

21. 発話音声を用いた人間の特性評価の可能性

機上等技術領域 ※佐藤清、塩見格一、及川太

1. はじめに

言葉という情報伝達手段を声に出して情報交換する航空管制官は、航空管制業務に従事し、1 日の時間帯を区切って交替で勤務（交替制勤務）しています。このような勤務には、作業者が疲労し易く、疲労が回復し難い等、作業者の心身状態を悪化させ易い（覚醒水準を低下させ易い）という問題があり、適正な勤務管理が必要です。

発声には上半身の多くの骨格筋（随意筋＝意識の中枢と言われる大脳新皮質前頭葉の命令で動く）が関与するため、音声をカオス論的に解析して得られる指数値（CEM: Cerebral Exponent Macro）¹⁾には、作業者の覚醒水準を評価できる可能性があります。

私たちは、朗読 CEM を用いた航空管制官の覚醒水準評価の可能性を、長時間実験等²⁾で確認してきました。その結果、心身ともに疲労した状態等において、朗読 CEM と作業精度や心拍数および質問紙等との間には、統計的に有意な相関関係が認められ、朗読 CEM を用いた覚醒水準評価は可能と思われる。

2. 発話の種類

発話は、対話型発話（複数発話）と非対話型発話（単独発話）に分けられ、単独発話は、さらに、発話が主作業になる場合（朗読）と副作業になる場合（喚呼）に分けられます。副作業の音声や対話型発話の音声を使って作業者の心身状態評価が可能であれば、居眠り事故の防止に役立つと考えられます。

本報告で扱う音声は、単独発話で、朗読（主作業）時のものですので、得られた CEM には、

朗読課題の難易度（読み難さや読み易さ）の影響や、朗読者自身の発声技術等の影響が表れると思われます。

3. 実験の目的

CEM で覚醒水準の評価をするためには、評価対象者に声を出させる必要があります。これまでの実験では、日本昔話を基に作成した朗読（文章）課題を読むか、作業中に短い言葉を発声した時の音声を収集してきました。ところが、その文章を単なる文字列として読む被験者がたくさん出てきました。そのため、誰にでも同じように読んでもらえる課題の作成が必要であると考えました。

本実験では、発話や発声に影響を及ぼすさまざまな要因（人間の生理学的・心理学的特性など）と朗読 CEM との関係を知ることを目的としています。

4. 朗読課題

朗読課題は、小学生でも読めるよう、「ひらがな」を主体に作成され、①文章（有意味課題）か単なる文字列（無意味課題）か、②無意味課題では 1 文字表示か 5 文字表示か、③5 文字表示では順配列（あいうえお等）か逆配列（おえういあ等）か、④1 文字ずつ読むか 5 文字連続で読むかで難度が異なるように、条件設定されました（表 1）。

課題は、課題 7 が有意味課題で、他は全て無意味課題です。無意味課題は、課題 1 が 1 文字表示で、それ以外は 5 文字表示です。課題 2 は、文字列の並び方が「あいうえお」のように順配列で、文章のように連続で読む課

表 1 朗読課題作成基準

課題	1	2	3	4	5	6	7	8
表示方法	1 文字	5 文字	5 文字	5 文字	5 文字	5 文字	文章	5 文字
文字配列	1 文字	順	順	逆	逆	無作為	順	順
文字列意味	無	無	無	無	無	無	有	無
読み方	1 文字	連続	1 文字	連続	1 文字	1 文字	通常	連続

題で、人間の特性を評価する上で標準となる課題（標準課題）です。これ以外の 5 文字表示課題は、課題 2 の内容を少しずつ変化させ、読む難度が増すようにしました。

課題 2 に対応するのは、文字配列が同じで 1 文字読みの課題 3 と読み方が同じで文字配列が逆の課題 4 です。課題 3 に対応するのは読み方が同じで文字配列が逆の課題 5 で、課題 5 は文字配列が同じで読み方が連続読みの課題 4 とも対応します。課題 6 は、「や行」と「わ行」以外の 40 文字から無作為に抽出した 5 文字表示課題で、5 種類の母音が必ずはあるように作成されました。課題 8 は、各母音とそれぞれに対応する 9 つの子音（10 文字）を 1 組にまとめ、現在の日本語の並び方にしたがって 5 文字ずつ朗読する課題です。

