

学校における大脳活性化度測定 of 倫理的課題

東京学芸大学教育学部：高 藪 学：takayabu@u-gakugei.ac.jp
独立行政法人電子航法研究所：塩見格一：shiomi@enri.go.jp

0：はじめに

ひとの発話音声については、その信号の複雑さにカオス性が観察できるという研究には、以前より多くの事例をあげることができる。われわれの研究過程では、1998年には発話音声のカオス性と発話者のストレスとの間の相関関係を発見した。今日まで数多くの応用分野を想定して研究を続け、ソフトウェア等関連システムの開発を行ってきた^{注1}。発話者の音声からそのひとの「ストレス」が計測可能であるという主張は、おそらく一般には容易に了解可能なものではなく、さらにカオス理論の視点からしても、発話音声が従来の決定論的なカオス理論の枠組を越えるものであったことから、発話音声のカオス性とストレス等との相関関係の検証や、あるいは応用研究は後回しの状況となっていた。

研究当初は飛行管制業務にあたる者やパイロットの機器誤操作に起因する問題、いわゆる事故原因のヒューマンファクタに関心の中心があり、システムの開発と改良にあたっては、およそ「ひとの正確な判断をゆるがす疲労状態と脳の活性化度の指数化あるいは危険度の検知」についてのみに集中してきた。この経緯から成果として、発話音声信号にあるカオス性に関する、いうなれば「カオス性の程度」を高速に指数化するアルゴリズム、SiCECAを独自に考案しソフトウェアという形でパーソナルコンピュータに実装することに成功した^{注2}。

「疲労している」という場合に、あるいはまさに疲労しているとひとが自覚するとき、その疲労の程度はまさに主観的である。SiCECAアルゴリズムが求める指数値（CEM）は、自覚される疲労、疲労感ではなく、脳活性化度を表現するものであると考えられる。この仮説なり想定に全く矛盾する実験結果が現在のところ存在していないということを、ここで付言する。

2003年以降は、システムの全体のパフォーマンスを向上させる目的で、まずソフトウェアの高速化を目指した。その一方で研究当初からの課題である、

^{注1} 例えば「音声から眠気や疲労を検出する試みについて」第37回飛行機シンポジウム論文集、塩見ほか、1999年。

^{注2} 整理のよいものとしては、「連続発話音声の時間局所的なカオス論的指標値の変化について」電子情報通信学会総合大会講演論文集、塩見、高岡、2004年。

発話音声のカオス性と発話者の身体の、つまりは脳の状態との関連性について検討を始めた。SiCECAアルゴリズムによっては、生体内環境の状態を知る目的である種のセンサー開発を進めると一般には言えばよいわけである。したがってセンサーの示す数値の意味を探り、あるいは指数値の評価の可能性について検討する必要がある。このことは重要である。例えていうならば、血圧計による測定において、「上が170mmHg」などというわけであるが、この数値の大きさだけから、あなたは高血圧ですよ、とか肝臓にいずれかの疾病の因子が存在すると期待されますよ、などと判断・診断することについては、医師といえども簡単にできるわけではない。このことと事情は同様である。

本稿では、近い将来において、よくある性能の録音機とコンピュータを使って、ひとの声からそのひとの身体的特性や心理的傾向をおおよそ知ることが出来るようになるという、比較的無理のないと思われる分析結果を前提としつつ、倫理的課題について述べたい。

1：実験結果にあらわれる「個人差」の検討方法

われわれの脳機能モデルにおいては、必ずしも肉体的活動による疲労と精神活動による疲労とを分けて考えることについては有意義ではないとしている^{注3}。このことを経験的な方法で確かめるために、いくつかの実験を実施した。1998年以降数年の間に、様々な試みをもって収集した音声データからは、脳活性化指数（CEM）の値については、男性と女性の間で差があるのではないかと思われる結果を得た。さらには年齢によって一定の傾向があるのではないかと想像していた^{注4}。

例えば、椅子に座って普通に発話した音声と、被験者自らが片方の手で片耳を塞いだ状態で同じ内容を発話した音声とを比較すると、CEMの変化に一般

^{注3} 「カオス論的疲労解析方法と脳機能モデル」塩見、羽田、丸山ほか、2002年。「発話分析から考える脳機能モデル」塩見、感性工学会研究論文集、2004年。
^{注4} 「発話音声による大脳発達特性の評価可能性に関する基礎研究」東京学芸大学・電子航法研究所共同研究事業。2004年から2005年。

