

模擬飛行訓練装置による操縦適性検査の線形判別分析

山下 勝、竹之内 修

Linear discriminant Analysis of Flight Operation Aptitude Test by
Flight Training Device

By

Masaru YAMASHITA、Osamu TAKENOUCI

Abstract

This is a basic research to find out the modification point for the flight operation aptitude test used a flight training device in civil aviation college (CAC). Each inspection items used for the flight operation aptitude test executed in from fiscal year 1999 to 2001 at CAC were analyzed by using the statistical linear discriminant analysis.

As a results, we found the following. There is no difference between the judgement rate (the proportion of correctly discriminated) in case of using all inspection items and the judgement rate in case of using inspection items that are removed last inspection. The judgement rate was in the trend that increases when the group number decreases. Inspection items that contributed to the group division for most subordinate position were flight operation sense and altitude hold skill in level flight.

1 まえがき

航空大学校の入学第3次試験は、操縦適性検査と面接試験からなっている。このうち操縦適性検査は、

昭和42年度入学試験から平成11年度入学試験まで実機を用いて実施されてきた。しかしながら、運航費の削減、天候による受験生に対する不平等感の是正などの理由から、平成12年度の入学試験以降、模擬飛行訓練装置 (Flight Training Device、以後F T Dと記す) を用いて実施している。

過去、航空大学校における入学試験に関していくつかの報告がなされている。日野¹⁾は、入学試験成績と帯広課程成績の相関関係を調べ、操縦適性検査成績において、航空機の計器指示偏位量に基づく客観的数値評価と試験官の主観的成績評価との間には相関関係があることを明らかにしている。田尻²⁾は、操縦適性検査成績と各課程修了時の操縦演習成績および計器飛行地上演習成績との間の相関関係を調べ、その相関関係が弱いことを明らかにしている。

以上のように、操縦適性検査に関する研究が行われていたが、F T Dを用いた操縦適性検査については、平成14年度の入学第3次試験を含めて合計3回実施と新しいこともあり、その検査結果についての十分な分析、検討が行われていない。

そこで、本研究においては、今後のF T Dを用いた操縦適性検査の改正、変更点を見つけだす基礎研究として、平成12年度から平成14年度の操縦適性検査に使われた各検査項目が操縦適性検査のグループ

分けにどのように寄与しているか分析検討を行った。

2 航空大学校における操縦適性検査の概要

航空大学校における操縦適性検査は、現在表1のような流れで行われている。検査は大きく2つに別れ、水平直線飛行と水平旋回飛行を行う。受験生の各計器へのクロスチェックのでき具合、操舵要領および理解度などを把握するため、水平直線飛行においては、一定時間、高度および方位を指定した値に合わせ維持させる。また水平旋回飛行においては、ある所定の傾斜角で一旋回する間、指定した高度を維持させ、その間に負荷として計算問題を出題したり自機の旋回中の方位を答えさせたりする。また、この検査は1日1回合計3回実施する。

評価は、基準の高度、方位とのずれをもととした客観的数値と、試験官が行う主観的評価としての操縦感覚を数値化したものによって行われる。

表1 操縦適性検査の流れの概要

順序	項目
1	全体説明
2	操縦感得（全体説明の内容の体験、理解）
3	個別の教育（検査内容のデモおよび説明、指導）
4	水平直線飛行の練習
5	水平直線飛行の検査
6	水平旋回飛行の練習
7	水平旋回飛行の検査

3 判別分析についての予備的説明

操縦適性検査は、総合成績をもとにグループ分け（総合成績による順位付けや、合格、不合格の判別など）されるが、各検査項目がどの程度このグループ分けに寄与しているか不明である。そこで2つまたはそれ以上のグループに区別した場合、どの検査項目がそのグループ分けに寄与しているかを分析することが必要であり、そのために用いられる手法に判別分析がある。

合格、不合格者のグループ分けは各年度の募集定員によって変化するため、本研究においては順位付けされた結果からいくつかのグループ分けを行い、これに対する各検査項目の寄与についての分析を行う。

