

独居宅安全確保のための生活音パターン化によるプライバシーに配慮した宅内異常検知及び通知システム

研究代表者	福島 学	日本文理大学 工学部 教授
共同研究者	黒岩 和治	大分大学 非常勤講師 日本文理大学・非常勤講師
〃	柳川 博文	千葉工業大学 情報科学部 教授
〃	富来 礼次	大分大学 工学部 准教授

1 はじめに

高齢者や障害のある方の社会参加を促進する取り組みは、高齢者雇用制度や障害者雇用制度があり、独立行政法人 高齢者・障害者雇用支援機構[1]を通じた様々な取り組みがおこなわれている。これらに伴い独立生計を営む高齢者や障害のある方も増えており[2]、このような独居宅において、発作や事故により本人が病院や消防等へ連絡することが出来ず、死亡等につながる事が孤独死問題といった社会的問題となっている。これらの事例の中には早期発見・通報が出来れば回避できるものも少なくない。特に発作や事故のような突発的な障害発生時には「本人による通報が不可能」な点が問題であり、宅内警備における「緊急ボタン」の設置では回避出来ない事例がある。特に嚙下障害等の発作が発生しない限り健常者と変わらない場合では、発作発生時に意識を失う事が多く死亡事故になる場合がある。

会社や公共施設における警備で一般に用いられているカメラによる監視では、生活苦による自殺事故や独居宅の転倒等に伴う事故や発作等による事故を発見できる可能性があるが、a) カメラの視界外で検知が出来ない、b) 画像からの異常検出を計算機で行うのは難しい、といった問題があることと、「監視されている」と意識することで精神的な安寧が得られないことやプライバシー問題を伴う場合が少なくない。さらに、収録された映像データから「対象物抽出」に必要な計算機コストが高いこと、さらには「映像としての記録」は「プライバシー問題につながりやすい」ことが問題となる。カメラ等による宅内警備は「見られている」ことを利用者が意識し「落ち着かない」という問題が障害となる場合がある。

これらのことから、映像よりも処理が容易であり、死角が少ない「日常生活に伴い生じる信号の計測」により「プライバシー問題」に抵触しない「利用者が安心して導入」できかつ「安全・安心な日常生活」を「利用者本人および親族」が送れることを支援するシステムが必要であると考えた。死角が少なく広く伝播する観測可能な信号として音響情報がある。音響情報は音源が伝播過程を経て計測される。これまでに教室における音声明瞭度回復のための室内伝達特性から実空間の様々な情報が得られることを明らかとしている[3]。プライバシーは音源情報のうち、その言語に関する事が主に問題となる。また音響情報とは空気を媒体として伝送される音の特性は伝播媒体を経由して計測可能な振動でも同様の特性が得られると考えられる。そこで本研究では高齢者や障害者など日常生活における発作や事故の早期発見と適切な通知を必要とする分野において、利用者のプライバシーを保ちつつ異常検知および通知により安全を確保するための情報通信システムを開発として、「振動や音」から「生活パターンデータ」を抽出し、「逸脱したパタンの検出」を行い、自動通知を行うシステム開発を目標とすることとする。これまでに、音を用いた警備として音場把握が可能であることを報告[4]しているが、プライバシー保護という観点が抜けており、パターン化にまでは至っていない。また嚙下障害のような発作予兆を検知する手法[5]も提案しているが、音情報だけでは不十分であった。

本研究では、1) 音響情報、2) 振動情報、の2種類の情報から「日常生活で生じるパターン」を見つけ、パターンに応じて通知を制御する。このため、1) 音響計測、2) 振動計測、3) 通信システム、の3ブロックを統合することでシステムを構成することを考える。

2 音響計測

日常生活からパターンを検討するために、まず住宅街にある一般家庭の屋内の状況を騒音計にて計測した。

計測は騒音計即で一般に使われている L50, Leq, LMX, LMN の 4 種類とする. JIS-Z8731 で定める通り, Leq とは騒音レベルが時間とともに変化する場合, 測定時間内でこれと等しい平均二乗音圧を与える連続定常音の騒音レベルであり, L50 とは騒音レベルがあるレベル以上である時間が実測時間の x% 以上を占めるときのそのレベルであり, L50 は実測時間の半分以上がこのレベルより大きかったことを示す指標である. LMX は測定時間内の最大音圧レベルであり, LMN は最小レベルである. ここでは A 特性でサンプリング間隔を 0.1 秒とする. 最大音圧 LMX と最小音圧 LMN の差を参考のため示す. 屋内にて無人の場合を図 1 に縦軸に db, 横軸に時間で, 同室にて有人の場合を図 2 に縦軸, 横軸は図 1 と同様で示す.

