1 災害情報入力

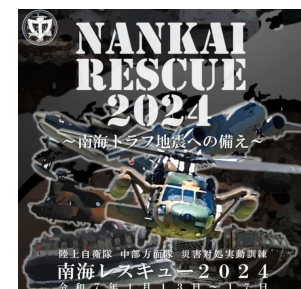


2 避難警報受信

更新: 2024-11-16 13:24:43
メッセージ: 建物中の要求者全員 救出完了
アラート作成者: a2 user
アラート作成者メール: a2@xf.com
災害カテゴリ: 人的被害
処理タイプ: ALERT_MESSAGE
記録ID: 1085
編組班: System<!--2-->



2025.1.14 南海レスキュー (中部方面隊主催訓練) でも検証
伊丹駐屯地、南紀白浜空港に装置を展開、DMATも参加



国土強靱化に向けた研究成果の展開推進

- 国土強靱化に向けた取組の推進業務
 - 防災訓練・展示会・イベント等を通じた成果発信
 - 社会実証や社会実装の支援

地域デジタル・通信基盤「ナープネット」技術の社会実装展開支援

機関横断情報通信システム（X-ICS）のPR



松村前防災担当大臣へ説明 (ぼうさいこくたい2024@熊本) (青森県総合防災訓練2024)



和歌山県美浜町役場へ説明



宮崎県延岡市役所屋上での説明



避難所で住民へ実演 (和歌山県すさみ町)



現ネパール首相へ説明 (本部展示室)
ネパールの自治区で利用開始

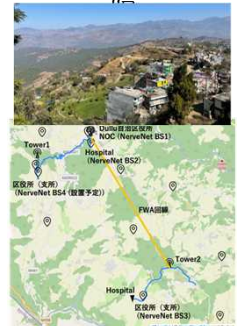
電源自立型映像IoT技術の社会実装展開支援



覚書署名式：令和5年12月25日
県への要望書：令和6年5月20日
(宮崎県えびの市)

