

## 12. 音声の力オス論的指数値の特性と応用可能性

監視通信領域 ※佐藤 清、及川 太、及川 健太郎、塩見 格一

### 1. はじめに

私たちは、電子航法研所が開発した音声解析技術によって得られる指数値（CEM：Cerebral Exponent Macro）と人間の特性との関係を知ることで、音声を使って情報のやり取りをする航空管制官等の心身状態の評価ができないかと考え、研究を続けてきました。

ここでは、これまでに行った実験からわかってきたCEMの特性を整理し、応用が可能と考えられる一つの事柄に関して、実験的に検討しましたので、ご紹介いたします。

### 2. 実験や調査からみえてきたCEMの特性

ここでは、8種類のひらがな課題を使って行った実験の結果を中心に、それ以前に行った実験の結果を含めて、CEMと人間の特性との関係を整理します。

#### 2.1 覚醒水準との関係

図1は、最高速度125km/hまで、同じ速度で曲線部を走れる構造で、高速道路のようにスピードを感じにくいテストコースで自動車を運転した時の結果です。

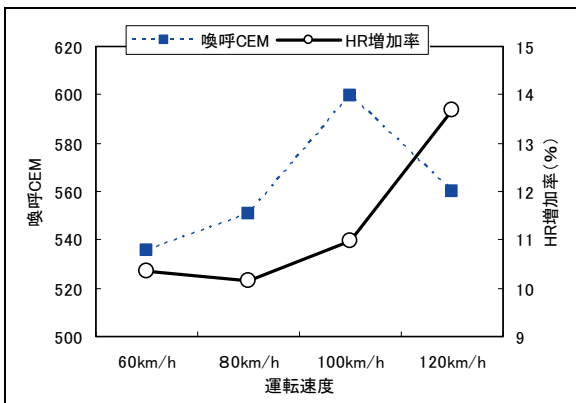


図1 運転速度と喚呼CEMおよびHRの関係

60km/hでは低速すぎて居眠り運転をする人が出ましたが、心拍数（HR：Heart Rate）は80km/hよりもやや増加しています。それに対して、運転中に出した音声のCEM（喚呼CEM）は低下傾向になっています。速度の上昇に伴

いHRは増加し、途中まで増加傾向となる喚呼CEMは120km/hの時に80km/hと同程度まで小さくなりました。120km/hの場合、制限速度に近く、強く緊張した結果と考えられます。

#### 2.2 朗読文字数との関係

図2は、ひらがな課題を用いた実験で得られた、1度に読む文字数の違い（1文字か5文字か）とHRおよびCEMの関係を示したものです。

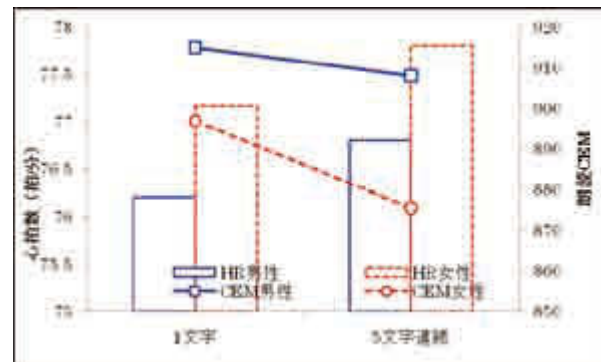


図2 朗読文字数の影響

HRは1度に5文字を連続で読む課題が1文字だけ読む課題より高くなり、CEMは小さくなりました。これは、1度に5文字読む方が呼気の調性をするための意識が働いた（軽い緊張状態になった）結果と考えられます。

