

# 頭部運動に伴う外耳道内の気圧変化に関する個人差の調査 Investigation into Individual Differences of Air Pressure Changes in Ear Canals involved in Head-Related Movements

安藤 宗孝<sup>1)</sup> 久保 勇貴<sup>1)</sup> 志築 文太郎<sup>2)</sup> 高橋 伸<sup>2)</sup>  
Toshiyuki Ando Yuki Kubo Buntarou Shizuki Shin Takahashi

## 1 はじめに

これまでに、指紋、虹彩、歩行の癖など、個人の身体的特徴または行動的特徴を用いた生体認識および生体認証（以降、生体認識認証）手法が使われている。今回、我々は、外耳道を密閉している場合に、顎、顔、または頭の動き（以降、頭部運動）に伴って生じる外耳道内の気圧値の変化の仕方（以降、気圧変化パターン）に個人差が存在する事を見出した。この個人差を利用した生体認識認証手法の実現可能性を示唆する。

この気圧変化パターンは、外耳道の形状および筋骨格などの身体的特徴に加えて、頭部運動時の動かし方という行動的特徴の両者に依る。そのため、本手法は写真から身体的特徴を読み取られる事による不正認証（例：ピース写真から指紋を読み取られる）、他人に体を操られることによって意図せず認証されること（例：睡眠時に指を使われる）への耐性が高い可能性がある。我々は実験によって得たデータを用いて外耳道内の気圧変化パターンに関する個人差の調査を行ったので本稿において報告する。

## 2 関連研究

我々の研究と同様に頭部付近の身体的特徴を用いて認証認識を行った手法として、耳の形を利用した手法 [2]、頭蓋骨の音響特性を利用した手法 [4] などがある。また、行動的特徴を用いた研究としては加速度センサを用いて取得した頭の動きを用いた手法 [3]、ウェアラブルデバイスの加速度センサを用いて取得した歩行時の特徴を用いた手法 [5] などがある。我々の手法はこれらの研究と異なり、頭部運動による外耳道内の気圧変化パターンの個人差を用いて個人認識および個人認証を行う。

我々はこれまでに、頭部運動に伴う外耳道内の気圧変化を観測することにより、頭部運動の認識を行えることを示した [1]。この頭部運動の認識は本生体認識認証手法と併用可能である。

## 3 原理

頭部運動に伴い外耳道内の気圧値が変化する原理、および気圧変化パターンに個人差が生じる原理を述べる。

顎を動かす（例：口を開ける、顎を右に動かす）と下顎骨の位置が変化する。これに伴い、下顎骨の一部である下顎頭の位置が変化する。下顎頭は外耳道に近い位置にあるため、下顎頭の位置の変化に伴い外耳道が変形する。また、頭を動かすと（例：顔を右に向ける、頭を左に傾ける）と頭部周辺の筋肉（例：胸鎖乳突筋）が伸縮する。この伸縮によって外耳道が圧迫されるため外耳道が変形する。これらのような外耳道の変形を引き起こす運動を行った際、外耳道が密閉されている場合には、変形に伴って気圧も変化する。次に、外耳道内の気圧変化



図1 イヤホン型気圧センサ

の個人差は、外耳道周辺の筋骨格の発達度合いに個人差があることから生じていると考えられる。例えば、下顎頭およびその周辺の骨の形には個人差があるだけでなく、同一人物においても発育過程において顕著に変化する [6]。これらの個人差によって、頭部運動を行った際の外耳道への影響、さらには気圧変化パターンに個人差が生じると考えられる。

## 4 気圧変化パターンの個人差の調査

市販のイヤホンに気圧センサ（Bosch BMP280）を埋め込んだイヤホン型気圧センサ（図1）を用いて得た頭部運動時の気圧変化データを用いて、気圧変化パターンの個人差を調査した。

### 4.1 使用したデータ

我々が以前に行った研究 [1] の実験にて得たデータを用いて、気圧変化パターンの個人差の調査および本生体認識認証手法の評価を行った。この実験の実験協力者は我々が雇用した 21-23 歳の 12 人（P1-P12、女性 4 名、男性 8 名）である。実験は、大気圧の影響を避けるため、窓と扉を締め切った部屋にて行われた。実験協力者には座位にて、イヤホン型気圧センサを装着して貰った上で、実験協力者の正面に配置したディスプレイに表示された頭部運動を行うよう指示した。実験協力者はタスク A およびタスク B を 12 回ずつ繰り返して行った。タスク A においては 11 種類の頭部運動（表 1 の頭部運動 + 口を閉じている）を 1 回ずつ行ってもらった。タスク B においては口を開ける大きさを 4 段階に分けて 1 回ずつ行ってもらった。これらの運動を行っている時間を含んだ 3 秒間の両耳の気圧値を記録した。イヤホン型気圧センサは 32 Hz にて気圧値を出力するため、頭部運動 1 回あたり左右合わせて 192 個の気圧値が得られる。取得した気圧値から先行研究 [1] と同様の手法を使用して、1 秒間分（片耳 32 個の気圧値）の気圧変化データを抽出し、調査に用いた。

### 4.2 個人差の調査

「口を開ける」の際の気圧変化パターンを図 2 に示す。これは 4.1 節にて抽出した 1 秒間分の気圧変化データの内、1 個目の気圧値を 0 とした際の気圧変化パターンを実験協力者毎に描画したものである。「口を開ける」という単純な運動においても実験協力者ごとに気圧変化パターンに違いがあることが分かる。特に実験協力者の中でも P9 に関しては左右ともに負の値に変化しており、他の実験協力者との違いが大きい。なお、「口を閉じている」には個人差がなかった。

