

原 著

## ノート型パソコンとマイクロホンのみによる肺音計測装置の作成

中野 博 庄司 俊輔 西間 三馨

**要旨** 肺音の解析は臨床的に有用な情報を与えるものであるが、従来は比較的大がかりな機器を要しベッドサイドでの計測が必ずしも容易ではなかった。一方近年パーソナルコンピュータが著しく進歩し、高速化し、標準で音響入出力機能が装備されるようになった。そこでわれわれはその機能を利用した肺音計測システムを試作し、その実用性と問題点につき検討した。このシステムはハードウェアはノート型パソコンとマイクロホンのみから構成し、またソフトウェアは肺音計測用に作成した。肺音の収録、保存、再生、時間軸計測、周波数解析など従来なされてきた肺音解析は概ね可能であった。問題点はパソコンの機種により周波数特性が異なることであるが、検討し得た4機種では200から2,000 Hzの間では $\pm 3$  dBの範囲内にあり、肺音の解析には問題がないと考えた。この方法はベッドサイドで計測が可能であり瞬時に解析結果を得ることが出来る点で、実用的であると考えた。

**キーワード**：肺音，スペクトル解析，パーソナルコンピュータ

Lung sounds, Spectral analysis, Personal computer

## 緒 言

肺音の解析は臨床的には副雑音の判別<sup>1)</sup>，気道誘発試験における気道反応の評価<sup>2)-4)</sup>，中枢気道狭窄の検出<sup>5)</sup>などに用いることが可能であることが報告されてきた。しかしながらその計測は必ずしも簡便ではなかった。すなわち、古くにはテープレコーダ等に肺音を収録した上で、音響解析は高速電磁オシログラフやアナログ式のサウンドスペクトログラフ<sup>6)</sup>，シグナルプロセッサなどの計測機器が使用されていた。近年はパソコンにAD変換器を組み込み、信号処理ソフトウェア等を用いて解析する方法がおこなわれるようになった<sup>7)</sup>。この方法は独自に組み立てることが必要であり日常臨床でおこない得る実用的な方法ではなかったが、最近では肺音計測専用の装置<sup>8)</sup>も市販され計測が容易になった。

一方最近のパソコンの進歩は著しく、演算速度、記憶容量の増大、インターフェースの改良に加え、音響入出力の機能が標準で装備されるようになった。この音響入力の殆どは音楽用CD相当の精度、すなわち44,100 Hzのサンプリング周波数、16ビットの量子化を採用しており、肺音計測には十分な精度を有している。しかもその高速演算機能を利用すればリアルタイムに解析結果を得ることが可能と思われる。すなわち、このようなパソコンを用いれば専用の機器を必要とせずどこでも手軽

にベッドサイドで肺音計測・解析ができる可能性がある。そこでわれわれはパソコンの音響入力機能を利用して肺音を収録し、またその演算機能を利用して周波数解析等をおこなうシステムを試作し、その実用性、問題点などにつき検討した。

## 方 法

## 1) ハードウェアの構成

今回作成したシステムはパソコンとマイクロホン(SONY ECM-T 140)のみから構成した。実際に肺音計測をおこなう際はこのマイクロホンをゴム製のアダプタを介して胸壁上に接着するものとした。

パソコンは、比較のため4機種を用いた。このうち2機種は本邦の代表的なパソコンメーカーのものであり(NEC製PC 9821 Nr 13, 同PC 9821 Nr 15), 1機種は本邦の代表的な家電メーカーの製品(松下電器製Let's note CF-M 32 J 5), 1機種は米国製の製品(DELL社製Latitude XPiP 133 ST)である。いずれもノート型で、それぞれ約32 MBのメモリが搭載されており、それ以外の付属品は使用していない。またこれらのパソコンは中央演算装置としてインテル社製のプロセッサ(Pentium 130 MHz以上)が採用されており、マイクロソフト社製の基本ソフトウェア(Windows 95)で動作している。

## 2) ソフトウェアの作成

ソフトウェアはC/C++言語を用いて独自に作成した。開発環境はマイクロソフト社のVisual C++ (Ver.

