

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—



鈴木陽一(工学博士)
東北大学電気通信研究所, 大学院情報科学研究科

東日本大震災における屋外拡声システムの活用

- 防災行政無線(防災無線)
 - 国及び地方公共団体が災害情報の収集・伝達手段のために設置
 - 地域住民には屋外拡声装置(→)を主軸に情報を早く正確に伝達
- 東日本大震災における活用*
 - 大津波警報を聞いた: 52%
 - 避難の呼掛を聞いた: 45%
 - 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%



*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(第7回), 内閣府, 2011.

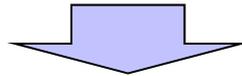
東日本大震災があらわにした課題

- 20%の市民は防災無線からの拡声内容が聞き取れていない
- ↓
- いくつかの課題が顕在化
 - 停電で機能しなかった
 - 鉄塔の損壊(倒壊等)で拡声音が小さくなり内容が理解できなかった
 - 複数の拡声音が混合し内容が理解できなかった



なぜ屋外拡声音で問題がおきたのか

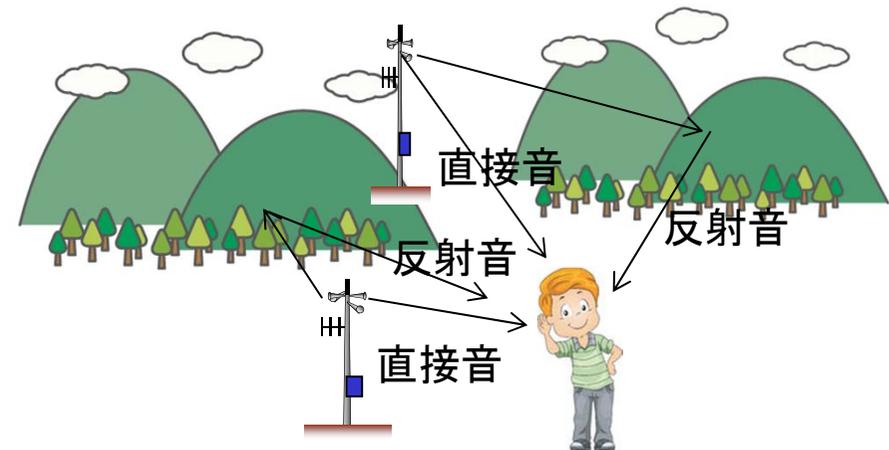
- 屋外の音伝搬は, 環境騒音問題としてのみ注目
 - エネルギー(量)の予測で充分(波形の情報は不要)
- 音声(意味のある音)の屋外伝達特性の研究が重要!
 - 音声了解度の予測には, 波形(位相)も重要
しかし世界的に研究がほとんどみられない
 - 行政的にも屋外拡声音に関する技術基準等が存在しない



- 我々は震災後にこれに気づき直ちに研究を開始
 - 2011年7月～
電気通信研究所の自主財源による研究を開始
 - 2012年3月～2013年3月
総務省第3次補正予算プロジェクトにより更に研究推進

屋外における音声了解度阻害の最大要因＝ 「ロングパスエコー 問題」

- エコー：同じ音声が2つ以上に分離して聴こえる現象
 - 音源が複数あったり, 音が反射などによって発生する
 - 音声が聴きににくくなったり, 音楽の響きが悪くなる
- ロングパスエコー (long-path echo)
 - 屋外では遅れが数100 ms以上に及ぶ音が到来し, 時間差の大きく異なる音声が重なる ➡ ロングパスエコー (long-path echo)
 - ロングパスエコーは防災無線タワーからの混合音の聴取を阻害する最大要因
 - しかし, 世界的に, その具体像はほとんど知られておらず, 都立大学(現:首都大学東京)戸井田氏の研究があるのみだった
(大学の役割を感じさせられる)



同じ音が, 大きな遅れを持って四方から到来 →ききづらい!