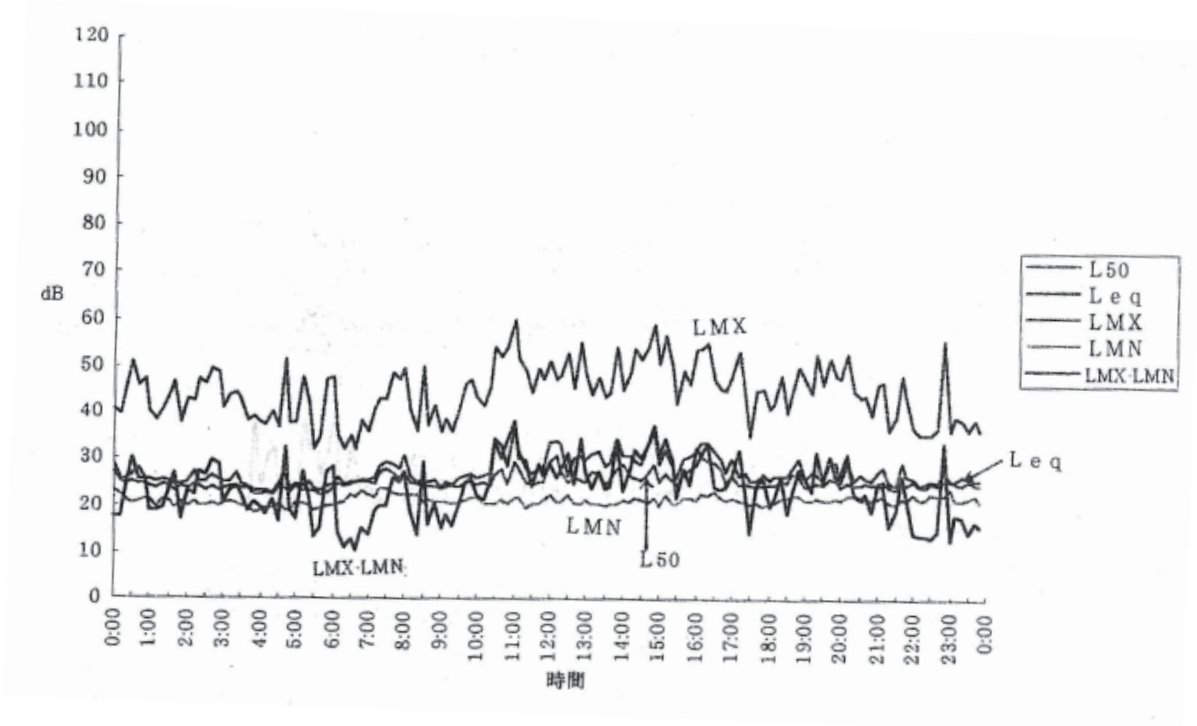


図 1 住宅街にある屋内（無人）での長時間騒音計測データ

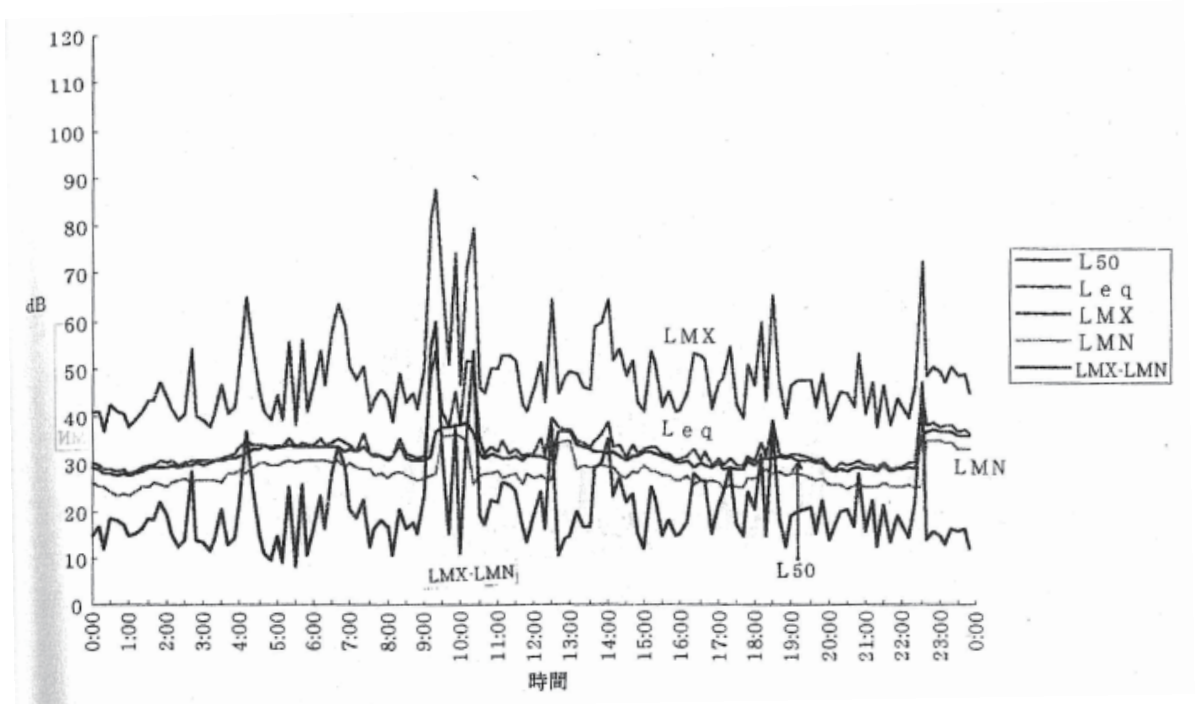


図 2 住宅街にある屋内（有人）での長時間騒音計測データ

無人の場合、明け方と思われる時刻付近から徐々に LMX が上昇し、夜が更けるにつれて LMX が低下することがわかり、特に LMX と LMN の差でその状況が確認できる。これに対して有人の場合は人の活動に相当する一般に「日中」といわれる時間帯において無人に比べて大きな変化が生じることがわかった。図 1 および図 2 はそれぞれ騒音計測で一般的な計測法を用いており、ある一定時間の累積データから導出されるものである。このデータから「人が活動しているか否か」は判別可能であるが、異常を検出するには時間追従性が重要であることがわかる。