#### 2.3 性との関係

図3は、薬剤を服用していない高齢男女のCEMの平均値と標準偏差です。

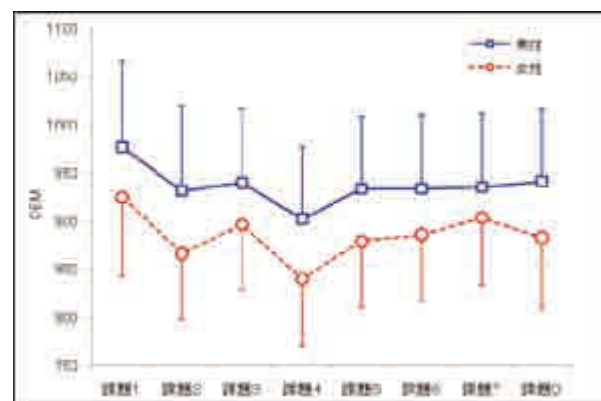


図3 CEMに対する性の影響

全ての課題で男性が大きく、課題7（文章）では差が小さくなっています

### 2.4 発声技術との関係

図4は、男女高齢者と朗読訓練を積んだ大学生の子音のCEMを、ア行を基準に変化率を求めて、比較したものです。

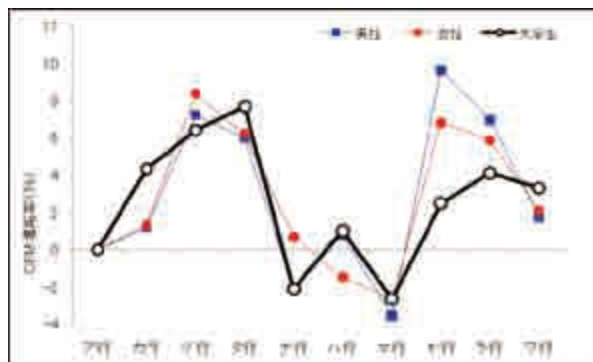


図4 子音における発声技術の影響

高齢男性では舌先を使うサ行とラ行および唇の動きが忙しいヤ行が大学生より大きくなりました。女性ではサ行、ナ行、ラ行およびヤ行が女子大生より大きく、息を強く出さなければならぬハ行が小さくなりました。

これらは、加齢による筋肉の硬化や筋力の低下などが原因と考えられます。

### 2.5 生活環境との関係

図5は、男子校と女子校および男女共学校（いずれも、中高一貫教育校）の高校生の子音のCEMを示したものです。

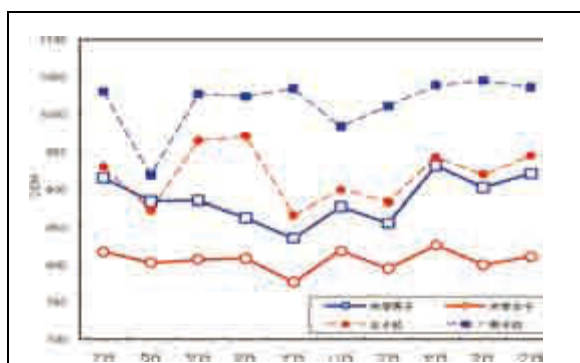


図5 高校生のCEMにみる生活環境の影響

CEMのレベルは、男女とも、共学校が低く、中学生も同じ結果でした。このことは環境によってCEMのレベルが変わる可能性を示唆しています。

### 2.6 薬剤服用との関係

図6は、高齢男性のCEM（平均値と標準偏差）を薬剤服用の有無で分けた結果です。

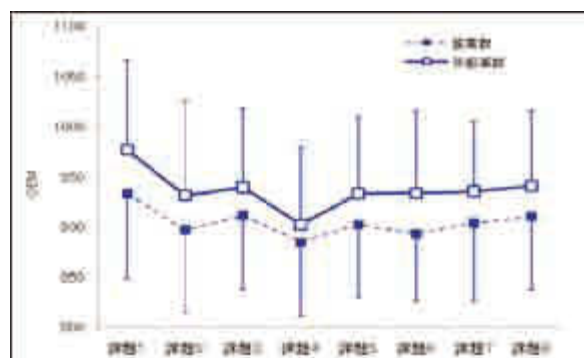


図6 高齢男性CEMにみる服薬の影響

高齢者の皆さんが飲んでいただいていた薬剤は、男女とも、降圧剤や血糖降下薬など生活習慣病に関するものがほとんどで、男性では薬によってCEMが低下し、女性では増加しました。

男性の結果は、降圧剤を服用している列車運転士は服用していない運転士に比してインシデントが多かった<sup>1)</sup>という報告との関連性を疑わせるものです。

### 2.7 その他要因との関係

#### (1) 年齢との関係

CEMは、現時点において、女性では年齢とともに低下していく可能性が示されていますが、男性ではよくわかりません。

#### (2) 情動（感情）との関係

図7は5文字連続読み課題の一般的な配列（あいうえお等）とその逆（おえういあ等）および同じ母音を持つ子音配列（あかさたな等）の結果を示したものです。

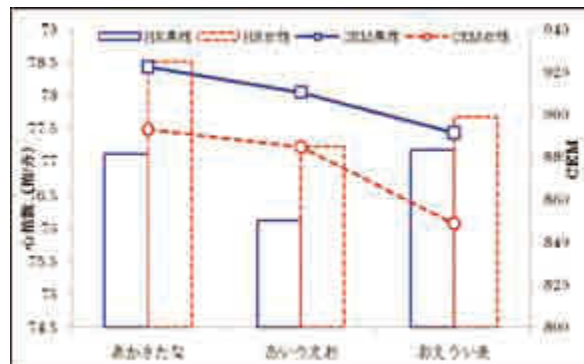


図7 情動の影響

情動（緊張や興奮など）は短時間の感情の変化のことで、心拍数が増加します。

心拍数は母音（あかさたな）と逆配列（おえういあ）が順配列（あいうえお）より高く、CEM は母音が順配列より大きく、逆配列が小さくなっています。心拍数と CEM の関係から、逆配列は緊張（抑制）の結果と考えられ、母音は高揚（興奮）の結果と考えられます。

