

2C09 航空機最終進入時の操縦操作を、経験差で比較する

○上村 常治（東京大学）、鈴木 真二（東京大学）、ヨルグ・オノ・エントジンガー（東京大学）、
森 亮太（電子航法研究所）、松永 大一郎（東京大学）

A Comparative Study on the Influence of Flight Experience on Flight Control on Final Approach.

Tsuneharu UEMURA(Univ. of Tokyo), Shinji SUZUKI (Univ. of Tokyo),

Jorg Onno ENTZINGER (Univ. of Tokyo), Ryota MORI(ENRI), Daiichirou MATSUNAGA (Univ. of Tokyo),

Key Words: Pilot Flight Control, Final Approach, Flight Experience.

Abstract

To analyze aircraft control skills on final approach, a veteran commercial pilot teaches aeronautical engineering students how to land the fixed-base flight simulator owned by the University of Tokyo. We found interesting differences in pitch movement between a professional pilot and a student on the final approach, and decided to investigate this aspect of flight control further. Through trial and error, we found that the spectrogram of elevator control input provides valuable information. Using this method, we find that, after a few practice runs, the professional pilots fly the aircraft with certain interval input on the elevator. Spectrograms of the students show another, typical pattern during the initial training. It also appears we can point out the difference between instrument flight condition and visual flight condition by observing the spectrograms.

It is possible, however, that these results are specific for this simulator, so further research is needed to verify these findings with other simulators.

1. はじめに

東大、鈴木・土屋研究室が所有する、航空機のシミュレータ（SIM）（図 1）を使って、将来の航空技術者（学部学生）から、ベテランの機長まで幅広いレベルでの操縦データを取得する機会があった。その結果、Pitch の動きに、最終進入～着陸時に、ベテラン（図 2）と初心者間（図 3）では、顕著な違いが見られた。

この関係を明らかにしようと、試行錯誤し、今のところ、昇降舵のスペクトログラム解析が、最適との感触を持っている。この手法で、現役の操縦士の協力を得て、実験をしたところ、数回の慣熟飛行後の、操縦記録には、特定の操舵周期で操縦していると思われる記録が見られた。また、初心者の記録や計器飛行時と有視界飛行の記録にもそれなりの特徴がみられた。此处に、その結果を紹介する。

この結果が、この SIM の固有の特性か、普遍的なものかは今後の課題である。

2. 実験装置と実験内容

2.1 実験装置

鈴木・土屋研で研究用に開発した飛行プログラムで動作している SIM である。航空機は B747-400 を模している。滑走路を視認しての飛行が可能である。



図 1 実験に使用した SIM

2.2 実験内容

対地高度 1800feet から ILS 進入とそれに続く着陸操作。気象状態は、有視界飛行、飛行視程 1600meter もしくは 800meter。風は、無風もしくは弱い乱気流。FD は使用していない手動操縦である。グライドスロープとローライザーの偏差情報は計器に示される。PAPI は有視界状態では利用できる。

2.3 実験参加者

現役の航空会社の操縦士 3 名と、学部学生である。操縦士の操縦機種は、A320, B747-400, B777 で、その内 2 名は飛行時間 10000 時間を超している。

3. ベテランと初心者の pitch 動きの違い



図 2 ベテランの pitch の動き

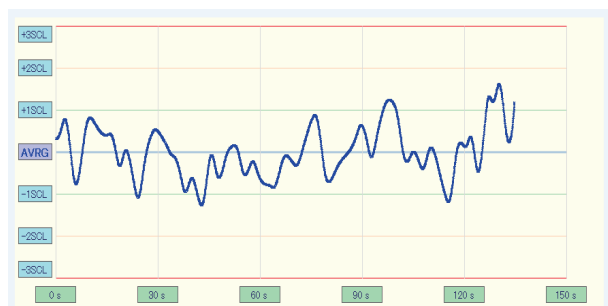


図 3 初心者の pitch の動き

横軸は時間経過、縦軸は pitch の動きで、pitch 目盛は 1 度で横軸の中心線は全体の動きの平均値である。

一見して判るように、ベテランの操縦 (図 2) は細かい pitch の動きが見てとれる。それに対し初心者 (図 3) の動きの周期は長く、動きも大きい。

ベテランの安定した進入時の操縦を見ていると pitch は動かないように見えるが、実際は細かく、動いている事が判る。

4. 解析手法に使用したスペクトログラム

短時間フーリエ変換 (short-term Fourier transform STFT) を使用し、ある特定の時刻でパワースペクトルを計算した。周期は 0.5 秒から 10 秒までを 0.5 秒刻みで計算した。窓は周期 3.5 秒以上は 10 秒、それ未満は周期の 3 倍の区間で行った。サイン窓を使用した。横軸は経過時間、縦軸は操作周期とした。色はスペクトル強度に対応して着色した。入力値の平均値は零とした。

