

## 4. 知的業務の実施に係る疲労の管理と軽減

管制システム部 ※塩見 格一 板野 賢\*  
\*航空システム部

### 1. はじめに

我が国においては今日、慢性疲労は社会問題と考えられるに到っており、厚生労働省や文部科学省は毎年数億円を越える研究費を支出し、この問題解決のための手段を求めている。他にも幾つもの地方自治体や財団等が同様な目的の研究に同様な規模の経費を投じてその支援を行っており、この疲労に係る問題が、広く、また重く受止められていることが理解される。

「人間が一般的に疲労すれば間違いを犯し易くなる。」であろうことは想像に難しくなく、「航空事故の約8割がヒューマン・エラーによる。」という現状にあっては、航空安全の向上を目指す視点においても、「航空機の運航に係るパイロットや管制官、また機体整備士等々の疲労の管理が重要な問題である。」ことは明かであり、これら航空機運航に係る者の疲労管理のための方策は早急に講ぜられなければならない。

### 2. 疲労についての検討

疲労を管理するためには疲労を理解していることで必要であり、従って、常識的に考えれば疲労についての議論はその定義から始めるべきではある。しかし、例えば、「疲労状態がヒューマン・エラーの発生確率を上昇させる。」こと等は、これに対する合理的な反論を想像することが難しい程に自明のことと思われるが、逆に疲労そのものを自明に思える様に定義することは容易ではない。

#### 2.1. 疲労の一般的な定義は可能か？

我々は、日常的に、肉体的な疲労と精神的な疲労とが存在すると思っているし、ストレスを併置して考えたりもする。また、疲労が余にも日常的な言葉であるために、その存在を疑うことができない。即ち、我々は、多くの場合単純に、疲労を具体的なモノ（概念）、或いは具体的なモノの組合せとして説明できると考えている。

先に、疲労の研究が盛んに行われていることを

述べたが、どの研究においても疲労の計測を第一の課題としており様々な手法や尺度が提案されているが、疲労の定義そのものに払われている努力は少ない。従って、或いはまた残念ながら、研究目的を明確にし得ないことによって、これらの研究において著しい成果等は未だ報告されていない。

また、「筋肉疲労においては筋肉中の乳酸濃度が高い。」とか「疲労は身体の反応を遅らせる。」等々の事柄が全て正しくとも、その羅列として疲労を定義しようとすれば、疲労は果てしなく細分化されてしまい、終にはその本質は見失われてしまう。実は、一般的に理解されている疲労は極めて個人的なモノであり、定義の目的を限定しなければ、有意味な定義、即ち具体的に何かに役立てることの可能な定義をすることはできないモノである。

#### 2.2. 疲労の定義は必要か？

この様に、疲労を定義することは容易ではなく、その定義が可能であるか否かについても明確に答えることはできない。

しかしながら、例えば、以下の様に疲労を理解することとすれば、疲労を直接に定義しなくとも、「パイロットの疲労を管理してヒューマン・エラーを低減する。」と言った処の目的に対応するシステムを構築すること等は十分に可能である。

- ① 或る個人が疲労自覚するためには疲労の経験が必要である。
- ② 人間は疲労の経験を言語化し記憶する事で疲労する様になる。
- ③ 脳が意識するのは疲労そのものではなく疲労感である。
- ④ 疲労感は主観であるから客観的な定量化等は不可能である。

しかし、

- ⑤ 或る個人が疲労感を訴える時の脳の状態を客観的に分析する事はできるかも知れない。
- ⑥ 疲労を定量化する目的は疲れた人間を識別し、

その起こす事故を未然に防ぐことにある。  
従って、

⑦ 脳のソフトウェア的な機能を明らかにし疲労感を訴える時の脳の状態を定量化する手法を発見できれば、

また、

⑧ その原理に従ったシステムを構築できれば、当初の目的は果たされる！

### 3. 脳機能モデル

パイロット等のヒューマン・エラーの発生を低減し航空交通の安全性を向上させるために疲労の管理を検討する場合、パイロットが操縦できない程の肉体的な疲労状態にあること等は問題外であるから、管理の対象とすべきは、先ずは精神的な疲労と考えて良いであろう。

