

# AHI 予測モデルにおける睡眠時環境音の影響調査 Investigation of environmental sounds in AHI prediction model

中田 日都 (コンピュータ科学科)

Nichito Nakata

数理音響学研究室

指導教員

中島 弘史 准教授

**1. はじめに** 睡眠時無呼吸症候群(SAS; Sleep Apnea Syndrome)は、睡眠時に無呼吸あるいは低呼吸となる病気である。睡眠時の無呼吸は10秒以上の呼吸停止、低呼吸は10秒以上にわたり呼吸による換気が50%以下となることと定義されており、これらの合計回数を1時間あたりの平均回数として算出したものを無呼吸低呼吸指数(AHI; Apnea Hypopnea Index)という<sup>[1]</sup>。SASの主な診断方法として、入院検査(睡眠ポリグラフ検査)や、パルスオキシメーターを用いた方法があるが、前者は入院費用が高額かつ自然な睡眠での検査が難しく、後者は前者よりも精度が低く、それぞれデメリットとなっている。また、スマートフォンアプリで手軽に睡眠状態を調べられるものも公開されているが、SASの診断に利用することは困難である。このため、従来の検査よりも手軽かつ安価で、より精度の高い診断システムの構築が望まれる。

## 2. 研究の長期計画, 目的及びアプローチ

**2.1 研究の長期計画** 本研究「睡眠時無呼吸症候群の簡易診断システムの構築」は、[JSPS 科研費 24500213](#)の助成による4ヵ年計画(表1)の研究の一部である。この研究は、低コストで精度の高い、呼吸音を用いた睡眠時無呼吸症候群の簡易診断システムの構築を目的としている。4ヵ年計画の3年目にあたる今年度は、加科が「呼吸音による無呼吸低呼吸指数予測モデルの設計と実装」<sup>[8]</sup>を、本研究では「AHI予測モデルにおける睡眠時環境音の影響調査」を行った。

表1 診断システムの構築4ヵ年計画について

予備検挙期間 (2011年度)	呼吸音による睡眠状態判別ソフトウェアの構築 <sup>[2]</sup> 睡眠時の呼吸音検出に関する研究 <sup>[3]</sup>
1年目 (2012年度)	睡眠時における音環境調査 <sup>[4]</sup> ハードウェア要件の明確化 <sup>[4]</sup>
2年目 (2013年度)	呼吸音の特徴量抽出 <sup>[5]</sup> 判別器の作成及び評価 <sup>[6]</sup> 睡眠時環境音のSN比評価 及び睡眠アプリ・睡眠計の調査 <sup>[7]</sup>
3年目 (2014年度)	AHI予測モデルの設計と実装 <sup>[8]</sup> AHI予測モデルにおける睡眠時環境音の影響調査 (本研究)
4年目 (2015年度)	SASの簡易診断システムの構築

**2.2 本研究の目的** 呼吸音録音の際に録音されている呼吸音以外の物音や会話の音を本研究では「睡眠時環境音」と定義する。本研究は、加科の作成したAHI予測モデルにおいて、睡眠時環境音がどの程度AHIの予測結果に影響するかを定量的に明らかにすることを目的とする。

**2.3 アプローチ** SAS患者の睡眠中のPSG(Polysomnograph)検査のデータ収録時に、並行して呼吸音の録音を行う。録音した音声データから、睡眠時環境音の判定と、その区間を削除(無音化)した修正音源を作成する。修正前と後の音声データをそれぞれAHI予測モデルに適用しその結果を比較する。

