

## 打ち上げ花火による都市インパルス応答計測と防災無線明瞭度評価に関する研究

島根大学 ○下倉良太

防災無線	明瞭度	インパルス応答
花火破裂音	STI	単音節

### 研究の目的

自然災害が多発する我が国では、防災無線のアナウンス明瞭度の向上が喫緊の課題である。屋外拡声システムの明瞭度が低下する原因は、ロングパスエコーである。そこで我々は、花火大会で打ち上げられる花火の破裂音に着目し、大会で打ち上げられる複数の花火音を同期加算することで外部騒音を最小化し、ビルや建物からの反射音を記録することに成功した(下倉ら, 2016)。

しかし現手法は、同期加算の始点が僅かにずれて反射音が過小評価されるという解析上の課題、またその反射音によってどの程度明瞭度が下がるのかといった評価上の課題が残されている。そこで本研究は、同期加算を最適化する手法を考案し、さらに情報弱者である高齢者の語音明瞭度低下を都市インパルス応答下の疑似音場で評価することによって、これら問題の解決を図る。

使用する花火音は平成27年8月24日松江市内で行われた「松江しんじ湖温泉お湯かけ地蔵祭り」である。打ち上げ場所と測定地点を図1に示す。地点1と地点2は花火に対して遮蔽物のないオープンスペース、地点3と地点4は住宅地、地点5は松江城内のクローズドスペースであった。打ち上げ花火の数は全体で92発であった。

### 研究の内容

#### 1) 解析上の課題へのアプローチ

今回の研究では、相互相関を用いた相関同期加算法を適応する。まず、第一花火破裂音に対して第二花火破裂音を少しずつシフトさせながら相互相関を解析し、相関度がある一定値を越えると加算を行う。その際、シフト時間を計算し、相関度が最も高くなるタイミングで同期加算を行った。相関度の閾値を高く設定すると、加算回数が著しく減少するので、十分な回数が得られるよう設定値を地点ごとに変更した。

相関同期加算法で得られたインパルス応答を図2に示す。一般的な同期加算で見られる高周波数帯域でのエネルギー減衰はほとんど見られず、反射音もより明瞭に算出することが可能となった。