判別分析で利用される方法にはいくつかの手法があるが、本研究においては数値処理の容易さなどの理由から線形判別法による分析を利用する。まず、線形判別法について簡単に説明する。

3-1 線形判別法について

今、サンプルに関するいくつかの説明変数に基づいて、そのサンプルがはじめから与えられている2つ（またはそれ以上）のグループのいずれに属するかを、判定したい場合があったとする。判別分析は、そのいくつかの説明変数から、あるサンプルがどのグループに属するかを、予測、判別するモデルを作ることを目的とするものである。この線形判別分析の代表的なものに、「フィッシャーのあやめ」の分析がある。これは、「セトナ」「バーシクル」「バージニカ」の3種類（3グループ）のあやめがあって、このグループを判別するために、「がく片の長さ」「がく片の幅」「花びらの長さ」「花びらの幅」の4種類の説明変数（以下、項目と記す）を用いて分類するというものである。また判別分析は、それぞれのグループを識別するのに有効な項目は何かを探る要因分析にも用いられる。³⁾

3-2 F値

線形判別法では、どの項目（変量）がグループ分けに寄与しているか取捨選択を行う。この際、F値を選択に利用する。ここでは、このF値について説明する。今、変量の数を2 (x_1, x_2) として、2群 (G_1 と G_2) の判別分析を考える。 G_1 の平均を $(\bar{x}_1^{(1)}, \bar{x}_2^{(1)})$ 、 G_2 の平均を $(\bar{x}_1^{(2)}, \bar{x}_2^{(2)})$ とすると、

$$D^2 = \frac{1}{1-r^2} \left\{ \left(\frac{\bar{x}_1^{(1)} - \bar{x}_1^{(2)}}{\sqrt{s_{11}}} \right)^2 + \left(\frac{\bar{x}_2^{(1)} - \bar{x}_2^{(2)}}{\sqrt{s_{22}}} \right)^2 - 2r \left(\frac{\bar{x}_1^{(1)} - \bar{x}_1^{(2)}}{\sqrt{s_{11}}} \right) \left(\frac{\bar{x}_2^{(1)} - \bar{x}_2^{(2)}}{\sqrt{s_{22}}} \right) \right\} \quad \dots\dots(1)$$

と書いたものを判別効率（平均間のマハラノビス平方距離）と呼ぶ。ここで、 \bar{x}_1 、 \bar{x}_2 は平均値、 s_{11} 、 s_{22} は両群に共通な分散の推定量を示す。この値 D^2 が大きくなればなるほど、誤判別の確率は小さくなるのが推定できる。判別効率を 2 変量で説明したが、 q 個の変量 x_1 、 x_2 、 \dots 、 x_q の場合の判別効率の定義も同様であり、それを D_q^2 とする。いま、新たに r 個の変量 x_{q+1} 、 x_{q+2} 、 \dots 、 x_{q+r} を追加した判別を考える。このときの判別効率を D_{q+r}^2 とすると

$$D_{q+r}^2 - D_q^2 > 0 \quad \dots\dots(2)$$

という関係が成り立つ。 r 個の変量を追加したことによる判別効率の増分が、単なる誤差によるみかけの上のものか、あるいは判別に実質的な役割を果たしているのかが問題となる。増分がわずかであれば誤差によっておこったと判断する。この増分がわずかとは

$$F = \frac{N-q-r+1}{r} \cdot \frac{D_{q+r}^2 - D_q^2}{\frac{N(N+2)}{N_1 N_2} + D_q^2} \quad (N=N_1+N_2-2) \quad \dots\dots(3)$$

が自由度 (r 、 $N-q-r+1$) の F 分布をすることを用いる。ここで N_1 、 N_2 は G_1 、 G_2 の個数である。実際の計算では変数を 1 つ追加したり、1 つ除去したりという方法（変数増減法）をとるので $r=1$ であり、自由度 (1 、 $N-q$) の F 分布にしたがう F 値が変数選択の際に利用される。⁴⁾