5. 解析手法の模索

それで、pitch 操作 (図 4)、1 回微分値 (図 5)、2 回微分値 (図 6)、エレベータ操縦操作 (図 7) の、各スペクトログラムを比べて見た。比較の為に入力値は正規化した。

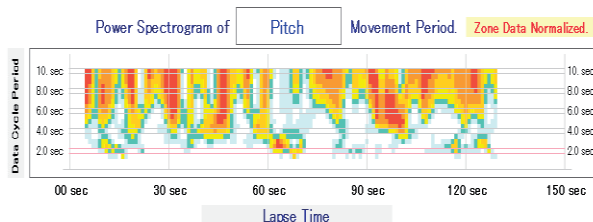


図 4 pitch の動き

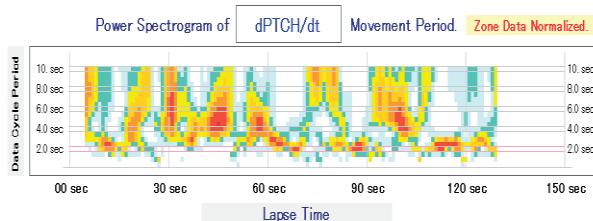


図 5 pitch の動きの 1 回微分

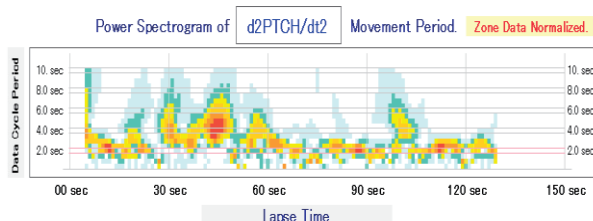


図 6 pitch の動きの 2 回微分

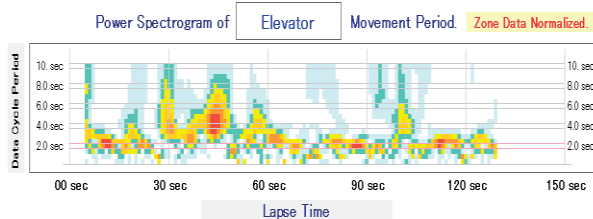


図 7 エレベータの動き

上記、その他の模索を経て、Pitchの動きを区別する指標として、エレベータの操舵履歴（図7）をスペクトログラム解析することにした。

6. 現役操縦士3人の解析記録

前半は計器飛行で滑走路は視認できない。後半が滑走路を視認しての飛行である。比べると、計器飛行時は操舵周期が長い事が見てとれる。滑走路視認後、着陸前に昇降舵の操舵周期が2秒付近に集中している事も判る。3人とも当日が、このSIM初体験である。ただし慣熟飛行は行った。