的な傾向があることが確認できる。また、この変化については性差であろうと想像される結果が含まれていた。種々のストレスによる短時間のCEM変化の程度が、女性の方が一般的に大きいだろうことが観察される。この結果が何を意味するのかについては、拙速な議論は避けたいところであるが、耳を手で塞ぐ程度のストレスによって指数変化が生じ、またその変化に性差を認めることができるという事実は重要である。主に年齢による影響について調べる目的で、別に複数の実験を実施した。発話音声のカオス性の程度が年齢と同時に性差によって異なる傾向が、偶然ではあるが発見できた。

次に、東京学芸大学の附属学校のひとつで、子どもの発話音声を集めたので紹介し、問題点について指摘する。

まず発話音声収集の方法について整理して、特徴を示す。カオス論的な信号処理を想定する発話音声は、次の条件を満たす必要がある。

- (1) 信号は圧縮アルゴリズムに依存する影響が定量化できていない状況であるから非圧縮であることが必要であるから、PCM録音が可能な機器を使用する。
- (2) 16bit以上のダイナミックレンジを有するADコンバータにより発話音声をデジタル化する必要がある、44.1kHz以上のサンプルレートであることが望ましい。
- (3) マイクフォンの特性については、実験前の調査が必要な場合がある^{注5}。
- (4) 残響音による影響も可能ならば排除したい。

このような要請から、marantz社製レコーダ(PMD670)とAKG社製マイクロフォン(C391B)を標準機として使用した。ちなみに、上記条件を満たす機器として、特別な性能を有する物ではない。

次に発話音声の採取の実際の方法についてである。発話者には椅子に座ってもらい、A4サイズの紙に適当な大きさにプリントされた単文を読み上げてもらい、録音を行なう。採用した短文は次のようである^{注6}。

「私たちの太陽系においては、水、金、地、火、木、土、天、海、冥といった種類の星が、それぞれ半径の異なる軌道をもって、いわば横

にならぶ形で回っている。一方そのころ日本の都市の大衆寿司店舗においては、トロ、イカ、タコ、エビ、アジ、シャコ、イクラ、ミルガイ、タマゴヤキ、といった種類の寿司が、同一の軌道上をいわばカルガモ的な縦一列の形で回っている。」^{注7}

また短文朗読に続けて、コンピュータ画面で静止画像スライドショーを実行し、被験者にはその画像が何であるのかを発話してもらうという方法で録音した。静止画像は種々多様な対象物の写真である。具体的なものからやや抽象度高いと思われるものを、表示順序としては意識的に表示することとした。1つの画像の表示時間は2秒間であり、その次の画像が表示されるまでの短い時間に被験者は発話を行なう。

このように音声を採取して、附属学校での録音内容および結果と他の実験の録音内容および結果を総合的に評価した。実験結果の詳細については、別のところで示すこととし、本稿では発話音声のカオス性分析から得られた結果のうちで、本来の研究目的からすれば、いわば副次的な内容でかつ重要と思われる事項について、列挙する形式で次に述べる。



(写真1：スライド画面の例(フラミンゴ))

2：カオス性の検討

われわれが使用する発話音声解析アルゴリズムは、音声信号のカオス性と信号に含まれるノイズを峻別しつつ同時評価可能であるという特徴をもつ。これは、発話音声信号について、適当な短い時間間隔でストレンジアトラクタを構成し、いわば見せかけで得られたリアブノフ指数と、決定論的に導出される理論上の指数との残差を計算するという方法で実現される。まずは、ある被験者のおよそ1分半

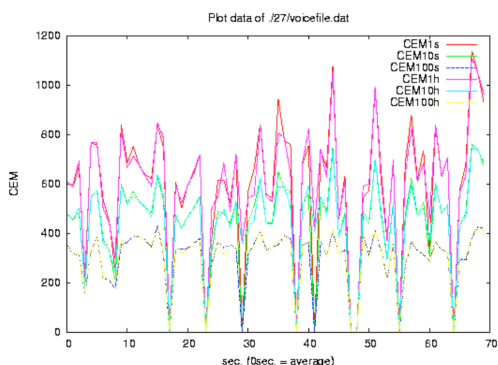
^{注5} いわゆる骨伝導マイクロフォンなど、各種入力機器に特性については、調査継続中である。

^{注6} 朗読文を作成するときには、短文の表記や内容の難易度に配慮するようにし、また「はやくちことば」のような特殊なストレスとなる短文は避けた。

^{注7} 「回転寿司の元禄宇宙」『ごちそう探検隊』赤瀬川原平著、ちくま文庫1994年より。漢字にはすべてルビを付した。

の短文朗読と画像スライド発話について、CEMの時系列変化を単純に表したグラフ（図1）をみてみよう。前半の0～28秒まで（約1/3）が短文、後半がスライドに相当する。緊張の持続により、全体としてCEM値の上昇が認められる。ほぼ全ての被験者においてこの傾向があり、また短文の平均値よりもスライドのそれが高い数値を示す^{注8}。また図では見にくいと思われるが、短文の中で惑星名の順列と寿司ネタとでは、平均して値が後者の方が高い。