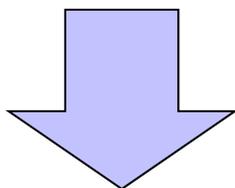
屋外の長距離音響伝搬特性の測定



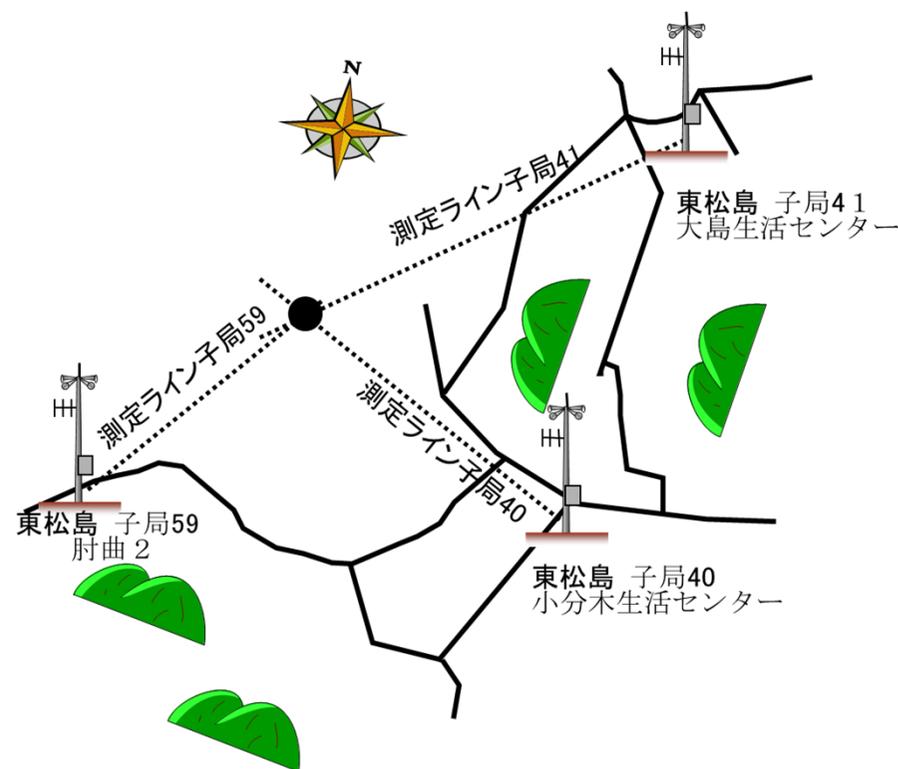
ロングパスエコーの実態解明



- 屋外におけるロングパスエコーの音声聴取阻害特性を明確化するには、その物理特性の把握が不可欠



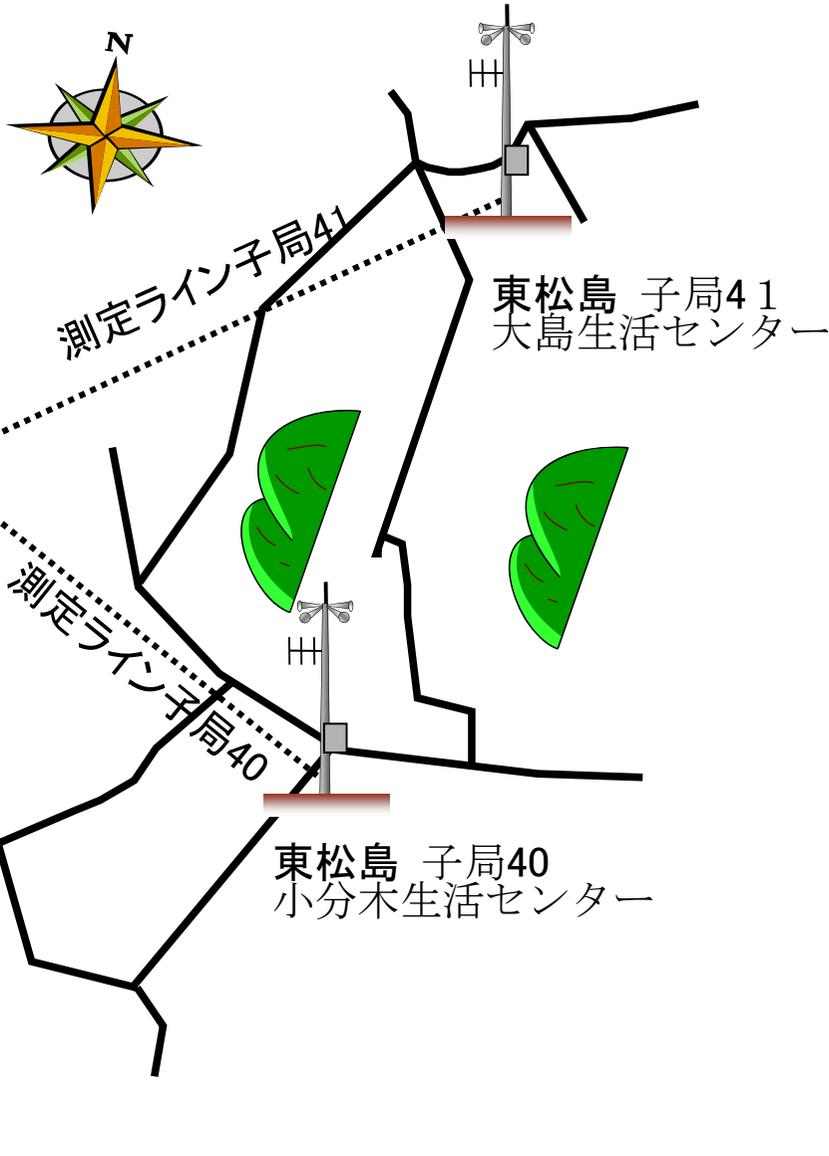
- その基礎となる伝搬特性(伝達関数*)を測定
 - 信号源候補
 - 弾着音, バンドノイズ, M系列, 時間引延しパルス(チャープ信号)等を使用
 - 屋外において比較検討



東松島市における屋外実験の子局配置

* システムの特性を周波数の関数として表現したもの

東松島市における現地計測例(2011. 11. 2)



弾着音の仕掛け



信号音発生スピーカ



受音用マイクロフォン

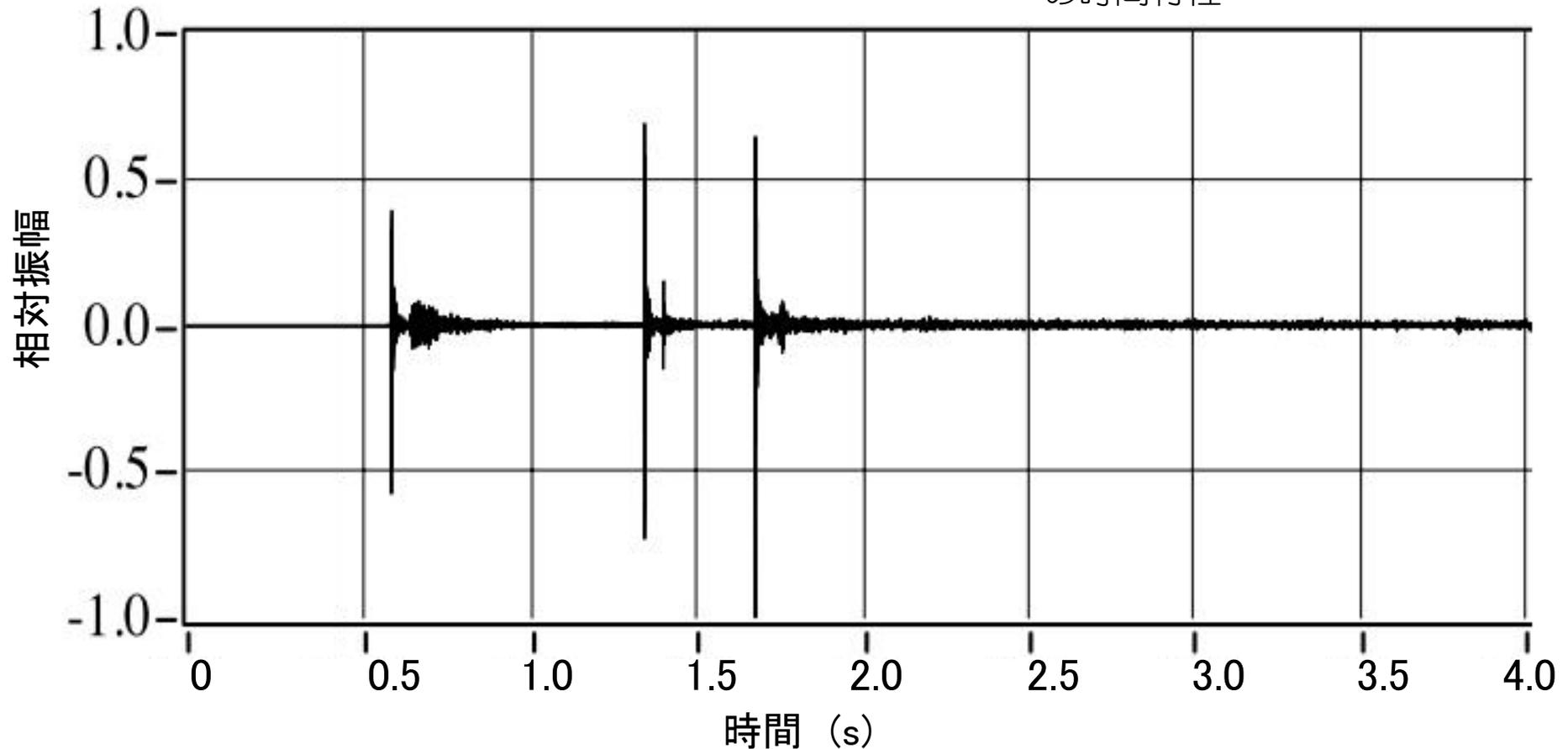
複数子局からの音出力混合状況の検討



- 3つの子局から同時に音が放射されたときのインパルス応答* (ピーク値で基準化)



