

特定周波数振動とストレスに関する生理心理学的研究

藤元直服*・菅原正和**

(2001年1月9日受理)

Chihoku FUJIMOTO, Masakazu SUGAWARA

A Psychological Study of Relationships
between the Stress and the Oscillations of Special Frequencies.

I 問 題

喉の振動とはどのような振動で、どのような生理的意味があるのだろうか。

うなりや吠えることなど動物における喉の振動は、日常的にペットで観察され、研究もなされている。まず、それらペットの喉の振動について述べる。

Moelk (1944) の古い研究によると、イエネコの発声は音声の違いから16パターンにわけることができるという。このMoelkの研究とKiley-Worthington (1984) の研究を引用して、Bradshaw (1992) はこれらをtable 1 のように大きく3種類に分類した。この中で、振動が比較的安定しており、しかも非声帯振動という点から、口を閉じたままでの振動のpurringと、口を開けたままの発声のgrowlingに注目した。ネコが喉をゴロゴロと鳴らす現象をpurringと呼び、口を開けた状態で相手を威嚇するようにウーとうなる現象をgrowlingと呼ぶ。

Table 1 : イエネコの発声分類表 (Bradshaw, 1992)

Name	Typical duration	Pitch(Hz)	Pitch change	Circumstances
1. Sounds produced with mouth closed				
Purr	0.5-700	25-30		Contact
Trill/chirrup	0.4-0.7	250-800	Slight rise	Greeting
2. Sounds produced while the mouth is opened and gradually closed				
Miaow	0.5-1.0	700-800		Greeting
Long miaow	0.7-1.5	700-800	Drop at end	Greeting
Female call	0.5-1.5	?	Variable	Sexual
Mowl(male call)	?	?	Variable	Sexual
3. Sounds produced while the mouth is held open in on position				
Growl	0.5-4.0	100-225		Aggressive
Yowl		200-600		Aggressive
Snarl	0.5-0.8	225-250	Rising	Aggressive
Hiss	0.5-1.0	Atonal		Defensive
Split	0.01-0.02	Atonal		Defensive
Pain shriek	Variable	?		Fear/Pain

* 岩手大学大学院教育学研究科

** 岩手大学教育学部

ネコのpurringについては、Kiley-Worthington (1984) がネコの喉にマイクを付けて、ネコがどんな状況で喉をゴロゴロと鳴らすか観察した。その結果、ネコ同士やネコとヒトの間での社会的交渉がある場面が多くpurringが見られた。またBradshaw (1992) は獣医の間で良く知られている例で、大けがをしたネコがpurringをすることを報告し、Kiley-Worthington (1984) の結果を含めて、purringにはネコのストレス軽減の役割があるのではないかと考えた。Purringの基本周波数はKiley-Worthington (1984) によると、25-30Hzであり、Sissomら (1991) によると、呼気と吸気の両方の平均は $26.3\text{Hz} \pm 1.95$ (SD) である。呼気と吸気とでは、研究者により意見が分かれ、SissomらやKirkwoodら (1987) では、呼気のほうが2-3Hz多いのに対し、Denis (1969) では逆に少ない。また、チータのpurring周波数が呼気で26Hz、吸気で21Hzであること、きれいに倍音がたくさん出ていることなどもSissomら (1991) により示されている。振動部位については正確には不明であるが、Sissomは喉頭部であると述べている。g rowlingについては、Riedeら (1999) が犬のホルモントの分布を調べ、気道長とgrowlingのホルモントが相関することを述べている。また、growlingは、Beerdaら (1999) が言うように、不安や攻撃のときに観察される。このように、音としての分析は進んだが、なぜpurringを発するのか、そのメカニズムはどうか、逆にpurringやgrowlingの振動が脳にどのような影響を与えているのかは解明されていない。

我々ヒトも日常生活でしばしば喉をならす習慣を持っている。

ヒトの喉の振動についてのこれまでの研究を見てみると、ひとつは、笑い声や泣き声についての研究がある。笑い声の周波数分析により、作り笑いか心から笑っている笑いかに分類する試みや、新生児や乳児を対象に泣き声のパターンおよび音声としての分析と乳児の欲求内容の対応について述べた研究などがある。ただ、笑いや泣き声は声帯による音声を伴い、複合的な振動であることから、振動としての生理的意味は見出しにくい。

ヒトのいびきについての研究が多数ある。それらのほとんどは睡眠時無呼吸症候群 (Obstructive Sleep Apnea Syndrome; OSAS) の治療を目的とする。それらの中で、Lugaresiら (1983) の論文はいびき音の違いに注目した初期のものである。Quinnら (1996) は、いびきの振動数と振動部位について、デジタル録音を使い詳細に分析している。主たる振動部位として軟口蓋・舌根部をあげている。軟口蓋のいびき音とそれ以外のいびき音を区別するために、彼らは周波数の中央値 (center Frequency) と標準偏差を求めた。いびきの低い振動数は100Hz以下である。同じように、Hillら (1999) は軟口蓋のいびき音とそれ以外のいびき音を弁別するために、Crest指数 (99th centile value/root mean square) を計算した。これは軟口蓋の振動音に雑音が少ないことを用いている。彼は、いびきの振動部位に舌根部、軟口蓋以外に下咽頭、喉頭蓋をあげている。喉の各部位名はfigure 1に示す。

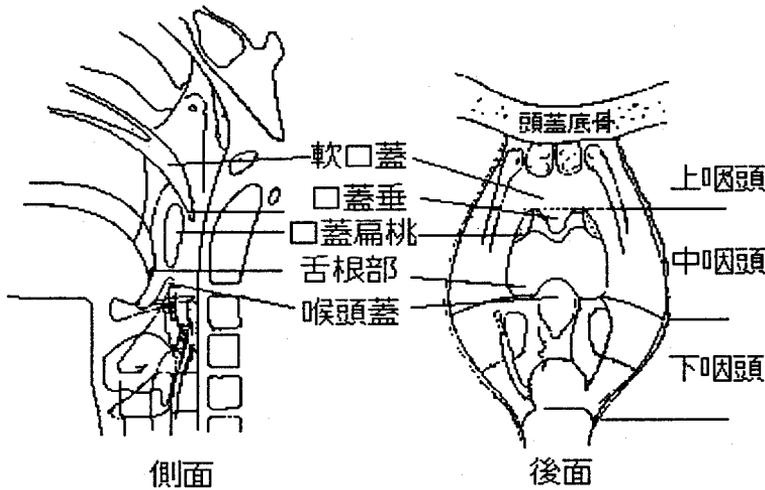


Figure 1

睡眠時無呼吸症候群の研究によって、振動音としてのいびきの分析と、振動部位がかなり明確になった。他方、いびきについてはまったく違った側面から、Printempsら(1999)の研究がある。Printempsらは、パリの医科大学一年生を対象に、テスト期間中の睡眠状況を分析し、いびきが増えたことを報告している。正確には結論付けられていないが、ストレスが増えるといびきが増えることを伺わせている。

以上のような、自然発生的あるいは症状としての喉の振動に対し、人工的に作った振動による体の反応について、次のような研究がある。

マッサージやリハビリの観点から振動についての報告を見てみると、身体に与える振動の条件によって、振動は様々な生理的反応を呼び起こしている。

たとえば、Stoneら(1997)は首の後ろや肩甲骨に振動や電気刺激などを組み合わせて患者に与え、頭痛、頸痛の治療効果を報告している。また、李ら(1999)は肩とふくらはぎに振動を与え、筋電図と脳波でその効果を測定した。その結果は、三谷法という振動の強さと間隔を細かく規定した方法で、リラックス度が増すことを示している。

また、労働環境の研究から、Ishitake(1999)は4 Hzという低周波を10分間、身体全体に当てて胃の自動的な動きが抑制されることを報告している。また、Bauerら(1997)は子宮内の羊の胎児の喉頭に振動を与え、脳波と心拍数の変化をレポートしている。どちらも振動刺激が生体に抑圧的に働くという結果を示している。

マッサージ、リハビリ関係の論文は、治療目的のために刺激の強度や提示時間、被刺激部位が複雑で、そこから刺激と生体反応の単純な関係は見出しにくい。

振動刺激が脳及び身体をリラックスさせるように働くかストレスサーとして働くかは、繊細で複雑に絡み合った多くのファクターに左右される。それらを整理すると、第1に刺激の種類(周波数、波形)、第2に刺激の与え方(提示時間、強度)、第3に刺激を受ける側(被刺激部位、年齢、性別、personality)などが考えられる。

以上を踏まえて、喉の振動には、結果的にリラックス反応を引き出す振動と、ストレス反応を引き出す振動があるのではないかと、ヒトは自然と自発的にそれらの振動を発してい

るのではないかと著者は考えた。喉の各部位の振動は人工的に作った場合でもその人特有の振動数があると考えられる。その特有の振動数はヒトの身体にリラックス反応やストレス反応を起こす刺激周波数と大きな相関を持っているのではないかと著者は予想した。もし相関が大きければ、ヒトの喉の振動には有害な面と、生体がバランスを保ち自動的に回復しようとするホメオスタティックな面の両面を持っていることになる。

II 実験方法

1 実験手続

α 波：周波数8-13Hz, 振幅50 μ V前後(約10 μ V以上)の律動的脳波をいう。正常成人の覚醒閉眼時に連続的に出現しやすい。現在の知見では、 α 波には2つの意味が考えられる。ひとつは海馬に貯められた短期記憶を皮質の長期記憶に変換するときに出現する α 波である。もうひとつは脳が覚醒していて活動水準が高くないとき、つまり、脳に負荷がかかっていないときに出る α 波である。後者の場合、一般的に、脳のある部位が活動状態になると、その部位の α 波の振幅や出現率が減少する。たとえば、物を見ることで、後頭部の α 波はブロックされる。たとえ暗室内でも、また閉眼時でも見ようと意識することで α 波はほとんど消える。それ故、実験においては、これから刺激が来ると被験者が予想すると α 波が減少するので、被験者がまだ予想していないときの脳波を刺激前脳波 (baseline) とする必要がある。一方、 α 波は刺激処理等によるtaskをこなした後、増加することが知られている。この意味で、実験の刺激前脳波に比して刺激後脳波には、刺激の違いにかかわらず α 波が多くなることが予想される。しかし、予備実験では、ある周波数では、減少させた。これは他の条件が変わらないのであれば刺激の違いによって α 波の変化が生じたと考えられる。これらの事実から、本実験では α 波を、脳に負荷がかかっていない状態、リラックス状態を表す指標として用いた。