これら結果は、われわれの得た結果からは一般的に認められるものである。CEM値が録音条件に影響を受けることを勘案しても、なお指摘できそうなことは、例えば太陽系惑星の配列のような、およそ多くの中学生在すでに獲得している知識、情報についての発話音声と、寿司ネタの列挙のような、およそ多くの人にとって初めての語順となる単語の羅列の発話とでは、被験者が受けるストレスが異なると考えられることである。また、短文を読むという課題をやりとげるために、朗読する内容によって必要な脳の活動水準が異なっていると推察される。

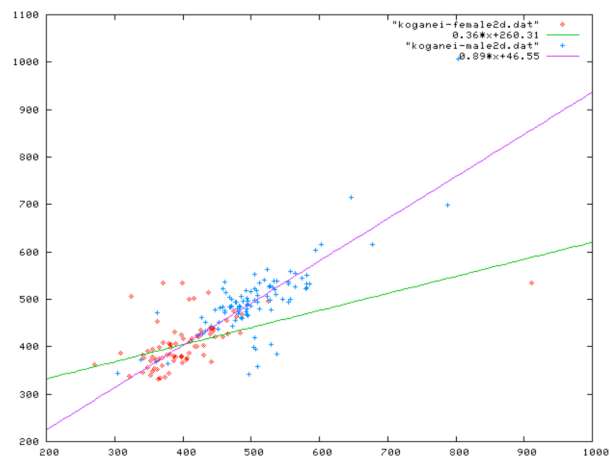


（図1：CEM値の時系列変化）

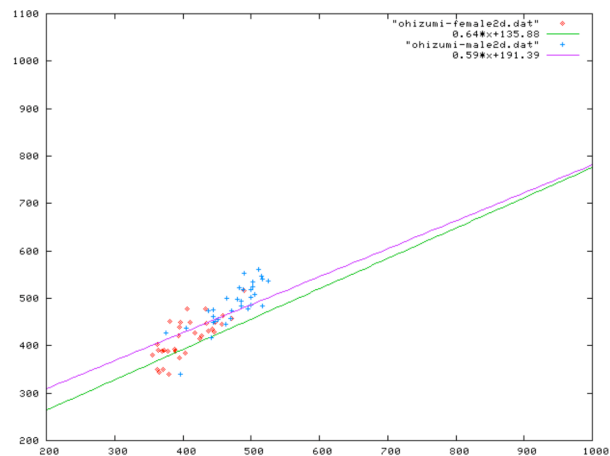
つまりこの結果を課題・作業をやりとげようとする脳の活動レベルの反映だと考えることができるので、CEMを脳の活性度を表すものと考えことができ、したがって、同一の課題朗読について被験者ごとに異なるCEM値を得ることは、朗読課題の個人別の難易度、作業による負荷が、その程度で短期に信号を錯乱させるとの意味づけが可能となる。この趣旨において、朗読課題と比較して写真スライドから写真の内容意味を発話する課題が、一般に脳のより多くの活動を必要とし、課題がより高いストレス性の刺激となっているものと推察される。

^{注8} 詳細な検討については別の機会に述べる。ここで重要な点は、約70秒という短時間においてさえもCEM値の時系列変化に特徴を見いだせる可能性があることである。

別のグラフをみてみよう。他に実施した実験の結果とあわせて表示したものである。同内容の短文発話の音声データを用いた。上記短文はおよそ30秒の音声となる。各被験者の発話全体の平均CEM値、同じ音声ファイルの任意の5秒間の平均値、そして年齢についてプロットした。図はCEM値の年齢層にみる差を性差と読み取れるものである。男性は女性よりも一般にCEM値が大きい。男性は加齢によって「高」→「低」→「高」となる傾向があり、女性は「低」→「高」→「低」である。中学生について詳しくみると、学年が上がるにつれてCEM値の性差に依存する違いが認められにくくなる^{注9}。



（図2：あらゆる年齢層にわたるCEM値の分布）



（図3：附属中学校）

これらの結果から、発話音声をカオス性の視点から分析した結果については、その意味を評価する場合には、いっそうの慎重さをもってあたる必要があるであろう。この点について次にまとめよう。

^{注9} 詳細については拙稿「学校にける子どもの疲労調査と情報処理」『2005PCカンファレンス論文集』CIEC、2005年。本稿の視点から重要なのは、男女の相違（男性が青色）と偏差（ノイズ）にある性差である。

