

21. トラック走行による発話音声分析技術検証実験とその結果について

機上等技術領域 ※塩見 格一

1. はじめに

1998年に発話音声のカオス性が発話者の疲労状態等心身状態によって変化することを発見して以来、筆者は、音声信号処理アルゴリズムとその実装であるアプリケーション・ソフトウェアの高性能化を進めてきた。

発話者の脳の疲労や活性度を評価する装置を実現しようとする時、何を以て高性能と言う事が可能であろうか。

疲労については、そもそも疲労の尺度等は存在しないのであって、存在しない尺度に対しては信頼性等の概念は矛盾をもたらすが、脳の活性度については、今日、脳の活性度を直接に評価可能と考えられる脳機能診断装置は存在する。例えば、脳の酸素消費量を測定する装置を利用すれば、「脳資源余裕が少なく無理をしているのか?」、或いは「何等かの作業等に集中して“遣り甲斐”を感じているのか?」、「単に興奮しているだけなのか?」、等々を識別することはできなくとも、たくさん酸素が消費されていれば、活性度は高いと言い得る。

発話音声から算出される指標値と脳の酸素消費量との相関関係については、少しだけ東北大学殿との共同研究で計測したが、否定的な結果は存在しないが、未だ有為な相関が存在することを肯定する程の結果は得られていない。脳機能診断装置は、大掛かりで高価な装置であって、簡単には使えないし、一人の被験者を何度も計測することもできない。

そこで筆者等は、“誰もが疲れていることを疑わない被験者の発話音声”を収録分析することで、これを、同様に“誰もが疲れてはいないと思う様な被験者の声”の分析結果と比較することにより、発話音声から人間の過労状態の判定が可能であること

を示すこととした。

この場合のアルゴリズムやソフトウェアの高性能化は、できるだけ少しの発話音声データから、できるだけ高速に、疲労や脳の活性度の変化との相関関係を失わない指標値を算出することと考えられる。筆者は、特に、発話音声から算出される指標値が、覚醒度の指標値として有効と考えられている臨界フリッカ識別周波数(CFF)値との間の相互相関値が高くなる様に、アルゴリズムの改善やパラメータ値の調整を行ってきた。

2007年にはテストコースにおいて、遂に、小型トラックを用いて、運転者が疲労困憊して運転作業を放棄するまでの、また居眠り運転を起こすまでについて、発話音声データと心拍数等の生理データの収録を行い、発話音声から算出される指標値(CEM値)により発話者への疲労の蓄積や、過労状態の判定が可能であることを確認した。

2007年、発話音声分析装置はCENTEと名付けて製品化され、その当所向け以外の1号機はいすゞ自動車の中央研究所に2008年2月に納入された。

本稿においては、発話音声分析装置の製品化までの経緯と、その機能評価実験としてのトラックによる夜間走行実験の一部結果を紹介する。

2. 発話音声分析装置開発の経緯

1998年、連続的な発話音声を1秒間の処理単位に切断し毎秒の最大リアプノフ指数(LLE)を計算していた当時、3~5分間の発話音声から算出されるLLE値を移動平均することで発話者の疲労の蓄積(或いは、ストレスか?)が観測可能であった。

2001年、発話音声から生成される時系列信号の全てのサンプル点を起点としてSiCECA(Shiomi's Cerebral Exponent Calculation Algorithm)処理を行うことで、十秒程度の発話音声から発話者の脳の活性度が評価可能になった。音声信号を44.1kHz或いは48.0kHzのサンプリング・クロックでA/D変換した場合、毎秒の発話音声からは100k個以上のCEM(時間局所的なLLEと見做すことができる)値を算出する必要があり、当時のパソコンでは高性能のものを利用して1秒程度の音声の処理に1分程度を要した。