**3. AHI予測モデルの設計** 本章では加科によるAHI予測モデル<sup>[8]</sup>の概要とその精度について記述する。

**3.1 モデル作成のアプローチ** PSG検査と並行して行なった呼吸音の録音波形からいびきの区間といびきのない区間を推定し、AHIに相関の高い特徴量を抽出し、AHIを予測する。呼吸音の波形の分析

はMathWorks社のMATLAB R2013aを用いる。

**3.2 収録環境・データ** PSGデータ及びICレコーダーによる録音波形は、東京大学医学部附属病院で収録した。収録対象者は検査入院を行う患者のうち了解を得られた者である。睡眠ポリグラフィ装置は日本光電のPSG-1100を、ICレコーダーにはTASCAMのDR-05を用いた。ICレコーダーは、フォーマットWave(リニアPCM)16Bit 2ch、標準化周波数44100Hz、ステレオ、マイクパワーオフ、lowcut オフ、pre-rec オフとし、約2m離れた距離に配置した。被験者5名のPSGデータより得られた情報を5.1節の表2に示す。表中で、AHは無呼吸の回数Aと、低呼吸の回数Hの合計値A+Hである。

**3.3 ダイナミックレンジ波形の算出** 特徴量の抽出のため、スペクトログラムの算出、呼吸音強調処理、最大パワー波形の算出、ダイナミックレンジ波形の算出、の順でSN比向上処理を行う。これらの処理で求めたダイナミックレンジ波形の例を図1に示す。

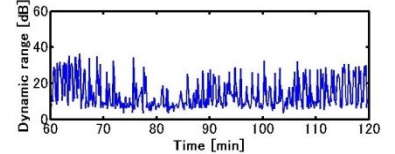


図1 ダイナミックレンジ波形の例

### 3.4 いびき区間の検出

3.3節で求めたダイナミックレンジ波形と、着目時間付近の平均値の差が閾値を超えていた場合はいびきありとして1、そうでない場合はいびきなしとして0とする二値化波形を求める。閾値Tは10[dB]とした。図2は二値化波形の例である。

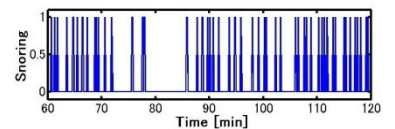


図2 二値化波形の例

### 3.5 特徴量の分析

3.4節で算出した二値化波形より、いびきの数および時間長、いびきのない休止区間の数および時間長を特徴量とする。図3は1つのピンを約6秒とした休止区間のヒストグラムのうち、被験者(1)-(3)の3名のものである。ほとんどの被験者で休止区間が頻発しているので、この特徴をAHIの予測に利用する。

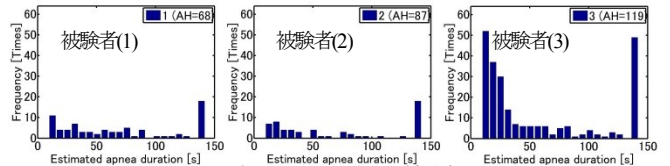


図3 休止区間のヒストグラム(被験者(1)-(3))

### 3.6 予測モデルの設計

3.5節の分析結果から休止区間の重み付き度数の和からAHを予測し、それを睡眠時間Tで割ることで予測する。AHの予測値 $\hat{A}H$ を次式で計算した。

$$\hat{A}H = \sum_{\tau=\tau_{min}}^{\tau_{max}} H_q(\tau) \cdot g(\tau) \quad (1)$$

ただし、 $H_q(\tau)$ は休止区間のヒストグラム、

$\tau$ はピン番号、 $\tau_{min}$ 、 $\tau_{max}$ はピン番号の上

限と下限で、 $\tau_{max} = 1$ (約6秒)、

$\tau_{min} = 21$ (約126秒)とした。また、 $g(\tau)$ は重み関数で、 $g(\tau) = \alpha\tau$ とし、今回は $\alpha = 3/16$ と定めた。図4は休止区間の重み付きの度数の和から予測された $\hat{A}H$ と、真のAHを示す相関図であり、両者が近い