操縦士-AはA320（図8）、操縦士-BはB744（図9）、操縦士-CはB777（図10）で操縦業務に従事している。

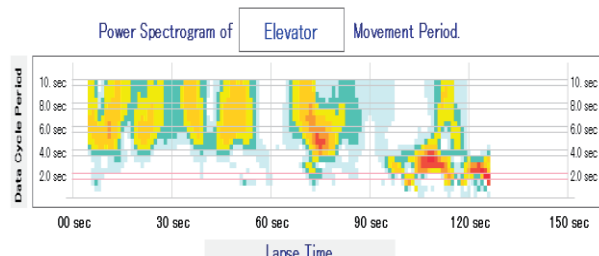


図8 現役操縦士 A の操舵記録

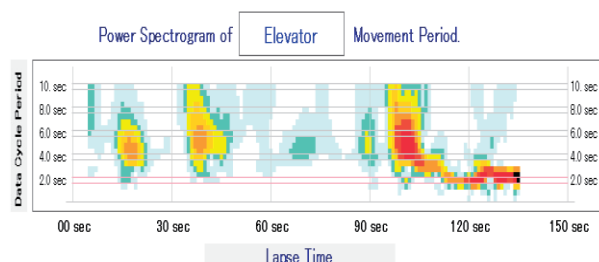


図9 現役操縦士 B の操舵記録

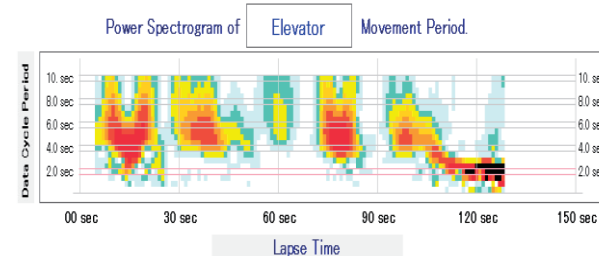


図10 現役操縦士 C の操舵記録

7. 学生の学習量（経験）と操舵記録の変化

学生を長期間訓練して、そのエレベータ操作のスペクトログラム解析を行った。訓練期間はおおよそ3カ月で、週1~2回のペースで行った。

以下に、学習時機と操舵記録のスペクトログラ

ム解析を示す。（図11-15）

学習（経験）が増えると、操舵周期が一定値に収束し、色が薄くなる（無駄な操舵が減る）。最適な操縦操作に収束していくと考察する。

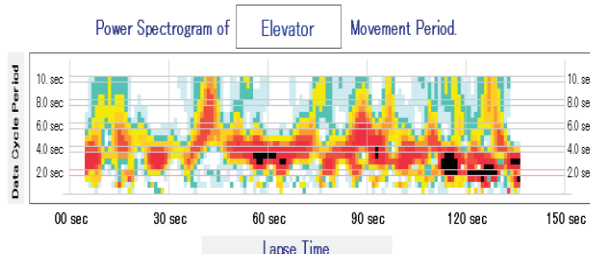


図11 1月25日の操舵記録

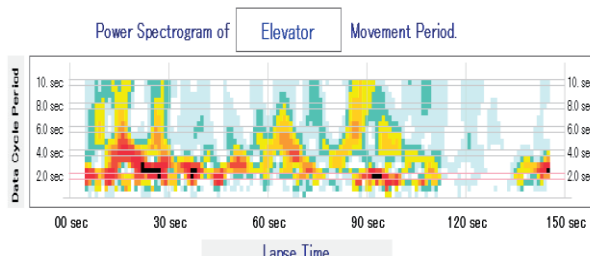


図12 2月22日の操舵記録

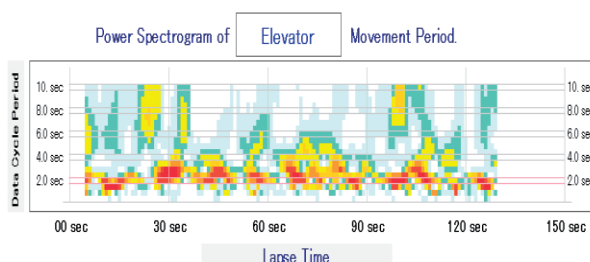


図13 3月19日の操舵記録

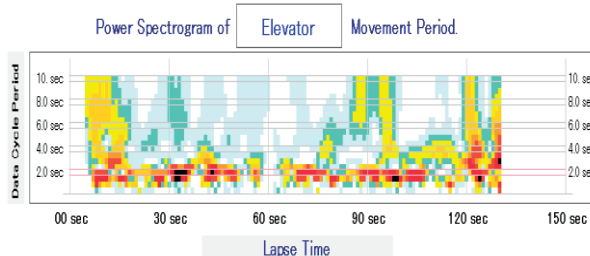


図14 3月29日の操舵記録

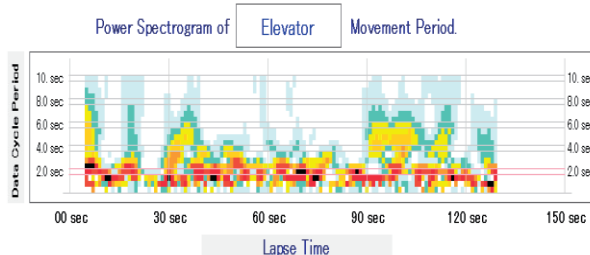


図15 4月16日の操舵記録

8. 考察

最終進入時の操縦には、最適な操舵量と操舵周期があると考えている。現役の操縦士はそれを会得している。初心者は初め、無駄な操舵（量と周期）が見られるが、学習量（経験）が増えるにつれて、操舵周期が一定に収束する。また、操舵量も少なくなる。

9. おわりに、問題点と今後の展望

この結果は、鈴木・土屋研で研究用に開発したSIMを使用したものである。個々の航空機やその他の要因で最適な操縦周期が異なる事は十分可能性があるが、筆者の一人が、エアラインの訓練シミュレータで実験を行った際にも同様の傾向があった事を確認している[1]。

操縦士の操縦技量をデジタルで客観的に把握出来れば、

- 1) 操縦教育において技量の進度の把握に使える可能性がある。
- 2) 飛行記録の解析に使用できる可能性がある。
- 3) 操縦士採用試験等で潜在的な操縦適性能力の判定において、客観的な判断材料を提供できる可能性もある。

また、他の分析手法も模索中である。現在は経験者と初心者の、瞳孔のサイズの変化・操縦時における心拍数の変化等を総合的に比較しており、エルロンの操舵周期にも注目している。

機会があれば、他の SIM や実際の航空機を使用して同様の解析を試みたい。

引用文献

1) S. Suzuki, Y. Sakamaoto, Y. Sanematsu, H. Takahara,

“Analysis of Human Pilot Control Inputs using Neural Network”, Journal of Aircraft,43-3, 793-798, 2006.