

論文の内容の要旨

論文題目 パイロットの着陸操縦分析手法に関する研究

氏 名 森 亮太

航空機は戦後目覚ましい発展を遂げ、現在では移動距離あたりで最も安全な乗り物と言われている。しかしながら、その事故率はここ 20 年ほど下げ止まっており、今後輸送量の増大とともに航空機事故件数が増大していくことが懸念されている。航空機の事故のおよそ半分はヒューマンエラーによるものであり、そしてその発生は離着陸時に集中している。離着陸時に操縦は主にマニュアルで行われており、その操縦技術の欠如は事故に直結する可能性がある。しかしながら、操縦技術は一朝一夕で身につくものではなく経験により取得するものだと考えられている上、パイロットにより操縦手法は大きく変わる場合もあり、教官が訓練生に口頭で説明するという従来型の教育だけでは限界があると考えられる。また、離着陸時にパイロットは外部の視覚情報を元に操縦を行っており、それが操縦の困難さに拍車をかけており、さらには、近年の航空会社の財政状況も懸念され、パイロットの訓練に十分な時間をかけにくくなってきているという現状もある。

そこで本研究では、パイロットの操縦を定量的に評価し、操縦の問題点を指摘できるような操縦解析手法を開発することを目的とする。それにより、航空会社にはパイロットの技量を定量的に把握でき、また効率のよいパイロット訓練を実施することで、訓練費用の削減効果も見込める可能性がある。また航空業界全体としてもパイロットの技術向上に応用することで、離着陸時の安全性を高めることができると考えられる。その際、特に解析対象として最終着陸時に的をしぼることにした。着陸直前においては、フレアと呼ばれる機首上げ操作が必要であり、この操作は一般に難しく、着陸操縦を困難にさせている大きな要因と言われている。さらに風等の飛行コンディションによってはさらに操縦は複雑となり、解析を行う効果は大きいものと判断した。

これらの目的を達成するため、本研究ではパイロットの操縦をモデル化するという手法を取ることにした。パイロットの操縦は非線形性を伴うと考えられており、非線形な任意の入出力関係を模擬することができるニューラルネットワークを今回採用した。ニューラルネットワークモデルの構築に際しては、パイロットが情報源としているものを入力とし、その結果の操縦を出力とする。構築したモデルを数学的に解析することにより、パイロットの操縦の評価を行う。

モデルを作成する上で最も重要なことは、その因果関係となる入出力を決めることである。当然のことながら、本来必要である情報(入力)抜きで操縦(出力)は不可能である。今回考慮する着陸時には先に述べたように視覚情報を主に情報源として操縦を行っていると述べたが、それ以外にも例えば機体の加速度の情報や、一部計器情報も参考にしているものと考えられる。さらには

微分情報や時間遅れ情報等、挙げればきりが無い。そのため、ありとあらゆる入力を考慮に入れることは不可能であり、その意味では完璧なモデルを構築することは不可能である。しかしながら、その中には相対的に重要なものそうではないものが存在し、パイロットの操縦の特徴を抽出できる程度の精度のモデルを構築できれば、今回の研究では十分ということになる。そのため、まずパイロットに相対的に重要だと思う情報を聞き出し、それを入力に反映させるというプロセスを取った。

しかしながら、それだけでパイロットモデルを構築することはできない。パイロットモデルを構築する際に問題となるのは、その汎化性である。汎化性とは、構築したパイロットモデルが、有限なパイロットの操縦データからパイロットの特徴となる部分を抽出できている度合いのことである。つまり、汎化性の乏しいネットワークは、パイロットの意図するような着陸操縦をモデル化できておらず、そのようなネットワークからはパイロットの特徴を抽出することができず、結果としてパイロットの解析を行うことができない。汎化性は特にニューラルネットワークによるモデル化を実施する際に、問題となりやすいことが一般に指摘されており、それを解決する必要がある。そこで本研究では、入力およびネットワーク構成を、ニューラルネットワークに適したものへと最適化を行った。情報の上手な与え方による情報量欠落の防止や、時間遅れの表現手法、操縦デバイスによって入力をそれぞれ設定する、正則化と呼ばれるノイズ除去手法の適用、等の手法を組み合わせることにより、劇的に汎化性をあげることに成功した。それは、ネットワークを用いたモンテカルロ着陸シミュレーションにより検証を行った。