### 3. 朗読課題選定のための予備実験

眠気に及ぼす課題朗読の影響を知るため、暗算（1回10分）実験を行いました。

#### 3.1 予備実験①

図8は、長めで読み難い昔話、いろは歌およびひらがな課題の母音課題朗読後の眠気尺度と課題難度の関係を表したものです。

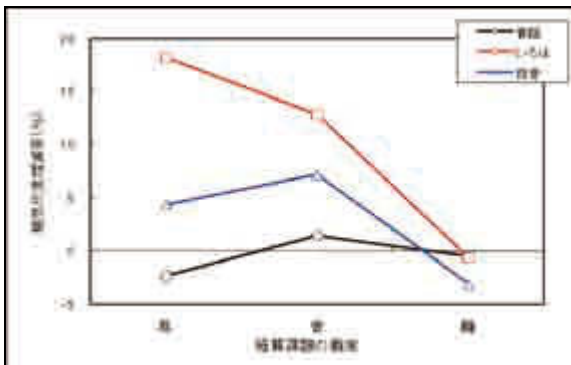


図8 眠気尺度の結果①

長めで読み難い昔話は、最も易しい暗算課題で、眠気が最も小さくなりました。いろは歌は、概ね、課題難度と眠気尺度との関係が期待したとおりになりました。

#### 3.2 予備実験②

図9は、眠気と短めの昔話（長めの昔話を短くした）、いろは歌および数字読み上げ後の眠気尺度と課題難度の関係を表したものです。

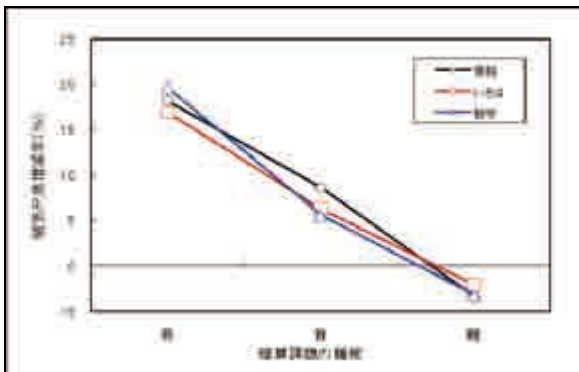


図9 眠気尺度の結果②

課題の内容を一部変更したところ、全ての課題で眠気尺度への影響が同じになりました。

以上の2つの予備実験の結果から、眠気尺度への影響がほぼ同じであった「いろは歌」を、当面、朗読課題に用いることとしました。

### 4. 眠気とCEMとの関係確認実験

ここでは、高齢者の実験結果を受けて、居眠り運転を誘発する危険性がある「眠気」とCEMとの関係を知るため、抗ヒスタミン剤を使って予備的な実験を行いました。

#### 4.1 実験の方法

男性4名が被験者となり、抗ヒスタミン剤を飲んで7時間（10時～17時）、暗算作業と各種測定項目（フリッカー値（CFF）、眠気尺度、心拍数（HR）、朗読時および暗算回答時の音声等）を測定する方法で、毎週月曜日に実験を行いました。服薬は、0錠（服薬なし）、1錠、2錠、3錠の4条件で、被験者が各条件を1回ずつ行いました。