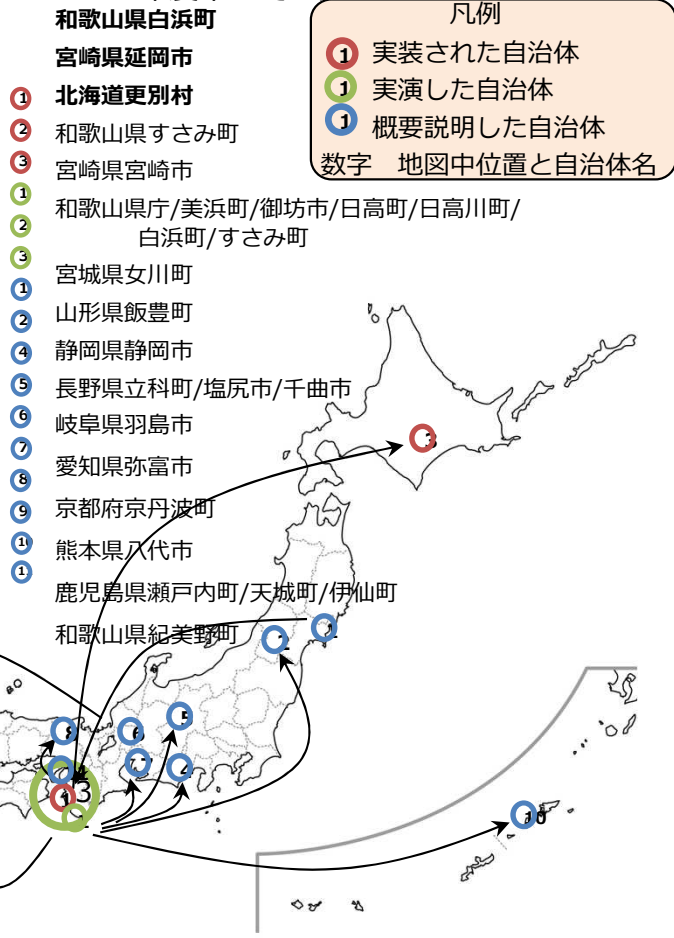


宮崎県庁、えびの市役所、小林市役所に提供中の噴火口の高精細映像



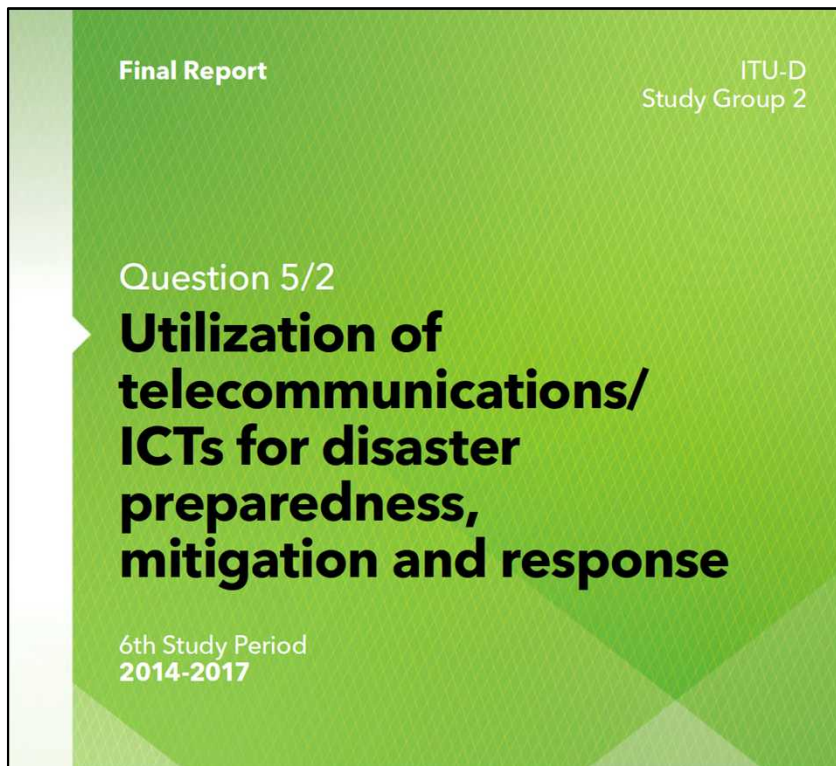
構築したネットワーク

実装とアピール活動
(矢印は2014年以降2023年度末までの展開過程)



標準機関を通じた世界共通の課題としての情報発信

- ITU (国際電気通信連合), APT (アジア・太平洋電気通信共同体), 3GPPにおいて耐災害ICTの研究成果に係る発信・情報収集・標準化を実施中
 - NerveNet (NICT)
 - ICTリソースユニット技術 (NTT)
 - エルビウム添加ファイバ増幅器 (EDFA) (NICT) 等
 - Die-Hard Network
 - DISAANA, D-SUMM
 - SOCDA
 - フェーズドアレイ気象レーダ



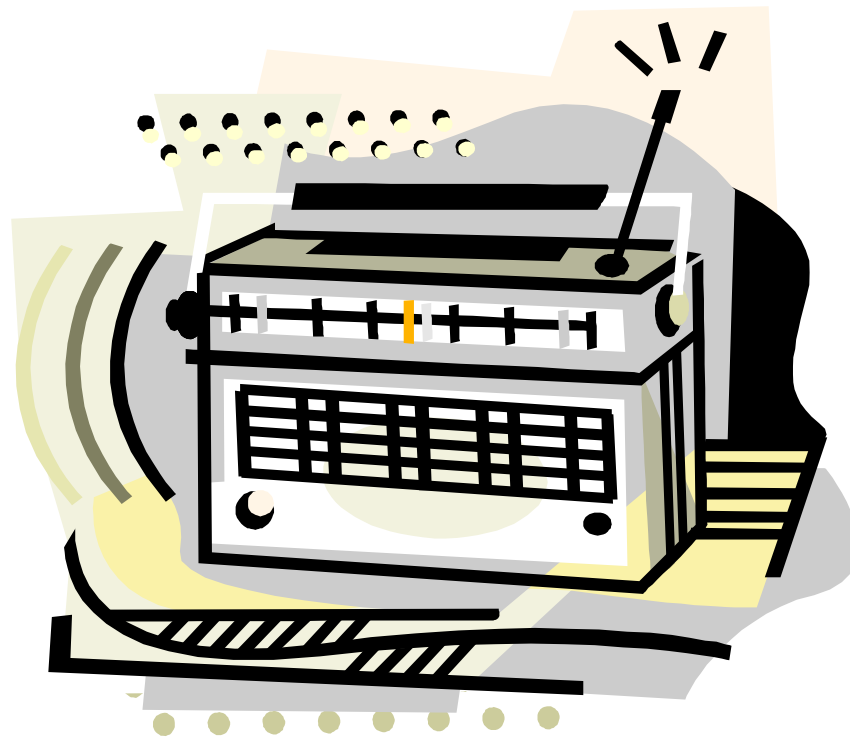
災害時・非常時とICTをめぐる現状認識と新しい視点

- 東日本大震災後15年目の状況変化と現状認識
 - 大規模化・長期化・激甚化する災害
 - 未知の感染症によるパンデミック懸念
 - 世界的な政情の不安定化
 - 市民の持つ情報環境がめざましく進歩，普及
 - ほとんどの市民一人ひとりが高性能デバイスでネットワークにつながる
 - 社会全体のデジタル化が進展し，オープンデータの活用が進むAI社会
- 新しい視点：耐えるICTからレジリエントなICTへ
 - 固い強さだけでなく，弾力，しなやかさな対応力，復元力も備えた強さ
 - 発災が起点ではなく，日常から非常時までの社会システム・社会サービスを担い続けられるICTへ
 - 未知・未経験の事象や災害を含む様々な事象によって引き起こされる非連続な変化にも連続的に機能を保持，持続できるICT社会基盤の実現を