* 伝達関数から求まる、音波伝搬の時間特性



ロングパスエコーの音声聴取への影響



- 測定点で計測されたインパルス応答 

- 単文

 - ドライソース 

 - インパルス応答を畳み込んだもの 

- 朗読

 - ドライソース 

 - インパルス応答を畳み込んだもの 



ロングパスエコーの音声聴取への影響



ロングパスエコーの音声聴取への影響(実験1)



- どの程度聴きにくいのか?
 - 試験文を提示し、正しく回答された割合で客観的に評価
 - 試験文例:「茶の湯が日本人の美意識を決定づけた」
- 現場実験:東松島市肘曲

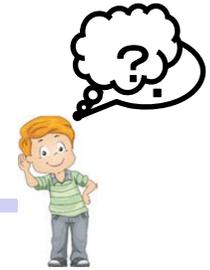


500m地点

- 拡声装置から200m, 500m地点で了解度試験を実施
- 拡声装置数: 2
- エコーは先行音と同じ大きさ
- 東松島で実測したインパルス応答を考慮



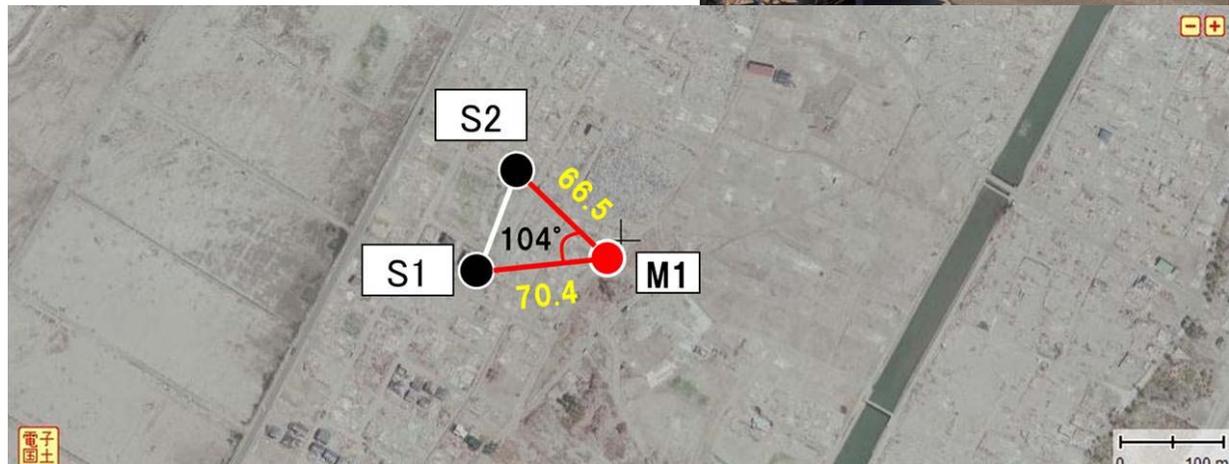
音の到来方向と妨害音の影響 (実験2)



- 実験現場: 仙台市若林区荒浜地区
- 実験条件
 - 残響音: 実験1の聴取点の残響音を付加 (C50で+9dBと0dB)
 - 後続音の遅れ時間: 0, 150ms
 - スピーカ: TOA TH-50D30
- 被験者
 - 11名の大学生



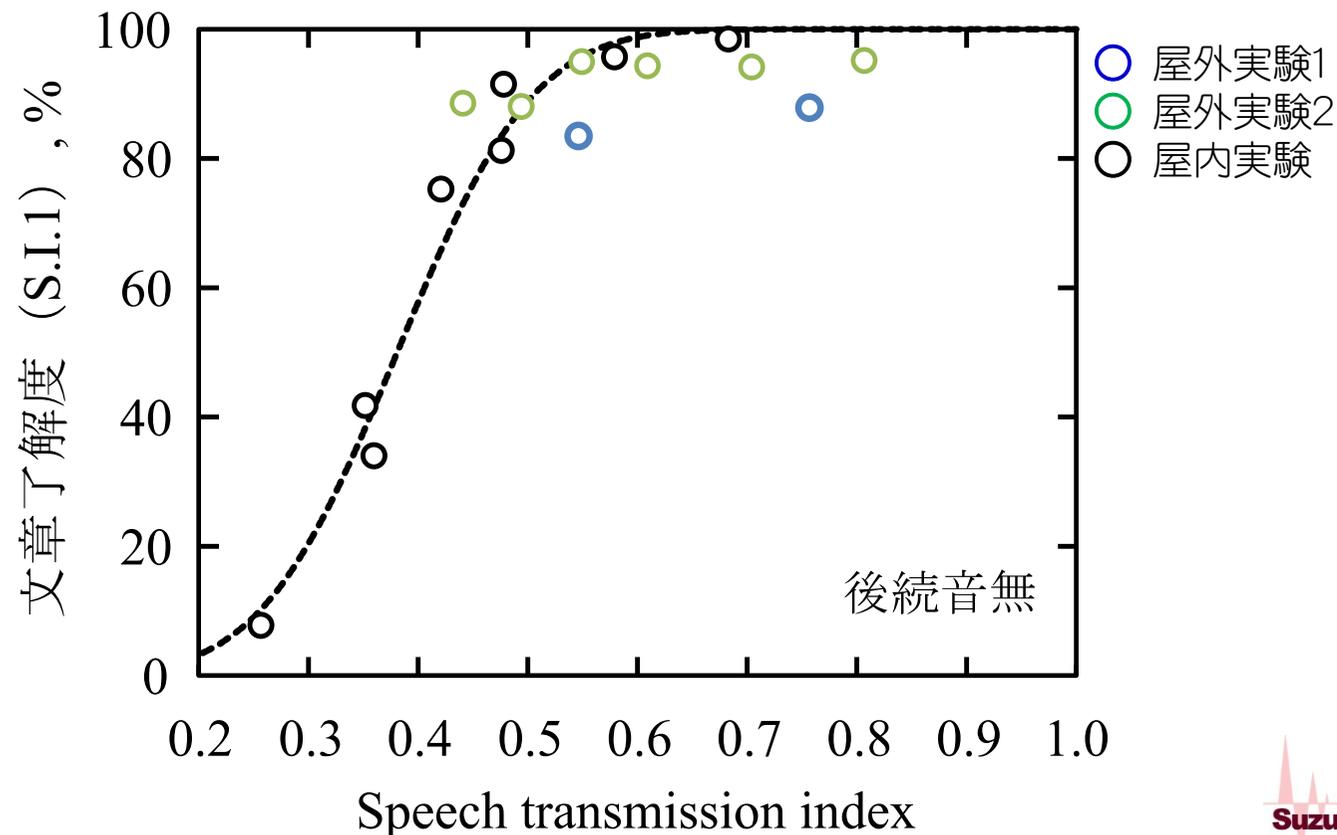
C50: 50 ms以上遅れて
到来した音を残響
と考えた指標



文章了解度と物理量 (STI) の関係



- STI (Speech Transmission Index, 音声の包絡線情報の再現に着目した評価量, 国際規格) により聴取実験結果を評価
- STIが0.6以上であれば充分高い文章了解度が得られる





