

## 8. 作業信頼性評価技術と有効性検証実験計画

機上等技術領域 ※塩見 格一

### 1. 研究の経緯

1998年に発話音声の“ゆらぎ”の状態が発話者の疲労状態によって変化する、と考えられる現象を発見して以来、筆者は、その“ゆらぎ”の程度を定量化するためのソフトウェア開発を進めてきた。<sup>[1]</sup>

発話音声の“ゆらぎ”は、発話音声をサンプリングすることにより生成される時系列信号から、カオス理論における信号解析で利用されるストレンジ・アトラクタを生成することにより視覚的に観測することができる。また、“ゆらぎ”の程度の定量化は、発話音声からストレンジ・アトラクタを生成することができれば、その第1リアプノフ指数を算出することにより可能である。

発話音声における問題は、一般的な発話音声からは、カオス理論が想定する様な安定なストレンジ・アトラクタを生成することができない、ということにあり、従って、一般的には第1リアプノフ指数が計算できなければ、“ゆらぎ”の程度を定量化することもできないので、その結果、疲労状態の程度を判定することもできない、ということにある。

カオス理論の枠組みでは、時系列信号を生成するダイナミクスが不変であることを前提として、生成された時系列信号からダイナミクスの性格を推定するが、即ち、第1リアプノフ指数の算出等を行うが、一般的な発話音声においては、各母音を生成するダイナミクスは相互に異なっている。また、個々の母音の発話継続時間は長くても数百ミリ秒程度と短く、その継続時間に対しては、安定に第1リアプノフ指数を算出することができない。発話音声に関するカオス論的な研究においては、単母音を比較的長く（1～数秒）発話して、近似的に第1リアプノフ指数を計算する程度以上の分析は行われてはいなかった。

以上の様な状況において、筆者等は時間局所的な第1リアプノフ指数とも考えられる指標値（CEm/CEM: Cerebral Exponent micro / C.E. Macro）を定義し、一般的な発話音声において、その“ゆらぎ”の程度の定量化を行った。

以来、発話者の覚醒度（大脳新皮質活性度）の診断値としてのCEMの特性検証と信頼性向上を目的として研究開発を進めてきた。

### 2. 現状における成果

以上の研究により、2009年4月時点において、

数秒の発話音声から、その発話者の過労状態を警告する装置の実用化はほぼ果たされている。発話音声分析装置は、汎用パソコンをプラットフォームとして、オーディオI/O装置とマイクロフォン、また操作のタッチパネルを有する表示装置から構成され、5秒程度の発話音声を5秒以内に処理することができる。音声収録フォーマットは\*.wav形式24bits@48.0kHzである。サンプリング周波数を高くする程に診断値の信頼性が改善されることは原理的に明らかと考えられているが、リアルタイムなアプリケーションとしての運用が求められる場合、現状のパソコン性能からは24bits@48.0kHz以上のフォーマットを処理することは、現時点では未だできていない。

発話音声により過労の診断を行おうとする場合、従来の周波数分析等を基本とする手法においては、多数の“過労時の音声”と“健常時の音声”を収集し、その間の差異を特徴抽出により発見しなければならないが、当所の発話音声分析装置では、「**過労時には発話音声の“ゆらぎ”が減少する。**」ことを仮説として、その肯定的な検証結果を原理としている。前者の枠組みはデータマイニングと呼ばれ、パソコン等における統計処理ソフトウェアの充実により、最近は様々な場所で様々な課題に適用されているが、実は、思考実験等により結果が予め予想される様な場合以外では、著しい成果が実現されることは少ない。発話音声分析においては、“過労時の音声”と“健常時の音声”との差異を発見する前に、一般的に収録された音声を“過労時の音声”と“健常時の音声”とに識別しなければならないが、その識別を人間が主観的に行った場合には、経験的に構築された主観以上の信頼性を有するシステム等は、どんなに頑張ってもデータマイニングの成果としては実現し得ない。

我々の研究開発は、先の仮説を検証することとして進めてきたものであり、被験者数は百人程度と少ないが、彼等を、十数時間を掛けて疲労させたり、注意力を喪失させたりしている訳で、その過酷な実験において、仮説を否定しなければ説明が付かない様な実験結果は唯一の一つとして発生してはいない。開発を進めて来た発話音声分析装置の過労状態や漫然状態に対する警告機能の信頼性は、我々の主観を遥かに越える高いものとなっていることが期待され、筆者は、その事を信じている。<sup>[1,2,3]</sup>