含有率：脳波の単位分析時間帯域全体を1とし、その中で α 波が時間比率で何パーセント占めているかを表す数値として α 含有率 (percent time alpha) が定義される。本実験では脳波を、 δ 波 (2.0-4.0Hz), θ 波 (4.0-8.0Hz), α 波 (8.0-13.0Hz), β 波 (13.0-30.0Hz) の4つに分け、これら以外は0%とした。また、刺激前後の α 含有率の差が刺激による脳のリラックス状態量を表すと考えた。

基本周波数：ある音波を周波数分析したときに得られる波形から、代表的な周波数ピークを取り出すとき、倍音を生み出す基本となる周波数を基本周波数と言う。倍音とは他の部位の共振や気道の共鳴によって生じる周波数が2倍、3倍…の音をまとめて言う。喉の振動のような場合、同じと思われる音源を数回振動させて得られたデータでは、必ずしも同じ波形は得られない。そこで、データに共通する周波数ピークをまず選び出し、倍音関係にある2,3のグループに分ける。各グループの基本周波数の中から、目的の振動部位の基本周波数を求める。この論文の第2の実験では、軟口蓋の振動では倍音グループがほとんどの被験者でひとつしかなく、基本周波数を求めるのは容易であったが、うなりと喉頭蓋では倍音グループが2ないし3あり、特定は困難であった。

2 実験仮説

脳をリラックスさせる特定周波数がいくつか存在し、それらのひとつは喉のある部位が器質的に持つ振動数と相関が高い。

3 被験者

健康な成人男女9名(男4名, 女5名)を実験 I, II 共通の被験者とした。年齢は19歳から59歳までで、平均年齢は33.6歳 (SD = 14.70) である。全被験者において、脳波に異常はなかった。

4 実験 I

(1) 方法: バイブレーターで首後部の第5頸椎に振動刺激を与え、その前後の脳波の変化を測定した。振動刺激の波形・強度・被刺激部位は一定にし、周波数・提示時間を変えた。第5頸椎を被刺激部位にした理由は2つあり、ひとつは脊髄を通し直接脳幹に刺激を送りたかったこと、2つめはいびきに近い状態で刺激を脳に与えたかったことである。

Sonyのスピーカー (EAS-10p 241SC) を改造し、小型のバイブレーターを製作した。スピーカーの振動箱部を、中央の円形振動箱と2本の導線に沿った幅5mmづつの部分を残し、他を取り除いた。導線に沿った部分を残した理由は、強い振動に対しても導線が切れないようにするためである。これで、スピーカーを発音体としてではなく、4cmの中央部が接触するバイブレーターに作り変えられた。スピーカーフレームを調整して中央の振動部が被験者の第5頸椎に接触するようにした。実験刺激の強度は、このバイブレーターから1cm離れた所での音圧がどの周波数の場合も98dB (A) になるように設定した。また、アンプはLM386を使った。発信機はTRIO audio signal generator, AG-201 (wave form: ~, Variable Attendance (V): 1.0, Out put: 600Ω), 電源はKikusui Electronics Corporation 製 Model 7325 Regulated DC power supply (voltage: 15V, Ampere: 0.2A) を使った。

脳波記録には、日本光電社製Bioelectric Input Box (JB-682G), Polygraph System (MR-6000; 16ch), DELL製 Dimension V400cを用いた。時定数は0.3で行った。

(2) 手順:

ア 被験者への実験概要の説明

イ 電極の装着: コロジオン銀製皿電極を用い、国際脳波学会連合基準電極配置法 (twenty electrode system) に従い、両耳朶 (A1, A2) を基準電極として、F3, Fz, F4, T3, C3, Cz, C4, T4, P3, Pz, P4, OL, Oz, ORの14部位から導出した。ただし、OL, ORはOzより左右5cmとした。

ウ バイブレーターの装着: バイブレーターをマジックテープ付の布製のベルトに固定し、窮屈な感じを与えないが振動は正確に第5頸椎に伝わるように首に巻いた。

エ 防音シールドルームで安楽椅子にすわり、被験者が落ち着いた後、閉眼安静状態で3分間脳波を記録。はじめの30秒と最後の30秒の変化をcontrol dataとして使用した。また、最後の30秒の脳波を実験前dataとして使用した。

オ 刺激をこれから送ることを伝え、各刺激を提示した。刺激提示終了後、75秒間脳波を記録。その後、気分の程度を聞き、次の刺激に移ることを伝えて刺激を提示した。75秒間の脳波記録のうち、前半の30秒間を刺激後の脳波、後半の30秒間を次の刺激前脳波として使用した。刺激は6段階 (20, 30, 40, 50, 100, 500Hz) で、20-40Hzでは提示時間が1, 2, 3分間の3通り、50-500Hzでは1, 2分間の2通り。提示順序は6段階内でサイクリック

に並べ、提示時間はランダムにした。

カ 最後の記録後、被験者の好みの周波数を探す実験を行った。強度及び提示時間について好みを探す実験を行った。

5 実験Ⅱ

(1) 方法：デジタルテープレコーダーを使って意識的に作った喉の振動音を録音した。レコーダーはDAT (SONY製 TCD-D8 のDigital audio tape-corder), テープはTDK製のDA-R60, マイクロフォンはSennheiser製のHMD410を用いた。

録音条件はPCMが44.1kHz, 16Bit, Monauralである。振動部位は軟口蓋, 喉頭蓋及び下咽頭の3部位である。軟口蓋については鼻からの吸気時, 喉頭蓋及び下咽頭は口を通る呼気時に振動させた。口と鼻とは明確に区別した (Liistro et al. 1991)。呼吸の気流速度によって、振動数が変化すると考えられるため、呼吸については何ら指示を与えず、各被験者の自然な速さに任せた。正確にその部位だけを振動させられるように練習をした後、記録した。その中から音量・長さ・振動の正確さを考慮して、3サンプルずつ分析した。場所は脳波記録用の防音シールドルームを使った。暗騒音は30dB (A) 以下である。騒音計はリオン社製 NA-09 を用いた。

(2) 手順：

ア 被験者はシールドルームで安楽椅子に座って、振動音の出し方を練習する。吸気時に軟口蓋を、呼気時に喉頭蓋を振動させる。無声振動でしかも他の部位をできるだけ振動させないように繰り返す。音量及び持続時間は必要程度に要求されたが、呼吸時の気流速度と音程はなんら指示されず、被験者に任せられた。

イ DATおよびマイクロフォンを用いて、実験者が同室して録音した。

6 分析

(1) 脳波は脳波分析ソフト ATAMA P II (Kissei Comtec社製) を用いて記録し、 α 含有率を求めた。

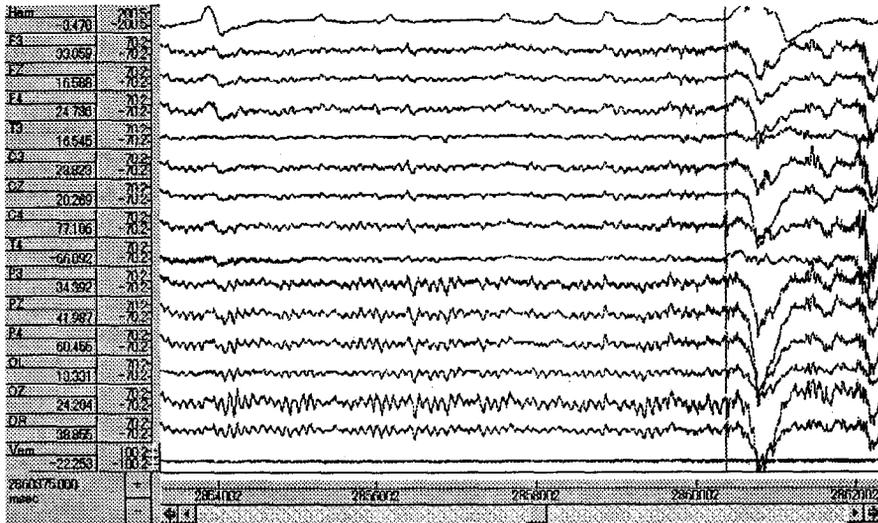
分析条件は、サンプリング周波数200Hz, FFTポイント数128, 加算平均回数8回を1サンプルとし、artifactを除き、刺激前後で5サンプルずつ取り平均した。1サンプルの分析時間は5.12sec, 5サンプルの分析時間は25.6sec。フィルターは使用しなかった。データ処理ソフトはExcel 4.0とStat View 1.0を用い、検定はWilcoxonの符号付順位検定および回帰分析を行った。

(2) 喉の振動音は、岩手大学工学部のFFTソフトで周波数分析した。

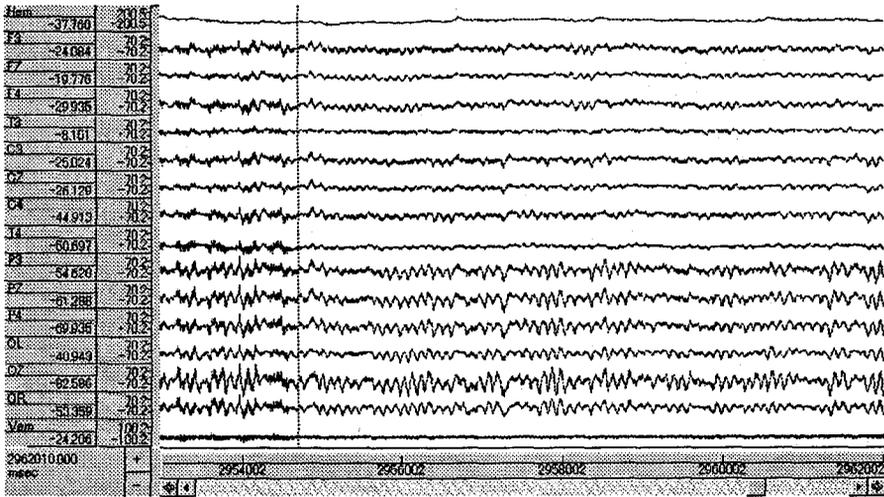
分析範囲は 5Hz から 22000Hz。分析条件は、サンプリング周波数44.1kHz, FFTポイント数8192 (2^{13}), 加算平均回数10回, 時間窓にはハニング窓を使用した。1回の分析時間は185.8msec。フィルターは使用しなかった。