屋外拡声系に適した語彙の選択法

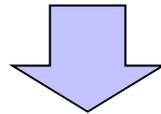


三省堂, 1999

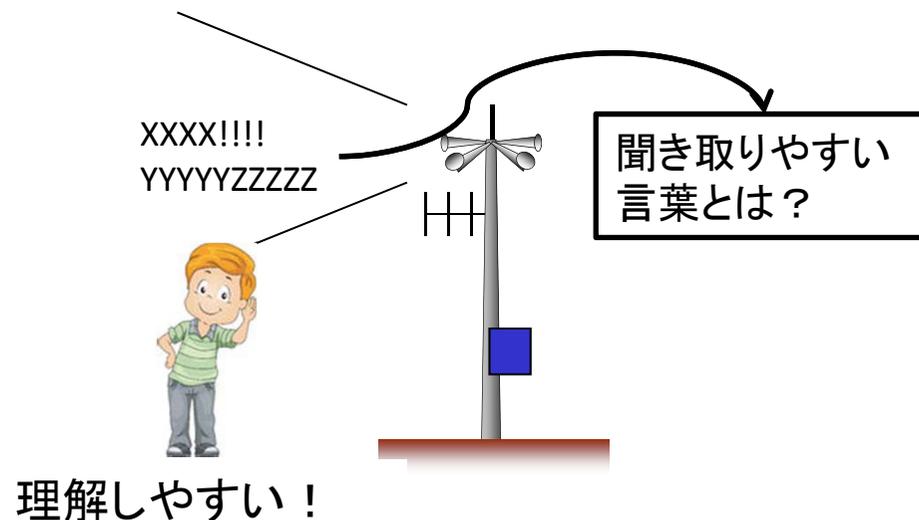
ロングパスエコー環境下で用いる語彙の 選択において考慮すべき項目



- 使用する語の(時間的な)長さ
 - 音声(単語, 文章)が長いほど, エコーの悪影響が増大
- 語彙の難しさ
 - 難しい語彙は聴取環境の悪化により了解度が著しく低下



- 語彙の難しさを的確に表現して選択することが必要



語彙の難易度を表す指標



■ 出現頻度

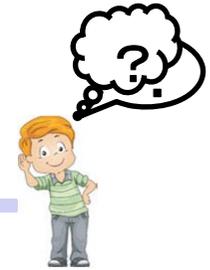
- 従来から広く用いられているが、書き言葉(新聞等)から作られる場合がほとんどで、日常用いる用語の難易度を反映しづらい
 - 例:国会用語(国対など)の出現頻度が日常用語よりはるかに高い

■ 親密度

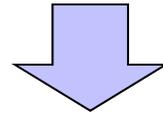
- “なじみの程度”を表し、心的辞書をより強く反映した指標
- 日本語単語に関する大規模なデータベースが構築
 - 新明解国語辞典全単語の親密度データベース(近藤, 天野, 1999)



単語親密度を統制した音声聴取能の測定



- 「親密度」データベース(天野, 近藤, 1999)



- 音声聴取能の測定用単語集が構築されている
 - NTT・東北大 親密度別単語了解度試験用音声データセット (FW03, 2003)

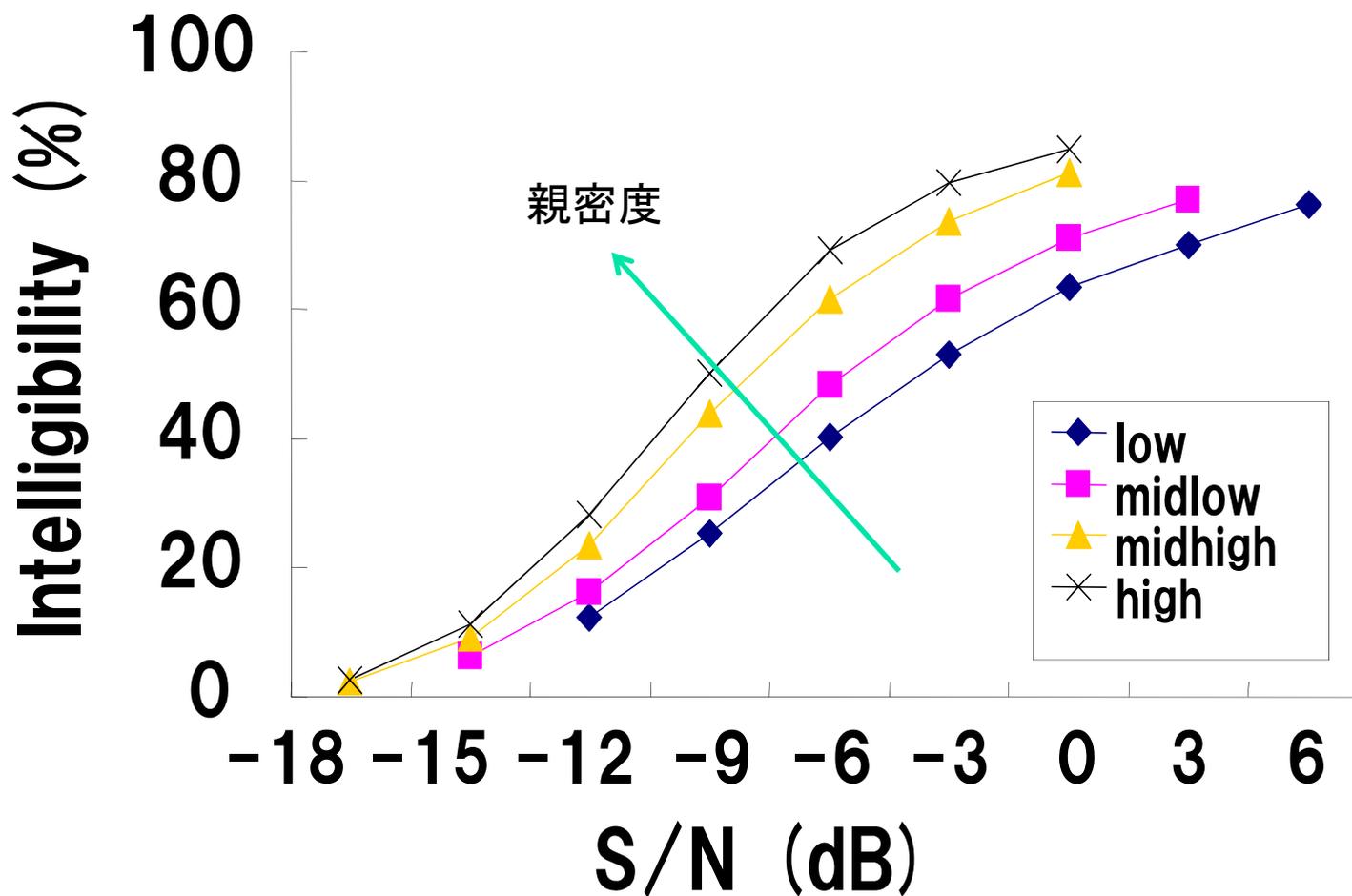
高親密度単語 (7.0~5.5)

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
.....