値であるため、相関があることがわかる。

本章についての詳細は、加科による研究<sup>[8]</sup>を参照されたい。

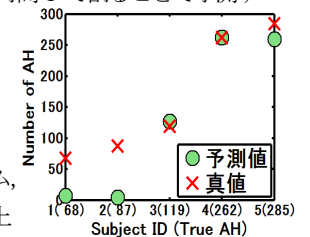


図4 AHと $\hat{A}H$

#### 4. 睡眠時環境音のラベリングと無音化

本章ではICレコーダーで録音した音声データから睡眠時環境音のラベリングと無音化の手順、作成した修正音源について記述する。

##### 4.1 ラベリング 睡眠時環境音は以下の5種類の音として分類した。

- (1)就寝前・起床後の会話 (2)大きな物音 (3)機械音・電子音 (4)TVの音 (5)収録部屋の外部から聞こえた会話・物音

**4.2 修正音源作成の手順** 睡眠時環境音を無音化した修正音源を作成する。作成には、オーディオ編集ソフトのAudacity(Windows版)を使用した。以下の手順1~5を5名の被験者データすべてに対して行う。

**手順1 Audacityに音声データを読み込む**

**手順2 スペクトログラム(対数周波数)表示にする**

表示設定を、最低周波数20Hz、最高周波数5000Hz、ゲイン20dB、レンジ80dB、周波数ゲイン0dB/dec、窓関数はハンニング窓で、窓サイズは4096とし、睡眠時環境音を目視で推定できるようにする。

**手順3 睡眠時環境音と考えられる部分を再生・確認する**

いびきの主要帯域である100-400Hz付近の部分について詳しく確認し、睡眠時環境音が呼吸音(いびき)かを確認する。図5はこのときの作業画面の例である。区間1では、100~400Hz付近の音が周期的に強く発生していることから、いびきである可能性が高い。一方、区間2は100~600Hz付近の音がまばらに発生している。

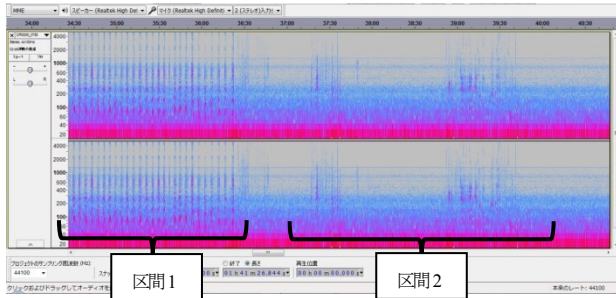


図5 作業画面の例

**手順4 睡眠時環境音と判断した部分を無音化する**

手順3で確認した上で、前述した4.1節の基準で睡眠時環境音と判断した部分を選択し、ラベルを付けて無音化する。

**手順5 無音化したデータを書き出す**

ファイルの全範囲の睡眠時環境音の確認・無音化が終了したら、そのファイルを書き出し、修正音源として元の音声データと同じwav形式で保存する。

#### 5. 睡眠時環境音の影響

##### 5.1 修正音源によるAHI予測結果

4章で作成した修正音源を加科のAHI予測モデルに適用した。予測結果を表2に示す。また、図6は表2の $\bar{AHI}$ に関するグラフである。ここで、 $\bar{AHI}$ は修正音源での予測値、 $\hat{AHI}$ は修正音源でのAHI予測値である。これより、被験者(1)、(2)の $\hat{AHI}$ は真値と大きく異なる結果になった。また、被験者(3)については真値に近づき、被験者(4)、(5)については大きな予測値の変化はなかった。

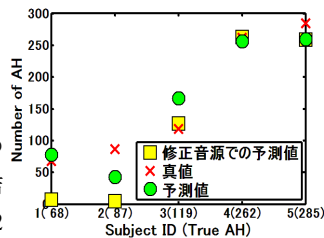


図6 AHと $\hat{AHI}$

表2 修正音源によるAHI予測結果

被験者	AH	$\bar{AHI}$	$\hat{AHI}$	AHI	$\hat{AHI}$	$\bar{AHI}$
(1)	68	78	7.3	16.06	18.48	1.73
(2)	87	43	4.3	40.62	20.15	2.01
(3)	119	167	126.4	23.8	32.85	25.28
(4)	262	256	262.5	31.41	30.67	31.47
(5)	285	260	258.9	38.04	34.77	34.56