Ⅲ 結 果

振動刺激を与えた前後の脳波をfigure 2に、 α 含有率変化をtable 2とfigure 3に示した。



(a) 刺激前脳波: 286037.5 msec 以降に、気分を聞き、次の刺激提示を予告。



(b) 刺激後脳波: 295472.5 msec 時に、刺激終了。

Figure 2

Table 2: α 含有率変化一覽①

Subjects	Age	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	
		Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi			
S1	19	1.86	-3.80	-9.74	12.14	4.15	-2.18	-0.22	3.57	-1.57	19.44	9.47	8.86	14.43	3.28	4.13	-18.30			
S2	20	-1.49	-11.97	2.04	8.22	3.16	4.97	-8.38	-2.64	-2.20	6.11	3.13	5.18	0.97	0.82	-4.78	-0.39			
S3	21	-2.25	-1.92	-1.43	11.53	-8.75	-3.55	-2.99	-7.40	4.18	2.71	8.35	5.04	8.54	-0.40	12.21	0.79			
S4	22	-8.00	-4.00	14.87	-1.64	-3.39	6.95	5.56	-9.90	-0.16	5.33	1.94	-2.08	2.90	-2.28	-1.60	5.75			
S5	22	-3.41	9.31	-1.69	1.71	0.38	5.81	-1.69	2.43	4.01	-2.95	2.54	-3.91	-13.26	5.59	3.44	5.11			
S6	44	5.00	14.49	10.07	4.14	17.72	-13.61	11.03	9.51	-5.96	-3.89	-2.03	8.91	-2.68	3.94	-13.00	-7.71			
S7	49	-1.04	-19.29	-0.01	13.46	-4.20	-4.69	0.58	-3.92	6.48	0.50	15.04	0.71	-9.89	-0.46	-6.33	5.02			
S8	50	0.60	-4.06	-2.02	-2.16	-2.53	2.52	-20.90	0.05	-15.35	1.79	13.32	-5.58	19.49	13.07	5.76	-5.02			
S9	58	4.37	-13.94	20.66	2.59	4.80	12.40	-1.87	19.62	9.44	-10.49	8.63	-0.94	1.44	-6.45	3.17	-17.27			
Average		33.89	-0.28	-3.91	3.64	5.55	1.28	0.96	-2.10	1.48	-0.13	2.06	6.49	1.83	2.46	1.88	0.33	-3.34		
SD		15.037	3.389	10.107	9.054	5.632	7.167	7.327	8.405	8.612	7.013	7.820	5.293	5.053	9.971	5.210	7.109	8.389		

Subjects	Age	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ	FZ
		Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi		
S1		0.17	-0.42	-5.75	1.19	-0.11	0.93	-1.07	0.91	-3.80	2.13	-0.38	4.18	4.25	1.94	0.98	-1.79		
S2		-1.40	-11.36	2.83	8.16	3.03	5.44	-9.88	-1.91	-1.47	6.48	3.06	5.86	1.60	1.85	-5.09	-0.40		
S3		-0.56	-1.92	1.82	9.30	-9.75	-0.85	-4.74	-7.39	3.80	2.97	11.71	3.58	5.11	-0.22	11.38	0.37		
S4		1.39	1.94	2.84	-2.33	-1.81	-0.10	0.88	-7.56	1.36	6.97	2.52	2.52	2.24	-0.84	-3.27	2.32		
S5		0.04	2.62	0.86	0.91	3.17	5.85	-1.22	2.36	2.73	-6.10	2.15	-1.10	-11.82	6.24	3.91	1.00		
S6		0.12	13.05	9.27	3.70	17.28	-14.71	11.53	6.37	-6.22	-4.78	-1.90	9.04	-2.17	4.18	-12.55	-6.28		
S7		-0.80	-19.59	-0.29	12.31	-3.95	-6.81	-1.64	-2.83	8.30	1.25	9.31	3.57	-13.67	0.53	-3.62	6.13		
S8		1.02	-3.39	-1.20	-1.97	-2.97	2.86	-24.84	0.68	-15.39	1.91	15.21	-6.05	21.48	15.02	5.70	-4.94		
S9		-1.62	-1.87	-2.65	0.51	1.96	5.43	-5.06	2.40	1.37	-0.48	3.44	-1.06	-1.85	-0.74	2.65	0.86		
Average		-0.18	-2.33	0.84	3.53	0.76	-0.20	-3.98	-0.77	-1.04	1.15	5.01	2.28	0.57	3.08	0.01	-0.30		
SD		0.958	8.588	3.854	4.920	6.979	6.370	9.160	4.362	6.470	4.182	5.427	4.183	9.688	4.765	6.605	3.517		

Subjects	Age	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4
		Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi		
S1		3.87	-2.81	-10.75	11.09	4.49	-0.49	-1.46	5.58	0.10	20.86	11.74	8.52	13.38	2.01	3.06	-12.43		
S2		-0.66	-11.02	2.41	8.52	5.82	4.84	-10.40	-2.02	-0.88	6.96	3.00	7.45	2.18	2.39	-4.50	-0.99		
S3		-1.33	-1.54	0.71	9.97	-8.58	1.13	-4.65	-7.38	0.93	4.04	11.83	2.03	4.56	2.97	8.91	1.24		
S4		-3.53	-1.71	14.10	-3.78	-4.21	5.03	6.18	-7.29	-2.70	4.58	1.97	-0.55	4.73	-0.17	-4.09	4.73		
S5		-3.09	8.70	-3.92	-0.91	0.71	4.76	-0.33	-4.12	4.30	-4.07	0.83	-1.70	-12.32	2.89	3.55	5.30		
S6		4.37	11.41	5.97	2.88	13.47	-14.95	11.44	4.01	-5.43	-5.11	-3.96	7.67	-4.21	3.98	-13.72	-4.15		
S7		-2.37	-18.22	-2.47	10.70	-2.61	-9.97	-3.20	-0.98	9.60	2.33	3.72	-0.84	-15.86	0.74	-1.25	3.53		
S8		-0.85	-3.49	-0.01	-2.00	-4.42	2.39	-25.94	0.13	-14.02	1.18	16.62	-6.53	21.18	15.75	6.06	-5.34		
S9		4.72	-11.21	22.71	9.64	17.15	11.53	-1.62	24.42	7.07	-9.26	7.47	-4.36	0.62	-5.96	2.84	-9.37		
Average		0.13	-3.32	3.19	5.10	2.42	0.47	-3.33	1.82	-0.11	2.39	5.89	1.30	1.58	2.71	0.07	-1.94		
SD		3.105	8.890	9.438	5.720	8.130	7.691	9.927	8.985	6.627	8.198	6.149	5.178	10.928	5.373	6.427	5.959		

Subjects	Age	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3
		Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi		
S1		1.24	4.54	-8.84	15.72	5.47	-4.14	-6.61	8.13	-5.99	16.80	16.58	1.58	13.93	8.87	2.03	-1.74		
S2		-2.17	-7.70	1.19	12.21	4.34	3.62	-14.30	4.15	-8.55	4.73	6.21	4.78	-0.01	-0.96	-9.63	6.67		
S3		-1.49	-3.06	1.55	11.85	4.99	-6.94	-2.43	-9.31	3.02	1.90	5.57	4.02	3.61	-5.74	3.16	7.36		
S4		-3.05	0.56	14.85	-6.62	-5.03	0.98	5.85	1.09	-5.50	4.33	0.11	-3.35	2.84	-1.93	-0.35	4.39		
S5		-2.61	8.78	-1.29	1.94	6.91	0.66	-2.14	-1.37	-0.49	-0.38	0.11	5.79	-17.18	4.37	0.09	4.67		
S6		4.45	8.86	11.79	-0.23	16.34	0.05	11.95	3.38	-5.90	-1.77	-4.45	2.59	0.28	2.92	-4.32	-8.10		
S7		-1.18	-13.62	-2.30	11.87	-5.17	-3.85	3.11	-6.07	2.90	-2.23	9.35	1.16	-11.69	-0.30	-4.78	0.55		
S8		1.16	-10.27	0.67	-4.08	-3.11	-0.50	-18.55	1.36	-14.62	1.33	12.24	-2.40	15.36	14.82	3.11	-4.76		
S9		1.19	-8.01	16.31	4.34	13.62	11.22	-0.39	29.09	11.00	-14.57	14.99	2.60	4.36	-9.38	6.20	-30.38		
Average		-0.27	-2.21	3.77	5.22	4.26	0.12	-2.61	2.78	-2.68	1.13	6.74	1.86	1.28	1.41	-0.50	-1.45		
SD		2.305	7.861	8.077	7.567	7.240	4.951	8.996	10.795	7.164	7.730	6.804	2.899	9.928	6.943	4.646	12.070		

Subjects	Age	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ	GZ
		Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi		
S1		1.94	2.89	-12.39	14.78	7.49	-2.10	-5.83	10.05	-7.68	23.65	17.79	7.44	12.91	6.97	-0.17	-18.37		
S2		-1.10	-12.38	3.82	11.76	4.92	3.73	-13.42	3.10	-3.48	5.51	5.88	7.22	0.64	0.28	-6.86	-0.91		
S3		-1.42	-3.20	2.78	4.82	3.45	-8.03	-2.10	-14.14	-0.14	6.84	6.96	1.77	0.38	-0.05	3.88	7.93		
S4		-3.30	0.46	15.40	-6.31	-6.44	0.67	5.13	-5.91	-3.42	4.33	-0.43	-0.93	2.63	1.21	-3.49	2.88		
S5		-2.38	12.11	-6.76	1.94	6.85	-1.14	-2.39	3.93	4.54	-1.66	1.38	3.58	-9.91	5.31	3.27	2.10		
S6		8.42	12.75	11.66	0.33	18.39	-10.87	10.05	4.57	-5.55	-3.28	-3.31	5.09	-1.64	2.26	-9.40	-3.82		
S7		-0.02	-19.55	-1.99	19.12	-2.82	-4.66	3.85	-5.30	0.97	14.95	4.94	-11.44	1.91	-0.85	4.19	-11.09		
S8		-0.80	-6.64	-0.20	-5.44	-4.76	1.46	-25.11	0.76	-13.37	1.19	16.29	-3.14	21.35	19.72	1.80	-6.89		
S9		5.59	-11.56	24.33	5.55	18.08	15.61	-0.19	28.57	4.54	-11.51	5.85	-5.36	1.00	-4.43	5.32	-6.39		
Average		0.77	-2.79	4.07	5.17	5.02	-0.59	-3.34	2.62	-2.14	2.89	7.27	2.29	1.77	3.69	-0.74	-2.12		
SD		3.666	10.386	10.757	8.227	8.496	7.205	9.982	10.824	5.967	8.994	7.154	4.295	9.630	6.440	4.664	7.386		

Subjects	Age	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4
		Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi		
S1		1.14	4.48	-9.91	10.80	1.99	0.11	-3.13	6.01	-3.97	17.48	19.23	4.17	11.86	1.72	3.78	-11.18		
S2		-0.38	-9.06	3.15	10.93	6.41	4.12	-13.69	1.65	-3.26	7.83	4.05	7.00	1.94	3.03	-9.22	0.35		
S3		-1.33	-7.61	1.04	6.54	2.86	-5.34	-0.98	-5.75	-7.79	7.13	18.20	-1.18</						