2002年、SiCECAをCRAY-MTA2(図1参照)上に実装し、1秒間の音声信号を1秒で処理可能とした。CRAY-MTA2はマルチスレッド処理をハードウェア



図1 CRAY-MTA2



図2 車載装置

アにより実現した、歴史上初めてのスーパー・コンピュータで、その1号機が当所に納入された。

CRAY-MTA2は、液冷式のシステムであり、冷凍機まで含めると10tを遥かに越える重量であった。消費電力も

膨大で、時に、当所全体の10%に及んでいた。

車載装置の実用化等は想像もできなかった状況から、 μ CPUの処理性能の1桁程度の向上と、アルゴリズムの改善による2桁の処理速度の向上により、またソフトウェアの実装手法の改善により、2007年には、最高性能のパソコンを利用すれば10秒の発話音声も10秒程度で処理できるようになった。

信号処理ソフトウェアは共同研究先の企業によりCENTEとして商品化され、2007年12月には、芝浦工業大学殿との共同研究として、日産ディーゼル社殿の上尾テストコースにおいてASV評価試験トラックに搭載され機能評価試験が実施された。

コックピット設置型のマイクロフォンによっては、低騒音の高性能トラックであっても、現状のシステムにおいては、信号処理ソフトウェアの想定する音声信号品位での運転者の発話音声の収録はで

きなかった。しかしながら、ヘッドセット・マイクロフォンを利用した場合、十分な音声雑音比の発話音声信号を収録することが可能であった。

3. 夜間走行疲労評価実験

2007年8月22日夜から9月11日朝までの20日間、寒地土木研究所の寒地試験道路（図3を参照）において、小型トラックを利用して、苫小牧日本通運株式会社の職業運転手20名を被験者として夜間の実車走行実験を行った。

実験は、長時間の単調な走行における心身状態の変化を観測することを目的とし、心拍、CFF、疲労感や眠気の主観的な申告データ、また発話音声の収録を行った。特に、本実験は日勤の業務にある職業運転手による夜間の走行であり、疲労に因り運転業務の継続が困難、或いは不可能になるまでの心身状態の変化を観測する事を目的とした。

運転者には18時に観測室に来てもらい、実験の概要を説明し、体力測定後に1周だけ練習走行を行い、19時頃から本番走行を行った。実験走行は、テストコース(0)位置から開始し、時速40kmの一定速度で14周走行して(0)位置で止まり、運転席で生理データ等を計測するまでを1試行として、この繰り返しとして実施した。

発話音声は①～④位置に設置した看板横を通過時に「○番通過速度良し！」と換呼してもらい収録した。また(0)位置において、フリッカ・テストと自覚症状調べに併せて、朗読カードを利用して朗読音声を収録した。

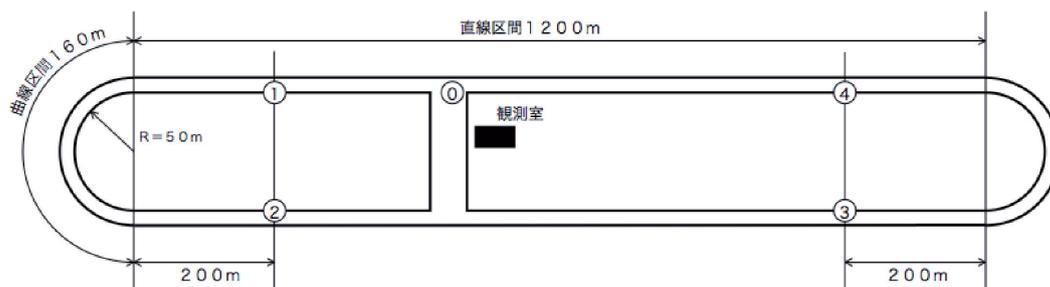


図3 テストコースと標識の配置

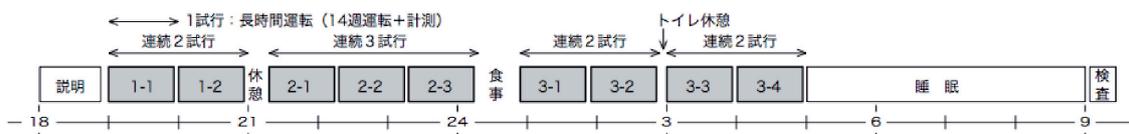


図4 タイムテーブル

実験走行は、図4のタイムテーブルに示す様に、19時から2試行を連続して行い、30分程度の休憩を挿んで次に3試行を連続して行った。その後30分から1時間程度食事を含む休憩を取ってもらい、翌1時前後から翌朝まで、トイレ休憩のみを挿むこととして4試行（2試行+トイレ休憩+2試行）を連続して行った。