### 3. 今後の研究開発

発話音声分析装置は、今日まで、以上の様に、過労状態や漫然状態等、発話者の心身状態を“疲労度”、或いは“覚醒度”の様な主観に近い指標値との相関や整合性を向上させることを目的に開発を進めてきた。しかし、予防安全装置としての性格を、将来的に想定される一般の利用者に分かり易く説明するためには、日常的な“疲労”や“疲労感”を尺度とした様な説明は、今日までは、有効であったと思われるが、“疲労”や“疲労感”に捕われていたのでは、筆者は、現状以上のエンジニアリング的な成果を実現することは難しいと考えている。

誰しも、個々人においては、「疲れていれば、ミスや事故は起こし易い。」と想着いても、自分がどの程度疲れているのか、更には、昨日と今日ではどちらがどの程度疲れているのか、と言ったことを他者に理解してもらうことが殆ど不可能な様に、今日、他人の疲労度をエンジニアリング的な目的に適う程に正確に知る方法は存在しない。

発話音声診断装置の算出する診断値であっても、これを“疲労度”の尺度と断言してしまえば、その瞬間に、個々人の主観との整合性が失われる状況が多発して、予防安全装置としての信用も可能性も失うこととなってしまう。

そこで筆者は、従来使用してきた“疲労／疲労度”や“眠気／覚醒度”の代わりに、今後は“作業精度／作業信頼性”を尺度として予防安全装置の研究開発を進めたいと考えている。普遍的に、作業者が疲れていればその作業の信頼性は低下するであろうし、眠くても作業の信頼性は低下するであろうことは、一般的な感覚とも整合し、理解し易いことではある。しかし、今後の発話音声分析装置の性能向上と実用化を目的とする研究開発において、筆者は、「発話音声から算出される指標値により発話者の疲労度が評価可能であり、→疲労度が高くなっているから発話者の作業信頼性が低下している筈であり、→従って事故等を起こす可能性が高くなっている。」との警告手順を「**発話音声から算出される指標値が発話者の作業信頼性の低下を示しており、→従って事故等を起こす可能性が高くなっている。**」と言う様に、より直接的な明確なものにしたいと考えている。

上記警告手順の変更は、認識の修正であるから、本件研究開発に係る者については、その個々人において認識を修正すれば、それ以上に必要な事柄は何もない。問題は、今日まで、我々が、発話音声分析装置を“疲労度”の評価装置として紹介してきた、

将来的にその装置の利用者として想定される人々に、より一歩進んだ認識を持ってもらわなければならないことにある。

発話音声分析装置の完成度が向上し、実用化（実運用形態というべきか？）が見えてきた今日、「**声でお疲れ測ります！**」と、必ずしも正確ではなくとも分かり易く言っていたセールス・トークを「**声を分析すれば、“見落とし”や“手元の狂い”等々のヒューマン・エラーの発生確率の変化を評価することができます。**」と、日常的には興味や関心を持ち難い、より正確な表現に修正しなければならない。

単に、カードを読めば疲れているか、或いは否かが分かる、と言った安易な認識で発話音声分析を行えば、主観的な“疲労感”との齟齬は不可避であり、利用者の誤解によるものではあっても、発話音声分析装置はその信用を築くことはできなくなってしまふ。現状の予防安全装置としての、発話音声分析装置のデザインは、「**装置が過労と判断した場合には、発話者はほぼ間違い無しに過労であり、安全のためには、直ちに休憩を取らなければならない。**」と言うものであり、「少しでも疲労の兆候に似た兆候が観測されたら、安全サイドに、一先ず警告を出しておこう。」と言うものではない。

機械の異常検出であって、コンピュータが自動的に処理する様な問題であれば、疑わしき予兆に対しては全て警告する様にシステムをデザインすることにも合理性はある様に思われるが、相手が人間である場合には、その様なシステム・デザインは全く不適當である。人間相手の機械やシステムは、「**小さな親切を、大きなお世話にならない様に、積み重ねる。**」デザインでなければ、人類の大多数を占める我が儘で自分勝手な人間には決して使って貰える様にはならないことは歴史の示す処である。

筆者等は、将来的に「発話音声分析装置は予防安全装置として社会に大きく貢献する装置になる。」と考えており、そのことを広く理解してもらい、これを1日も早く普及させることを含めて、研究開発者の責任は重大だと理解している。例えば、普及の遅れにより、防ぐことが可能だったと思われる様な事故が起きるとすれば、それは大変に残念なことに違いない。

そこで筆者等は、将来的に想定される発話音声分析装置の利用者に「世の中に“疲れている声”や“健全な声”がある。」のではなく、「**声の分析から分かるのは“発話者がミスを犯す確率”の変化である。**」と明確に理解して貰うために、これからの数年間で、発話音声から発話者の作業信頼性の評価が可能であることを明確に示す実験を行いたいと、またその