Table 2: α 含有率変化一覽②

	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3
	Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi			
S1	3.58	12.53	-19.56	15.92	2.23	-5.45	-10.20	14.27	-7.30	25.85	23.93	5.35	9.98	15.93	-12.67	-27.24			
S2	-4.87	-7.81	1.00	13.41	7.59	5.62	-16.38	13.93	-4.35	1.06	11.57	9.59	1.12	-3.03	-4.16	2.42			
S3	-0.57	-4.06	8.56	8.39	5.08	-5.78	-7.22	2.04	8.20	4.98	14.29	6.15	0.46	-1.27	0.20	12.81			
S4	-3.63	-1.03	13.88	-6.90	-5.09	0.08	6.10	-2.42	-3.94	1.56	1.88	-2.81	4.62	-1.88	-0.67	3.03			
S5	-2.21	9.18	5.02	-2.00	17.23	-5.78	0.47	-0.73	0.96	-1.57	-1.61	6.01	-15.72	3.58	1.03	3.68			
S6	1.36	5.75	6.71	0.60	9.09	2.52	6.61	6.05	-2.98	-8.16	-5.85	-1.36	5.03	1.53	6.97	2.49			
S7	-1.38	-12.22	0.36	16.26	-2.55	-4.25	5.67	-3.83	0.03	-2.30	6.77	4.93	-10.80	2.10	0.53	-2.08			
S8	3.56	-8.14	2.07	-1.82	-3.35	-4.67	-21.85	5.42	-10.84	-0.74	15.10	3.05	16.66	19.55	1.72	-4.18			
S9	-2.43	-8.20	17.75	-0.87	28.49	13.10	-1.35	41.97	15.46	-17.23	13.28	7.76	1.72	-9.34	9.32	-23.95			
Average	-0.73	-1.55	3.95	4.81	6.52	-0.51	-4.24	8.52	-0.75	0.38	8.82	3.00	1.46	3.04	0.25	-3.69			
SD	2.836	8.260	9.961	8.246	10.220	6.177	9.748	13.320	7.359	10.889	8.829	3.827	9.267	8.649	5.940	12.510			

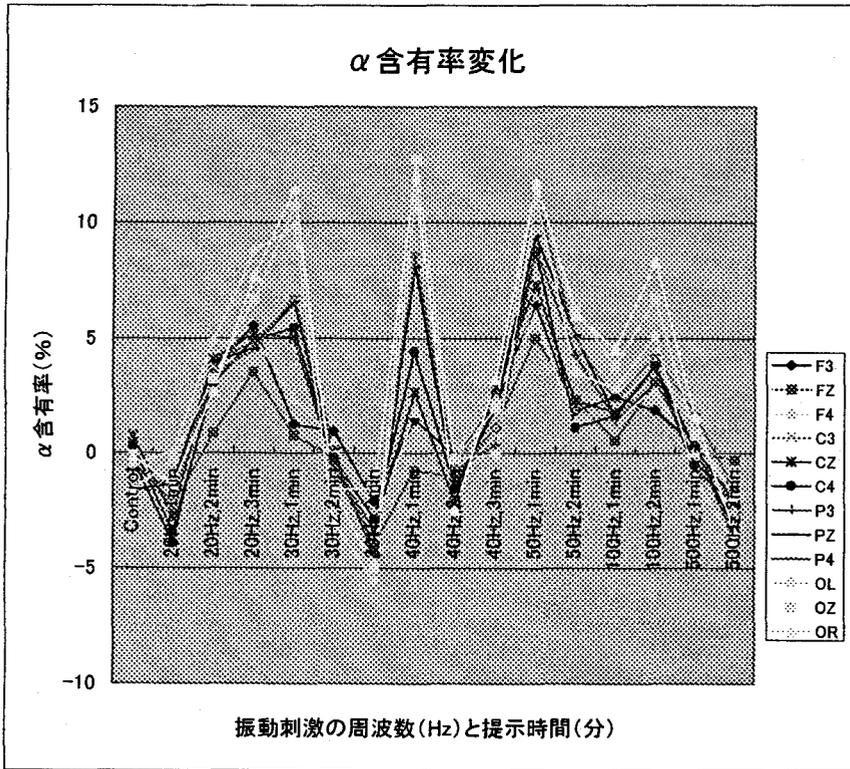
	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ
	Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi			
S1	0.38	11.34	-21.09	14.35	3.96	-5.17	-9.45	15.22	-9.85	30.94	26.05	5.65	11.66	16.03	-13.52	-26.18			
S2	-7.60	-10.44	3.96	9.70	6.66	3.27	-18.85	12.20	-11.14	2.46	14.94	12.31	2.38	-5.08	-2.21	2.53			
S3	-1.61	-4.94	7.69	5.79	4.51	-7.53	-5.89	-0.72	5.86	9.77	12.52	4.42	-0.33	-1.67	1.62	15.54			
S4	-4.44	0.20	13.37	-6.11	-9.28	2.20	4.21	-4.88	-1.75	0.37	0.26	-0.82	4.05	0.16	-0.59	1.88			
S5	-1.76	10.32	2.29	-2.04	15.06	-3.98	0.02	-2.79	2.46	-1.02	-3.35	8.46	-15.82	5.96	1.78	4.40			
S6	1.53	7.29	6.57	-1.09	10.57	4.09	6.04	6.45	-1.10	-8.35	-4.30	1.11	2.73	3.49	3.13	1.96			
S7	-0.73	-16.00	-1.02	21.60	-3.76	-4.83	5.40	-3.20	2.41	-1.64	11.96	7.13	-10.00	0.99	2.52	1.08			
S8	0.98	-5.48	3.19	-1.95	-4.78	-4.71	-22.43	6.14	-9.42	-1.37	15.91	3.34	19.05	20.95	2.73	-5.08			
S9	-1.69	-4.97	20.62	0.73	33.01	18.23	0.46	44.39	8.36	-12.30	10.78	4.66	0.72	-6.31	6.46	-14.63			
Average	-1.66	-1.38	3.95	4.55	6.55	0.18	-4.50	8.09	-1.57	2.10	9.42	3.13	1.80	3.83	0.21	-2.05			
SD	2.691	8.897	10.761	8.567	11.541	7.520	9.909	14.466	6.732	11.767	9.441	3.705	9.752	8.696	5.363	11.366			

	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
	Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi			
S1	1.81	11.22	-19.53	8.52	2.95	-2.84	-7.62	13.13	-10.48	26.68	29.18	3.33	12.46	11.63	-5.94	-21.85			
S2	-6.84	-13.27	7.93	8.61	7.57	0.82	-16.97	12.10	-10.24	3.07	18.05	16.36	1.54	-5.09	4.84	5.32			
S3	-1.10	-8.94	3.98	6.86	0.65	-3.14	-4.67	0.79	4.20	11.44	13.60	0.76	0.41	0.93	1.36	16.18			
S4	-3.50	-2.08	13.34	-6.55	-4.80	0.88	2.86	-5.03	-0.57	1.28	-1.09	-1.62	4.96	1.64	-3.81	2.08			
S5	-0.60	10.25	1.87	-0.12	17.23	-4.15	-2.68	-2.31	4.62	1.22	-0.93	6.77	-11.32	5.99	2.68	1.34			
S6	1.15	5.28	4.57	-2.71	7.58	0.54	7.42	12.92	0.41	-11.09	1.74	4.21	6.87	1.48	-1.71				
S7	-0.25	-16.51	-3.16	23.18	-2.76	-7.84	2.28	-3.12	3.14	-0.32	12.63	8.13	-10.66	-0.35	2.58	0.79			
S8	4.57	-3.09	4.99	-3.36	-4.58	-5.22	-21.85	3.44	-9.04	-2.30	17.89	0.21	19.15	21.41	4.02	-5.90			
S9	0.91	-1.66	17.40	5.50	37.61	23.40	1.85	45.85	11.57	-6.81	11.53	9.56	-0.27	-4.69	8.20	-10.46			
Average	-0.43	-2.09	3.49	4.44	6.83	0.25	-4.38	8.64	-0.71	2.57	11.03	5.03	2.28	4.26	1.71	-1.58			
SD	3.079	9.220	9.948	8.472	12.768	8.642	9.142	14.791	7.263	10.385	9.870	5.384	9.201	7.923	4.056	9.991			

	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL
	Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi			
S1	1.61	11.32	-24.25	15.27	9.21	-6.96	-9.94	15.55	-4.63	33.60	27.77	9.75	10.71	22.64	-14.83	-29.74			
S2	-1.84	-7.85	-0.09	19.44	5.94	9.87	-13.97	17.56	3.61	7.39	16.81	17.42	-1.55	0.08	-1.38	-8.69			
S3	-0.81	-5.41	5.36	8.33	1.47	-3.54	-9.54	3.83	1.78	5.94	10.20	5.77	-0.32	0.42	-3.61	8.52			
S4	-3.92	1.50	14.33	-11.54	9.52	-1.44	1.33	-3.81	10.23	-8.72	-0.26	-7.91	3.24	-3.63	-0.41	-3.65			
S5	-4.71	11.42	8.67	-6.51	14.41	-5.22	2.45	5.82	5.17	-4.66	6.06	-2.94	-5.98	2.84	0.05	5.63			
S6	3.03	15.73	13.23	23.09	23.40	-23.46	1.88	8.58	-12.20	-10.41	-4.85	1.78	3.07	-0.08	-0.83	11.57			
S7	-0.01	-9.12	2.93	18.74	-2.14	-2.15	4.99	-0.86	0.82	-1.81	13.33	6.43	-4.98	0.54	6.39	-3.29			
S8	3.09	-4.18	1.41	-1.79	-2.65	-1.94	-19.09	8.50	-18.07	6.48	10.53	-2.77	23.82	30.90	3.34	0.78			
S9	-1.46	-12.89	21.80	14.03	29.36	7.95	-11.03	46.52	10.87	-28.14	20.14	4.19	-2.81	-7.97	2.12	-16.07			
Average	-0.56	0.06	4.82	8.78	9.84	-2.99	-5.55	11.08	-0.27	-0.04	11.53	3.52	2.80	5.08	-1.02	-3.88			
SD	2.630	9.809	12.241	11.787	10.388	9.003	8.027	14.102	9.205	15.856	9.471	7.157	8.835	12.112	5.606	12.228			