#### 2) 評価上の課題へのアプローチ

続いて高精度化されたインパルス応答を用いて、高齢者の語音明瞭度を評価する。被験者は70歳から83歳まで



図1 花火破裂音計測地点

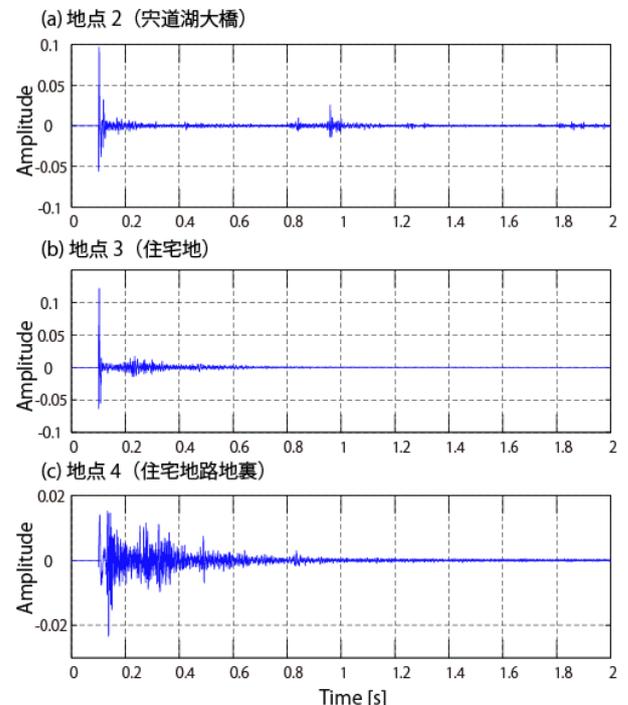


図2 相関同期加算法で計算された松江市内のインパルス応答

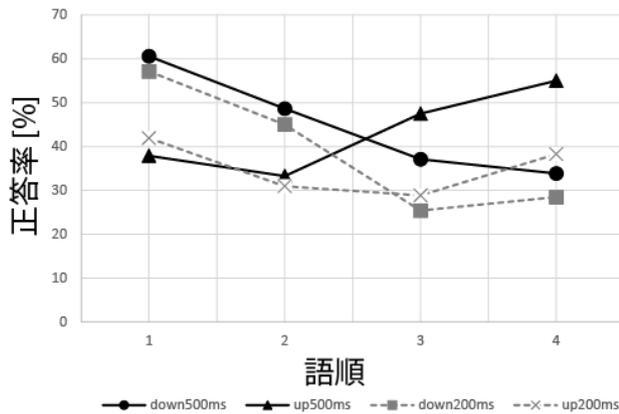


図3 語音別、刺激群内平均正答率

の高齢者男女8名である。

刺激には一般医療機関で用いられる単音節50語（「あ」や「で」など）と同じものを用いた。ただし今回はロングパスエコーの中での明瞭度を評価するため、無意味四連音節を構成した。各音節間の時間間隔（ポーズ長）は500ms（遅い話速）と200ms（速い話速）の2種類を用意し、また高齢者が聞きとりやすい単音節と聞き取りにくい単音節は過去の研究により判明している（赤坂ら、2010）、前半2つに聞きとりやすい単音節、後半2つに聞き取りにくい単音節（down条件）と、前半2つに聞き取りにくい単音節、後半二つに聞き取りやすい単音節（up条件）の2種類の条件を用意した。各刺激群に対して、得られたインパルス応答（松江市内5カ所）の畳み込み演算を行う。こうすることによって、各地点で聞く単音節を擬似的に再現することができる。

刺激呈示は、AD/DAコンバーター（UA101, Roland）を介し、ヘッドホン（HD650, Sennheiser）で行った。片耳（より聴力が高い方）に単音節を呈示し、聞こえたとおりに書き取ってもらった。音量は被験者の聴力に合わせて調節し、十分聞こえる大きさになっている。

図3には各刺激群での正答率の平均を示す。語順が進むにつれて、down条件では正答率が下がり、up条件では正答率が上がる傾向が見られるが、ポーズ長が200msの刺激群では正答率が十分に上がりきらない。つまり、話速が速くなると後半に聞きとりやすい単音節があっても、十分に聞こえないことを意味している。これは最初の単音節にかかるロングパスエコーが次の単音節をマスクするためである。

さらに図4には地点別平均正答率とインパルス応答から計算されるSTI（音声伝達指標）との関係を示している。STIが最も高い地点1で正答率が最大になると予想していたが、そうはならなかった。ただし地点2から地点5は

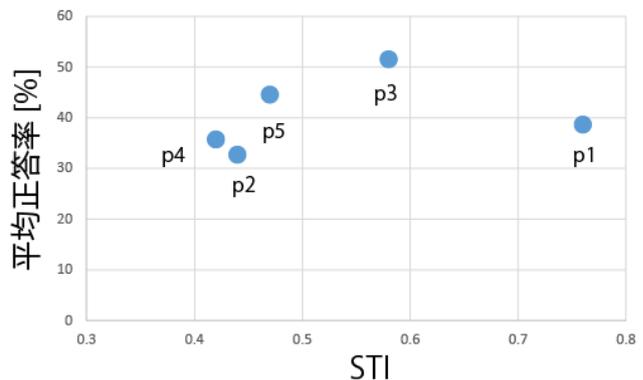


図4 各地点（p1 - p5）での平均正答率とSTI

STIの上昇に応じて、平均正答率が上昇する。その理由は花火音のスペクトルに起因している。もともと花火音は高周波成分が大気の吸音を受けるため、相対的に低域偏重となる。そのインパルス応答を畳み込んだ単音節も当然低域が強調され、この過剰な低域のエネルギーが聞き取りを阻害している。打ち上げ地点から離れるに従って低域のエネルギーが低下し、その結果、子音の判別がしやすくなるのである。以上のことから、この花火音を用いた音声明瞭度評価手法は、打ち上げ地点近傍の測定地点では正確性を欠いてしまう。今後は、不足する高域成分の強調手法について検討し、本手法のさらなる高精度化を図る。

#### 研究の成果、新知見

- 花火の破裂音を同期加算して都市のインパルス応答を求める場合、相関同期加算法を用いれば、位相のズレによって起こる高周波エネルギーの減衰が抑えられ、より高精度に計算できる。
- 花火打ち上げ地点近傍の測定場所以外では、インパルス応答から計算される音声伝達指標（STI）で高齢者の明瞭度を評価できる。
- 4連単音節の話速が速くなると（ポーズ長200ms）、後半に聞きとりやすい単音節があっても聞き取りにくい。よって防災無線で放送されるアナウンスはポーズ長400ms程度の話速が適切である。

#### 今後の予定

本研究により、都市のインパルス応答を花火で得る上で、花火破裂音のスペクトルの平滑化が重要であることが分かった。今後は、花火近接位置で破裂音を計測し、そのデータから逆フィルターを生成する研究に取り組む。

#### 謝辞

本研究に助成頂いた大成学術研究財団と解析補助を頂いた本学学生に深い感謝の意を表す。