しかし、それでもネットワーク構築には不十分な点がある。ニューラルネットワークモデルを構築する過程を学習と呼ぶが、その学習の初期値をランダムに指定するため、学習により結果が変わり、最適なネットワークを構築できない場合があることである。また、前項の正則化手法は汎化性を得るために不可欠だが、どの程度ノイズを除去するかという正則化パラメータは問題次第で任意の値に設定する必要がある。その一方で、毎回パラメータを設定したり、学習が成功したかどうかを確認したりするような作業を行ってはいは、パイロットの操縦解析を行う上で大きな障壁となり、また、学習が成功したかどうかを判断する基準も毎回定める必要がある。そこで、これらの問題を解決するために、ニューラルネットワークの学習手法の改良を提案した。具体的には、正則化パラメータを変化させながら適宜学習を進めていくことで解の安定性を保証し、そのパラメータの最適値をある評価関数の下で決定する。この手法の有効性は、まず一般的なデータセットを用いた回帰問題に当てはめて、問題次第ではあるが適用可能性が高いことを示し、その後パイロットの操縦モデリングに適用したところ、効果を発揮することを確認した。これにより、飛行および操縦データを得ることができれば、そのパイロットの操縦モデルを自動的に構築することができるようになった。

本研究の最終的な目的は、パイロットの操縦解析にあるが、そのためには構築したパイロットモデル自体の解析を行わなければならない。その手法としては、因子解析および感度解析を採用した。感度解析は一般にニューラルネットワークの解析手法として認知されているが、因子解析に関してはそうではないため、先に用いたデータセットおよびパイロットの意図的な着陸のデー

タを元に有効であろうとの結論に達したため、今回用いることとした。

最後に、実際にパイロットの操縦解析を行った。データ取得に関しては、全日本空輸株式会社にご協力いただき、B767-300 のフルフライトシミュレータを用いて実験を行った。操縦解析に際して、特にパイロット間の違いが出やすいと考えられる横風時およびウィンドシア時を模擬した環境下で飛行していただいた。風の環境下で別々に実験を行い、ベテラン機長・新人副操縦士の両者を含む計3~4人に被験者となっていただいた。

まず横風時には、飛行データによる解析で、横風時に特有なデクラブと呼ばれる操縦が、新人には十分に行われていない様子が確認できた。しかし、飛行データの解析では、なぜ違うのかという部分に触れることができないため、ニューラルネットワークによる詳細な解析を行ったところ、ラダーおよびエルロン操作の役割分担に違いが見られそうだと、いう結果を得ることができた。その相違点がデクラブ操作の成否に関係あると考えられるが、パイロットへの聞き取り調査では意識としては大きな違いがないこともわかった。頭の中ではわかっていることとは違うものと考えられる。

またウィンドシア時には、パイロットによって各々の情報に対する優先度に差異が見られた。あるパイロットは、とにかく姿勢(ピッチ)を維持しようという意識が見えるのに対し、他のパイロットは現在の高度や沈下率を中心に操縦しようとしている様子が確認できた。ウィンドシア時には対処法というものが定められているが、あくまで大まかなものであり、細かい部分に関してはパイロット間に違いがあって当然だと言える。ピッチを維持しようとしたパイロットからは、それを裏付けるコメントが得られ、ウィンドシアに関してはそもそもその対処の考え方に違いが見られるということがわかった。

このように、本論文では、パイロットのモデル化を自動化し、そしてそのモデルを用いて実際に操縦の解析を行うという一連の流れを実行することに成功した。実際にパイロットの操縦は定量的にも異なるということがわかり、どの点がどのように違うかということの議論も行うことができた。本研究で得られた成果を利用することで、複数ある操縦手法でどの手法が最も優れているか、また、どのように操縦を矯正すればよいか、等のいまだ明らかになっていない部分の解明にも役立つと考えられる。