	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ	OZ
	Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi			
S1	-4.27	11.97	-26.50	10.10	1.90	-3.95	-6.71	16.91	-6.03	31.32	35.75	9.65	16.92	23.62	-12.89	-24.37			
S2	-5.45	-11.74	3.82	11.74	9.06	2.21	-18.33	14.58	-3.55	1.64	18.27	11.37	-7.37	-3.90	1.86	-7.62			
S3	0.95	-11.17	2.45	8.37	2.63	-3.76	-6.01	3.43	3.55	9.73	8.33	1.92	-1.56	-0.70	0.35	8.93			
S4	-1.48	-5.42	15.22	-6.35	6.37	3.97	3.10	-4.20	11.19	-2.48	1.49	1.83	4.44	-0.48	-1.45	1.22			
S5	-3.53	8.15	7.62	-6.40	16.28	-4.06	1.26	5.59	2.71	-1.80	2.36	4.26	-3.79	5.13	1.72	3.10			
S6	1.83	11.11	6.59	19.04	22.95	-25.10	4.05	17.71	-6.25	-11.56	-1.71	4.78	1.78	8.57	-2.04	12.81			
S7	-0.24	-12.86	-3.07	25.62	0.56	-1.14	2.89	-1.63	2.60	0.50	18.30	11.06	-5.40	-2.99	13.88	1.55			
S8	1.48	-0.71	3.17	-3.52	-1.30	-2.79	-22.07	13.52	-16.00	9.17	8.75	2.42	26.75	33.32	3.35	-2.50			
S9	-4.49	-1.80	19.93	1.79	37.53	20.09	-1.08	48.78	9.34	-18.94	14.64	9.30	2.44	-2.58	2.39	-10.01			
Average	-1.89	-0.27	3.22	6.71	10.66	-1.61	-4.99	12.74	-0.27	1.97	11.68	6.28	3.80	6.67	0.80	-1.88			
SD	2.659	8.628	12.371	10.648	12.074	10.985	9.118	14.817	8.046	13.451	10.764	3.816	10.546	12.470	6.523	10.456			

	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR
	Control	20Hz,1min	20Hz,2min	20Hz,3min	30Hz,1min	30Hz,2min	30Hz,3min	40Hz,1min	40Hz,2min	40Hz,3min	50Hz,1min	50Hz,2min	100Hz,1mi	100Hz,2mi	500Hz,1mi	500Hz,2mi			
S1	-6.59	18.28	-22.45	6.50	3.45	-6.56	-2.54	18.28	-8.83	37.42	33.71	4.61	20.49	16.86	-7.58	-32.79			
S2	-2.09	-10.44	2.63	15.82	7.90	-1.08	-8.11	14.70	-11.61	3.13	17.76	14.04	-5.14	2.26	12.94	-1.40			
S3	-0.40	-5.43	-0.78	8.60	1.38	-3.80	-5.21	1.20	3.68	10.64	6.30	-1.06	-0.22	0.22	1.52	13.66			
S4	-1.43	-8.69	14.18	-5.92	5.43	1.04	4.07	-5.53											



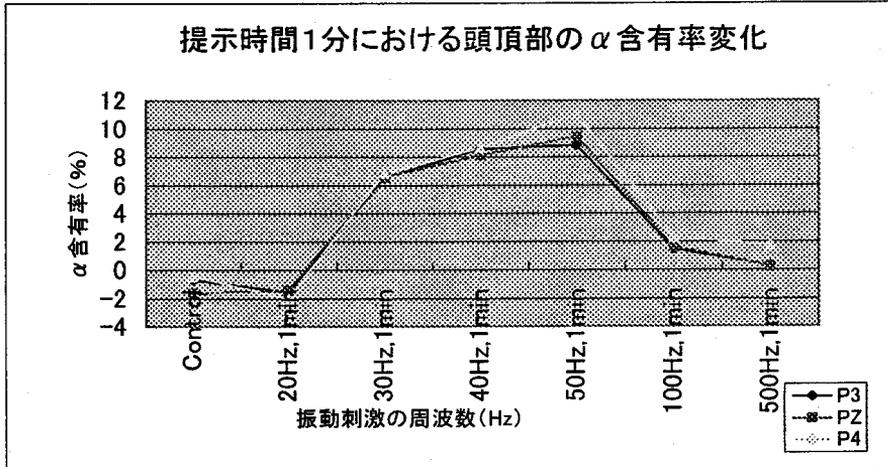
Wilcoxonの符号付順位検定により5%水準で有意差のあった刺激条件とそのときの危険率。

F3: P(control - 50Hz,1min)=0.028,	PZ: P(control-50,1)=0.028,	OZ: P(20,1 - 30,1)=0.038,
P(50Hz,1min-500Hz,1min)=0.038,	P(control-50,2)=0.011,	P(20,1 - 40,1)=0.015,
FZ: P(control - 50, 1)=0.028,	P(20,1 - 50,1)=0.038,	P(50,1 -500,1)=0.008
P(control - 100, 2)=0.038,	P4: P(control-50,1)=0.028,	P(20,1 - 20,2)=0.038,
F4: P(50,1 - 500, 1)=0.011,	P(control-50,2)=0.038,	P(20,2 - 30,2)=0.028,
	P(20,1 - 50,1)=0.038,	P(20,2 - 40,2)=0.038,
C3: P(control - 50,1)=0.038,		P(20,3 - 30,3)=0.038,
P(20,1 - 30,1)=0.038,	OL: P(control-30,1)=0.028,	P(30,1 - 30,2)=0.008,
P(50,1 -500,1)=0.015,	P(control-40,1)=0.038,	P(30,1 - 30,3)=0.011,
CZ: P(50,1 -500,1)=0.015,	P(control-50,1)=0.021,	OR: P(control -30,1)=0.028,
C4: P(50,1 -500,1)=0.011,	P(20,1 - 30,1)=0.015,	P(control -50,1)=0.008,
	P(50,1 -500,1)=0.015,	P(control -50,2)=0.038,
P3: P(control - 40,1)=0.028,	P(20, 3 - 30,3)=0.021,	P(20,1 - 30,1)=0.038,
P(control - 50,1)=0.021,	OZ: P(control-30,1)=0.021,	P(20,1 - 40,1)=0.008,
P(control - 50,2)=0.038,	P(control-40,1)=0.028,	P(20,1 - 50,1)=0.028,
P(20,1 - 50,1)=0.038,	P(control-50,1)=0.015,	P(50,1 -500,1)=0.011,
P(30, 1 - 30, 2)=0.028,	P(control-20,2)=0.021,	P(30,1 - 30,2)=0.011,
P(30, 1 - 30, 3)=0.038,	P(control-50,2)=0.008,	P(30,1 - 30,3)=0.011,

Figure 3

Figure 3 の脚注に示すように、Wilcoxonの符号付順位検定による5%水準での有意差は主に後頭部において見られた。特に提示時間1分の刺激間では周波数30, 40, 50Hzが20Hzや500Hzに比べて有意に高かった。さらに、50Hz, 1分についてはほとんどの電極で20Hzか500Hzに比べて有意に高かった。こうした刺激提示時間と電極の限定内で、α含有率変

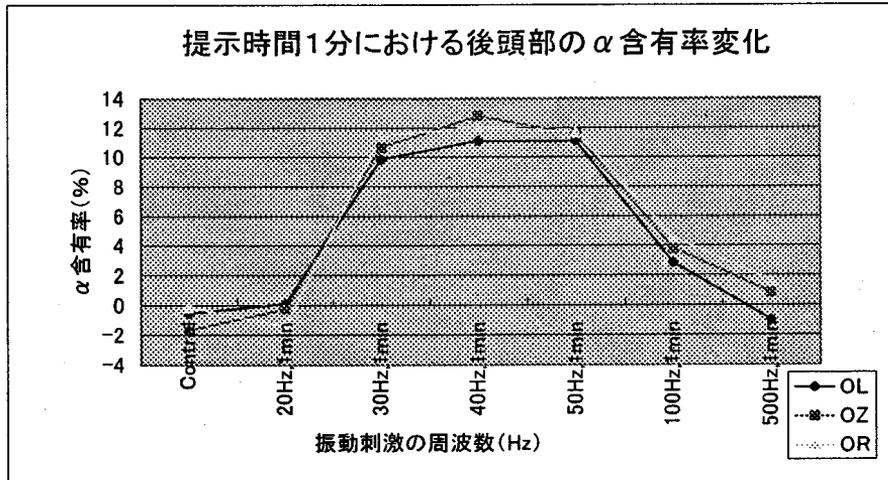
化は刺激の周波数に依存した。提示時間依存については、一般性は見出しにくいですが、それぞれの周波数において、 α 含有率変化は提示時間によって変化した。この刺激強度ではP3, OZ, ORの30Hzにおいて、有意差が出た。刺激提示時間1分における頭頂部と後頭部の α 含有率変化を取り出してfigure 4に示す。



(a) 頭頂部,

Wilcoxonの符号付順位検定により5%水準で有意差のあった刺激条件とそのときの危険率。

P4: P(control-50Hz)=0.028, PZ: P(control-50)=0.028, P3: P(control-40)=0.028,
 P(20-50)=0.038, P(20-50)=0.038, P(control-50)=0.021,
 P(20-50)=0.038.



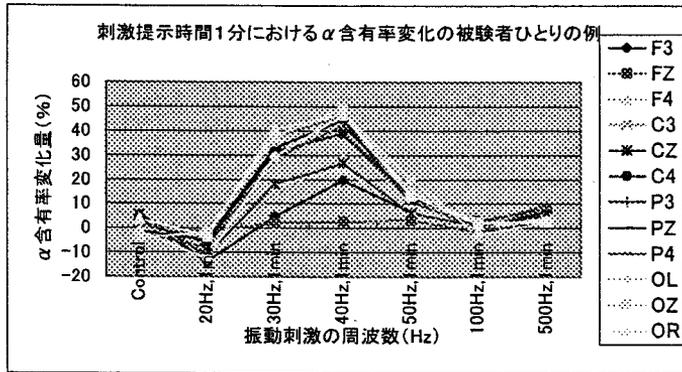
(b) 後頭部

Wilcoxonの符号付順位検定により5%水準で有意差のあった刺激条件とそのときの危険率。

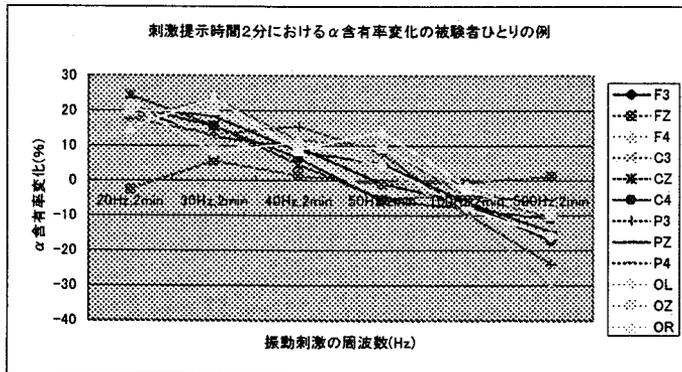
OL: P(control-30Hz)=0.028, OZ: P(control-30Hz)=0.0, OR: P(control-30Hz)=0.028,
 P(control-40)=0.038, P(control-40)=0.028, P(control-50)=0.008,
 P(control-50)=0.021, P(control-50)=0.015, P(20-30)=0.038,
 P(20-30)=0.015, P(20-30)=0.038, P(20-40)=0.008,
 P(20-40)=0.015, P(20-40)=0.015, P(20-50)=0.028,
 P(50-500)=0.015, P(50-500)=0.008, P(50-500)=0.011.