#### 4.2 実験の結果

##### (1) 眠気尺度の経時変化

図10は安静後の眠気尺度を基準とした時の変動率の経時変化を表したものです。

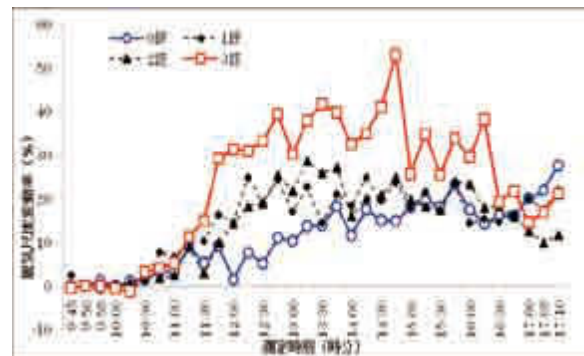


図10 眠気尺度の経時変化

服薬（10時）後1時間半程度で服薬時の眠気が大きくなり始め、それが3時間以上維持され、3錠で顕著になっています。

##### (2) CFFの経時変化

図11は、安静後のCFFを基準とした時の変動率の経時変化を表したものです。

0錠（服薬なし）が高いレベルを維持し、3錠が最も低くなりました。また、最低値が表れるまでの服薬からの経過時間が、服

薬条件によって異なっています。

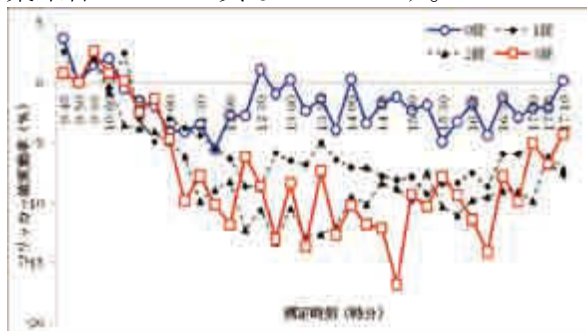


図11 CFFの経時変化

(3) エラー数の累積的経時変化

図12は服薬直後の暗算作業時のエラー数に毎回発声したエラーを加算した時のエラー数の経時変化を示したものです。

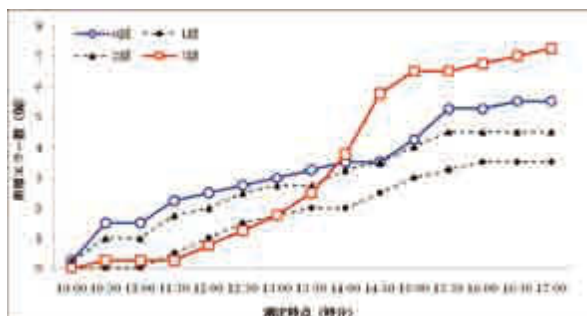


図12 エラー数（累積）の経時変化

3錠以外は、違いがありませんでした。

(4) 回答 CEM の経時変化

図14は、服薬前の暗算作業時の回答 CEM を基準とした時の変動率の経時変化を示したものです。

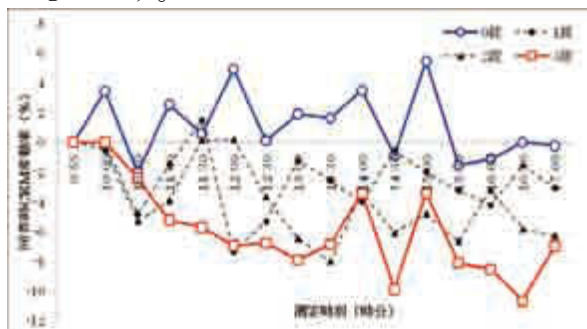


図14 回答 CEM の経時変化

服薬なしが最も高いレベルを維持し、3錠が最も低くなっています。

なお、14:30の作業時にエラーが激増し、回答 CEM が激減し、作業後の眠気尺度が激

増し、CFF が激減しています。

4.3 結果の分析

ここでは、眠気尺度とフリッカー値や心拍数および CEM との相関関係について分析し、表1に示しました。

表1 眠気尺度と各種指標との相関関係

| 項目     | 0錠      | 1錠      | 2錠      | 3錠      |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| CFF    | r=-0.36 | r=-0.88 | r=-0.90 | r=-0.91 |
| HR     | r=-0.90 | r=-0.75 | r=-0.86 | r=-0.76 |
| 朗読 CEM | r=0.00  | r=0.23  | r=0.19  | r=-0.21 |
| 回答 CEM | r=-0.04 | r=-0.43 | r=-0.55 | r=-0.70 |

CFF は服薬時にはいずれも非常に高くなり、HR は薬剤の服用量に関係なく眠気尺度との相関が高くなりました。朗読 CEM は3錠の時のみ負の相関関係がみられました。回答 CEM は薬剤の服用量の増加に伴って相関関係が高くなりました。

5. まとめ

ひらがな課題を使って CEM と人間の特性との関係を調べた結果等から、CEM は①精神的緊張によって低下する、②低覚醒状態では低下傾向になる、③生活環境の影響によりレベルやパターンが変化する、④発声技術によりパターンが異なることなどが分かりました。

眠気と CEM との関係を知るため抗ヒスタミン剤を使って実験を行ったところ、暗算作業時の回答音声から得られる回答 CEM において、抗ヒスタミン剤の服用量が多くなるにつれて、眠気との相関関係が高くなりました。

今回の実験の結果は、航空管制官の作業中の音声を使って管制官の眠気を評価できる可能性を示唆するものです。

なお、朗読 CEM は感度が低いと考えられ、課題の見直しなどが必要と思われます。

6. 今後の課題

今後は、作業中に発声させる言葉や方法ならびに感度の向上方法等に関する研究を推進する予定です。

参考資料

1) 倉又哲夫ほか：交通医学 53, 65, 1999