本実験においては、助手席に、当所職員を始めとする実験者において監視要員を置き、これを1時間交代で配することにより、不測の事態の発生を避けた。また、本実験では、助手席に緊急停止用のブレーキを設けた改造車両を使用しており、テストコースには10m間隔で反射テープを巻いたコーンを並べ、コーンを撥ねた場合に緊急停止させることとした（図5を参照）。

また、助手席監視要員は、適時、運転者の姿勢や挙動を確認し、データ通信により観測室に監視情報を送った。助手席以外にも常時、コース上2ヶ所に監視要員を配して、蛇行の発生等を監視した。

実験結果については、20名の被験者の内、9試行の全てを走破した者は15名であり、5名は7試行、また8試行（の途中）で運転を継続することが不可能な状態に至った。

なお、結果的にコースに設置したコーンを撥ねる事態は1回も起きなかったが、コーンの設置できないテストコースの内側に蛇行し、助手席の監視要員がハンドルを操作する状況は1度発生している。

図6は、第7試行終了時に運転の継続が不可能である旨を申告して実験を中止した被験者における、走行中の換呼発話音声から算出されたCEM値を10分の時間幅で移動平均した場合の平均値の経時的な変化を示したものである。

図6に実験結果を示す運転者においては、第7試行においては時速40kmでの定速走行が不可能になり、後半の周回においては走行速度が時速30kmにまで低下する等、著しい運転パフォーマンスの低下が見られた。



図5 明け方近い走行風景

本被験者においては、第1試行、第2試行における換呼CEM値は比較的安定しており、特に第2試行においては多少の増加は見られるものの、その変化は少ない。（経験的には、CEM値が高い値で安定している場合には、被験者が兎も角一生懸命作業を行っている、と考えられる。）ところが約30分の休憩の後の第3試行以降、各試行において、周回を重ねるに連れて常にCEM値が低下する傾向を示している。

図6に示すプロットにおいて採用しているスケールリングにおいては、健常状態における標準偏差は大きくとも50程度であり、1時間の内に100以上も平均CEM値が低下する状況は、経験的には、運転者の消耗が極めて著しいものであることを意味しており、この経験則が正しかったことは、本実験においても確認された。

今日までの実験結果より、朗読音声によるCEM値については、朗読作業そのものが主作業であり、その朗読CEM値から直ちに発話者の疲労状態や覚醒度を判定することが可能と考えられていた。また逆に、発話作業が運転操作作業に従属する副作業である場合には、必ずしも換呼CEM値のみからは疲労の蓄積を正確には判定することはできない、とも考え

