

## 住宅周辺における非日常音検知技術の適用と評価 Application and Evaluation of a Monitoring System of Detecting Unusual Sounds in Residential Environments

川口 貴之<sup>†</sup>      河本 満<sup>‡</sup>      伊藤 智尋<sup>†</sup>      松田 元男<sup>†</sup>      車谷 浩一<sup>‡</sup>  
Takayuki Kawaguchi   Mitsuru Kawamoto   Chihiro Ito   Motoo Matsuda   Koichi Kurumatani

### 1. 研究の背景と目的

近年、集合住宅では、防犯カメラシステムや、警備会社との提携による365日24時間有人管理、ダブルオートロックなどの安心・安全の高付加価値サービスを提供し、差別化が図られている<sup>[1]</sup>。しかし、このような高付加価値サービスは超高級物件や大規模物件での導入にとどまり、中小規模の物件では、日本の治安状況や経済性の観点から、導入が見送られることが多い。

そこで、安心・安全に特化した本格的な防犯システムの導入よりも、日常の“見守り”を中心とした付加価値サービスに新たな需要があると考えた。ここでの“見守り”とは、美観の維持、生活マナーの遵守などを建物管理者側から支援することで、住民の安心・安全・快適性に関する満足度を向上させることを想定している。

“見守り”をシステム化するには、視覚的情報すなわちカメラを活用する方法<sup>[2]</sup>が想起されるが、カメラは経済性やプライバシー侵害の点で問題が多い。そこで、人は視覚だけでなく聴覚からも異常を察知する事実から、異常音を検知できる非日常音検知技術<sup>[3]</sup>に注目し、音情報による見守りサービスの可能性を検討することにする。

非日常音検知技術とは、マイクロフォンアレイにて検知された音を教師無しで学習し、学習後、日常では聞きなれない音を非日常音として検知する技術である。この技術を“見守り”サービスを実現するための中心要素技術として取扱い、本技術が、サービス提供の要件を満足するか評価する。評価は実証実験を基に行う。そこで、本研究では、以下の2つの事項を評価する事を目的とする。

- ①住宅周辺で発生する音の検証
- ②特定の音に対する本システムの検知精度の検証

ここで、①及び②の検証は、非日常音検知技術のプロトタイプシステムを実際の集合住宅に適用して行う実証実験から得られた結果を利用する。

従来の研究では、屋内の音環境において非日常音を見守りに活用しようという試みは行われている<sup>[4]</sup>、屋外環境を対象とした研究はこれまでに行われていない。また、屋外の音環境の測定はされているが、騒音対策に関するもの(例えば[5][6][7])が多く、音を識別するものではない。そのため、住宅周辺ではどのような音が発生し、それがどのような管理アクションに繋がるのかを検証し、整理することはまだ明かされていない課題であり、①及び②の課題を解決する本研究は音情報による見守りサービスの実現に向けて重要な研究になるであろう。

### 2. 非日常音検知技術

本論文で用いる非日常音検知技術の処理の流れを図1に示す。解析の対象音は、ある一定の音圧をもった音を1秒毎に捕えたものとする。まず、対象となった音は音源方向推定により、発生位置が解析される。音源方向推定のアルゴリズムにはある尤度関数を用いた方法を利用する。

次に、方向推定結果から得られた音に対して、MFCC (Mel-Frequency Cepstrum Coefficient) を用いて特徴量を抽出し、これまでに発生した音に関する全ての特徴量から類似度を計算する。類似度計算にはある距離関数を用いてノルムを計算し、このノルムがある閾値を超えた場合、つまり類似度が小さい場合は、新しいグループを生成する。閾値を超えなかった場合、つまり類似度が高い場合は、最も類似度が高い特徴量と同じグループに追加される。ある特定のグループもしくは新たに生成されたグループの音を非日常音とする。(詳細は[3]を参照のこと)