5) を用い、Windows 95 上で動作するプログラム (以下 LSA と称す) として、LSA では音響入力に Windows 95 が提供する低レベルウェーブフォームオーディオ機能を用いて実現した。符号化の方式は Linear PCM でこれは従来の AD 変換と全く同じものである。サンプリング周波数は 11,025 Hz, 22,050 Hz, 44,100 Hz の内から自由に選択できるものとした。また収録時間はその上限がパソコンのメモリ量に依存するが任意に設定できるものとした。保存ファイルのデータ形式は Windows 95 が音響ファイルとして通常使用している wav 形式と同様の形式とした。保存容量は、例えば 22,050 Hz のサンプリング周波数で 30 秒の測定をおこなうと約 1.3 MB となる。LSA での解析は、振幅・時間軸の伸縮表示、時間軸計測、高速フーリエ変換 (fast fourier transform; FFT) を用いた周波数解析、自己回帰モデルを用いた周波数解析、サウンドスペクトログラム表示などが可能のように作成した。また収録中にも、波形またはサウンドスペクトログラムがリアルタイムで表示されるよう作成した。さらに Windows 95 の音響出力機能を利用して、収録された肺音を再生して聴くことも可能で、この際にはサウンドスペクトログラム上を音響再生と同期してカーソルが移動するように設計した。

### 3) 検討方法

機種間の相違を検討するために、正弦波信号発生器 (NF 回路設計ブロック社製 Function generator LO 5 T) で 30 ~ 5,000 Hz の正弦波を順次生成し、各パソコンのマイクロホン入力端子に入力し、LSA で収録・解析をおこなった。また直流電圧をマイクロホン端子に負荷し極性を調べた。

次に 2 機種 (CF-M 32 J 5, PC 9821 Nr 15) で、LSA を用いて同一の肺音を計測しその解析結果の差を比較した。この際の肺音は市販の教育用 CD<sup>9)</sup> を家庭用の CD プレーヤで再生し、マイクロホンをスピーカの約 2 cm 前方に固定して収録した。解析項目は時間軸波形計測、パワースペクトラム (FFT, 自己回帰モデル)、サウンドスペクトログラム、周波数分布などである。周波数分

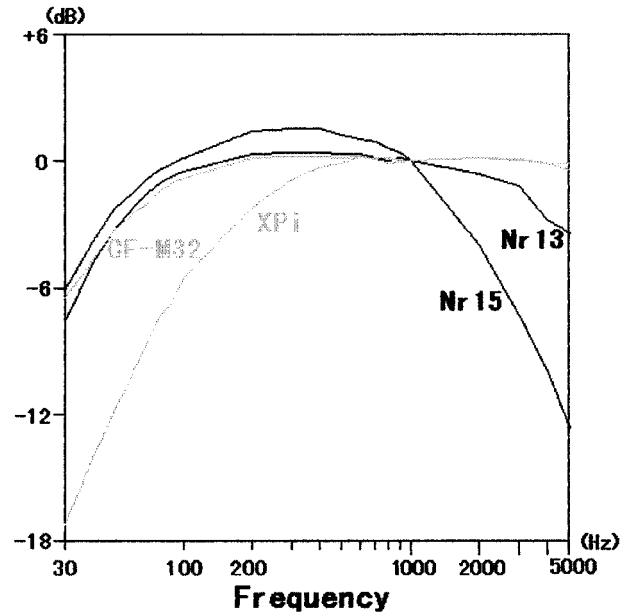


Fig. 1 Frequency characteristics of the audio systems in 4 different personal computers. Nr 13: NEC 9821 Nr 13, Nr 15: NEC 9821 Nr 15, CF-M 32: Panasonic Let's note CF-M 32, XPi: DELL Latitude XPiP 133 ST. The curves were almost flat within a frequency band from 200 Hz to 2,000 Hz.

布については 100 Hz 以上の帯域についてそのパワースペクトルを順次加算し、総パワーの 25%, 50%, 75%, 95% が存在する周波数を求め F 25, F 50, F 75, F 95 とした。

## 結 果

### 1) 周波数特性と極性についての検討

周波数特性 (振幅特性) は機種によって異なっていた。Fig. 1 に機種ごとの特性を 1,000 Hz を 0 dB として表示した。CF-M 32 J 5 では 100 ~ 5,000 Hz までほぼ平坦であったが、PC 9821 Nr 15 では 2,000 Hz 以上の高い周波数が大きく減衰、XPiP 133 ST では 200 Hz 以下の低い周波数が大きく減衰した。しかし 200 から 2,000 Hz の