そこで、時間追従可能な計測手法について検討することとし、特に室の状況変化を検出する手法について検討することとする。室内の状況を把握するために重要な要素技術として対象物の移動検出がある。超音波等を用いた「直線上の距離」を計測する技術はあるが、ここでは観測点を中心とする広範囲において出来るだけ高速で移動する物体を検出しようとする手法を検討した[6-8]結果を図 3 に縦軸に時間(s)、横軸に距離(m)で示す。図 3 に示すように観測点から離れている移動体を時間追従出来る事が確認できた。この手法は理論的に 30(km/h)程度以内の変動を検出する手法である。

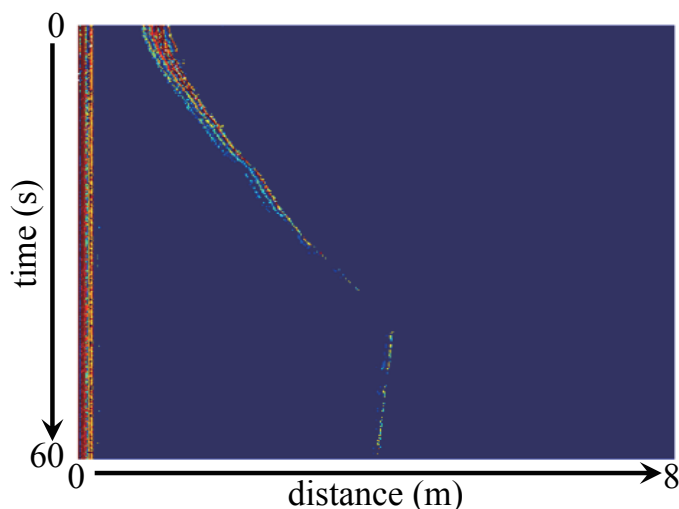


図 3 室における対象物が移動している様子を時間追従している様子の例

次に室の変化の中でも特に微小変化でありかつ映像では検出できない「空気の流れ」を検出しかつ時間追従する技術について検討した[9]。その結果、エアコンから流れ出す空気の流量程度の微小な室内の空気の流れを検出しかつ時間追従しようとする手法が確立された。

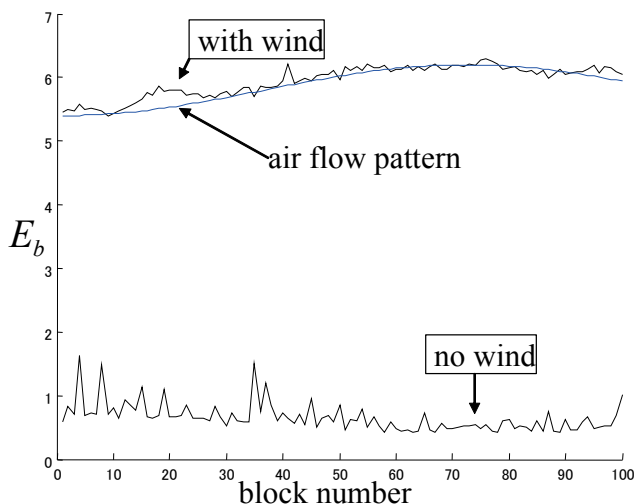


図 4 エアコンによる空気の流れを検出しかつ時間追従している様子の例

図 4 は横軸に時間に相当するブロック番号が示されており、各時刻のエアコン吹き出し口の角度が「air flow pattern」として示している。ここではエアコン吹き出し口のルーバが動いており、その動きに応じて、吹き出し口から 5m 程度離れた地点で計測したデータで判別されていることを示している。変化した空気の流

これは扉の開閉でも同程度の変動が生じることから、人の移動が検出可能であることを示している。

また、発話された音声に含まれる感情のパタン化を試みた。図5に感情の中でも特に独居宅で注意が必要となる「悲しみ」に関するデータを示す。図は上段にピッチ変動パターンを示し、下段にフォルマント分布を示している。通常発話 (Normal) に比べて悲しい時の発話 (Sadness) の場合、ピッチ変動量が大きく、フォルマント分布が広がることわかる。

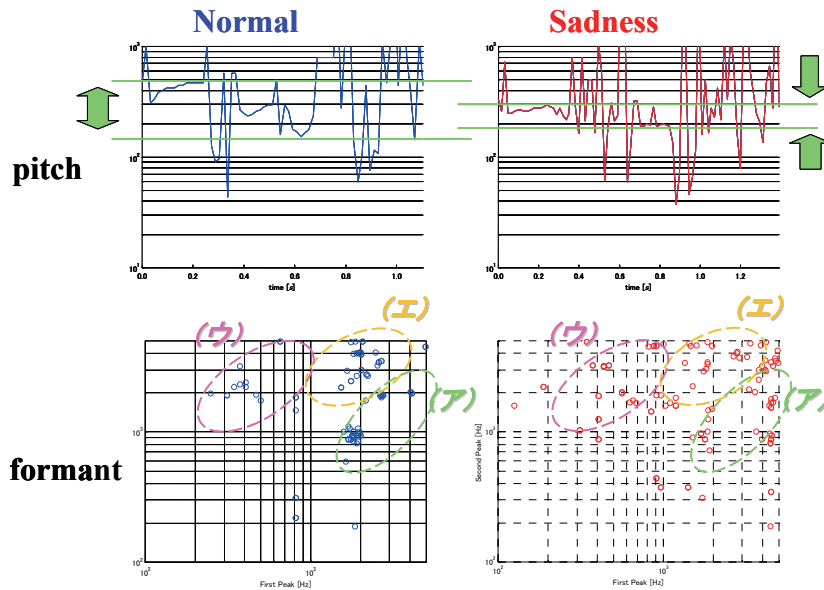


図5 通常発話 (Normal) と悲しい時の発話 (Sadness) の比較例

さらに、発話音声から「個人」を特定するための手法について検討[10-12]し、長期間にわたり安定した個人特徴量の抽出手法を確立した。さらに個人の特徴の手掛りを探すために、個人が日常生活においてどのような音環境にいるかを長時間計測した。その例を縦軸に dB、横軸に時間で図6および図7に示す。