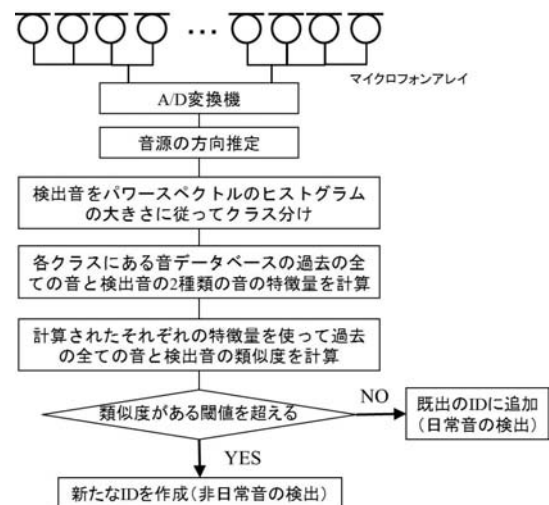


図1 非日常音検知システムの流れ図

### 3. 実証実験と結果

#### 3.1. 実験の概要

検証実験は、鹿島建設株式会社が東京都内に保有する住宅施設で実施した。実験場所の周辺環境の概略を図2に示す。マイクロフォンアレイ及びA/D変換器は3階バルコニーの天井の設備機器ユニット内に設置した(図3a)。このユニットは空調室外機を収容するものであったが、現在は空になっていたため、雨対策としてユニットを活用した。ユニットは金属製で、メッシュ状の通気口が設けられている。ユニット内からは、空調配管用スリーブにUSBケーブルを通して、住戸内のパソコンと接続した(図3b)。

住宅の住民のプライバシーを考慮するために、音源の方向推定から得られる位置データを用いて、住居側から発生する音は無視することとしている。従って、本実験の測定

<sup>†</sup> 鹿島建設株式会社, Kajima Corporation

<sup>‡</sup> 産業技術総合研究所, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

の対象範囲は図2の斜線部分とし、測定期間は2010年11月11日から2011年2月25日である。測定期間のうち、2011年11月11日から2月6日までのデータ解析が終了しており、以下では、これらの解析結果を検証し、整理したものを示す、

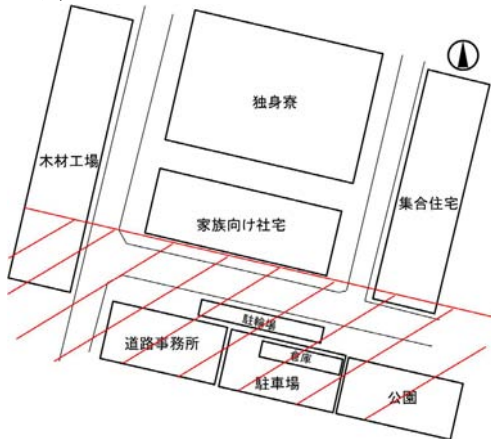


図2 実験場所の周辺環境の概略

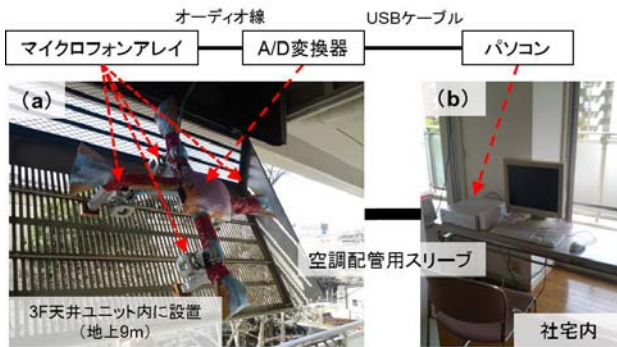


図3 マイクロフォンアレイの設置位置

### 3.2. 実験結果

本実験から得られるデータは、No, 月日時分秒, 位置, ID および、音声データ (WAV ファイル) である。No. は実験期間中に計測された音にユニークに付与される値である。位置は図4に示す座標軸における音の発生した位置の座標値である。ID とは発生した音の特徴値から音をグループに分けた時の識別用の番号である (表1)。

得られた音の数は 290,645 個あり、これには、それぞれ識別された ID 番号が割り当てられている。本実験の結果では ID の総数は 857 になった。ID 単位で評価するため、各 ID の代表音を決めた。各 ID の代表音の決定方法として、ID に含まれる No を任意に抽出し、該当する WAV ファイルを音として聞き、最も多い音の種類を代表音名とした。

## 4. 実験結果の評価

### 4.1. 住宅周辺で発生する音の検証

まず、代表音名別に得られた音の数について確認した結果が図5である。ロードノイズやエンジン音等の自動車から出る音が90%以上であった。

次に、発生頻度の少ない音に着目し、ID に属する音が1つだけの ID の発生時間を確認することとした。時間帯を深夜 (0 時~6 時), 朝 (6 時~12 時), 昼 (12 時~16 時), 夕方 (16 時~20 時), 夜 (20 時~24 時) に分け、その ID の代表音名を表2に示す。時間帯と発生した音の



図4 発生位置

表1 実験結果の整理の例

No	発生日時 (月日時分秒)				位置		ID	
	時	分	秒	日	月	X		Y
185	1	40	1	20	11	4	1	33
186	1	10	3	20	11	4	2	165
...	...	...	...	...	...	...	...	...