Figure 4

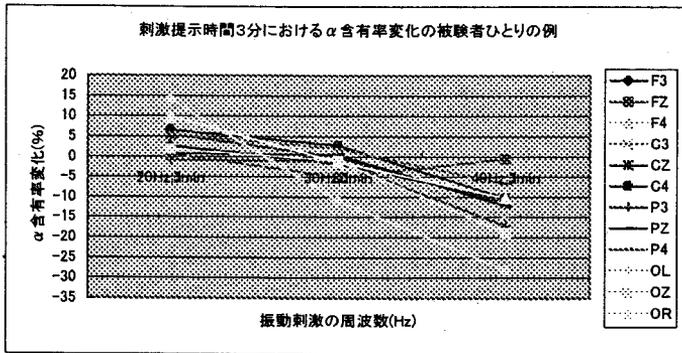
また、被験者一人の同一提示時間のデータでは、 α 含有率変化が電極間、周波数間でのようになるかをfigure 5に示した。Figure 5(a)提示時間1分では、40Hzでピークになり、被験者9人の平均で有意に高かった50Hzではさほど大きく変化していない。このように、個人差は大きい。提示時間によっても、周波数依存の様子が大きく違う。さらに、 α 波を指標としているが故に、後頭部と前頭部の差が大きく出ている。



(a) 刺激提示時間1分



(b) 刺激提示時間2分



(c) 刺激提示時間3分

Figure 5

各被験者ひとりひとりが、全刺激の中でどの刺激に対してもっとも大きく α 含有率変化をきたしたか、また、1分刺激の中でどの刺激に対してもっとも大きく α 含有率変化をきたしたかをtable 3の4行目と5行目に示した。

Table 3 : 喉の振動の周波数分析結果

Subjects	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	9人の平均	SD
Sex	m	m	f	f	m	f	f	f	m		
Age	19	20	21	22	22	44	49	50	58		
Most effective stimulus in all stimuli	OR:40Hz,3min	OL:20Hz,3min	C4:50Hz,1min	OR:30Hz,1min	OZ:20Hz,2min	OL:30Hz,1min	OR:20Hz,3min	OR:100Hz,2min	OZ:40Hz,1min		
1st effective stimulus in a minute stim	OZ:50Hz,1min	P4:50Hz,1min	C4:50Hz,1min	OR:30Hz,1min	OL:30Hz,1min	OL:30Hz,1min	OZ:50Hz,1min	OR:100Hz,1min	OZ:40Hz,1min		
軟口蓋											
1回目	54	54	43	48	24	43	48	81	59		
2回目	59	48	48	32	32	43	48	86	65		
3回目	59	54	59	48	27	43	48	86	65		
Ave	57	52	50	43	28	43	48	84	63	52	15.62
喉頭蓋											
1回目	75	86	81	88	75	151	54	91	70		
2回目	65	102	70	89	86	161	58	113	65		
3回目	75	86	86	89	81	156	59	97	75		
Ave	72	91	79	89	81	156	56	100	70	88	27.98
下咽頭											
1回目	167	97	258	258	151	188	102	129	108		
2回目	172	97	253	237	151	183	113	129	102		
3回目	172	102	258	237	151	188	102	135	102		
Ave	170	99	256	244	151	186	106	131	104	161	59.06

実験Ⅱの振動音の波形をfigure 6に、周波数分析結果をfigure 7からfigure 9に示す。それぞれ軟口蓋、喉頭蓋、下咽頭の振動音全体(22000Hzまで)と部分(269Hzまで)である。軟口蓋の振動にはホルマントが4つ見られ、喉頭蓋では6つ、下咽頭では9つ以上見られる。Quinnら(1995)も示しているように、軟口蓋振動の周波数ピークは比較的単純で安定しており、どの被験者の3回のデータもばらつきは少なかった。喉頭蓋振動及び下咽頭振動ではfigure 8とfigure 9に示されるように、倍音グループが他にもあり特定は難しかったが、先行研究を参考に、3回のデータに共通する周波数から基本周波数を特定した。基本周波数の結果をtable 3に示した。

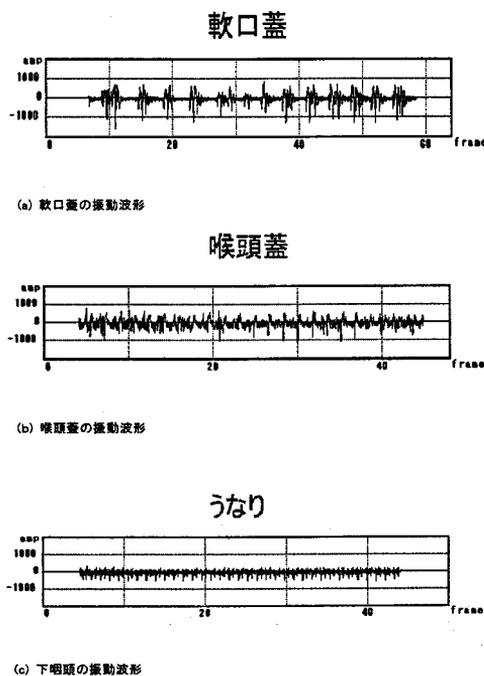
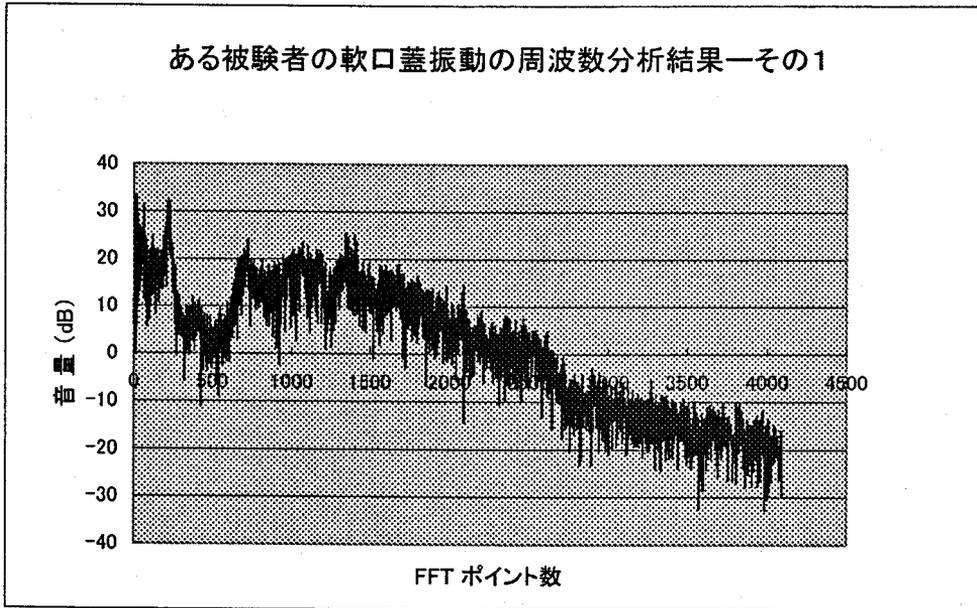
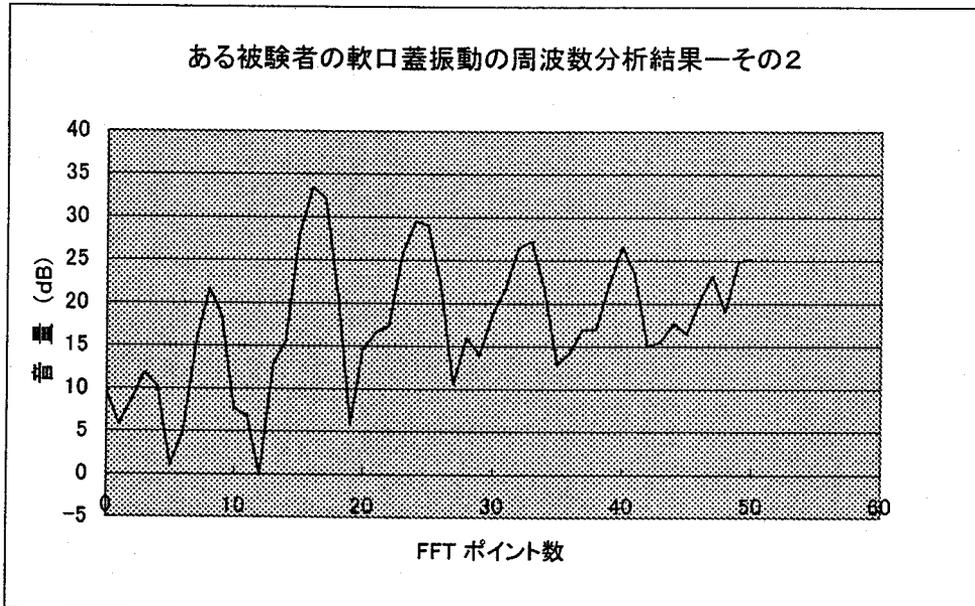