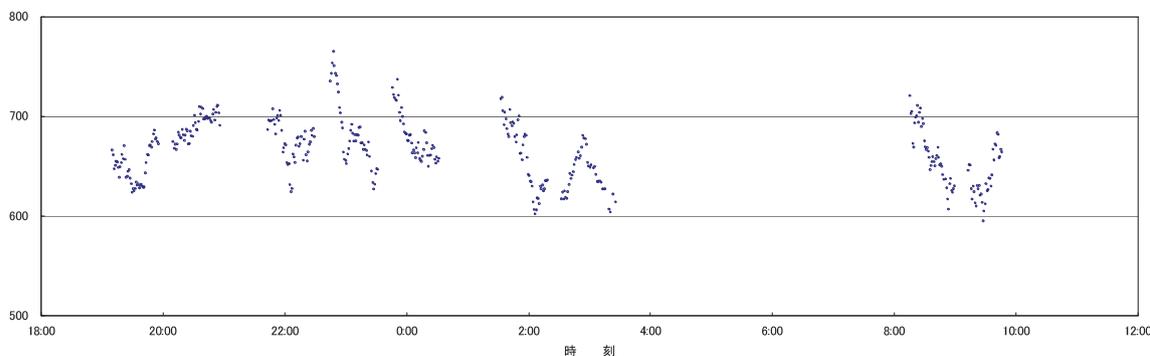


図6 ある被験者における発話音声から算出された指標値の変化（2007年9月7日）

られていたが、過労状態とも言い得る様な過度な疲労状態においては、朗読 CEM 値と同様に換呼 CEM 値からも、運転者に対して警告を発するには遅きに失するかも知れないが、十分に判定可能であることが明らかになった。

副作業による音声から算出される CEM 値であっても、発話者が健常状態にあるならば、その主として行っている作業が困難なものであって、その結果発話が機械的なものであっても、その CEM 値は健常値に比較して高い値を取り得ないだけであって、健常値から標準偏差以上も低い値となる様なことはない。朗読であっても、また換呼であっても、発話音声から算出される CEM 値が低い状況においては、発話者は何等かの消耗状態にあることは間違いの無い処で、その覚醒度は健常状態に比較して明らかに低下している。

4. おわりに

人間の脳は有限なシステムであるから、音声为主作業として発話される場合と、何等かの別な作業に従属する副作業として発話される場合では、発話音声のカオス性に現れる影響は異なったものとなることが確認された。運転操作等の作業が誰が行っても難しい様な場合、脳に資源的な余裕が十分にある場合であっても、その多くが運転操作等作業に配分されれば、付随する発話作業による発話音声から算出される CEM 値が高くなることはない。

算出される診断値により、休憩の指示を出す等のフィードバックを発話者に対して行おうとする場合、極端に高い CEM 値や極端に低い CEM 値が算出された場合には、発話者は、まず間違いなく健常状態を逸脱しているので、例えば管理者が、或いは装置が自動的に、適正な指示を発出することは問題なく可能と思われる。現状問題と考えられるのは、過労状態等に対して比較的軽度の疲労状態や緊張状態にある様な場合であって、その様な心身状態においては、副作業としての発話音声から算出される換呼 CEM 値は、脳資源の運転等作業への配分と発話作業への配分が発話者の個性に依存することにより、その信頼性が低下する。

この問題は、予防安全装置としての CENTE が利用者の健全性に対する問題を検出した場合の対応策等を含めて検討しなければならない問題であり、今後、様々に想定される実運用環境において、機能評価実験を繰返すことにより、個々の現場に個別に対応し、一つずつ解決して行く他ないものと思われる。

1998 年以来開発を続けてきた発話音声信号処理アルゴリズム/ソフトウェア、及び発話音声分析装置につき、2007 年には、遂に、研究室用の計測機器 CENTE としてではあるが、商品化に漕ぎ着けることができた。

CENTE 以前にも、2002 年には Nono や Parole として音声信号処理ソフトウェアの商品化がなされたが、誰でも利用できる様なものではなかったため、利用者は大学関係者が主であった。これに対して CENTE はタッチパネルを触るだけで誰でも直ぐに使える様になっている。装置そのものには、現状、熱設計上の不具合や、耐振性能が不十分であること等、幾つもの問題が存在することは明らかになっており、今後の改善が必要であるが、利用者から改善の方向が示される程度の完成度は実現されている。

音声信号処理速度についても、現状の CENTE は十秒程度の朗読カードによる発話音声の処理を十秒程度で行っているが、信号処理部のソフトウェアは 90%程度までマルチスレッド化されており、今日の最高性能のパソコンをプラットフォームとすれば、十秒の発話音声を 1 秒程度で処理できる処まで改善されている。

2008 年中には、西武バス株式会社殿のご協力を得て、CENTE を利用した観光バスの運転士さん達の発話音声の収録実験を実施する予定であり、業務用の予防安全装置としての実用化に向けての更なる改善が期待される。

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、いすゞ自動車株式会社殿、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。

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] <http://www.siceca.org>