5. 実験の方法

実験は、電子航法研究所の比較的静かな会議室において、一人 30 分程度（説明時間を含む）で行われました（写真 1）。



写真 1 測定風景

今回の被験者は、60 歳～80 歳の高齢者 159 名で、女性 80 名（69.5±5.9 歳）と男性 79 名（69.7±5.9 歳）でした。

音声と脈拍数を連続で測定し、実験当日の被験者の体調等を質問紙で確認しました。

6. 実験の結果

参加者のうち、CEM と脈拍数を両方とも得られたのは、女性 76 名と男性 72 名でした。このうち、何らかの薬を常用している人は、

女性が 46 名で、男性が 36 名でした。ここでは、男女の比較を基本とし、薬の影響については軽くふれる程度にします。

6.1 課題の CEM と脈拍数

図 1 は課題毎の CEM と脈拍数の結果で、図中の記号は、□と■が男性で○と●が女性、実線が CEM で点線が脈拍数です。

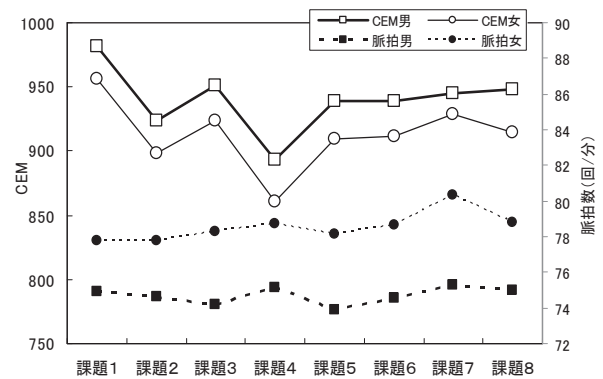


図 1 課題毎の CEM と脈拍数

図をみると、全ての課題において、CEM（実線）は男性が大きく、脈拍数（点線）は女性が多くなっています。男性では薬を常用している人の CEM と脈拍数が薬を常用していない人より小さく（抑制的）、女性では両方とも大きく（昂進的）なっていました。

分かり難いのですが、図 1 の CEM は、薬を常用していない男女の差に比べて小さくなっています。脈拍数は、女性が男性より多くなるという形で、服薬の影響が表れています。

精神的影響の表れ方の違いをみるため、無意味課題（課題 7 以外）の、「あいうえお」（順配列）または「おえういあ」（逆配列）と表示された文字列を、連続読みする場合（課題 2vs 課題 4）と 1 文字読みする場合（課題 3vs 課題 5）に分けて、比較検討しました。

連続読み・1 文字読みの別なく、男女とも、CEM は課題 4 が小さく、脈拍数は課題 4 が多くなっています。CEM と脈拍数は、男女とも、課題 2 と課題 4 の差が課題 3 と課題 5 の差より大きくなりました。

以上のことから、無意味課題の場合、連続読みが 1 文字読みよりも、課題難度（作業負荷）の影響を受けやすい可能性が示唆されます。つまり、新たな朗読課題を無意味課題で

作る場合、課題の読み方は連続読みがよいということになります。

普段人間は自然に呼吸（自動的調節）していますが、慣れないまたは難しい作業を行う場合は、作業に集中するため、息の出し方を調整（随意的調節）することがあります。

今回の随意的調節（意識的な呼吸調整）は抑制的に働いたと考えられ、自発的調整でリズムカルに行われていた骨格筋の活動（収縮と弛緩）がゆっくり小さくなり、その結果として、呼吸がゆっくり浅くかつ弱くなるため、CEM も小さくなり、脈拍数は増えます。