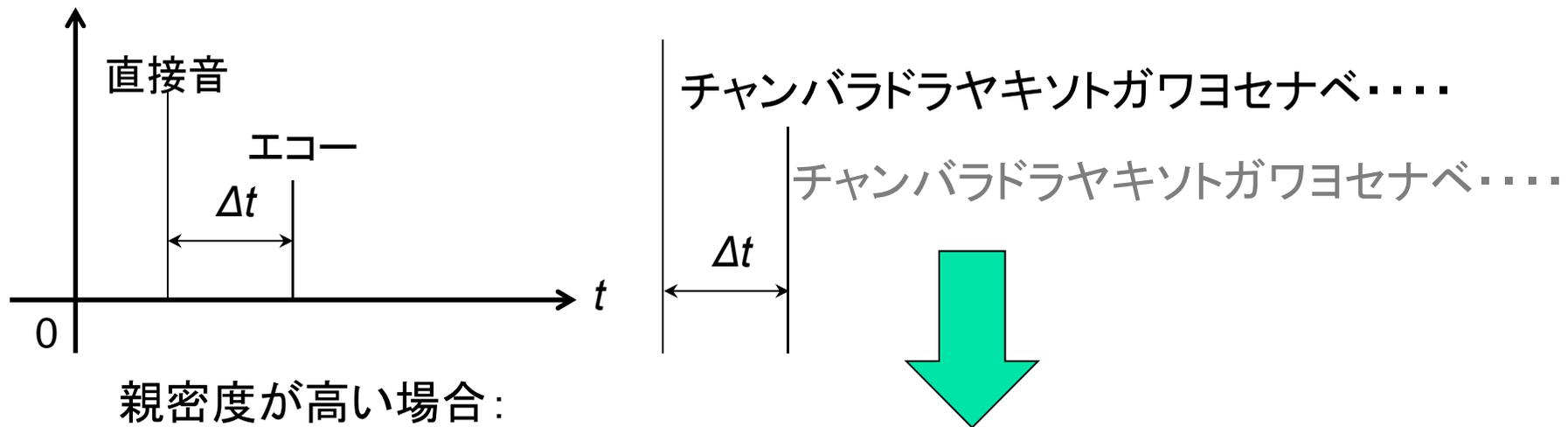
聴取環境の違いと親密度



検討課題



- どのくらいの親密度の単語であれば、ロングパスエコー環境下で使用可能なのか？



親密度が高い場合：

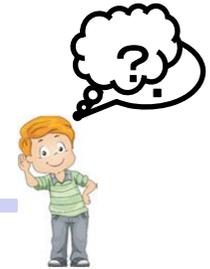
チャンバラドラヤキソトガワヨセナベ……

親密度が低い場合：

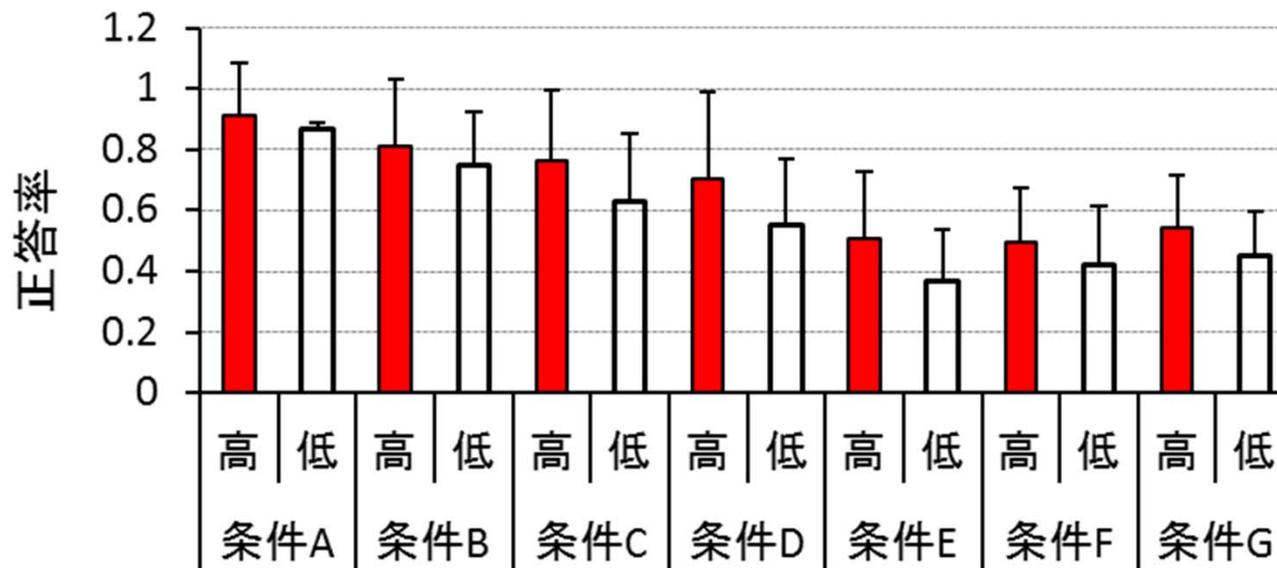
ジズウスマサワサキヨリビキカツシカツ……

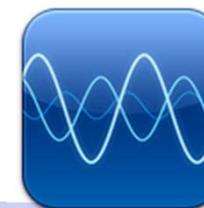
単語了解度試験を行い、親密度の関数として結果を分析

語彙選択の実験結果



- 語彙選定の難易度統制の指標として親密度が有効
- 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である





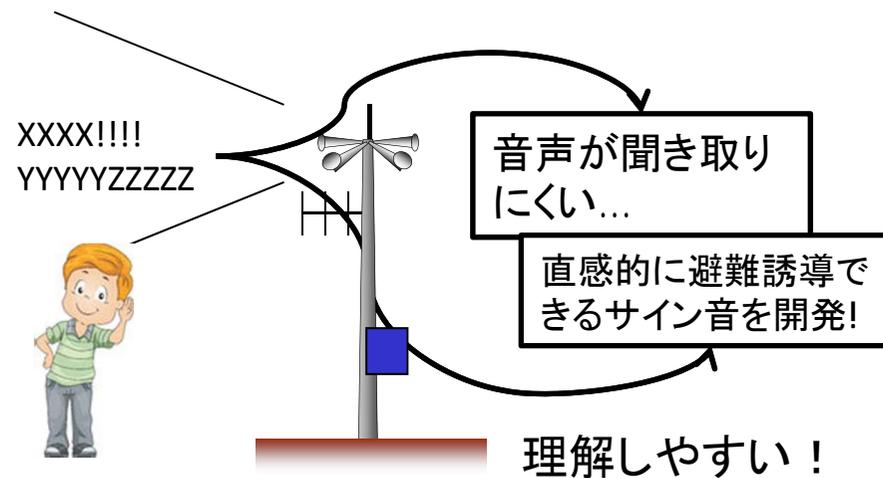
重大な事象の発生を伝えるサイン音の開発



サイン音の必要性



- 音声の了解度を確保できない場所の発生は不可避
 - 音声了解度が得られないエリアでも、大津波のような重大な事象を警報を伝えることが必要
 - 音声の理解に頼らずに警報を認識できる音が必要
 - そのため「サイン音」を開発