実験により明確に肯定的な実験結果を得たいと考えている。

#### 4. 作業信頼性の評価手法

平成17年以来、鉄道車両運行シミュレータにおける運行業務模擬作業や、テストコースにおけるトラックによる実車走行による、発話音声分析技術の信頼性評価実験としての疲労等評価実験においては、朗読音声 CEM\_reading 及び換呼音声 CEM\_calling と、臨界フリッカ識別周波数、血中乳酸値、血糖値、疲労度等の主観的な自己申告データを収録・取得し、また作業精度に関しては、鉄道車両運行業務模擬作業においては運行速度調整精度の評価として、トラックによる実車走行においては周回ラップタイムとハンドル操作におけるフラツキの度合いとしてデータを得た。

これらの実験において、朗読音声は発話を主作業として収録されるものであったが、換呼音声は運転等の主作業に対する副作業として発話される性格を有するものであったことから、夫々の音声から算出される診断値が異なる性格を有するものであることが明らかになった。即ち、朗読音声から算出される診断値は、ほぼその時点における大脳新皮質の活性度を示すものと考えられたが、換呼音声から算出される診断値は、主作業による負荷が高い場合には、必ずしも高くはないことが明らかになった。これは大脳が有限なシステムであり、運転操作作業と発話作業で大脳資源の分割が発生した結果、より多くの資源が運転操作作業に割り付けられ、相対的に発話作業の資源が減少し、結果としての発話音声に高負荷な精神活動を射影することができなかつた、と理解することができる。

以上のように、発話音声から発話者の作業信頼性を評価しようとする場合、その信頼性評価を完全リアルタイムに実現しようとする場合には、発話音声

が主作業によるものであることがどうしても必要である。間歇的に朗読音声を収録したのでは、朗読カードを意識的に見る行為により、カードを見ようとした行為以前とは、特に疲労状態が軽度な場合には、覚醒度には明確な差異が発生していることは明らかと思われる。仮に、被験者が有る時点において漫然状態で集中力等を喪失していたとしても、朗読カードに意識を向けた瞬間は、最早漫然状態とは言い得ない状態に変化している訳であり、原理的に、朗読音声の分析から漫然状態を検出することはできそうもない。強い眠気に襲われている様な状況については、カードの朗読中も同様に眠いであろうから、覚醒度の低下は検出可能であろう。

なお、以上のことは、発話音声の主作業でない作業の信頼性の評価が発話音声によっては全く不可能であることを意味するものではない。将来的に、“身体的な運動による作業等、発話作業以外の主作業”が、それは個人において異なるものとなることが予測されるが、“副作業である発話作業”に及ぼす影響を定量化すれば、主作業の難易の影響を含めて、副作業発話音声から、その発話時の作業者の作業信頼性を評価することは十分に可能である筈である。

筆者等が、発話作業を主作業とする作業において、発話音声から算出される指標値と作業信頼性の関係を明確にしたいと考えるのは、その実験結果が「発話音声により、その発話者の、発話時の作業信頼性の評価が可能である。」と言うことを明確に示す証拠になると考えるからである。

図1は、予めICレコーダに合成音声により記録した暗算課題を毎十秒に1問の割合で再生し聞かせ、被験者には次の質問までの間に口頭で回答させ、その回答発話音声から算出したCEM値と、その暗算課題の実施前後に収録した朗読音声から算出したCEMを示したものである。暗算課題には難易度が設

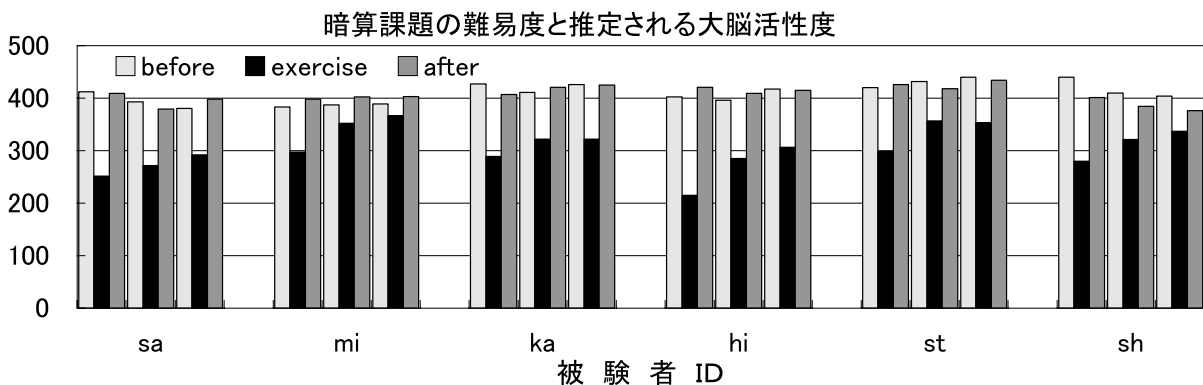


図1 暗算実験における回答発話音声から算出された大脳活性度

定されており、図1においては、各被験者において左が最も簡単な課題（一桁の足し算）に対する結果であり、右が最も難しい課題（繰り上がりの多い二桁の足し算）に対する結果である。各課題の実施時間は全て十分であり、60問の足し算を行っている。