F 値が大きいということは、平均値のばらつきがある基準値よりも大きいということである。このため、F 値はグループを判別するための統計的な有意性を表している。すなわち、各変数のグループの判別に対する独自の貢献がどの程度であるかを表して

いる。

3-3 分類関数

判別分析においては F 値に基づいて得られた変数より分類関数が得られる。ここではこの分類関数について、2 群の線形判別法（2 グループ）で説明する。

同一の n 個の変量をもつ 2 つの母集団 G_1 、 G_2 を考えると、これらは n 次元の標本空間にそれぞれ 2 つのグループをなして存在していると考えられる。判別分析では、それぞれ n 個の変量 [x_1 、 x_2 、 \dots 、 x_n] のうちグループ分けを行う際に F 値を利用して効果的な変数のみを取り出すという過程があり、この過程により選択された変量を用いて G_1 、 G_2 との統計的な関係を(4)式のような分類関数 Z という形で表すことにより、その値からグループ分けを行う。

$$Z = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \quad \dots\dots(4)$$

そして、サンプルの $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ の値によって決まる値 Z によって判別される。併せて、係数 a_i の符号と絶対値の大きさから変量 x_i がどのように判別に寄与しているかを知ることができる。⁵⁾⁶⁾

例えば、 G_1 、 G_2 のサンプルデータがともに 10 個ずつある場合、図 1 の様に表すことができる。いま、この標本空間を S とするとき、これら 2 つのグループが完全に分離している場合は問題にならないが重複する部分を持つとき、 S を共通部分に持たない 2 つの領域 R_1 、 R_2 に分割し、できるだけ G_1 のサンプル点が R_1 に、 G_2 のサンプル点が R_2 にあるような境界線を求めることを考える。すなわち、あるサンプル点を G_1 、 G_2 のどちらかに判別する場合、重複する部分において元来 G_1 からサンプルであるはずのものが G_2 と判別され、 G_2 からのものが G_1 と判別されることが起こりうる。その誤判別が起こる

確率を最小にするように S を 2 つの領域 R_1 、 R_2 に分割する。この境界を表す関数が分類関数 Z である。

このように、分類関数は、各ケースが最も属していると考えられるものはどのグループであるかを決定するものである。

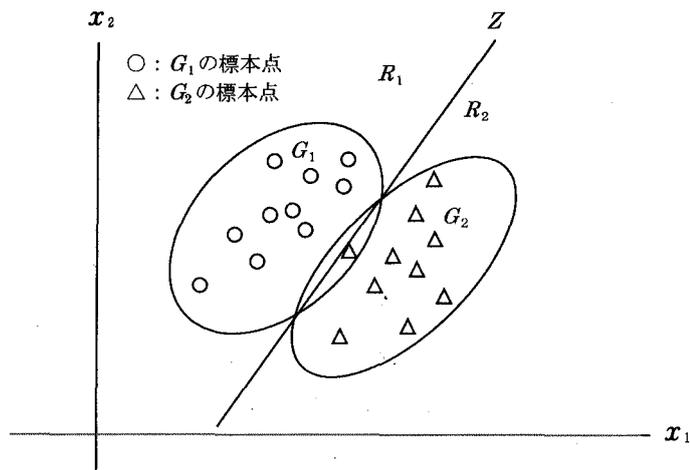


図1 2群の線形判別法の2変量の場合の分類関数 Z

4 実際にを行った分析方法

4-1 グループ分け

本研究では操縦適性検査の各検査項目を変量とし、これがグループ分けにどのように影響を与えているかを明らかにするために、グループ分けを2から4グループまでの3通りとした。グループ分けは操縦適性検査の総合成績から均等に人数を振り分けた。