Figure 6

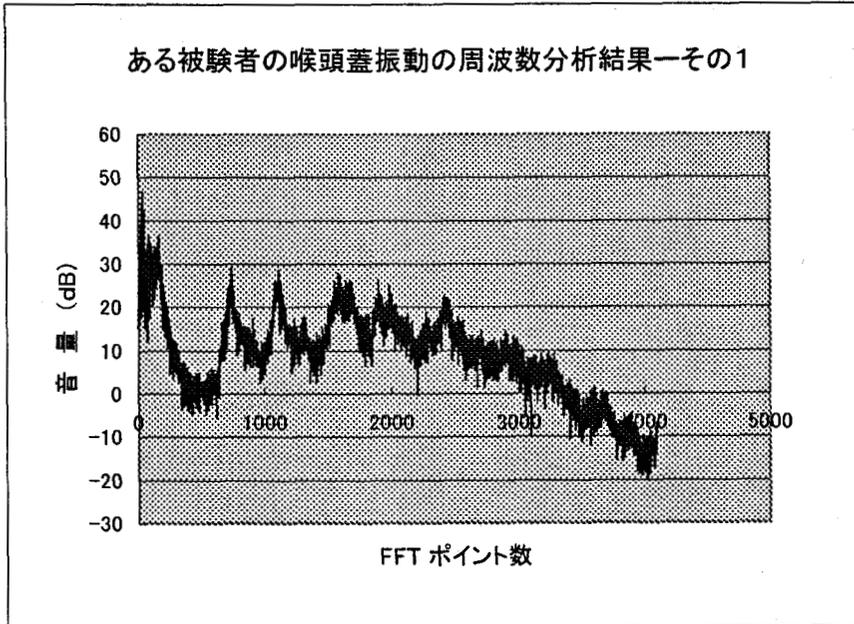


(a) 全体(0-22000Hz)

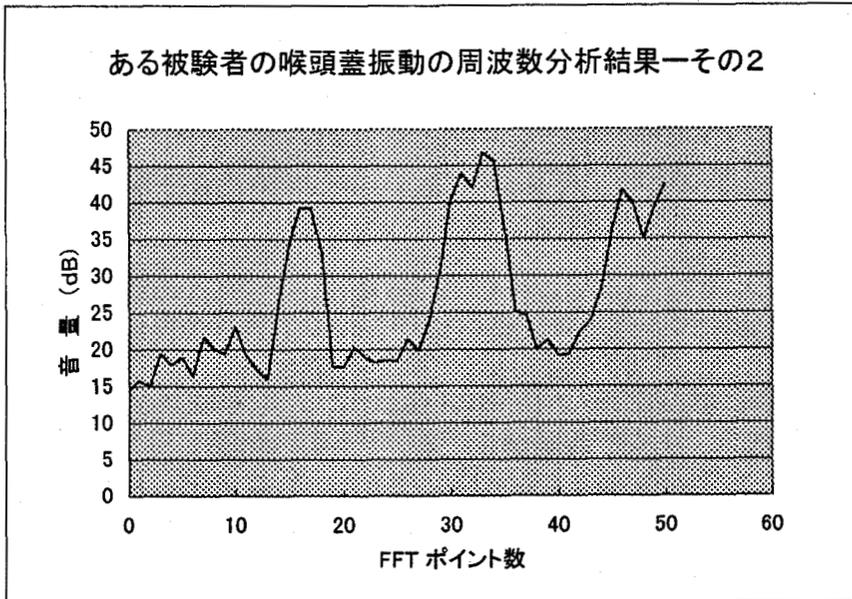


(b) 部分(0-269Hz)

Figure 7

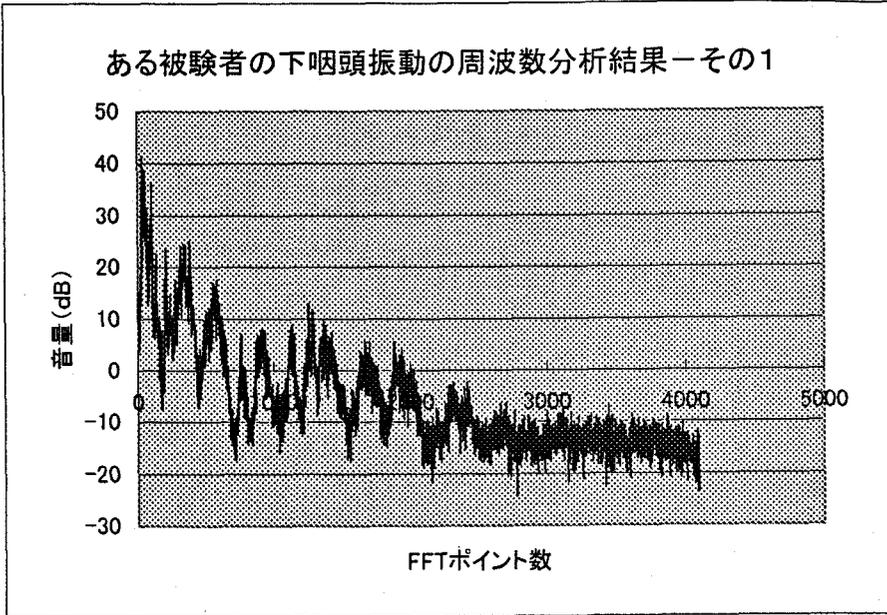


(a) 全体(0-22000Hz)

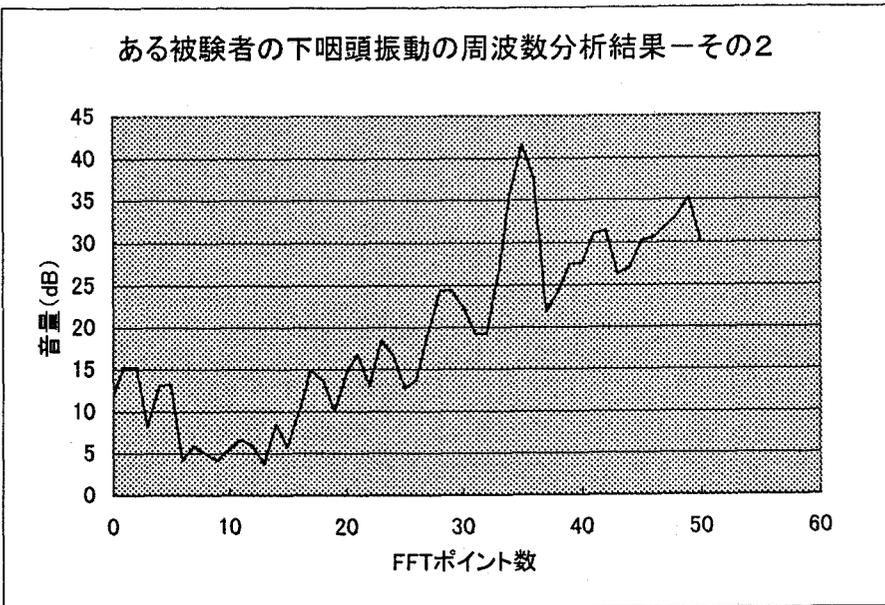


(b) 部分(0-269Hz)

Figure 8



(a) 全体 (0-22000Hz)



(b) 部分 (0-269Hz)

Figure 9

IV 考 察

動物の身体はヒトを含め多くの発振器官を備えている。そのひとつは心臓である。動物の心臓のリズムはおおよそ0.5Hzから4Hzであり、振動としては低周波である。これは身体全体のベースになる振動であり、低いほど長寿である(本川, 1992)。

次の発振器官は声帯を含む喉である。多くの動物は群れを作って生活し、互いのコミュニケーションを喉の振動で保っている。ヒトの場合は会話を楽しみ、大脳の左半球を活性化させて、快感情を促している。一方、喉から発生した振動は脊髄を通し、脳幹に伝わっている。この振動は低周波から数千Hzの周波数までいろいろある。それらは身体の状態を伝える信号というより、単なる振動として物理的に脳に伝わっているに過ぎないであろう。それらは、周波数によってニューロンに負荷として働くときと、負荷を取り除くように働くときとがあるだろう。脳内の反応メカニズムは判らないが、どの振動がどのような生理的反応を喚起しているかは測定できるであろう。

そこでまず、喉の振動を、意識化の程度を基準に大まかにtable 4のように4段階に分類してみた。この中で、安定でしかも完全に無意識的な振動はいびきである。table 4の会話時の声帯による平均振動数はおおよそ男125Hz (SD=20.5) で女はその約2倍あるのに比して、軟口蓋のいびきの基本振動数は低い (Quinn et al. 1995など)。

Table 4 : ヒトの喉の振動を意識-無意識を基準に分類した表

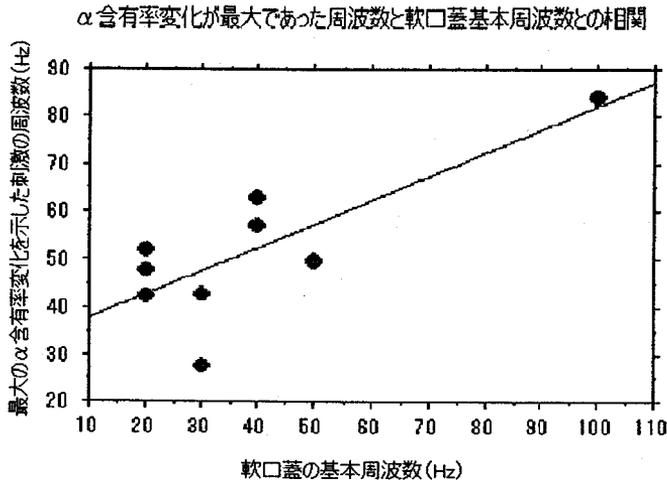
分類	例
1. 言語的声帯の振動	会話、歌唱
2. 非言語的声帯の振動	笑い、泣き声、叫び、うなり
3. 覚醒時の声帯以外の振動	
上咽頭の振動	鼻のすすり、
中咽頭の振動	咳払い、うなり
下咽頭の振動	咳、うなり、
4. 睡眠、昏睡時の声帯以外の振動	
上咽頭の振動	いびき
中咽頭の振動	いびき
下咽頭の振動	いびき、寝言、咳、うなり

ところで、睡眠中にいびきが発生する理由はおおむね3つある。ひとつは病的症状のため咽頭の一部が肥大している場合である。口蓋扁桃肥大やアデノイド肥大によって、気道が狭窄し、乱流が発生して付近の器質部分を振動させる (Beck et al. 1995)。二つ目は肥満である。肥満によって狭窄した気道は上中下咽頭全般にわたり様々な部位が振動する。切除や減量によって症状は改善する。三つ目が筋弛緩によって起こる場合である。気道のうち鼻腔壁や気管壁は形が安定しているが、咽頭壁には嚥下や構音のための筋肉があり、眠るとこの筋肉が弛緩し、重力や内圧の影響を受けやすくなる。仰臥位で眠ると、弛緩した軟口蓋や舌根が咽頭後壁へ落ち込み狭窄が起こる。筋弛緩は、次の4つの場合が考えられる。脳神経系の病変による場合、アルコールなどの薬物による場合、精神的ストレスなどによる場合、年齢による場合である。筋弛緩のために生じるいびきの中から、精神的ストレスや加齢によるものを特定することは難しいのであるが、一般に普通の生活でかくいびきのほとんどは、精神的ストレスや年齢によると考えられる。そうした肥満によるので