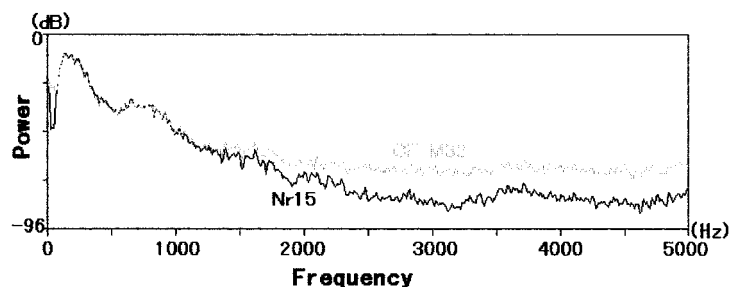


Fig. 2 A sample power spectral analysis of inspiratory breath sounds. The spectra obtained with the CF-M 32 and Nr 15 were similar within the band from 60 Hz to 1,500 Hz.

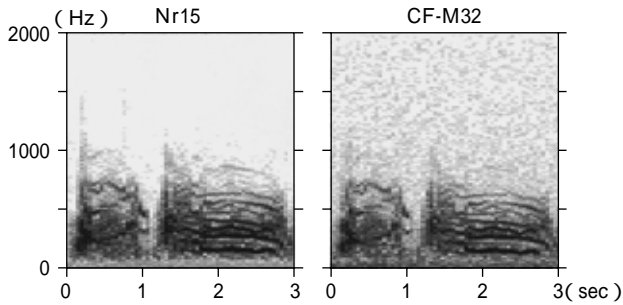


Fig. 3 Sample sound spectrograms of wheezing sound. The spectrograms obtained with the Nr 15 and CF-M 32 were similar except for broad-band noise interference in the latter.

間では全機種概ね  $\pm 3$  dB の範囲におさまっていた .

極性については PC 9821 Nr 13 , PC 9821 Nr 15 の 2 機種と CF-M 32 J 5 と XPiP 133 ST の 2 機種とでは逆であった .

2) 肺音の計測

一回の吸気の肺胞呼吸音について時間窓( ハニング窓 ) 100 msec , 50% オーバーラップで 10 回 FFT をおこなひ平均化して求めたパワースペクトラムを Fig. 2 に示した . 2 機種を比較するとパワースペクトルは 60 Hz 以下と 1,500 Hz 以上で差が認められた以外は非常に近似していた . 周波数分布の指標である F 25 , F 50 , F 75 , F 95 は PC 9821 Nr 15 での計測でそれぞれ 132 , 168 , 215 ,