この実験においても朗読音声による CEM\_reading 値と回答音声による CEM\_calling 値は、そのレンジが異なっており、一律に評価することはできないが、CEM\_calling において、多くの被験者で、難易度に従って CEM 値が上昇していることが観測されている。暗算課題の難易度が異なるために、算出された CEM 値と正答率を対応付けることは、この実験の結果において意味はないかも知れない。しかし、難易度を一定にして、間歇的にはあっても、被験者が眠気を感じたり、集中力を喪失したりする程の長時間、継続的に、この様な実験を実施して、**心身状態の変化に伴う作業信頼性の低下と、その時点における CEM\_calling 値との間に相関関係を確認することが可能であれば**、筆者等は、発話音声により発話者の作業信頼性を評価するための技術の第一歩を肯定的に築くことができると考えている。

## 5. おわりに（実施を計画する実験内容）

信頼性評価のための課題としての暗算課題は、心身状態計測を含む多くの人間計測において、今日、精神性負荷として、また計測手段そのものとして利用されている。しかし、その実施方法にも因るが、作業信頼性計測の手段としての暗算課題は、比較的弱い負荷を長時間に亘り加える場合の効果の計測に向いている手法であり、信頼性の低下の観測を目的としては、実験に数時間から5、6時間以上の時間を要することが想定され、容易に、多くの被験者を動員して実施できるものではない。

慢性疲労と急性疲労は、脳を含め身体に対して全く異なった影響を及ぼすものであるから、数十分から1時間程度で急激に作業信頼性が低下する様な性格の作業負荷によっては、漫然状態を経ての疲労状態への移行等を観測する事はできない。作業負荷は、計測目的に対して適正に、実験シナリオと共に実現することが必要であり、経時的な作業信頼性の変化を観測しようとする場合には、被験者が作業に慣れて、その作業を上手く処理できるようになる過程が、また慣熟の結果としての安定で一様な作業実施過程が、疲労等により作業精度が低下する以前に、観測されるものであることが必要不可欠である。

また、負荷作業が特に目を疲れさせる様なものであることも適当ではなく、作業信頼性計測作業がパソコンのディスプレイを見詰めながら行わなけれ

ばならない様なものである場合には、予め、数時間程度の歩行等の軽度な運動により肉体的な消耗を加速しておくことや、作業信頼性計測実験を起床から半日程度経過させてから行う等のシナリオ上の工夫が必要となる。なお、作業信頼性の計測は、その低下の観測が期待される状態以前にも、実験シナリオが肉体的な消耗過程を含むものであれば、その消耗過程を開始する以前を含めて、消耗過程の途中にも、十分な頻度で計測しておかなければならない。

現在、筆者等は、“耳で聞く負荷作業（例えば、数字を聞いて算術演算を行う。）”、“目で見える負荷作業（例えば、表示される文字列を入力する。或いは、リストから探す。）”、“手で操作する負荷作業（例えば、液体を計量する。或いは、ネジの本数を数える。）”を組み合わせた、信頼性評価実験のための環境を整備している。10月までには、夫々の負荷作業の機能を確認する予備実験を完了したいと考えている。また、10月以降は、航空管制シミュレーション実験のシナリオに信頼性計測作業として組込める様に、即ち、総合的な航空管制業務負荷評価環境として、整備を進めたいと考えている。

業務負荷評価環境としての整備が進めば、航空管制官諸兄には様々にご協力をお願いすることになると考えています。その折には、将来的な業務環境の改善に繋がる技術資料の作成のためにご理解いただきたく、宜しくご協力等いただけますようお願い申し上げます。

## 謝辞

発話音声分析装置の開発評価に多大なご協力をいただいている芝浦工業大学殿、日本女子大学殿、関西学院大学殿、鉄道総合技術研究所殿、日産ディーゼル株式会社殿、他ベンチャー企業の各社各位に、深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] 塩見：“発話分析から考える脳機能モデル”，感性工学研究論文集，Vol. 4, No. 1, Feb. 2004.
- [2] 塩見，他：発話音声による疲労状態評価検証実験の手法と結果，日本人間工学会第35回関東支部大会，Oct. 2005.
- [3] 塩見，他：発話音声によるトラック運転手の心身状態評価手法と結果，日本人間工学会第36回関東支部大会，Dec. 2005.
- [4] 塩見，他：二種類の作業中発話音声のカオス性の変化，日本人間工学会第49回大会，Jun. 2008.
- [5] <http://www.siceca.org>