第4部

災害時・非常時における放送を考える

—とくにラジオの役割について—



放送とは

- 放送法と電波法に基づいて、電波を用いて広く市民に情報を伝える (broadcastする) マスメディア
- 日本のラジオ放送：1925年開始
 - 日本のラジオ放送はAM, FMの違いはあれどアナログ
 - ただしradiko, らじるらじる等のネット配信放送はデジタル
- 日本のテレビ放送：1953年開始
 - 2011年（岩手，宮城，福島3県は2012年）
デジタルに完全移行（地上デジタルテレビジョン放送）
 - TVerやNHK+などネット経由の放送も
- 日本の放送は、公共放送（NHK）と民間放送（民放）の2本立て
- 放送のネット配信併用とレジリエント化は今後も進展
 - NHK+ は NHK ONE へ， など

放送配信とCDN (content delivery network)

- 放送のネットワーク配信では, “ネット動画” 等と同様に, CDN の活用が進む
- CDN (content delivery network)
 - ウェブページや音楽, 動画などの様々なコンテンツ (content) をユーザの近く (インターネットサービス提供社 (ISP, モバイル網ならDocomoやAUなど)のの近くまで運ぶバックボーン (光ネットワーク))
 - 日本でも放送ネットワーク配信はJOCDNなどCDNが基盤
 - Googleではグローバルネットワークと (エッジネットワーク (ISPまでのネットワーク)) で構成
 - https://storage.googleapis.com/gweb-cloudblog-publish/images/gcp_regions_and_zones.max-2800x2800.jpg
- 放送のネット配信が進んでも, 電波による (旧来からの) 放送はレジリエンスを支える上でも必須



放送とネット経由の情報の比較

放送による情報の特徴

- 社会的共通資本 (公器) のひとつ
 - ジャーナリズム精神に基づく強い取材力, 情報収集力と, それ故の (総体としては) 提供する情報への高い信頼感を有する
- 様々なジャンル・種別の情報が聴取者の好み等にかかわらず伝えられ, セレンディピティ*を持つ
- 取材力を背景に, 狭い地域から, 県域, 全国まで, 多種多様なコンテンツづくりに長けたメディア
 - 災害時・非常時にも重要かつ有効
- 実際, 放送は様々な災害で信頼できる必須の情報源として機能し続けてきている

ネット情報の特徴

- “ネットの世界”情報の送り手は多様であり, 公的責任を有する場合は例外的
 - したがって情報への信頼感が必ずしも高いとはいえない
- 履歴に基づいた推薦により, 聴取者が好む情報が選択されて送られてくる
 - エコーチェインバ (残響室) 現象, フィルタバブルが発生しがちで, セレンディピティが乏しい
 - セレンディピティの確保は, 災害や非常時には特に重要

* 予想外のものを偶然に発見したり、探し物とは別の価値を偶然に見つけたりすること



ラジオ活用の意義

- 東日本大震災の後の放送強靱化の議論の結果，FM放送の帯域が76～90MHzから～95MHzに拡張
 - 現在，99MHzまでの拡張にむけた調整が進む
 - ラジオは電子回路やシステムが単純で低消費電力かつ携帯性に優れ，非常時などに極めて有用
- スマートフォンではFMチューナ※による受信は更に低消費電力
 - ネット配信経由に比べて1/3～1/2に
 - 民放連はラジスマ推奨 <https://radisma.com/>
- 地方の民放ラジオの自主制作率は50～75%と高い
 - vs. TVは約10%
 - ∴ 地域性に富んだ情報発信力を持つ

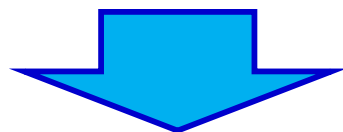


※ チューナとは空間を飛び交う様々な電波から，所望の電波を選び取り，その中に含まれる情報を取り出す電子回路

災害時・非常時にラジオ放送の確保は必須

災害時・非常時の地域情報伝達と放送への思い

- レジリエンス ⇒ 多様性, 普段使い, 耐性, 回復力
- 災害・非常時には、発生前後で必要な情報の種別、粒度（個人～地域～全国）はダイナミックに変化
 - 放送は、その変化に対応して、報道機関として高い信頼性を持つ多種多様な情報として伝えうるメディア
- 普段使いの観点からは、平時から必要な情報が必要となときに得られるようにしておくことが重要
- 政府は放送の災害耐性と回復力向上の努力を継続中