下図1は、脳が疲労を感じるメカニズムを検討するために提案する脳機能モデルである。

#### 3.1. 脳は心のハードウェア！

今日、PET や SPECT 等の装置を用いれば、その時々脳の活動部位を観察することも可能であり、脳のハードウェア的な機能を調べる研究等は盛んに行われている。その結果、脳においては機能が偏在することが明らかになり、特定の部位と手足指等身体器官との対応を示した脳機能マップ等が作成される様になっている。

しかしながら、実際の脳には明確な機能的境界

等は存在せず、脳は均質に脳細胞が集まったニューラル・ネットワークである。機能の偏在は成長課程における自己組織化の結果であり、胎児や乳幼児の脳に大人と同様な機能の偏在が認められる訳ではない。

脳に物理的な損傷等が発生した場合、そこに偏在していた機能は一時的に失われるが、リハビリ等によれば、別な部位に再びの自己組織化が起り、その結果として、失われ多機能が回復されることは珍しくない。このことから、脳は、高度な冗長性を実現した堅牢システムであると考えられる。

#### 3.2. 心は脳のソフトウェア！

疲労の管理を目的として脳機能を検討する場合、脳のソフトウェア的な構成をモデル化することが必要と考え、先ず、脳機能が2つの機能、即ち目的定義機能と身体制御機能の相互作用として実現されていると考えた。

これらの機能は、ハードウェアとしての脳に偏在して存在すると考えられるが、夫々の機能処理に要する処理容量について個々に制限等が存在する必要はなく、逆に双方の機能は相互にリソースを融通し合っていると考える方が、脳が冗長系であることから合理的であると考えられる。

脳機能の自己組織化は、胎児から乳幼児期における生存本能による活動の結果として獲得される情報が記憶として蓄積されることにより始まり、言語の獲得による記憶の言語化により目的定義機