#### 5.2 各被験者の予測モデル適用結果と評価

**被験者(1),(2)** 真値と大きく異なる結果が出た原因として、いびきではない部分をいびきとして検出していたことが考えられる。特にこの2名の被験者については録音開始直後の会話など、修正音源作成時に無音化した範囲が多かった。図7は録音開始から60分後までの被験者(2)の音源修正前後のいびきの二値化波形の比較である。修正前の音源においてはいびきの誤検出が多くあったことが確認できる。

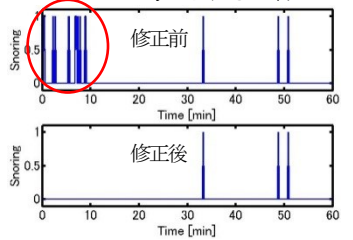


図7 被験者(2)の二値化波形

**被験者(3)** 被験者(3)の修正音源は開始後約40分までが会話や物音だったため無音化した。もともと会話や物音だった部分がいびきなしと判定されたことで真値に近い予測結果が得られたと考えられる。

**被験者(4),(5)** この2名の被験者については長時間無音化した部分はなく、物音を数ヶ所無音化したのみであった。図8は被験者(5)の開始後180分~240分の音源修正前後のいびきの二値化波形の比較である。図中の矢印の時間で部分的に物音を無音化したが、予測結果は変わらなかった。これより、録音された物音については予測結果を大きく変えるほどの影響は与えないことがわかった。

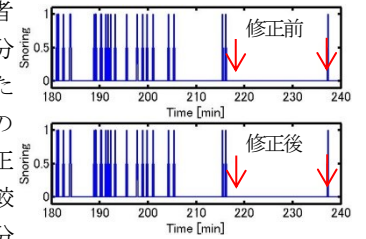


図8 被験者(5)の二値化波形

**5.3 まとめ** 加科のAHI予測モデルにおける睡眠時環境音の影響は、会話に対しては予測結果を大きく変化させる原因となるが、物音については大きな影響はないことがわかった。従って、会話がいないと考えられる1人で就寝する場合などでは加科のAHI予測モデルをそのまま利用しても精度が低下する可能性が少ないと言える。

#### 6. 今後の課題

今回のAHI予測モデルでは、予測精度を向上するためには、会話部分を無音化して処理を行うか、呼吸音のみを録音する工夫が必要である。今後は、被験者数を増やして、より詳細な解析のもと、会話部分を自動的に判別し無音化する処理を追加することなどが課題となる。また、来年度に向けて、アプリケーションとしての実用性のあるシステムを構築することも課題である。

**謝辞** データ提供および医学的側面から適切なご助言をして頂いた東京大学医学部附属病院の山口泰弘先生に感謝致します。

#### 参考文献

- [1] 本間栄, "睡眠時無呼吸症候群-改定第2版-", 克誠堂出版, 2011.
- [2] 小谷晃平, 「呼吸音による睡眠状態判別ソフトウェアの構築」, 工学院大学情報学部卒業論文, 数理音響学研究室, 2011.
- [3] 飯塚祐太, 「睡眠時の呼吸音検出に関する研究」, 工学院大学情報学部卒業論文, 数理音響学研究室, 2011.
- [4] 数納聖牙・神藤徳彦, 「睡眠時無呼吸症候群の簡易診断システムの構築のための音環境調査とハードウェア要件の明確化」 信学技報, vol.112, pp.1-6, 2013.
- [5] 和井田将広, 「呼吸音検出アルゴリズムの為の音響特徴量の抽出」 音講論集2014 春, 1-P4-23, 2014.
- [6] 加科優希, 「呼吸音検出アルゴリズムにおける判別器の作成と評価」 音講論集2014 春, 1-P4-24, 2014.
- [7] 本間賢広, 「睡眠時環境音のSN比評価および睡眠アプリ・睡眠計の調査」, 工学院大学情報学部卒業論文, 数理音響学研究室, 2013.
- [8] 加科優希, 「呼吸音による無呼吸低呼吸指数予測モデルの設計と実装」, 日本音響学会2014年秋季発表会, 2014.