このことは、課題 3 や課題 5（1 文字読み）に対する課題 2 や課題 4（連続読み）および、課題 2 や課題 3（順配列）に対する課題 4 や課題 5（逆配列）において、概ね、発声が難しいと思われる課題の CEM が小さく、脈拍数が多くなっていることで確認できます。

課題 7（文章）をみると、CEM は、女性では 2 番目に大きく、男性でも大きい方です。また、脈拍数は男女とも最も多くなっています。このことは、文章を朗読することによって、読み手の感情が刺激されて強い情動反応が起こるため、脈拍数は多くなり、CEM も大きくなったと考えられます。そして、その影響は、男性より女性に強く表れる可能性があります。

6.2 母音の CEM

図 2 は、母音（課題 8）の CEM の結果で、□が男性で、○が女性を表しています。

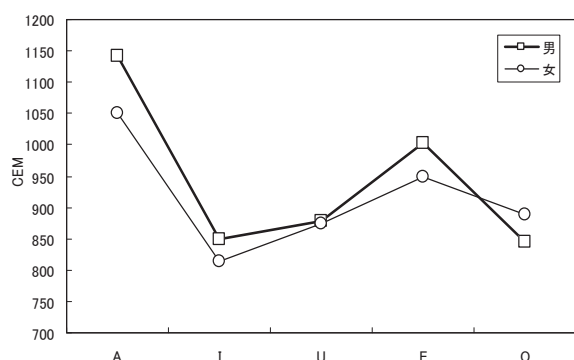


図 2 母音の CEM（課題 8）

図をみると、男性は a>e>u>i>o の順に、女性は a>e>o>u>i の順になっています。「o」以外の母音で、男性が大きくなっています。

6.3 子音の CEM

図 3 は、子音毎（課題 2）の CEM の結果で、□が男性で、○が女性を表しています。

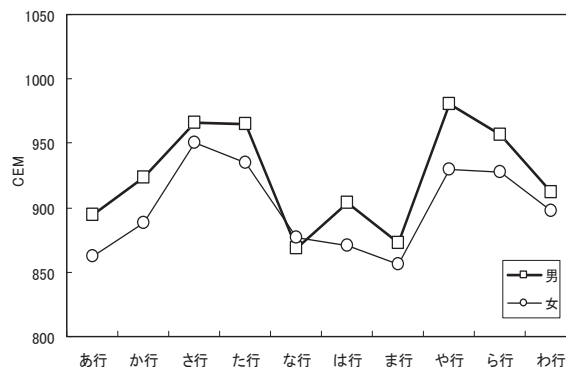


図 3 子音の CEM（課題 2 = 順配列）

図をみると、「な行」以外は、男性が女性より大きくなっています。子音と CEM の関係は、男性では、「さ行」「た行」「や行」「ら行」が大きく、「な行」と「ま行」は母音よりも小さくなっています。女性では、「さ行」「た行」「や行」「ら行」が大きく、「ま行」だけが母音より小さくなっています。

朗読 CEM は、覚醒水準が高く元気な時や負担が大きい（難しい、慣れない）時等には大きく、覚醒水準が低く眠い時や負担が小さい時等には小さい²⁾ことが確認されています。

朗読 CEM が大きくなった子音の多くは、舌先のコントロールを必要とするものや唇を大きく動かすもので、正しく発声するのが難しい子音と思われます。

男女ともに母音より小さくなった「ま行 = m」と男性で小さくなった「な行 = n」は、どちらも、鼻から息を出してから発声する子音で、口から出る息が弱い可能性があります。

子音は、舌の使い方や息の出し方ならびに唇の動かし方などの違いが CEM を変化させていると考えられます。そのため、子音の CEM を母音の CEM に対する増減率（母音と比べて変化した割合）等で表せば、滑舌の良し悪しを評価・判定できる可能性があります。