屋外おけるサイン音の設計



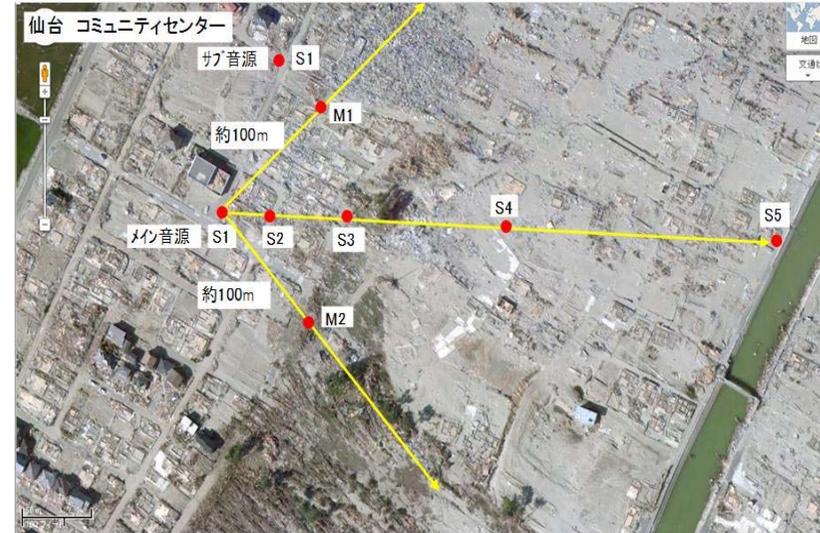
- サイレンは極めて多義 
- 最終的候補を定めるため, 従来のサイン音に関する研究も参考に, 予備的な候補音を8種作成
 - 考慮した要因
 - 繰り返し時間間隔
 - 周波数スweepの有無
 - 和音の種別, など
- 具体例
 - 繰り返しのある音:
 - sweepが主体の音:
 - 分散和音的な音:



屋外におけるサイン音の比較評価実験



- 屋外フィールドにて候補音の認識特性を評価
 - 聴取点：音源から50～400 m
 - エコーパターン
 - エコーなし
 - 実測(東松島市肘曲)のエコーあり
 - 実験参加者
 - 若年者10名, 年配者5名
- 広帯域に成分を待つ音ほど、聴取距離に関係なく高評価

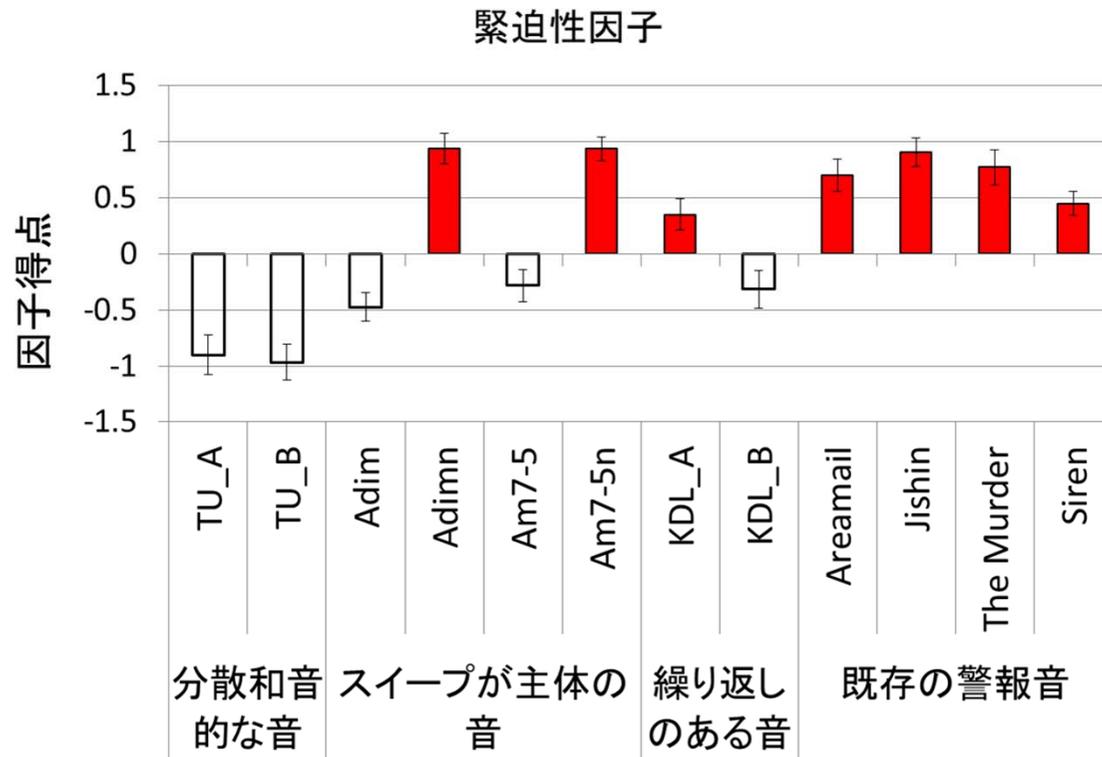


サイン音の印象評価室内実験



- 音源
 - 制作した8候補音
 - エリアメールの緊急地震速報(NTTドコモ)
 - NHK緊急地震速報のチャイム音
 - 映画「サイコ」(1960年)の殺人シーンの背景音
 - サイレン音
- 提示条件(スピーカにて60dBで提示)
 - 原音
 - 反射条件: 150msの遅れ時間を付けて重畳して出力
 - 距離減衰条件: 距離減衰を模擬した音(400m)
- 聴取者
 - 20名の大学生及び大学院生

因子分析の結果(緊迫性因子)