も病的症状でもないいびきは、軟口蓋と中咽頭を振動部に行っている。また、軟口蓋については、次のような心因性の病気もある。即ち、軟口蓋振盪 (palatal nystagmus) という病気は、不随意的リズムカルな音を伴った痙攣で、軟口蓋が挙上し、上咽頭後口蓋帆挙筋 (muscle levator veli palatini) 壁に当たって離れる運動を反復する。欲求不満、不安などの心因性の誘引で発病するとされている。

今回の実験では、覚醒時に作り出した振動音を分析した。これは振動部を正確に特定したデータを使い、いびきより単純化して相関を見たかったからである。実際、軟口蓋振動は、Hillら (1999) が述べるように、他の振動音に比して雑音が少なく、基本振動数が求めやすかった。Table 3に示すように、軟口蓋は50Hz近傍で振動している。このことはヒトの軟口蓋が50Hz付近に固有振動数を持っていると考えられる。

実験Iにおいて、各被験者がもっとも大きく α 含有率変化を示した周波数と実験IIで得られた軟口蓋の基本振動数との相関を取ると、相関係数は $r = 0.795$ となり、かなり相関があることが判る (Figure 10)。FisherのZ検定では、1%水準で有意に相関がある。言い換えれば、軟口蓋で発生する振動音は脳をリラックスさせる作用がある。イエネコのpurring にストレス軽減の作用があるのではないかと考えられているように、ヒトにおいても軟口蓋で生じる振動音にはストレス軽減の作用があると考えられる。ただ、次の理由から、いびき音そのものの生理作用であると言うことはできない。即ち、覚醒時の軟口蓋の緊張度と睡眠時の緊張度が同じではなく、呼吸の気流速度も覚醒時と睡眠時で同じかどうか不明である。また、振動強度と持続時間もそれぞれ異なる。



相関係数: $r = 0.795$ 、回帰直線: $Y = 32.74 + 0.50X$ 、 R^2 乗 = 0.632

Fisher の r の Z 変換: $Z = 2.656$, $P = 0.008$

Figure 10

だが、いびきの先行研究(たとえば, Hill et al. 1999., Hung. 1995., Miyazaki et al. 1998, Perez-Padilla et al. 1993., Quinn et al. 1996. など)に限れば, 報告されている軟口蓋のいびきの周波数範囲内に本実験結果は入っている。

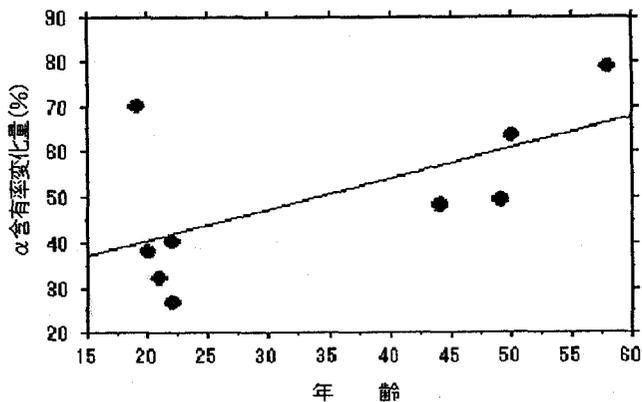
筆者は, いびきは筋弛緩だけでは説明がつかないことに疑問を感じる。即ち, 睡眠レベルによっていびき量が違い, レベルⅢのときにいびきは多い。年齢と共にいびきは増加する。徐波睡眠(睡眠レベルⅢ, Ⅳ)は年齢と共に減少し, 逆にⅠ, Ⅱは増加する(平沢1989)。筋弛緩から見ると, レベルⅣの方が弛緩程度は強いがいびきは少ないからである。

よって, 本実験において軟口蓋振動と α 含有率変化との相関が見出されたことは, 肥満や睡眠障害の病的症状としてのいびきの意味ばかりでなく, 同じ軟口蓋振動に喉の振動としての新たな意味付けが一つ加わったと考えられないだろうか。

他方, うなりの周波数分析から得られる周波数と各被験者が全刺激の中でもっとも α 含有率変化が小さく出る刺激の周波数との相関を調べたが, 相関は見られなかった(相関係数 $r = -0.232$)。理由は, 本実験の刺激周波数が100Hzから500Hzまでないためにこの相関が出ないと考えている。

さらに, 振動刺激に対する感受性の加齢変化を調べた。一般的に, 年齢と共にマッサージ等に対する要求度が高まることから, 年齢と共に振動刺激に対する感受性が変化するのではないかと考えた(Gescheider et al. 1996)。そこで全刺激の中で, α 含有率変化が最大であった変化量と最小であった変化量との差が年齢とどのように相関するかを見た(Figure 11)。相関係数 $r = 0.610$, R^2 乗 = 0.372 と相関傾向が見られるが予想したほど高くなっていない。これは, 被験者数の少なさが結果に反映したためである。

α 含有率変化と被験者の年齢の相関



相関係数: $r = 0.610$, 回帰直線: $Y = 26.85 + 0.68X$, R^2 乗 = 0.372,
Fisher の r の Z 変換: $Z = 1.738$, $P = 0.082$

Figure 11

<次回の展開と課題>

まだ、始まったばかりの研究でこれから進めるべき点はたくさんある。

- 1) いびきそのものをDATで録音し、同じ被験者に振動刺激を課した場合の脳波を測定したい。また、刺激強度、提示時間を変えて実験してみたい。
- 2) 振動刺激周波数を10Hz刻みで60Hzから300Hzまでについても実験してみたい。会話時の声帯によるリラックス反応のピークが出てくるだろう。また、下咽頭の基本周波数と相関のある刺激周波数において抑圧的な反応が出てくると予想している。
- 3) 指標として、 α 波以外も考えて見なければならぬ。たとえば、既に開発されている感性スペクトル分析法などを。

<謝辞>

本研究の周波数分析において、貴重なご助言、ご協力をいただきました岩手大学工学部教授安倍正人先生、助教授三輪譲二先生に深く感謝申し上げます。

References

- 1) Bauer, R., Schwab, M., Abrams, R. M., Stein, J., and Gerhardt, K. J. : Electrocortical and heart rate response during vibroacoustic stimulation in fetal sheep. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 177, 66-71, 1997.
- 2) Beck, R., Odeh, M., Oliven, A., and Gavriely, N. : The acoustic properties of snores. *European Respirational Journal*, 8, 2120-2128, 1995.
- 3) Beerda, B., Schilder, M. B., Van Hooff, J. A., De Vries, H. W., Mol, J. A. : Chronic stress in dogs subjected to social and spatial restriction. I. Behavioral responses. *Physiology and Behavior*, 66, 233-42, 1999.
- 4) Bradshaw, J. W. S. : The Behaviour of the Domestic Cat. CABI Publishing, Oxon UK, 92-99, 1992.
- 5) Denis, B. : Aspects morpho-fonctionnels, acoustiques et ethologiques. DVM thesis, Nancy University, 1969.
- 6) Gescheider, G. A., Edwards, R. R., Lackner, E. A., Bolanowski, S. J., and Verrillo, R. T. : The effects of aging on information-processing channels in the sense of touch : III. Differential sensitivity to changes in stimulus intensity. *Somatosensory & Motor Research*, 13, 73-80, 1996.
- 7) Hill, P. D., Lee, B. W., Osborne, J. E., and Osman, E. Z. : Palatal snoring identified by acoustic crest factor analysis. *Physiological Measurement*, 20, 167-174, 1999.
- 8) 平沢秀人. : 老人の睡眠障害. 総合臨床, 38, 2437-2442, 1989.
- 9) Huang, L. : Mechanical modeling of palatal snoring. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 3642-3648, 1995.
- 10) Ishitake, T., Miyazaki, Y., Ando, H., and Matoba, T. : Suppressive mechanism of gastric motility by whole-body vibration. *International Archives of Occupational and*

Environmental Health, 72, 469-474, 1999.

- 11) Kiley-Worthington, M. : Animal language? Vocal communication of some ungulates, canids and felids. *Acta Zoologica Fennica*, 171, 83-88, 1984.
- 12) Kirkwood, P. A., Sears, T. A., Stagg, D., and Westgaard, R. H. : Intercostal muscles and purring in the cat: the influence of afferent inputs. *Brain Research*, 405, 187-191, 1987.
- 13) 李寧, 三谷恵一, 木村基剛: 機械的振動を用いた三谷式漸進的弛緩法による額の筋電位積分値および脳波 α 波積分値の減衰. *The Journal of Psychology*, 70, 87-93, 1999.
- 14) Liistro, G., Stanescu, D., and Veriter, C. : Pattern of stimulated snoring is different through mouth and nose. *Journal of Applied Physiology*, 70, 2736-41, 1991.
- 15) Lugaresi, E., Mondini, S., Zucconi, M., Montagna, P., and Cirignotta, F. : Staging of heavy snorers' disease. A proposal. *Bulletin of Europe Physiopathological Respiration*, 19, 590-594, 1983.
- 16) Miyazaki, S., Itasaka, Y., Ishikawa, K., and Togawa, K. : Acoustic analysis of snoring and the site of airway obstruction in sleep related respiratory disorders. *Acta otolaryngologica, supplementum*, 537, 47-51, 1998.
- 17) Moelk, M. : Vocalizing in the house-cat; a phonetic and functional study. *American Journal of Psychology*, 57, 184-205, 1994.
- 18) 本川達雄: ゾウの時間ネズミの時間. 中央公論社. 東京 1992.
- 19) Perez-Padilla, J. R., Slawinski, E., Difrancesco, L. M., Feige, R. R., Remmers, J. E., and Whitelaw, W. A. : Characteristics of the snoring noise in patients with and without occlusive sleep apnea. *American review of Respiratory disease*, 147, 635-644, 1993.
- 20) Printemps, C., Cohen, S., Poisson, M. A., Gibert, M. H., McCann, C. C., and Quera Salva, M. A. : Sleep and Vigilance in Students. *Sante Publique*, 11, 17-28, 1999.
- 21) Quinn, S. J., Huang, L., Ellis, P. D., and Williams, J. E. : The differentiation of snoring mechanisms using sound analysis. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences*, 21, 119-123, 1996.
- 22) Riede, T., Fitch, T. : Vocal tract length and acoustics of vocalization in the domestic dog (*Canis familiaris*). *Journal of Experimental Biology*, 202, 2859-67, 1999.
- 23) Sissom, D. E. F., and Rice, D. A. : How cats purr. *Journal of Zoology London*, 223, 67-78, 1991.
- 24) Stone, R. G., and Wharton, R. B. : Simultaneous multiple-modality therapy for tension headaches and neck pain. *Biomedical Instruments and Technology*, 31, 259-262, 1997.