航空機操縦時における作業負担について

門尾 孝是 (航空医学実験隊)

Work Strain Evaluation of Aircraft Operation

Atsushi Kado-o (Aero Medical Lab. JASDF)

1. はじめに

人間は誕生以来、地表（2次元）で生活してきており、鳥のように3次元を活動することに本来慣れていないが、科学技術の飛躍的な発達に伴い、その活動範囲を広げることができるようになった。この間、様々な障害に遭遇しつつ、これらを克服してきている。また一方では、新たな問題も発生している。これらの問題は、操縦者のみに限定されるものではなく、その教育や組織の課題などの広範多岐に亘るものである。今回の発表では、操縦席における作業負担という観点から、我々が行ってきた研究の事例を紹介するとともに今後の課題について述べる。

2. 作業負担の評価法

航空機の操縦において、操縦者に負荷となる要因には、大きく二つのことが挙げられよう。一つは、低圧・低酸素や高機動旋回時の重力加速度（Gz）などの物理的な環境によるもの（身体的負荷）であり、もう一つは、操縦そのものの複雑さや、飛行中の状況把握などによるもの（精神的負荷）である。操縦は、この両者が合体した状態であるのが一般的だが、作業負担を評価する際に、その分離を厳密に行えないケースもある。

また、実機を用いた計測の際は、緊急脱出時の安全確保、機内の電磁干渉・各種装備品との干渉の解決といったフィールド計測固有の制約事項が多い。

操縦における作業負担の評価法は、実験室レベルの検討も含めれば、航空機に限定された話ではなく、地上における各種作業時の作業負担評価手法とほぼ同様であると言えよう。表1に各種の評価手法を示す。

3. 一時的な負担とその蓄積

負担の考え方には、一時的なオーバーロードと、蓄積されたオーバーロードとの二通り

表1：各種の評価法

主観評価	<ul style="list-style-type: none"> ● MCH ● NASA-TLX
客観評価 (生理的反応)	<ul style="list-style-type: none"> ● 瞬時心拍 ● HRV ● ホルモンなどの生化学データ ● 事象関連電位 ● CFF
客観評価 (動作的反応)	<ul style="list-style-type: none"> ● 動作解析 ● 眼球運動

がある。これを操縦に当てはめて考えると、以下の例が挙げられる。すなわち、前者は、離陸滑走中のエンジンのトラブル等が発生した際の判断とその後の操作や、比較的短い時間での各種の空中操作であり、後者は、ジェットラグを含むような長時間操縦等である。

以下、これらに対応する当隊で行った実験について紹介する。なお、実験ではジェット機の飛行特性を模擬したフライトシミュレータを用いた。

3-1. 空中操作時の負担

この実験は、当隊の隊員（非操縦者）9名がシミュレータを用いた操縦に習熟する過程（約100時間）で、全般的負担度の評価点（主観評価）と心拍数を測定したものである。飛行課目は、難易度の異なる数種類の空中操作であった。

その結果、学習の初期においては、主観評価と心拍数との対応関係が見られなかったが、学習の後半では、両者の対応関係が見られた。すなわち、全般的負担度が高いと評価した課目ほど心拍数が高かった。図1に両者の対応関係を示す。心拍数は、これまでのワークロード評価にしばしば用いられており、これらの心拍数の変化は、比較的短い時間での負担の大小を示していると考えられる。

3-2. 断眠後の負担

この実験は、操縦者（3名）と非操縦者（6名）による3日に亘るもので、その間に24時間の断眠を行わせた。3日の内訳は、次のとおりである。第1日目はコントロールとして操縦させ、その日の夜に断眠を行わせた。第2日目は断眠後に操縦させた後、夜は通常の睡眠をとらせた。そして第3日目はリカバリーさせた。課目は、離着陸、空中操作及び編隊飛行で、計約1時間行わせた。測定項目は、操縦中の心拍数と飛行前後の尿中生化学データ（ノルエピネフリンとエピネフリンとの比）である。図2に尿中生化学データの結果を示す。

ノルエピネフリンとエピネフリンとの比について、操縦者は断眠後に著しく低下しリカバリーでほぼ第1日目の水準に復帰したものの、非操縦者は実験当初から低い値を継続した。心拍数については、操縦者でのみ若干の増加が見られた。従って操縦者は断眠による疲労が生じ、その負担の程度が心拍よりも生化学データに良く現れたと考える。

3-3. 指標の使い分け

このように、操縦時の負担の測定を、単一の指標で行うことは、現時点で、困難であると考えている。このため、評価したいものに応じた指標を使い分けられるか、いくつかの指標を組み合わせて検討するなどの対応が必要となる。

4. 今後の課題

これまで操縦は、過酷な環境条件等の下で遂行する事が多く、その負担を低減する事に重点が置かれてきた。例えば、過大なG_zを軽減するためには、耐G服や装置の改善がなされてきており、HUDや統合化計器の導入により、パイロット・インターフェースの改善も進んでいる。また、長時間飛行に対しては、自動操縦装置が装備されている。

図1：主観評価点と心拍数

図2：断眠と尿中生化学データ

その一方で、低すぎる負担も、問題となって来ている。すなわち、高度に発達した自動化システムにより、操縦者の状況認識のレベルが低下し、最悪の場合には事故に至ってしまう。

このような問題を考える場合、適切にワークロードを管理して行くことは、航空機の安全にとって、非常に重要であると考えられる。単純に考えれば、これまでの努力で低減してきた負担の中から、低すぎる部分の負担を高めるのが良いとの答えになりそうである。しかし、仮にそのことが示せたとしても、実際の場面で直ちに受け入れられるものでも無いと予想される。理想的には、状況認識の状態を何らかの方法で直接測定できれば対策が見えてくるのであろう。

新たな問題が生じる一方で、現時点でも作業負担に関する研究が尽くされたとは考えていない。従って、今後これらの課題について、解明が期待される。