- スイープ主体の音に、数倍の倍音成分を加えた音ほど緊迫性を強調させる
- 繰り返しのある音ほど、緊迫性の向上に貢献できる

最終候補音*を選定 



GIS情報に基づく伝達関数推定と性能 評価指針に基づくサービスエリア設計



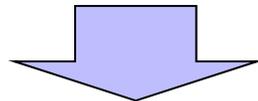
サービスエリアの実務的設定の現状



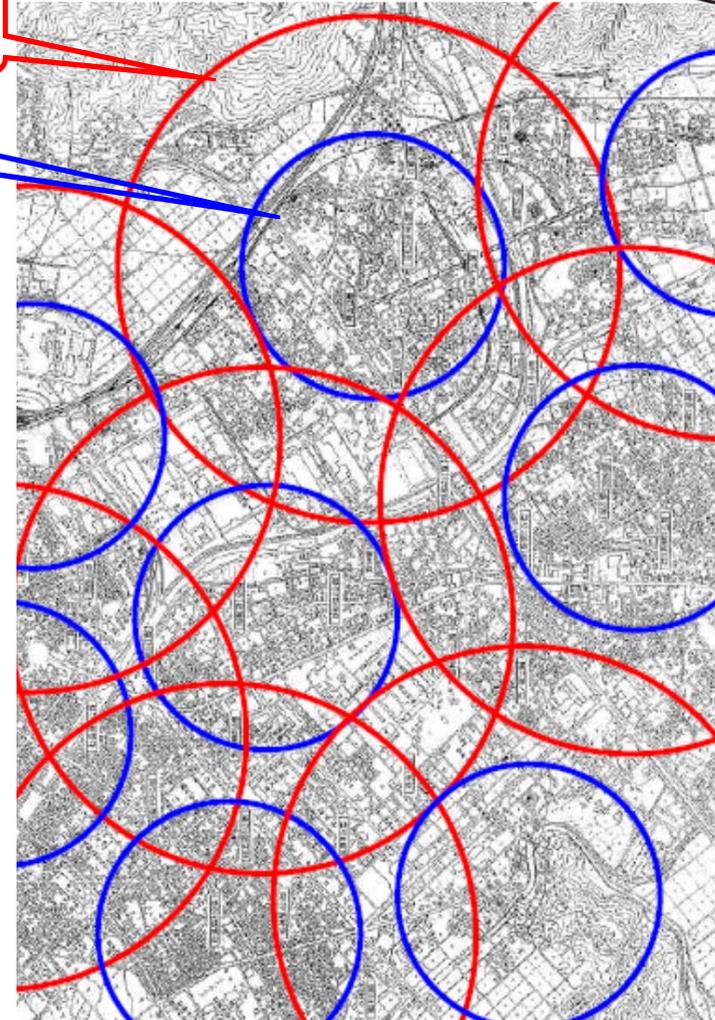
赤い円は55dB以上のエリア

青い円は65dB以上のエリア

- 現段階では、伝達される音の強さ（音圧レベル）の極めて簡易な予測（単純な距離減衰）のみに基づいて設置されている
- 音声の伝達特性の影響を及ぼすと考えられる、地形の影響が考慮されていない



確実に情報を伝達できるエリアの把握と予測に基づいて、機器を適切に設置することが必須



GIS (geographic information system) の情報を活用した、音声伝達特性のシミュレーション技術

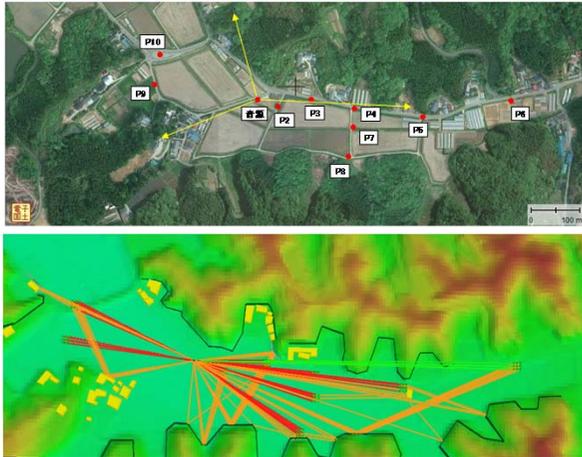


- 音声の品質を予測するためのシミュレーションとは？
 - これまで「騒音伝搬シミュレータ」は多く存在する
→ 音の大きさ(エネルギー)のみ問題とする
 - 音声品質の予測には、反射音の時間遅れ情報等を含む時系列応答特性(インパルス応答, エコータイムパターン)が必須
→ 音楽ホールの音響シミュレータと類似した, 波形情報(位相情報)も含むシミュレータが必要
- 地形や建物配置に関するGIS情報を用い, それらの影響を含めた音響伝達関数のシミュレーション技術を開発

屋外拡声システムの音声品質予測イメージ

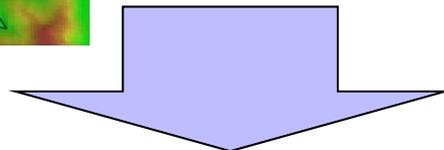


GIS情報 + 音声伝達シミュレーション



+

音声品質の予測
(音声伝達特性と環境
騒音から、音声了解度を
予測する技術)



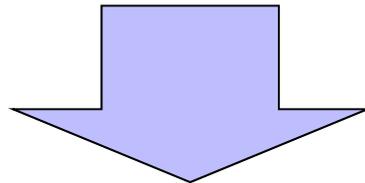
● 災害情報を音声で明瞭に提供できるエリア

- 良好な音声了解度が得られるエリアが予測可能に！
- 更に、音声了解度が低くともサイン音は認識可能なエリアの予測も

音声伝達特性からの音声品質の予測



- STI (Speech Transmission Index) による音声了解度予測に加え, より簡便な評価量の利用を模索
 - $\bar{U}50$: 反射音(エコー)を等価的雑音とみなして影響を評価
- 以上の予測技術と我々の音声了解度実験結果を総合して音声品質を予測
 - STIが0.6以上, あるいは $\bar{U}50$ が6dB以上
→ 単語了解度80%以上