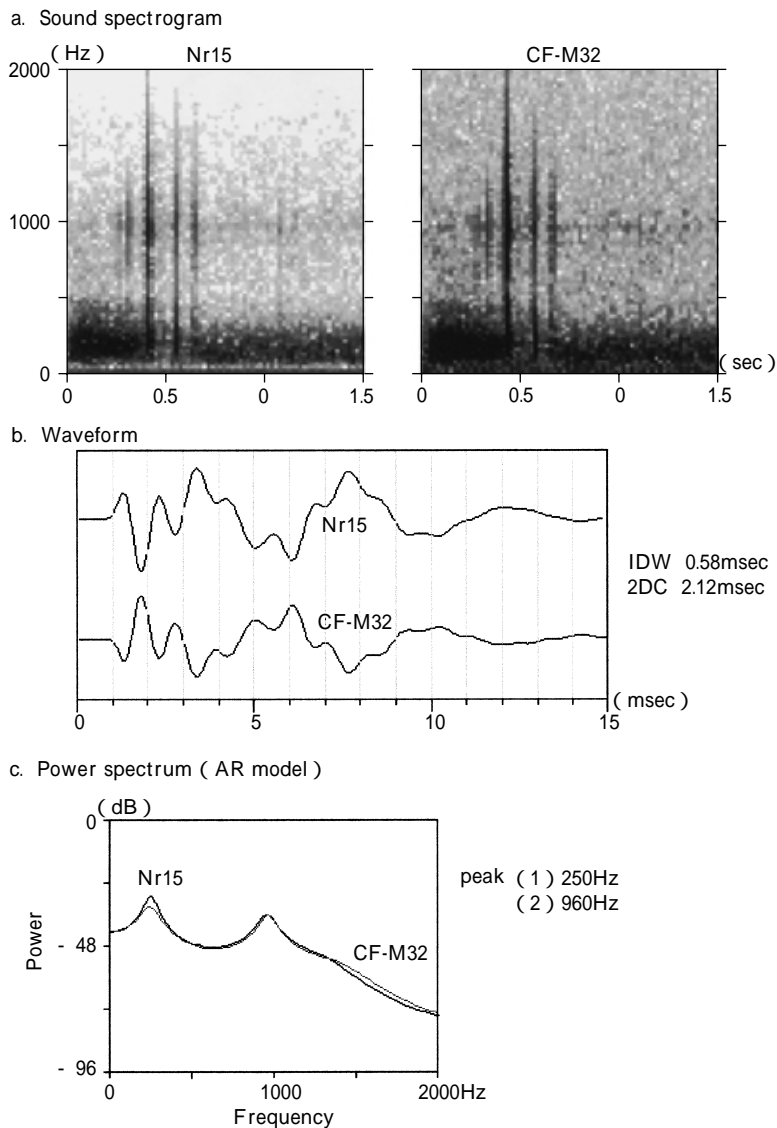


Fig. 4 Sample fine crackle analyses obtained with 2 different computers. ( a ) Vertical stripes in the sound spectrograms disclosed the existence of crackles. The 2 figures resembled each other except for density. ( b ) The waveforms obtained with the Nr 15 and CF-M 32 were similar in form but had inverse polarity. ( c ) Power spectra for the above segment obtained with the 2 computers were almost identical.

283 Hz, CF-M 32 J 5 での計測で 131, 167, 213, 284 Hz で機種による差は最大で 2 Hz であった。

Fig. 3 に喘息発作時の 1 呼吸分の肺音のサウンドスペクトログラムを示した。吸気部分と呼気部分と思われる 2 つの部分に倍音構造を示す横縞の系列が複数認められ、吸気呼気とも複数の連続性ラ音が存在することを示している。横縞像に機種間の違いは無かったが、CF-M 32 J 5 では背景に白色雑音様の音が顕著に認められた。

Fig. 4 に肺線維症患者の fine crackles の解析の例を示した。サウンドスペクトログラム (a) では断続性ラ音を示す縦縞像が両機種とも同様に認められた。時間軸波形 (b) は両機種で極性が逆転していたが、それ以外は同様で initial deflection width (IDW), 2 cycle duration (2 CD) の計測値は同一で fine crackles であることが計測上認められた。時間軸波形表示部分の自己回帰モデルによるパワースペクトラムは両機種でほぼ重なっており、2 つのピーク値は同一であった。

## 考 察

今回の検討で、少なくとも検討し得た機種においては、パソコンとマイクロホンのみでも肺音計測が概ね可能なことが明らかになった。試作されたシステムのみでも、時間軸計測のほか、パワースペクトラムやその分布指標の算出、サウンドスペクトログラム表示などの機能を利用して、副雑音の解析や、正常呼吸音のスペクトラムの評価などが可能であることを示した。

肺音計測のハードウェアがパソコンとマイクロホンのみでも可能になったのは、近年のパソコンがそのマルチメディア化により、従来の A/D, D/A 変換器に相当する機能を標準で装備するようになったこと、また、その音響入力には音楽用 CD 相当の高いサンプリング周波数を採用しているため、エイリアス現象防止目的のアナログフィルタによる前処理が不要になったことなどによる。しかし元来マイク入力は音声入力を目的に装備されたものであるため肺音測定に用いる場合にはいくつかの問題点が含まれる。

問題点としてはまず第一にその周波数特性が機種により異なっていることがあげられる。マイク入力端子の平坦でない特性は、雑音低減のために付加されたものと考えられる。しかし今回検討した限りでは、肺音で重要な 200~2,000 Hz の範囲では周波数特性はほぼ平坦であったことから、実用上の問題は少ないと考えられる。ただし厳密には今回検討した機種でも XPiP 133 ST では 200 Hz で約 3 dB の減衰があり、さらに検討していない他の機種ではさらに大きな周波数特性の偏りがある可能性が否定出来ない。したがって正常呼吸音の周波数分布の変化を検討する場合などでは同一機種で測定することが望

ましいと考えられる。周波数特性については、マイクロホンの種類やマイクロホンの接着方法、例えば空気結合の場合その空気室の容量など、により大きな影響を受けることが知られている<sup>10)</sup>ので、この問題についてはシステム全体として評価することが必要である。

次に問題点として、極性が機種によって異なっていたことがあげられる。このことは通常解析ではあまり問題はないと思われるが、たとえば crackle の時間軸波形での初動方向を解析する際には問題になるので、確認しておくことが必要と考えられる。このほか今回は検討しなかったが、一般に家庭用の音響装置は過大入力があるとりミッタが働くことが多く、パソコンのマイク入力にもそのような機構がついている場合があると考えられるので、入力レベルは適切に調整することが必要と思われる。