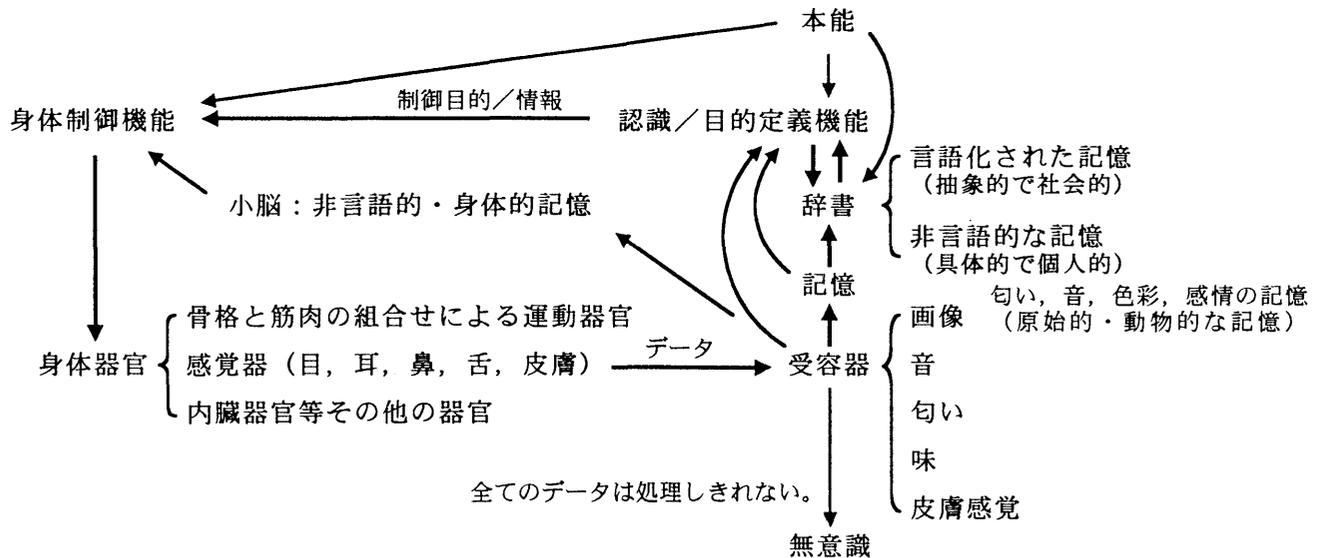


図1 脳機能の相関関係

能として発現すると理解される。

この脳機能モデルは、以下の特徴を有している。

- ① 身体を統一的に制御し有意義な行動を実現し得るために目的定義機能は一つしか存在しない。即ち、人間は矛盾する認識を同時に持ち得ない訳である。また、辞書については二つ以上存在することを許容する。このことによって、例えば、パイリンガルは整合する二つの辞書を有することによる現象として、また精神分裂は整合しない複数の辞書を有することによる現象として理解される。
- ② 辞書の構築と共に、本能は目的定義機能によりマスクされる。
- ③ 睡眠時においては、意識的な身体制御が行われず、また外界からの情報の多くも遮断されるため、従って、睡眠時の身体運動は身体制御機能による。
- ④ 身体制御機能は目的定義機能による制御と、小脳が有すると考えられている“非言語的な身体的記憶”による制御を受ける。
- ⑤ 睡眠は目的定義機能の回復と辞書の整備に係る現象の状態である。
- ⑥ 記憶には幾つかの階層構造が存在する。即ち、CPU で謂う処のレジスタとキャッシュとメモリの区別が存在する。

上記脳機能モデルは、「人が経験を言語化し記憶として蓄積する能力を有することにより人間性を獲得する。」という事実と整合する。

個人的な記憶は、言語化されることにより抽象化・普遍化され、人は初めて“人間／社会”的に考えることが可能となっている訳であり、人間の疲労はこれを経験し、これを言葉により記憶した時から始まると理解される。

上記脳機能モデルにおいては、目的定義機能が疲労（一般的には負荷）を認識する機能を有する。この脳機能モデルにおいては、肉体的な疲労は「目的定義機能→身体制御機能→身体器官→感覚器／受容器→目的定義機能」の閉ループにおいて目的定義機能野が認識する疲労と理解することができ、精神的な疲労は目的定義機能内部（「記憶⇔認識」のマイナー・ループを含む。）や「感覚器／受容器→目的定義機能」の情報処理に係り目的定義機能

野が認識する疲労と理解することができる。従って、この脳機能モデルにおいては肉体的な負荷は必然的に精神的な負荷を伴い、また脳に目的定義機能野と身体制御機能野の間に明確な境界が存在する訳ではないであろうから、過大な精神的な疲労により身体制御機能に影響が及ぶ時、精神的な疲労は肉体的な疲労の誘因となる。

この脳機能モデルにおいては、「適度な運動が精神活動を活性化させる。」ということは、軽い肉体的な負荷が、目的定義機能野をアイドリングさせるに適切な精神的な負荷を伴っているからに他ならない訳である。また「運動選手が精神的な問題を抱えていると良い成績が出せなくなったり、音楽を聞きながら作業すれば効率的であったりする。」といった現象も、この脳機能モデルは合理的な説明を与える。

#### 4. 心身状態の管理

発話音声をカオス論的手法により分析すれば、被験者に蓄積する疲労を定量的に評価することが可能と考えられた。朗読音声の毎秒の第1リアブノフ指数を計算し、その時間的平均値をプロットすれば、被験者が疲労を自覚する十数分以前に、その平均値が上昇が観測される。<sup>[1,2]</sup>

上記実験結果より、パイロットや管制官の音声を常時分析していれば、リアルタイムに過負荷状態を防止するための警告を発することは十分に可能である。

##### 4.1. 疲労を管理するのか？

上記の様なシステムは今日の情報処理技術により十分に実現可能であり、我々に、この点に関する不安はない。

問題は、このようなシステムの提案に対して、利用者が、常に疲労の計測可能性を問われたことにあった。また、「疲れていても居眠りをするとは限らない。」とか「緊張し過ぎている状態の方が危険だ。」とかいった意見を述べられた方々に対し、必ずしも十分に納得してもらえようような説明ができなかったことも問題であった。

実に、これらの問題は、我々が「発話音声の分析により発話者の疲労度の定量化が可能である。」と素直に理解していたことにあった訳である。

今や疲労を定義することの困難性は明確であり、

疲労を肉体的なものと精神的なものに分けて考えることの問題も理解された。即ち、「脳は肉体の一部であり」、「筋肉そのものが疲労を感じている訳ではない。」のであって、人間が感ずる疲労は須く脳そのものの感ずる疲労である筈である。そもそも疲労の認識、即ち疲労感、脳が疲労の経験を有することによって始めて成立している筈であり、謂う処の疲労とは疲労感であり、これは常に主観的なものであるから、客観的計測は原理的に不可能である訳である。