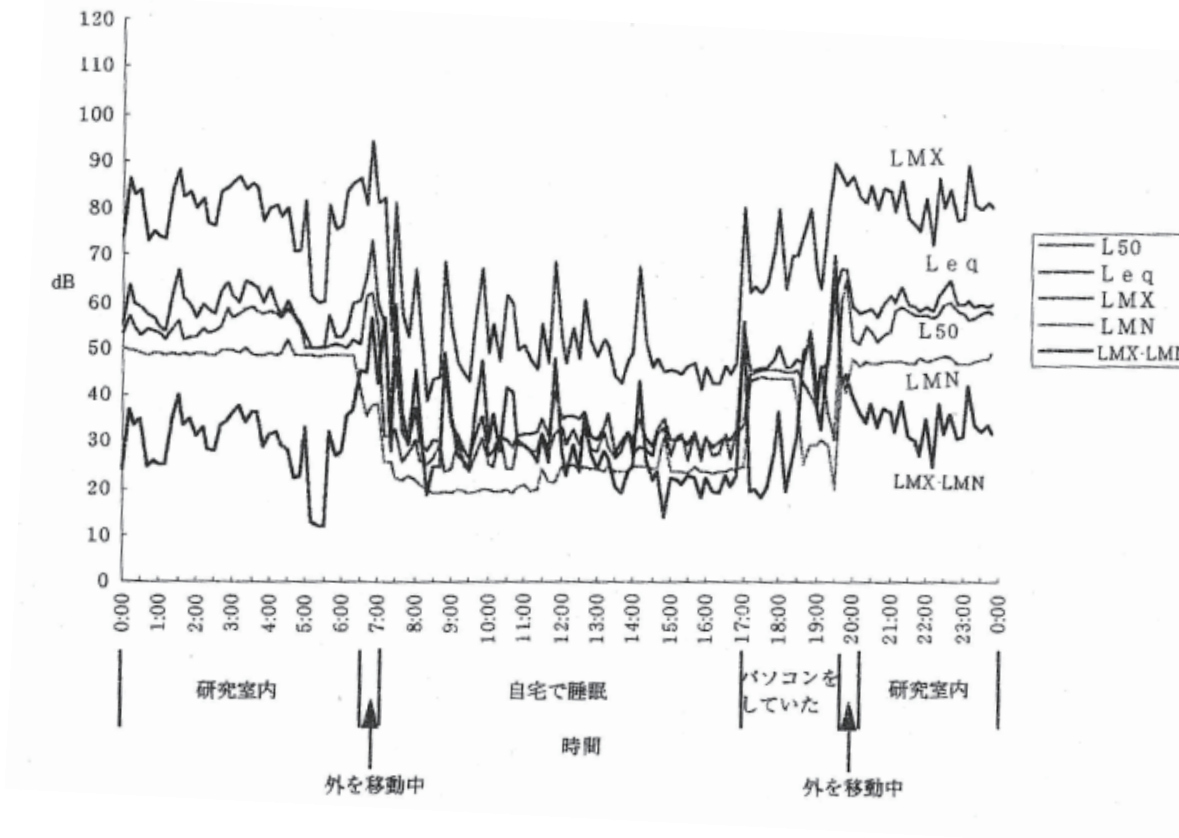


図6 24時間計測データ例(1)