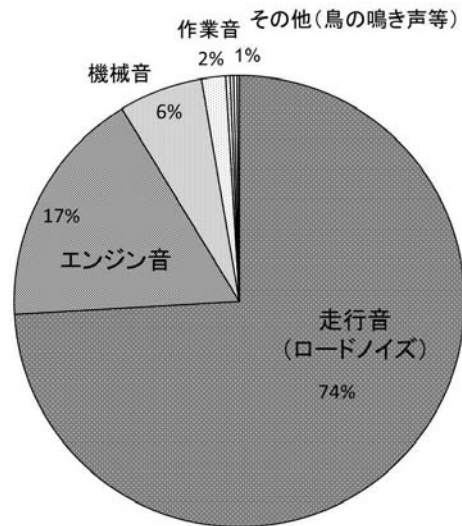


図5 時間帯別 ID の代表音名とその数

表2 含まれる音が1つのIDの代表音名と発生時間帯

代表音	時間帯				
	深夜	朝	昼	夕方	夜
エンジン音	○	○	○	○	○
ロードノイズ	○	×	○	×	×
鳥の鳴き声	×	○	○	○	×
カラスの鳴き声	○	○	○	×	×
金属音	○	○	○	○	×
機械音	×	○	○	○	×
自転車のブレーキ	○	○	○	○	○
自動車のアラーム	×	○	○	×	×
救急者のサイレン	○	○	×	○	○
クラクション	○	×	○	×	×
宣伝車の放送	×	×	○	○	×
衝撃音	○	×	○	○	○
人の声	○	×	○	○	○
瓶缶がぶつかる音	×	○	×	×	×
風	○	×	○	×	○
雨音	○	×	○	×	○

関係性を類推したが、特に見守り管理上の不自然な音は確認できなかった。エンジン音や鳥の鳴き声が多く、金属音や衝撃音は荷卸しや資材の搬入作業の音であった。

以上の結果から、住宅周辺で発生する音の多くは自動車が発する音、台車の搬入等の作業音、鳥の鳴き声や人の声、近隣工事現場からの作業音であることが明らかになったが、今後は見守りサービスにおける日常音と非日常音との境界は何かを、更に深く検討する必要がある。つまり、台車の搬入を非日常と考えるならば、施設への傷つけ確認や宅配のルール違反を検知するような、日常の行動から出る音に着目したサービスが考えられるからである。

4.2. 特定の音に対する本システムの検知精度

事前に建物管理者から維持管理業務でのトラブル事項についてヒアリングを実施し、ヒアリング結果から、ゴミ回収日において、不燃ゴミと可燃ゴミが分別されずに出されるという意見があった。

そこで、この意見を踏まえて、複数の空き缶をビニール袋に入れたものを不燃ゴミと想定し、測定期間中に、図 4 に示す①・②・③の 3 地点で 2 回ずつその落下音を発生させた。ここで、この落下音は約 1 m の高さから自由落下させアスファルト舗装された地面にぶつかる衝撃音であり、非常に特徴的かつ突発的な音であるため、単独の ID に分類されると予想を立て、2010 年 11 月 26 日、12 月 17 日、2011 年 1 月 13 日の 3 度実施した。

期待される結果としては、落下音が単独の ID に分類されることであり、それは非日常音検知技術の性能を検証する意味がある。実施結果を表 3 に示す。

表 3 の結果から、落下音の位置推定に関しては、②の位置ではほぼ正しい位置を推定していることが分かる。また、①や③に関しては、音源方向推定での解析領域範囲外の場所なので、X 値に違いがあるが、発生方向はほぼ正確に推定できていることが分かる。位置精度に関する詳細な検討は、今後の論文で議論する。ID に関しては、表 3 に示した ID と同じ ID に識別されているその他の音を確認した。ID の発生数と含まれている音の音源を表 4 に示す。同じ ID 内には空き缶の落下音以外の音が大半を占めており、期待された特徴的な音の分類はできていないことが確認できた。

以上の結果から、位置については、設置環境毎に調整の必要はあるものの、おおよそ正確に推定できているのが確認できた。一方、ID の分類については改善の必要があることが判明した。

5. 新解析手法の適用と評価

5.1. 新解析手法について

表 4 に示す結果から、落下音は突発的な音にも関わらず、走行音のような定常な音と判断されている場合が多い。これは、解析に用いる 1 秒間のデータでは、定常的な音が支配的で、突発的な特徴は埋もれてしまうということが原因であると考えられる。つまり、図 7 に示すように、本研究で分類に利用する特徴量は、短時間毎（本研究は 0.016 秒毎）に計算された MFCC を平均して得られた値なので、この方法では、大部分が定常な音であれば、たとえ突発的な音の MFCC が計算されたとしても、全体の特徴量には反映し辛くなると推測されるからである。