#### 4.2. 心身状態と発話音声

図2は朗読音声の第1リアプノフ指数の時間的平均値をプロットしたものである。平均値算出のための時間幅（図2に示す例では4分）については試行錯誤的に決定したが、これを適切に決めることが可能であれば、被験者の心身状態の変化を、その平均値の変化の様子から診断することが可能と思われる。

この例では、第1リアプノフ指数時間平均値の変化パターンにかなり明確な差異が現れている。

(1) フェーズとして実験開始直後の緊張とその緩和を、(2) フェーズとして物語への没入と疲労の蓄積（或いはリソースの消費）を、(3) フェーズとして集中力の喪失を、(4) フェーズとして疲労の発現（リソースの喪失）を認取することができる。

これらの実験結果より、発話音声の第1リアプノフ指数値は、発話者の脳の活性度を示す指標と考えられる。気質や性格による個人差や休養状態による差異は当然に存在すると考えられるが、高いレベルが継続すれば脳は余裕度を失い発話運動

を十分に制御できなくなり、結果的に発話音声にはカオス論的なノイズが含まれる様になる。

脳には、目的定義機能は一つしか存在しないので、発話音声の第1リアプノフ指数が高ければ、目的定義機能野は余裕度を失っている訳であり、航空管制業務や航空機の操縦業務等の言語的な業務についても十分な処理が行えず可能性が上昇していると考えられる。即ち、発話音声の第1リアプノフ指数が高い状態において、その発話者は比較的ヒューマン・エラーを起こし易くなっていると考えられる。

#### 5. おわりに

人間の脳の目的定義機能は後天的に構築された機能であり、本能の様な歯止を有していない。従って、自らの身体に対してさえ、過労死する程の無理な制御がなされる可能性は常に存在する。

不注意や緊張感の喪失を意識的に防ぐことは不可能である。即ち、ヒューマン・エラーは意識することにより防げる性質のものではあり得ない。従って我々は、当人の意識し得ない疲労レベルを計測し、ヒューマン・エラーを起こす前に休息の指示を発することを可能とするシステムの構築は、将来的な航空安全の向上に必要不可欠と確信する。

#### [参考文献]

- [1] 塩見, 「カオス論的疲労計測技術について」, 航空無線, 第29号, 2201年秋期号。
- [2] 塩見, 他, 「カオス論的疲労解析手法と脳機能モデル」, 情報処理学会第64回全国大会, 平成14年3月。

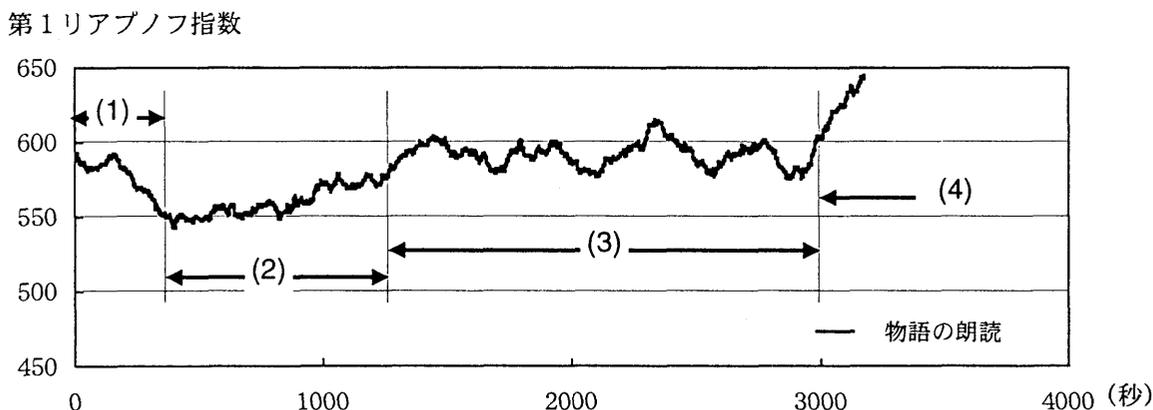


図2 複数のフェーズを有する第1リアプノフ指数の変化