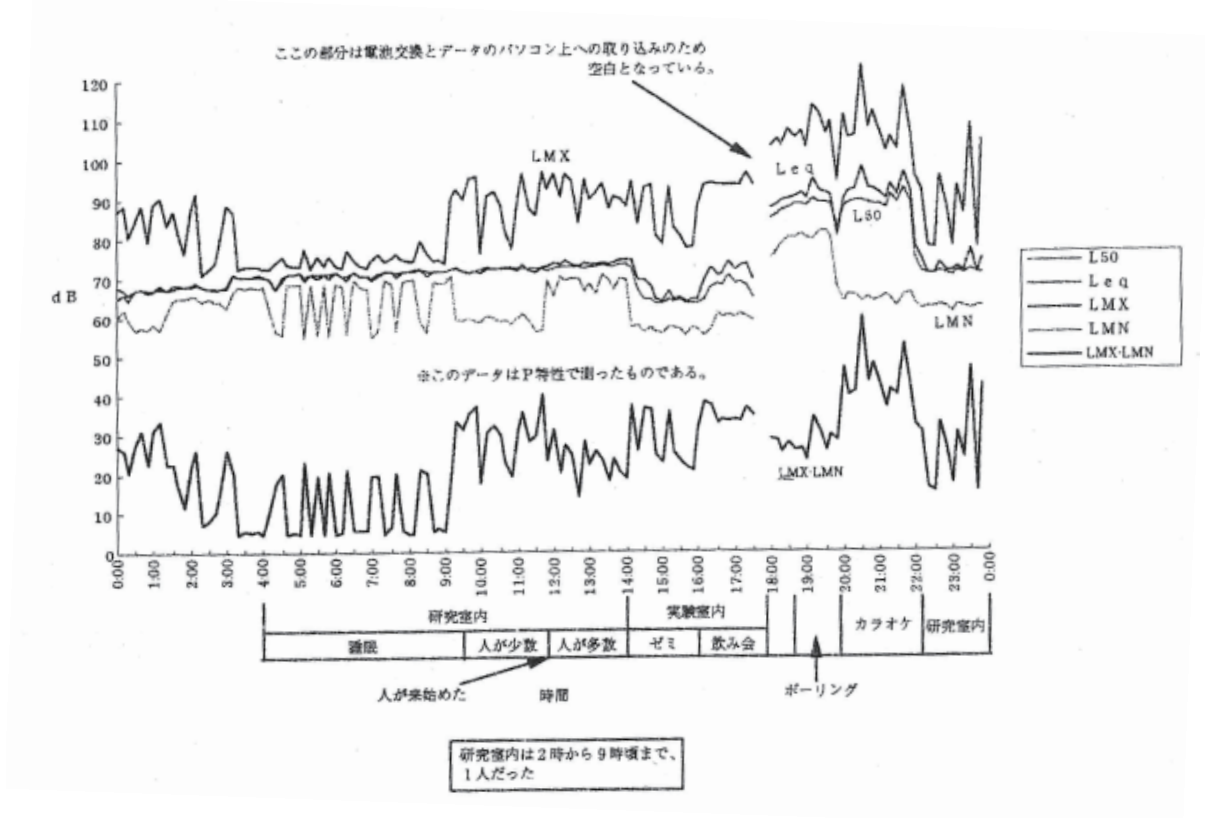


図7 24時間計測データ例(2)

3 振動計測

音響計測で様々な住環境に関する情報が収集できることが明らかになったが、音響信号が空気媒体での伝播であるため、媒体が遮断されている場合に状況を知る手立てがなくなるという原理的な問題がある。そこで、ここでは振動計測に着目する。音響計測に対し、振動計測は基本的に「伝送媒体の違い」と「固体伝播固有の情報に関する部分」に分けることが出来る。このため、計測実験に先立って「固体伝播固有の情報」を検討してからスタートすることとし、音響計測で得られた結果を基に「伝送媒体の違い」を検討し、パターン化を試みる。

はじめに振動計測に利用しうる装置について検討した[13]。ここでは加速度計がスマートフォンに標準搭載されていることに着目し、このセンサが使えないかを検討した。加速度センサはほぼ全てのスマートフォンに搭載されているが、AndroidOSを搭載したスマートフォンの場合、製造メーカーによってケース形状がことなることもあって計測データにばらつきがみられた。

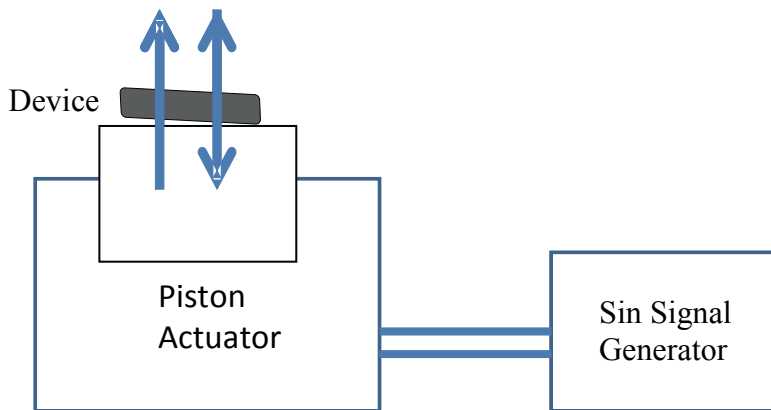


図8 小型情報端末(スマートフォン)搭載センサ性能評価実験の設置状況

計測は正弦波発信機 (Sin Signal Generator) で一定周期の信号を発生させ、これでピストン加振機 (Piston Actuator) を一定周期で加振運動させデバイスを加振しデバイス内で加速度センサの出力を記録した。図 9 に計測データの例を示す。図上段は加速度センサの出力を横軸に時間、縦軸に加速度センサ出力を示す。図下段は上段赤線区間の周波数振幅スペクトルを示している。デバイスのサンプリング周波数は 100Hz であるが、図は 160Hz で加振したものであり、折り返し歪により高い周期の振動が検知されていることを示している。