そこで、支配的な音に関する特徴量の影響をできるだけ小さくするため、短時間毎に得られた MFCC を用いて、主

表 3 落下音の検知結果

場所	No	発生日時 (月日時分秒)					位置		ID
		時	分	秒	日	月	X	Y	
①	829	11	24	26	26	11	-4	2	1
	830	11	24	32	26	11	-4	2	1
	1490	10	54	8	17	12	-4	1	1
	1493	10	54	36	17	12	-4	1	574
	132	11	45	12	13	1	-3	1	1
	135	11	45	44	13	1	-4	2	165
②	834	11	25	30	26	11	-1	2	149
	835	11	25	58	26	11	-1	2	149
	1495	10	55	8	17	12	-1	2	149
	1497	10	55	24	17	12	-1	2	249
	139	11	46	18	13	1	-1	2	1
	141	11	46	32	13	1	-1	2	766
③	844	11	27	24	26	11	4	1	80
	847	11	28	14	26	11	4	1	27
	1500	10	55	56	17	12	4	1	4
	1504	10	56	18	17	12	3	1	249
	1509	10	57	8	17	12	3	1	4
	145	11	47	0	13	1	3	1	766
	146	11	47	10	13	1	3	1	1

表 4 落下音に割り当てられた ID

ID	発生数	代表音名
1	23402	走行音 (ロードノイズ)
4	1686	走行音 (ロードノイズ)
27	818	走行音 (ロードノイズ)
80	4551	走行音 (ロードノイズ)
149	87	カラスの鳴き声
165	7584	エンジン音
249	23	カラスの鳴き声
574	41	走行音 (ロードノイズ)
766	5	カラスの鳴き声 (3回) と落下音 (2回)

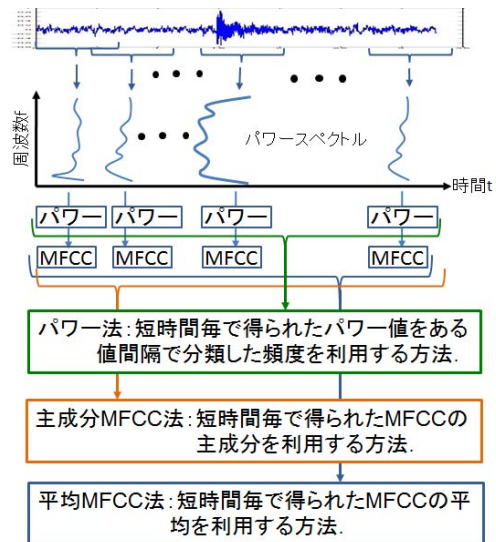


図 7 新解析手法の流れ

成分分析を行う。このとき、第 1 主成分は支配的な音の特徴量を表していると仮定し、第 1 主成分以外の主成分（ここでは、第 2, 3, 4 主成分）を利用し、1 秒間のデータの特徴量とする。具体的には、第 2, 3, 4 主成分に対する固有値を特徴量に用いる。ここで、この新たな特徴量を計算する方法を主成分 MFCC 法と呼ぶ。また、表 3 または表 4 に示した解析結果を得るのに用いた従来の解析法を平均 MFCC 法と呼ぶ。

さらに、短時間毎に計算されたパワースペクトルの大きさも2つ目の特徴量として取り扱うことにする。具体的には、MFCCを計算する過程で得られる短時間毎のパワーがある大きさの間隔で分類し、得られた頻度分布を特徴量とした。ここでは、12個の大きさの間隔を想定したので、2つ目の特徴量の次元は12次元である。ここでは、このパワー特徴量を用いて解析する方法をパワー法と呼ぶこととする。

## 5.2. 新解析手法による結果

主成分MFCC法によるID分類の精度を確認するため、2011年1月6日～13日のデータを用いた。この期間を選定した理由は2つある。1つは13日に不燃物落下音を発生させていることと、2つ目は12月までは図2の公園で改修工事が実施されていたため、工事作業音が発生し、通常的环境とは異なっていたためである。解析の結果、平均MFCC法によって得られるID (oldID) の数は96、主成分MFCC法で得られたID (newID1) の数は85、パワー法によるID (newID2) の数は173、解析対象となった音は15553個となった。