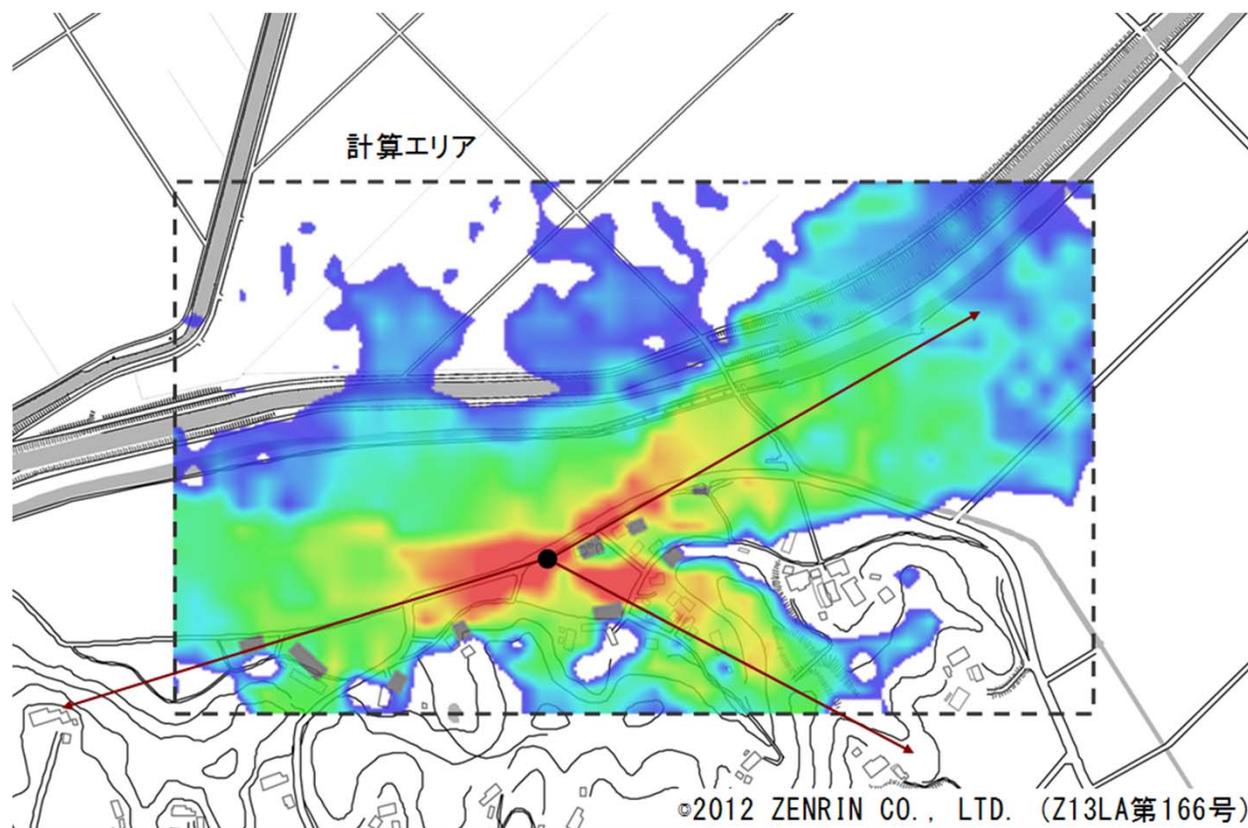


音声で情報をサービスできるエリアが明確に

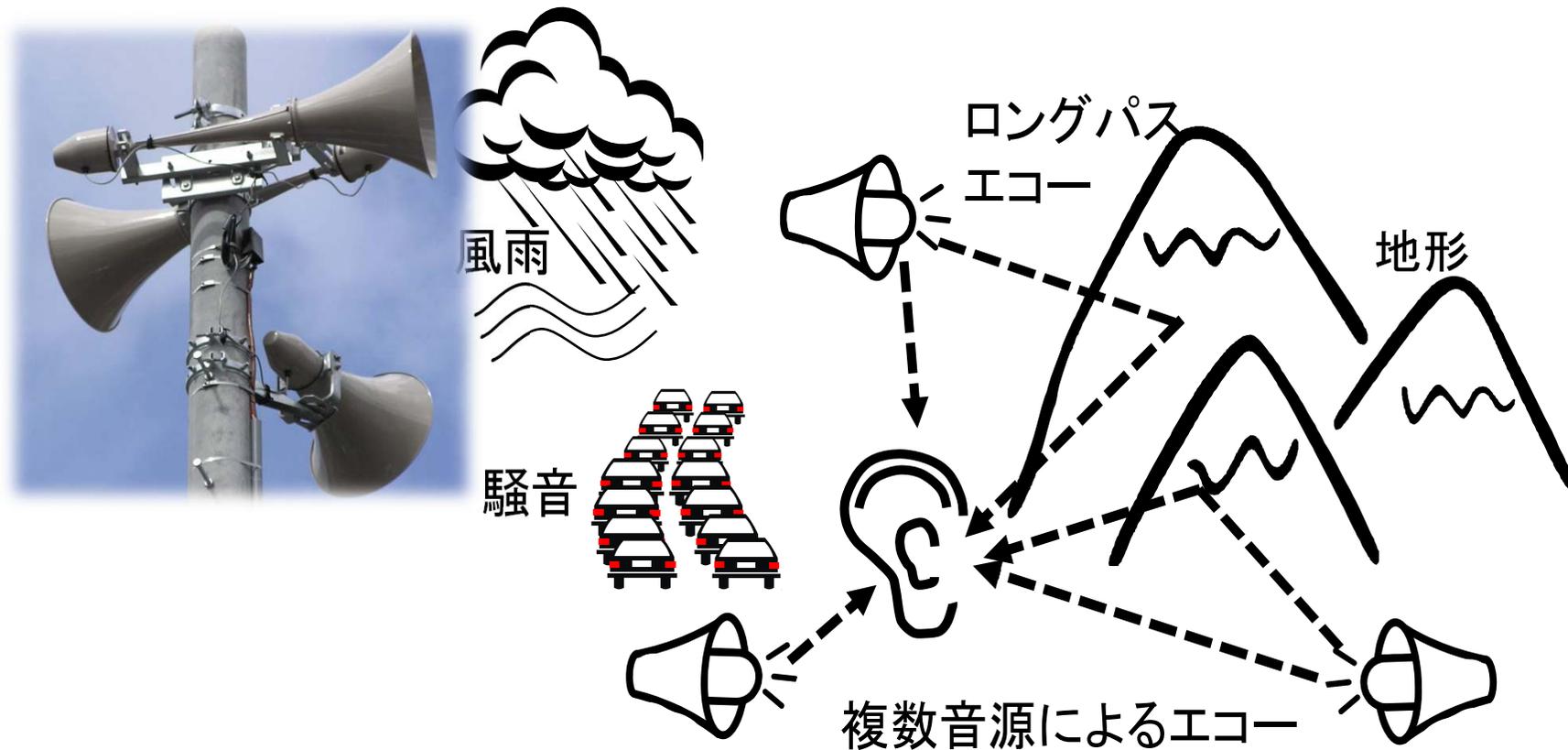
サイン音の伝達サービスエリア(算出例)



- SN比 ≥ 6 dB, A特性音圧レベル ≥ 60 dBの領域
⇒ サイン音が良好に認識できる



屋外における音声情報伝達上の妨害要因



- 様々な要因を総合的に設計に寄与する技術に育てていくことが極めて重要!

まとめ

- 震災により屋外拡声システムの問題があらわに
 - そこで震災後H23年7月から自前の予算で研究を開始
 - ロングパスエコーが及ぼす影響の明確化と, 対応技術開発を進めてきた
- 今後, 屋外拡声システムのサービスエリア設計・評価技術の水準を更に高め
 - 防災行政無線に代表される屋外拡声装置を経由した災害・被災地支援情報伝達システム高度化に寄与したい
- さらに, 音の学術に責任のある日本音響学会発の技術基準案を策定して, 研究成果の社会実装を実現したい
- どこでもだれにでも, 津波のように差し迫った災害の的確な到来警報の伝達を可能に！

謝辞

- 2011年の研究
 - 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究(U)による
- 2011年3月～現在の研究
 - 平成23年度第3次補正予算による情報通信技術の研究開発⑩「多様な通信・放送手段を連携させた多層的な災害情報伝達システムの研究開発」による
- 音響グループの研究チーム構成
 - 東北大学： 鈴木陽一, 齋藤文孝, 岩谷幸雄 (H23), 森本政之 (H24), 坂本修一, 崔正烈
 - 神戸大学： 森本政之 (H23), 佐藤逸人
 - 熊本大学： 宇佐川毅, 苅木禎史
 - 東北学院大学： 岩谷幸雄 (H24)
 - 日東紡音響エンジニアリング： 高島和博, 青木雅彦
 - 他の協力者： 佐藤洋 (産総研), トムラシステム (H23), TOA (H24)