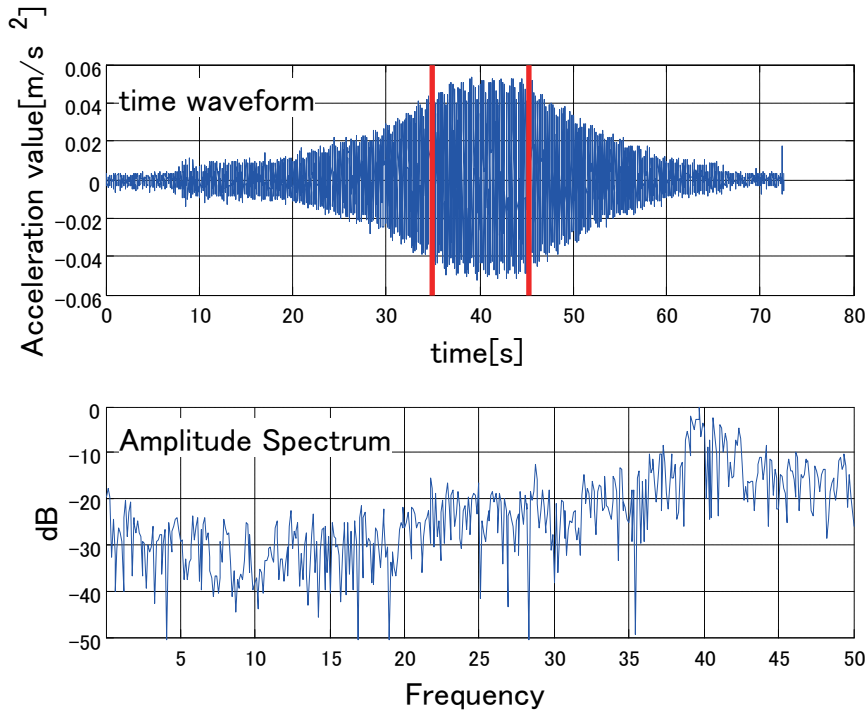


図 9 小型情報端末搭載センサの観測データ例

(上段：加速度センサの時間経過に伴う変動、

下段：上段赤線区間の周波数振幅スペクトル (区間内の一部であり平均回数 10 回のデータ))

そこでここでは Apple 製スマートフォンを床面設置状態で計測した加速度計の振動から歩行パターンを抽出した例を図 10 に示す。図は横軸に時間 (s)、縦軸にパターン化に際して使用した振幅に相当する量 γ を示す。図上部に対応する歩行時の足の状態を示す。抽出されたパターンは、計測ポイントから 5m 範囲内を歩行した約 10 分のデータから抽出したものである。

個体伝播のため、広範囲をカバーすることが可能であるが、複数歩行者がいる場合や、歩き方と異常時の対応についてはさらに多くのデータを蓄積することと、医学的知見が必要となる。これらに対し、本研究で明らかにした計測およびパターン化技術が基礎データを提供しうるものと判断する。

以上のことからスマートフォン搭載の加速度センサで日常生活における振動が計測できるものと判断した。

日常生活の中で、特に事故が生じて発見が遅れる事柄の 1 つに「睡眠時」が考えられる。図 6 および図 7 においても睡眠時に関して音響計測では十分状況把握が出来ないことがわかる。そこで、スマートフォン搭載加速度センサにて睡眠時の状況を計測することとした。ここでは睡眠時の床面に加速度計としてスマートフォンを設置し、睡眠中の振動を床面で計測することとする。より正確な計測としては被験者に取り付けることも考えられるが、本研究の目的である独居宅において生活者の負担を最小化することを考えると、電源確保等のため取り付けに付加がかかるものは部屋の設備として導入するしかないとの考えに基づき、床面計測が妥当と判断した。計測データは 90 夜 (約 3 ヶ月) に関して連続して収集することが出来た。このため、3 ヶ月程度の範囲ではあるが長期に安定的なパターンについて検討することが可能な状況となった。計測されたデータ例を図 11 に示す。図は横軸に入眠時刻を基準とした睡眠時間、縦軸に加速度センサの計測値を示す。睡眠時の動きは、深い眠りの場合に比べて浅い眠りの時に寝返りを打つといわれている。このことから、加速度の値が高い時は寝返りを打っている浅い眠りであり、加速度の値が小さい時は深い眠りであることが予想される。寝返りは個人の体系に依存するため、床面で計測した加速度の変化には個人の体系に依存するパ

タンがあると考えた. 図 11 の観測データから基本となるパターンを抽出するため, 相関分析を行った結果を図 12 に示す. 図は, 横軸にラグタイム τ を示し縦軸に相関値を示す.