## 5.3. 特定の音に対する新解析手法のID分類精度

不燃ゴミ落下音発生時の解析結果を表5に示す。oldID, newID1とnewID2の組み合わせと同じIDを付与された他の音を確認し、その数と代表音名を表6, 7に示す。

主成分MFCC法では、6回の落下音の内、3つは単独のIDに分類されており、残りの3つは、金属系の衝撃音等の似ていると考えられる音と同じIDに分類されている。一方で、従来の平均MFCC法の結果では、表6に示すように走行音やロードノイズが含まれるIDが割り当てられている。このことから、主成分MFCC法により、ID分類精度が向上していることが確認できた。

## 6. 考察と今後の課題

本論文の課題①である住宅周辺で発生する音について、ID別の発生数から分析を行った。その結果、住宅周辺で発生する音について明らかにすることができ、見守りサービスについての検討に有益な情報が得られた。

また、課題②である特定の音に対する検知精度については、位置推定と音分類精度について検証した。位置推定に関しては、推定範囲内であれば、概ね正確な位置が推定でき、推定範囲外では、音源方向が推定できることが分かった。しかしながら、実環境では音の反射や周辺の植栽等の影響が出るため補正する必要があることも分かった。特定音の分類については、従来の平均MFCC法では、落下音の分類で適切な検知精度は得られなかった。そこで、従来の平均MFCC法による音識別精度の問題点を明らかにし、その問題点を改善するため、主成分MFCC法を提案した。その主成分MFCC法は、平均MFCC法と比較して優れた分類能力があることが分かった。

今後の課題として、ID分類精度では、主成分MFCC法による識別精度の向上は確認できたが、見守りサービスを想定した場合、まだ満足な識別能力を示しているとはいえない。そのため、さらなる精度の向上を目指して解析手法を改善していく必要がある。また、位置推定精度に関して

表5 落下音の検知結果(修正MFCC法との比較)

場所	時間			oldID	newID1	newID2
	時	分	秒			
①	11	45	12	1	52	197
	11	45	44	3	8	13
②	11	46	18	1	7	46
	11	46	32	144	52	159
③	11	47	0	144	49	143
	11	47	10	1	0	181

表6 落下音に割り当てられたID (oldID)

oldID	発生数	代表音名
1	1638	エンジン音, ロードノイズ
3	7545	エンジン音, ロードノイズ
144	3	落下音とカラスの鳴き声

表7 落下音に割り当てられたID (newID1, newID2)

newID1	newID2	発生数	落下音以外の音
52	197	1	なし
8	13	11	アラーム音, 機械音, 走行音, 衝撃音, カラスの鳴き声, 打撃音
7	46	3	金属系の衝撃音
52	159	1	なし
49	143	1	なし
0	181	4	雨音, エンジン音, 金属系の衝撃音

は、例えば、空き缶のポイ捨て検知であれば、おおよその方向が分かればよく、また、宅配用台車の配達ルートにおけるルール違反検知では1m以内での位置推定精度が要求されるだろう。このように、具体的な見守りサービスに合わせて、必要とされる検知精度および改善を行うことが今後の課題であると考えられる。

## 謝辞

本研究の検証実験は、鹿島建物総合管理株式会社、社宅住民の皆様の協力の下に行われた。記して感謝する。

## 参考文献

- [1]防犯優良マンション認定事業: <http://www.cbl.or.jp/info/82.html>
- [2]Panasonic: <http://panasonic.jp/sensor/>
- [3]河本満, 浅野太, 車谷浩一, “マイクロフォンアレイを用いた音環境の見守りによる非日常音と危険状態の検出システム”, 情報処理学会研究報告, 2008-UBI-19, pp.19-26 (2008).
- [4]A. Ito, A. Aiba, M. Ito, and S. Makino, “Detection of Abnormal Sound Using Multi-stage GMM for Surveillance Microphone,” Proc. Of Fifth International Conference on Information Assurance and Security, pp. 733-736, 2009.
- [5]山田由紀子, 永山知美, 槇枝丈史, “24時間連続測定による住宅地の環境騒音に関する研究: その1 測定概要と騒音レベル変動のタイプ”, 日本建築学会学術講演梗概集(中国)環境, pp.859-860, 1999
- [6]安岡博人, 高橋央, “交通騒音の住宅における遮音設計の評価の検討”, 日本建築学会学術講演梗概集(関東)環境, pp.89-92, 2006
- [7]渡辺充敏, 石橋睦美, 上野佳奈子, 橋秀樹, 縄岡好人, “集合住宅の音環境に関する主観評価実験”, 日本建築学会学術講演梗概集(関東)環境, pp.81-84, 2006