4-2 分析に使用する検査項目

分析に使用する操縦適性検査の検査項目の組み合わせとして、3種類のものを用意した。1種類目は1回目に行った4つの検査項目（水平直線飛行の高度、水平直線飛行の方位、水平旋回飛行の高度、操縦感覚の得点、以後それぞれ「高度」、「方位」、「水平」、「操縦」と記す）のみを使用したもの。2種類目は1回目と2回目のそれぞれ4つの検査項目（計8項目）を使用したもの。3種類目は1～3回目の

それぞれ4つの検査項目（計12項目）を使用したものである。

4-3 分析対象年度

分析の対象とした年度は、FTDにより操縦適性検査が行われた平成12年度から、平成14年度までとした。分析は年度別に行った。

4-4 判別分析の手法

本研究の判別分析においては、グループ分け別及び年度別に分析を行った。また、それぞれの分析は、上記（4-2）に示した3種類の検査項目の組み合わせ別に検討した。それぞれの分析において、分類関数を求め、正しく判別された割合（以下、判別率と記す）およびその判別に寄与する検査項目を調べた。尚分析は、市販のソフトウェア⁷⁾を用いた。

5 分析結果と検討

表2-1は、平成14年度の操縦適性検査の総合成績をもとに4グループに分けた場合の分析結果である。グループ分けは成績の上位から23名をグループ1、次の22名をグループ2、次の22名をグループ3、残り22名をグループ4とした。枠内の大きな数字は分析の結果、正しくそのグループと判別された人数である。かっこ内の数字は、判別率を%で示している。矢印で示された人数は、隣のグループへの移り変わりの人数を示している。グループを越えて移る場合は説明を付してある。これより次のようなことがわかった。

1～3回目の各検査項目を使用した場合と1、2回目の各検査項目を使用した場合の判別率は、グループ1、2、4においてはほとんど差がないことがわかる。一方、1回目の各検査項目のみを使用した場合、判別率が低く、特にグループ2で顕著であった。また判別の結果が、グループを越えて移り変わる事

例も多く見られた。

表2-2は、平成13年度の判別分析結果、表2-3は平成12年度の判別分析結果である。図2に検査項目の組み合わせ別に判別率の平均をとったものを示す。1~3回目の各検査項目を使用した場合と1、

2回目の各検査項目を使用した場合の平均の判別率は、表2-1の場合と同様にほとんど差がみられなかった。また、年度によるこの傾向の相違もみられなかった。

表3-1~表3-3は操縦適性検査の総合成績を

表2-1 平成14年度・検査回数と各グループ分けによる判別分析結果（グループ数：4）

分析に使用した項目	グループ1 23名	グループ2 22名	グループ3 22名	グループ4 22名
1~3回目の各検査項目を使用した場合	18名→5名 (78.3%)	3名←15名→4名 (68.2%)	2名←20名 (90.9%)	5名←15名 2名←グループ2へ (68.2%)
1、2回目の各検査項目を使用した場合	18名→5名 (78.3%)	5名←15名→2名 (68.2%)	5名←17名 (77.3%)	4名←15名 3名←グループ2へ (68.2%)
1回目の各検査項目のみを使用した場合	19名→4名 (73.9%)	7名←10名→4名 グループ4へ→1名 (45.5%)	5名←15名 2名←グループ1へ (68.2%)	4名←14名 3名←グループ2へ 1名←グループ1へ (63.6%)

(矢印←や→のついている人数は、隣のグループへの移り変わりの人数を表している)

表2-2 平成13年度・検査回数と各グループ分けによる判別分析結果（グループ数：4）

分析に使用した項目	グループ1 21名	グループ2 21名	グループ3 20名	グループ4 20名
1~3回目の各検査項目を使用した場合	20名→1名 (95.2%)	2名←18名→1名 (85.7%)	4名←16名 (80.0%)	1名←19名 (95.0%)
1、2回目の各検査項目を使用した場合	20名→1名 (95.2%)	2名←17名→2名 (81.0%)	5名←15名 (75.0%)	1名←19名 (95.0%)
1回目の各検査項目のみを使用した場合	16名→4名 グループ3へ→1名 (76.2%)	4名←14名→3名 (66.7%)	6名←12名→1名 1名←グループ1へ (60.0%)	5名←15名 (75.0%)