このほか肺音の研究目的には、呼吸流速の入力が出来ないことが問題になる場合がある。例えば正常呼吸音の周波数分布は呼吸流速に依存する<sup>7)</sup>ので、厳密な評価には呼吸流速測定が必要である。その目的のためには AD 変換カードなどを用いて流速を同時に入力するか、肺音計測専用のシステム<sup>8)</sup>を用いることが必要になる。

パソコンは目覚ましく進歩、普及しており、特にノート型のはベッドサイドでも利用できる。上述したような問題点はあるにせよ、今回呈示した方法は非常に簡便、安価であり、実用的な方法であると考えられる。さらに今回示したような一般的な肺音計測のほか、リアルタイムのサウンドスペクトログラム表示を利用して、パソコンを呼吸音モニタとして用いることも可能であると思われる。また呼吸音を画像表示することで聴診教育や患者へのフィードバックに利用するなど多彩な活用法も考えられる。このようにコンピュータ計測が容易に出来るようになった今日、肺音計測も再認識、再評価されることが望まれる。

付記：今回示した方法は、Windows に付属しているサウンドレコーダで肺音を録音し、市販の信号処理ソフトで解析することも可能であり、また最近海外ではパソコン用の音響処理ソフトも発売されているとのことです。なお本稿で提示した肺音収録解析ソフト (LSA) で肺音解析を試みても希望される方には本ソフトを無料で提供いたします (フロッピーディスクと返送用封筒をご送付下さい)。

## 文 献

- 1) Munakata M, Ukita H, Kawakami Y, et al: Spectral and waveform characteristics of fine and coarse crackles. Thorax 1991; 46: 651-657.
- 2) Anderson K, Aitken S, Carter R, et al: Variation of breath sound and airway caliber induced by hista-

- mine challenge. *Am Rev Respir Dis* 1990;141: 1147-1150.
- 3) Schreur HJ, Vanderschoot J, Zwinderman AH, et al: The effect of methacholine-induced acute airway narrowing on lung sounds in normal and asthmatic subjects. *Eur Respir J* 1995;8: 257-265.
- 4) Pasterkamp H, Consunji-Araneta R, Oh Y, et al: Chest surface mapping of lung sounds during methacholine challenge. *Pediatric Pulmonology* 1997;23: 21-30.
- 5) Yonemaru M, Kikuchi K, Mori M, et al: Detection of tracheal stenosis by frequency analysis of tracheal sounds. *J Appl Physiol* 1993;75: 605-612.
- 6) 三上理一郎: 肺音研究をめぐる最近の動向. *日内会誌* 1980;69: 1410-1423.
- 7) 中野 博, 中谷泰弘, 前川純子, 他: ノート型パソコンを用いた real time の呼吸音解析装置の作成. 第17回肺音(呼吸音)研究会討議録 1992;1: 10.
- 8) 谷口泰之, 村田 朗, 工藤翔二, 他: 新しい肺音計の試作. *Therapeutic Research* 1996;17: 3103-3105.
- 9) 川城丈夫, 阿部 直, 菊池功次, 他: CDによる聴診トレーニング. 南江堂, 東京, 1993.
- 10) 佐相敬一, 神鳥明彦, 八木晋一, 他: 体表面上の空気伝導形マイクの受音特性. *Therapeutic Research* 1988;9: 873-877.

### Abstract

## A Simple Personal Computer-based System for Lung Sound Analysis

Hiroshi Nakano, Shunsuke Shohji and Sankei Nishima  
National Minami-Fukuoka Chest Hospital, Fukuoka, Japan

Although lung sounds provide important information about the respiratory system, the analysis of lung sounds has not been widely used in clinical practice because of the complicated procedure involved. However, personal computer technology has made impressive strides in recent years. Today, practically all personal computer models on the market are equipped with the capacity for audio signal input and output. We developed a new computer system for lung sounds acquisition and analysis. The system hardware comprises only a personal computer and a microphone, and the software was developed for a widely used operating system( Windows 95 ). Our system can record, save, and replay lung sounds and analyze their time and frequency domains. To verify the accuracy of sound acquisition, we examined the frequency characteristics of the system as installed and utilized on 4 different machines. The characteristics were essentially flat throughout the 200-2,000 Hz spectrum within which almost all lung sounds were contained. We feel our system can serve as a simple and useful tool for lung sound analysis.