1) 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻  
2) 筑波大学システム情報系

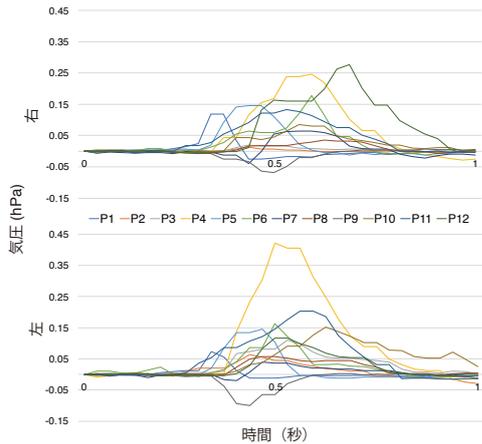


図2 実験協力者ごとの「口を開ける」における気圧変化パターン

### 4.3 個人認識および個人認証の評価

タスク A にて取得した気圧変化データの内、「口を閉じている」を除く 10 種類の頭部運動を用いて、本生体認識認証手法の評価を行った。評価には機械学習ライブラリ Weka が提供する Random Forest (RF) を標準パラメータで用いた。

#### 4.3.1 頭部運動毎の個人認識および個人認証

12 人が同じ頭部運動を行った際、誰が頭部運動を行ったのかに関して、どの程度の認識率にて認識できるかを評価した。タスク A のデータを、実験協力者毎にラベル付けし、頭部運動毎に分け、RF にて認識を行った。この結果、10 種類の頭部運動の場合、平均 90.6%にて実験協力者を認識できた。また、個人認証に関しての検証を行った結果、他人許容率が 0.84%および本人拒否率 9.4%となり、等価エラー率は 4.8%となった。

#### 4.3.2 頭部運動と実験協力者の組み合わせにおける個人認識および個人認証

12 人が 10 種類の頭部運動を行った際、誰がどの頭部運動を行ったのかに関して、どの程度の認識率にて認識できるかを評価した。タスク A のデータを頭部運動と実験協力者の組み合わせを用いてラベル付け（頭部運動 10 種類 × 実験協力者 12 人 = 120 ラベル）し、RF を用いて頭部運動および実験協力者の組み合わせを認識した。この結果、頭部運動および実験協力者の組み合わせにおける認識率は 78.4%であった。また、個人認証に関しての検証を行った結果、他人許容率および本人拒否率はそれぞれ、0.2%および 21.6%であった。

頭部運動と実験協力者の組み合わせの認識においては、顔または頭に関する運動よりも顎に関する運動の方が認識率が高かった。このことから、顔または頭の運動は顎に関する運動に比べて他の運動と混同しやすいと考えられる。そのため、個人認証など確実性が求められる場合においては、顎の運動を主体とすべきである。

### 5 まとめと今後の課題

本稿では、頭部運動に伴って生じる外耳道内の気圧変化パターンに個人差がある事を示した。さらに、実験によって得たデータを用いて、個人差の調査、個人差を用

いた個人認識および個人認証の評価を行った。この結果、頭部運動毎の場合、平均 90.6%の個人認識率であった。個人認証に関しては、他人許容率が 0.84%および本人拒否率 9.4%となった。また、頭部運動および実験協力者の組み合わせにおける個人認識率は 78.4%であった。個人認証に関しては、他人許容率 0.2%および本人拒否率 21.6%となった。

今回の調査によって、気圧変化パターンに個人差があり、またそれが生体認識認証手法として利用できる可能性があることを示した。しかし、本手法を実際に使用するためには、気圧変化に関するより詳細な調査が必要である。特に、筋骨格は年齢に伴い変化するため、異なる年齢層の実験協力者を集めた実験は必須である。また、認識率の向上のためのアルゴリズムの改良、複数の連続した運動をパスワードの様に使用するという認証プロセスなども検討する必要がある。

表 1 頭部運動毎および頭部運動と実験協力者の組み合わせにおける個人認識率 (%)

頭部運動	条件	
	運動毎	運動 × 実験協力者
口を開ける	93.8	87.5
口を閉じる	87.5	83.3
顎を左に動かす	88.9	81.3
顎を右に動かす	93.1	88.2
顔を左に向ける	87.5	68.8
顔を右に向ける	89.6	75.7
顔を上に向ける	90.3	77.8
顔を下に向ける	93.1	79.9
頭を左に傾ける	91.0	72.9
頭を右に傾ける	91.0	68.8
平均	90.6	78.4

### 謝辞

本研究は高橋産業経済研究財団からの助成を受けたものです。

### 参考文献

- [1] T. Ando, Y. Kubo, B. Shizuki, and S. Takahashi. CanalSense: Face-related movement recognition system based on sensing air pressure in ear canals. *UIST '17*. pp. 679–689, 2017.
- [2] C. Holz, S. Buthpitiya, and M. Knaust. Bodyprint: Biometric user identification on mobile devices using the capacitive touchscreen to scan body parts. *CHI '15*. pp. 3011–3014, 2015.
- [3] S. Li, A. Ashok, Y. Zhang, C. Xu, J. Lindqvist, and M. Gruteser. Whose move is it anyway? authenticating smart wearable devices using unique head movement patterns. *PerCom '16*. pp. 1–9, 2016.
- [4] S. Schneegass, Y. Oualil, and A. Bulling. SkullConduct: Biometric user identification on eyewear computers using bone conduction through the skull. *CHI '16*. pp. 1379–1384, 2016.
- [5] Y. Zeng, A. Pande, J. Zhu, and P. Mohapatra. WearIA: Wearable device implicit authentication based on activity information. *WoWMoM '17*. pp. 1–9, 2017.
- [6] 河村洋二郎. 咬合の生理について. *日本歯科評論*. Vol. 539, pp. 25–33, 1972.