3: 大脳発達特性の評価可能性に関する倫理的考察

24時間走^{註10}においてランナーの32人の競技中の音声を取って分析した。この競技は名前のおり24時間を走り、走行距離を競う競技である。スタート前、その後は2時間ごとに録音を行なった。結果を若干紹介するなら、スタートからおよそ6時間後に指数が最大になっていること、またその後はなだらかに低下していくのが特徴である。詳細は別に述べることにするが、いわゆる血液検査や尿検査によってランナーの疲労度検査結果とは様子が明らかに異なっている。

われわれの想定する脳モデルでは、朗読等課題、身体運動の継続などによって、発話音声の第1リアプノフ指数の時間的平均値は上昇すること、また発話者のストレス状態に対応し第1リアプノフ指数が変化すること、これら現象についても、脳そのものが処理負荷の情報に対応し、過負荷状態に陥らないように、目的定義機能が、残された余裕度に応じて、身体制御機能に対して生成する制御目的情報の品位を低下させたため、身体制御機能による発話器官の制御品位が低下して、結果、発話音声の品位が低下すると考えている。これは、身体的疲労によりCEM値が上昇することについては説明ができるが、超長距離走の場合のように、ある時期から指数値が低下する傾向にあることについては、十分な説明ができない。ただし、長時間にわたり同じようなストレスを受けると、通常時において身体制御を行なう脳の機能野がなすのとは異なる脳の働きによって運動等を持続しようとすることはありそうなことである^{註11}。

さて、発話音声のカオス性に注目すると、録音機器などを所与とするならば、例えばCEM値から確率的に発話者の年齢をいい当てることできるかもしれない。また同様に性別についても可能かも知れない。CEM値の短時間変化をもたらすストレスについて考えると、例えば上で示した録音前知識の種類や程度によって、同じストレッサーであっても被験者ごとに受けるストレスの強さ、言い替えれば刺激の受取り方はひとそれぞれであるという、極めてあたりまえとおもわれる帰結を得る。しかし、配慮が必要な点は別にあり、すなわちストレス、刺激の種類によってCEM値を通じて被験者を類系的に分類する

ことが可能な場合がありそうだという点である。ここでストレスとはハンス・セリエの意味でのストレスのことであるが、疲労感とかリラックスした気持ちなど、ひとの生理的・心理的状态、それら変化を、CEMによって知る可能性だけではなく、他の方法では知ることが困難なこと、例えば脳の無意識な「使い方」、機能の仕方の個人差を知る手立てとなりうる可能性について、われわれはこれを否定する分析結果を持たない。

先の長距離走ランナーに1型糖尿病患者がおり、競走中にインスリン注射を行なっている。注射によってCEM値にはっきりとした変化が起こる現象が認められる。このことは、例えば医薬品開発の場において、薬品の効果を検討するときに被験者の音声を分析することが、血液検査など追加の心身ストレスを被験者に与えることに替えて用いることが可能となれば、これは素晴らしいことである。けれども、声を録音するだけで、というあたりの気軽さからくる配慮なしの生理的・心理的状态の検査は、容易には社会は容認するとは思われない。

さて、小学生のCEM値と比較するとき、中学生のCEM値からは性差あるいは年齢差が認められにくい。そうすると、CEM値の変化を観察することでそれ以外の要因による影響の個人差、すなわちどのストレッサーがどの生徒に固有に働き、結果としていかなる生理的・心理的效果をもたらすのかということが、中学生については比較的に見出し易いといえる。これによって、子どもの脳機能の発達を、特定の意図をもって個別教育的に操作できる可能性があるとするならば、ことの是非はともかく学校教育に与える影響は無視できない。ストレスとそれに対する反応が経験として蓄積されることで、脳は特定の機能を持ち、また発達すると考えられる。どの種のストレスが、誰に強く弱く刺激を与えるのかを、発話音声のカオス性を検討することで知ることがあるわけだが、刺激が脳の機能をいわば構成していく様子が、ひとごとに異なるわけであるからして、発話音声からひとの個性の萌芽を知る可能性について期待することができる。このことについては場合により容認されることであろう。

本稿では、発話音声のカオス性からひとのストレスと生理身体的・心理的状态、また主にその時間経過による変化を観察して、人的ミスに起因する災害を減らすことが可能か、という研究課題に取り組む中で偶然に知り得た子どもの特性について考察した。今後蓄積される音声データから、また別の特性やそれによって配慮すべき事情が生じる可能性が十分にあることを、最後に記す。

^{註10} 第20回東京学芸大学24時間実験ラン(11月6日、7日)

^{註11} 拙稿「学校や家庭における情報機器の使用と疲労」

『2005PCカンファレンス論文集』CIEC、2005年で若干触れる。