(矢印←や→のついている人数は、隣のグループへの移り変わりの人数を表している)

表2-3 平成12年度・検査回数と各グループ分けによる判別分析結果（グループ数：4）

分析に使用した項目	グループ1 27名	グループ2 27名	グループ3 27名	グループ4 27名
1~3回目の各検査項目を使用した場合	21名→6名 (77.8%)	5名←20名→2名 (74.1%)	5名←21名→1名 (77.8%)	4名←22名 1名←グループ2へ (81.5%)
1、2回目の各検査項目を使用した場合	20名→7名 (74.1%)	3名←21名→3名 (77.8%)	4名←23名 (85.2%)	7名←19名 1名←グループ2へ (70.4%)
1回目の各検査項目のみを使用した場合	20名→7名 (74.1%)	8名←16名→3名 (59.3%)	3名←20名→1名 3名←グループ1へ (74.1%)	6名←20名 1←グループ2へ (74.1%)

(矢印←や→のついている人数は、隣のグループへの移り変わりの人数を表している)

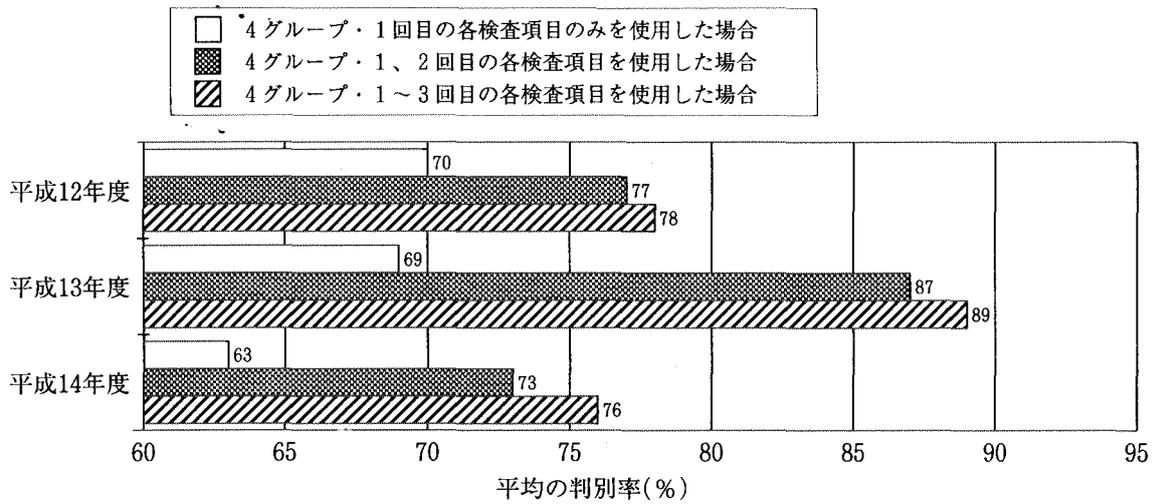


図2 4グループの場合の平均の判別率

もとに3グループに分けた場合の判別分析結果であり、表4-1～表4-3は2グループに分けて分析した結果である。図3、図4にそれぞれ3グループ、2グループの場合の平均の判別率を示す。これより判別率はグループ数が減ると増加する傾向にあることが分かる。また、いずれのグループ分けの場合も、1～3回目の各検査項目を使用した場合と1、2回目の各検査項目を使用した場合の判別率にはほとんど差がみられず、平均の判別率では最大でも4.8%

の差であった。

以上のことから、2回目までの各検査項目をもとにグループ分けを実施した場合でも、3回検査を実施した場合とほぼ同様のグループ分けが可能であることを示している。一方、1回目の検査項目のみでは、大きく判別結果が移り変わる事例が多く見られ、また判別率も低いため、グループ分けが困難になるものと思われる。