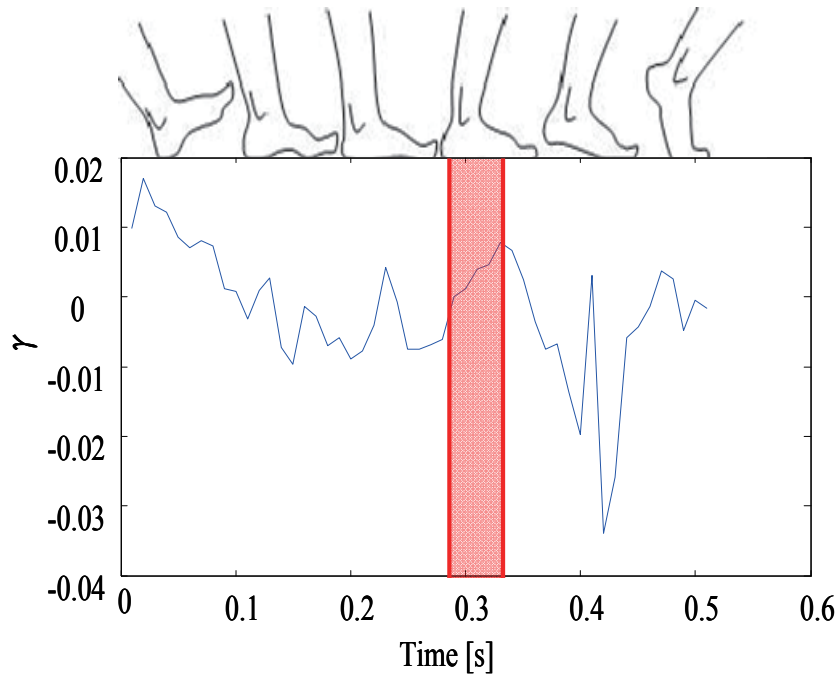


図 10 歩行パターン抽出例

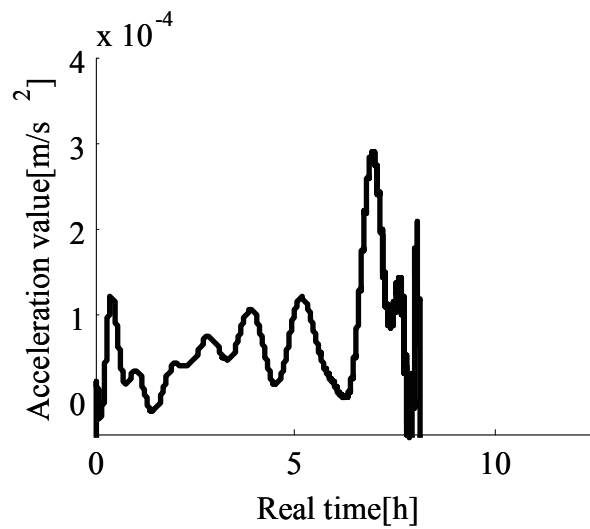
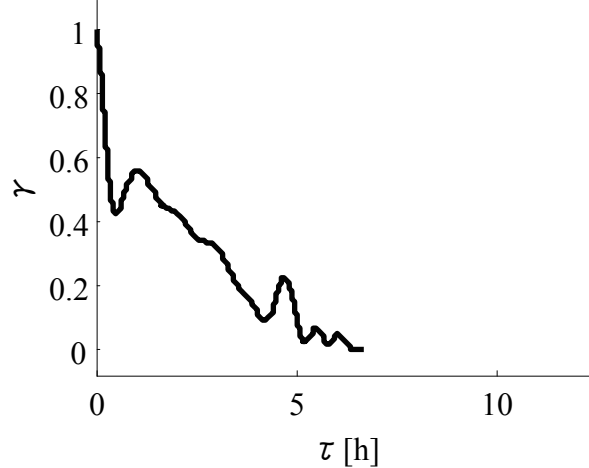


図 11 睡眠時の床面計測データ例



4 おわりに

本研究は、ICT 技術による「プライバシー問題を考慮した安全・安心な生活をサポートするシステム開発」を目的とした。そこで本研究では高齢者や障害者など日常生活における発作や事故の早期発見と適切な通知を必要とする分野において、利用者のプライバシーを保ちつつ異常検知および通知により安全を確保するための情報通信システムを開発として、「振動や音」から「生活パタンデータ」を抽出し、「逸脱したパタンの検出」を行い、自動通知を行うシステム開発に取り組んだ。

その結果、計算機による現実把握に重要な距離計測を安定的に行う手法が確立された。単なる距離計測でなく、反射物の種類や観測点を中心とする広範囲を対象とすることや、高精度での計測が可能となった。また床面設置加速度計により日常生活で生じる振動が計測可能であることを明らかにし、床面設置で睡眠状況を計測し有効性を検証した。計測データから「個体差」の特徴量を抽出する手法を確立し、その有用性を検証した。検討した各要素技術の妥当性は、山間部を想定した検討[14][15]において妥当であることを確かめた。今後の課題として研究期間が1年間であり、全てのライフスタイルに対応する十分なデータ収集が残るものの、プライバシー保護しつつ生活を見守るための基礎的技術が確立できたものと判断している。

本研究成果は「独居老人の孤独死防止」および「障害者のひとり暮らしにおけるトラブル防止」につながる技術である。また、通信システムを地区や地域で連動するサーバとして整備することにより「地域安全対策」への展開や、「通知先のシステムによる自動制御」を拡張することで「入院受け入れ要請」が可能となり「緊急入院による受け入れ問題」への解決に発展できるものである。

これまでの取り組みにより、明らかとなった事柄は次の通りである。

1) 音響計測

- 住環境の 24 時間計測データとその特徴量化
住宅街の屋内において、無人および有人の計測データが蓄積された。
- 物体の時間追従計測技法が確立
時速 30km 程度以下の移動体を検出する計測技法の確立と実験的検証を行った。
- 環境の不可視事象の時間追従計測技法の確立
室内の空気の流れの変化を時間的に継続して検出する技術の確立と実験的検証を行った。
- 発話語の非言語情報のパタン化
感情的な発話のパタン分類を行いデータが蓄積された。
- 個人特徴量のパタン化
発話語に非依存かつ経年変化に対して頑強な個人特徴量の抽出技法の確立と実験的検証を行った。
- 日常生活における個人の騒音暴露レベル調査
計測可能な生活に関するパタンを検討するための 24 時間連続計測データの収集をおこなった。

2) 振動計測

- 小型情報端末内蔵加速度計の性能評価
小型情報端末に内蔵されている加速度計による振動計測の性能評価を行い、1) 折り返し歪を利用したプライバシーに配慮した計測が可能であることの実験的検証、2) 計測精度の検証、を行った。
- 床面設置による歩行振動計測およびパタン化
床面に設置した小型情報端末により、10 畳程度の部屋において歩行振動の計測および計測データからのパタン抽出アルゴリズムの開発および実験的検証を行った。

睡眠時に床面設置加速度計により、寝返り等の睡眠時アクティビティを約 90 夜（約 3 ヶ月）計測データ蓄積し、そこからのパタン化を行った。

3) 通信システム

- 広域通信網による音響および振動計測データの集約システム構築
携帯電話帯域回線を利用した広域通信網による、計測デバイスと分析システムの相互連携システムの開発と実験的検証を行った。
- 高速広域通信網による通知システムの構築
高速広域通信網による通知システムの構築および実験的検証を行った。
- LAN 環境における計測デバイスの相互連携による検出技法の確立

独立した計測デバイスのデータを相互補完することにより、単独では形成しきれないパターンを相互補完することで高い精度を得るための検出およびパターン形成アルゴリズムの実験的検証を行った。