普段から放送（とくにラジオ放送）に親しむ環境を

謝辞

- すべての研究成果は研究を一緒に進めてくださった、恩師、研究室スタッフ各位、学生・院生諸君、様々な形の共同研究者・組織の方々などとの協業の賜物である
 - 東北大学
 - 工学部電気工学科電気理論講座
 - 電気通信研究所音響通信研究部門
 - 電気通信研究所先端音情報システム研究室
 - 大学院情報科学研究科音情報科学研究室
 - NICT, とりわけ耐災害ICT研究センターならびにレジリエントICT研究センター
- 研究にあたり、科研費、NEDOグラント、ミレニアムプロジェクト、地域新生コンソーシアム、仙台サイバーフォレスト、SCOPE、A3フォーサイト、総務省平成23年度第3次補正予算などの助成を得た
- 本講演の準備に当たり、NICTレジリエントICT研究センター長 井上真杉博士をはじめセンター各位から多大な支援を得た



仙台の秋は芋煮会 (2003.10, 広瀬川の河原にて)



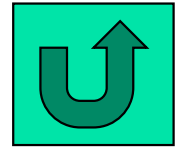
音響設計を担当した東北大学100周年記念会館 (川内萩ホール)における満席での音響測定実験(2008.12)



仙台市立荒浜小学校をのぞみながら進む屋外拡声実験 (2012秋)



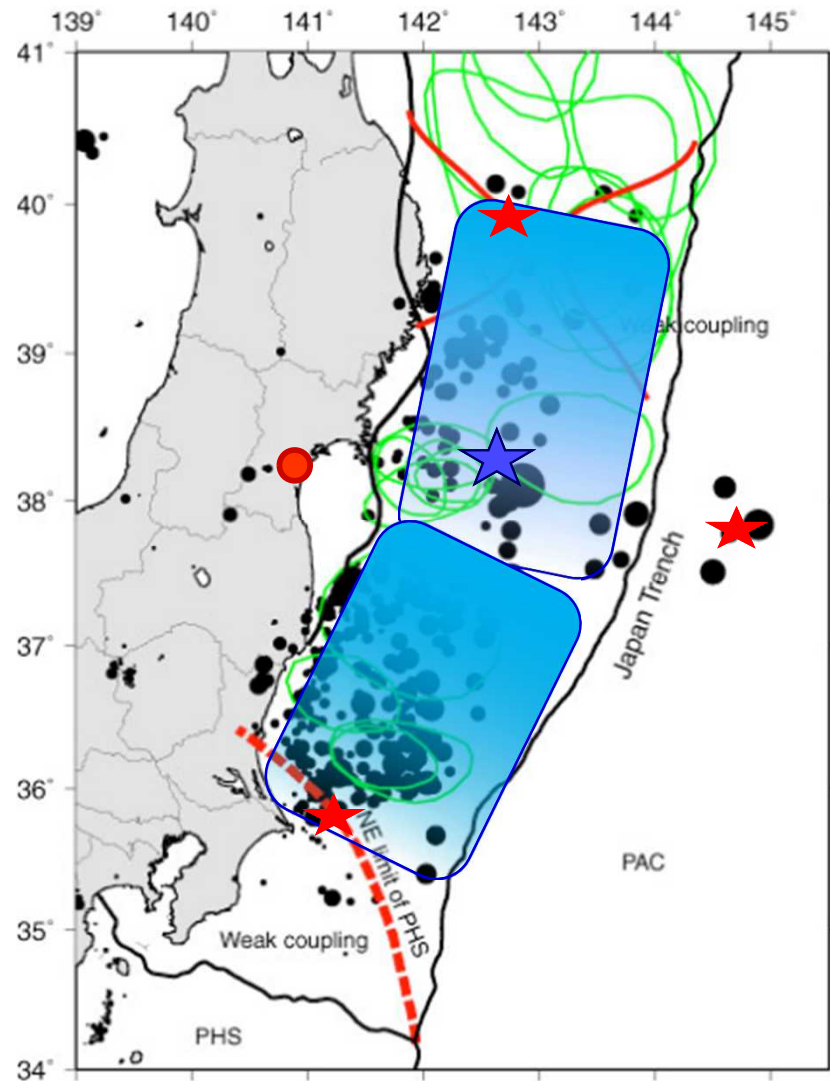
東北大学大学最終講義にて(2019.3)



東日本大震災がもたらしたこと

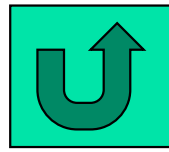
H23/3/11 東日本大震災発生

■ M9.0 大地震+津波+原発事故



■ 仙台市沿岸も広範囲が浸水





東日本大震災による通信インフラの影響

携帯電話基地局の被害と停電戸数