6.4 文章の CEM

図 4 は、文章毎（課題 7）の CEM の結果で、□が男性で、○が女性を表しています。各文の内容を表 2 に示しました。

図をみると、文 4 と文 6 以外は男性が大きくなっていますが、両者の差は文 1（54）以外あまり大きくありません。文毎に CEM は異なっていますが、男女とも、文と CEM との関係は概ね同じになっています。

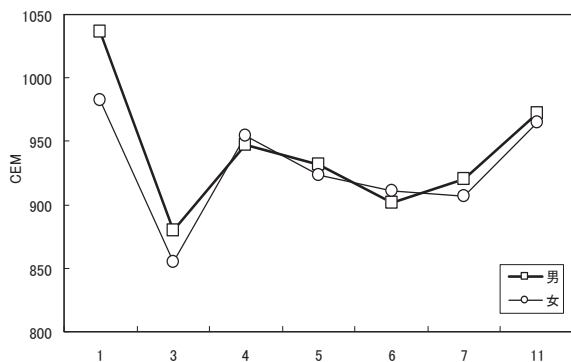


図 4 文章（課題 7）の CEM

表 2 文章一覧

No	内容
1	沖縄では 1 月に桜が咲きます
3	犬は大昔から人に飼われてきました
4	昔の人はお月さまを大切にした
5	地下鉄に乗ると外の天気がわからない
6	夜の海は波の音がとてもすてきです
7	いつもより遠回りして帰りたいですね
11	ココアを飲むと口の周りに髭ができる

7. まとめ

過去に行った実験の結果²⁾³⁾と今回の実験の結果から、朗読 CEM の特性は、以下のようによまとめられます。

- (1) 高覚醒時に大きく、低覚醒時に小さい。
- (2) 男性が女性より大きく、女性では年齢に伴って低下する可能性がある。
- (3) 無意味課題では、概ね、1 文字表示 > 5 文字表示・1 文字読み > 5 文字表示・連続読みの順になる（脈拍数は概ね逆）。
- (4) 課題難度の影響は 1 文字読みよりも連続読みに強く表れる可能性がある。
- (5) 薬の影響は、男性では抑制的に、女性では昂進的に作用する可能性がある。
- (6) 母音では、男女とも、「a」が最も大きく、「i」が最も小さい。
- (7) 子音では、舌を使う子音や唇を大きく動

かす子音で大きく、鼻から息を抜く子音で小さくなる可能性がある。

- (8) 文章では、文毎に CEM が異なり、情動反応で CEM と脈拍が増し、影響は女性が多い。

以上のように、朗読 CEM は覚醒水準の変化や発声技術を評価できそうですが、影響を及ぼす要因もたくさんありそうです。

発声には、脳（中枢：意識中枢と生命維持＝自律神経中枢）と骨格筋（末梢）およびこれらを繋ぐ神経系が関与します。朗読による発声は意識中枢の命令によって行われますので、朗読 CEM には意識中枢の活動状態を評価できる可能性があります。

そして、脈拍数のような自律神経中枢の活動状態を評価できる指標を同時に測定すれば、課題難度（作業負担度）や情動反応（ストレス反応）等の評価が可能になります。

8. 今後の課題

今回の結果等から、「ひらがな」を主体にした朗読課題でも、発声に影響を及ぼす要因（人間の反応特性）と朗読 CEM との関係の評価できる可能性が示唆されました。

今後は、さらに幅広い年齢を対象に音声を収集し、他の年齢でも同様の結果が得られるか確認する必要があります。

また、母音の CEM に対する子音の CEM の増減率等を見ることで、滑舌（発音・発声）の良し悪しを評価できる可能性もありそうですので、正しい発音・発声方法で今回の課題を朗読した時の音声を収集して、確認する必要があります。

参考文献

- 1) 塩見格一：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，pp.3-12，2004
- 2) 佐藤清ほか：発話音声を用いた心身状態評価に関する実験的検討，鉄道総研報告 vol.21，No.5，17-22，2007
- 3) 佐藤清ほか：発話音声に対する母音および子音の影響に関する調査，日本人間工学第 41 回関東支部会講演集，23-24，2010