【参考文献】

- [1] <http://www.jeed.or.jp/> (独立行政法人 高齢・障害者雇用支援機構ホームページ)
- [2] <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h22/html/md133100.html> (“平成 22 年版 情報通信白書”, 総務省, 第 1 部, 第 1 章, 3(1))
- [3] 東山三樹夫, 柳川博文, 福島学, 奥野貴俊, “教室音響に関する研究”, 電気通信普及財団研究調査報告書, pp.575-586, 97-006, No.14-II, 1999
- [4] 福島学, “一般家庭の警備を目的とした音場把握システムの研究”, セコム財団助成研究報告, 2001 年
- [5] 福島学, “在宅介護における要介護者の自主的活動支援および介護者負担軽減を目的とした音響システムに関する研究”, 日本科学協会笹川科学研究助成研究報告, 2002 年
- [6] 近藤善隆, 伊田匠, 豊永和基, 吉川浩司, 今野元貴, 福島学, 柳川博文, 黒岩和治, “観測信号による距離推定手法における計測環境についての一検討”, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集, 3-Q-34, 2010
- [7] 伊田匠, 近藤善隆, 豊永和基, 吉川浩司, 福島学, 柳川博文, 黒岩和治, “観測信号による距離推定における日常生活空間の反射物の種類と時間追従性および計測範囲に関する一検討”, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集, 3-Q-32, 2010
- [8] 豊永和基, 伊田匠, 近藤善隆, 阿部宏樹, 今野元貴, 福島学, 松本光雄, 柳川博文, 黒岩和治, “距離推定手法を用いた周期的到来波により生じる音響現象発生要因検出の試み”, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集, 3-Q-31, 2010
- [9] 福島学, 黒岩和治, 伊田匠, 近藤善隆, 豊永和基, 西森崇晃, “伝送路特性の周波数振幅包絡に生じる変動分析による距離推定手法の研究”, 日本文理大学紀要, 第 38 巻, 第 2 号, pp68-77, 2010
- [10] 杉尾啓多, 吉川浩司, 近藤善隆, 今野元貴, 松本光雄, 福島学, 柳川博文, 黒岩和治, “狭帯域音声時間波形の包絡線間相関係数行列を用いた話者識別における誤認識要因の調査”, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集, 3-Q-33, 2010
- [11] 吉川浩司, 杉尾啓多, 近藤善隆, 今野元貴, 松本光雄, 福島学, 柳川博文, 黒岩和治, “個人のばらつきが狭帯域音声時間波形の包絡線間相関係数行列を用いた話者識別に与える影響の調査”, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集, 3-Q-30, 2010
- [12] 福島学, 黒岩和治, 小橋川美共, 末廣一美, 波々伯部龍人, 武本良平, 吉川浩司, 杉尾啓多, 藤井理海, 平居宏康, “信号源とその伝送特性の個体差による特徴量記述を用いた個体識別に関する研究”, 日本文理大学紀要, 第 38 巻, 第 2 号, pp19-30, 2010
- [13] 福島学, 黒岩和治, 吉川浩司, 杉尾啓多, 近藤善隆, 西森崇晃, “携帯情報端末を用いたセンシングアルゴリズムの検討”, 日本文理大学紀要, 第 39 巻, 第 1 号, pp42-50, 2011
- [14] 福島学, 足立元, 坪倉篤志, 濱田大助, 吉森聖貴, 黒岩和治, 吉川浩司, 井下貴朝, “ロボメカ・デザインコンペを通じたプロジェクト型教育の実践例”, 日本文理大学紀要, 第 39 巻, 第 1 号, pp28-37, 2011
- [15] 井下貴朝, 泉陽亮, 吉川浩司, 宮崎満, 杉尾啓多, 伊田匠, 近藤善隆, 西丸翔, 豊永和基, 西森崇晃, 利光翔, 武中大幸, 重黒木啓介, 伊田司, 梶原雄太, 園田将之, 福永雄亮, 熊谷辰彦, 財前亮太, 折式田菜卯, 葉山志穂, 前里阿衣里, “地域連携型サポートロボット メッシュ”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門, フェューチャー・ドリーム! ロボメカ・デザインコンペ 2010, 2010(TNC 放送会館にて 2010 年 12 月に一般公開展示)

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
ロボメカ・デザインコンペを通じたプロジェクト型教育の実践例	日本文理大学紀要	第39巻, 第1号, pp28-37, 2011
携帯情報端末を用いたセンシングアルゴリズムの検討	日本文理大学紀要	第39巻, 第1号, pp42-50, 2011
信号源とその伝送特性の個体差による特徴量記述を用いた個体識別に関する研究	日本文理大学紀要	第38巻, 第2号, pp19-30, 2010
伝送路特性の周波数振幅包絡に生じる変動分析による距離推定手法の研究	日本文理大学紀要	第38巻, 第2号, pp68-77, 2010
個人のばらつきが狭帯域音声時間波形の包絡線間相関係数行列を用いた話者識別に与える影響の調査	日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集	3-Q-30, 2010
距離推定手法を用いた周期的到来波により生じる音響現象発生要因検出の試み	日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集	3-Q-31, 2010
観測信号による距離推定における日常生活空間の反射物の種類と時間追従性および計測範囲に関する一検討	日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集	3-Q-32, 2010
狭帯域音声時間波形の包絡線間相関係数行列を用いた話者識別における誤認識要因の調査	日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集	3-Q-33, 2010
観測信号による距離推定手法における計測環境についての一検討	日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集	3-Q-34, 2010