表3-1 平成14年度・検査回数と各グループ分けによる判別分析結果 (グループ数: 3)

分析に使用した項目	グループ1 30名	グループ2 30名	グループ3 29名
1～3回目の各検査項目を使用した場合	27名→3名 (90.0%)	4名←26名 (86.7%)	7名←22名 (75.9%)
1、2回目の各検査項目を使用した場合	26名→4名 (86.7%)	5名←24名→1名 (80.0%)	7名←22名 (75.9%)
1回目の各検査項目のみを使用した場合	21名→9名 (70.0%)	9名←19名→2名 (63.3%)	12名←16名 1名←グループ1へ (55.2%)

(矢印←や→のついている人数は、隣のグループへの移り変わりの人数を表している)

表 3 - 2 平成13年度・検査回数と各グループ分けによる判別分析結果 (グループ数 : 3)

分析に使用した項目	グループ1 28名	グループ2 27名	グループ3 27名
1~3回目の各検査項目を使用した場合	25名→3名 (89.3%)	3名←24名 (88.9%)	5名←21名 1←グループ1へ (77.8%)
1、2回目の各検査項目を使用した場合	24名→4名 (85.7%)	3名←24名 (88.9%)	5名←22名 (81.5%)
1回目の各検査項目のみを使用した場合	22名→6名 (78.6%)	8名←18名→1名 (66.7%)	7名←20名 (74.1%)

(矢印←や→のついている人数は、隣のグループへの移り変わりの人数を表している)

表 3 - 3 平成12年度・検査回数と各グループ分けによる判別分析結果 (グループ数 : 3)

分析に使用した項目	グループ1 36名	グループ2 36名	グループ3 36名
1~3回目の各検査項目を使用した場合	34名→2名 (94.4%)	4名←32名 (88.9%)	5名←30名 1名←グループ1へ (83.3%)
1、2回目の各検査項目を使用した場合	33名→3名 (91.7%)	4名←32名 (88.9%)	6名←29名 1名←グループ1へ (80.6%)
1回目の各検査項目のみを使用した場合	32名→4名 (88.9%)	7名←23名→6名 (63.9%)	10名←24名 2名←グループ1へ (66.7%)

(矢印←や→のついている人数は、隣のグループへの移り変わりの人数を表している)

表 4 - 1 平成14年度・検査回数と各グループ分けによる判別分析結果 (グループ数 : 2)

分析に使用した項目	グループ1 45名	グループ2 44名
1~3回目の各検査項目を使用した場合	42名→3名 (93.3%)	8名←36名 (81.8%)
1、2回目の各検査項目を使用した場合	42名→3名 (93.3%)	9名←35名 (79.5%)
1回目の各検査項目のみを使用した場合	42名→3名 (93.3%)	16名←28名 (63.6%)

(矢印←や→のついている人数は、隣のグループへの移り変わりの人数を表している)

表 4 - 2 平成13年度・検査回数と各グループ分けによる判別分析結果 (グループ数 : 2)

分析に使用した項目	グループ1 41名	グループ2 41名
1~3回目の各検査項目を使用した場合	41名 (100.0%)	5名←36名 (87.8%)
1、2回目の各検査項目を使用した場合	40名→1名 (97.6%)	8名←33名 (80.5%)
1回目の各検査項目のみを使用した場合	39名→2名 (95.1%)	9名←32名 (78.0%)

(矢印←や→のついている人数は、隣のグループへの移り変わりの人数を表している)

表4-3 平成12年度・検査回数と各グループ分けによる判別分析結果（グループ数：2）

分析に使用した項目	グループ1 54名	グループ2 54名
1～3回目の各検査項目を使用した場合	52名→2名 (96.3%)	6名←48名 (88.9%)
1、2回目の各検査項目を使用した場合	52名→2名 (96.3%)	6名←48名 (88.9%)
1回目の各検査項目のみを使用した場合	52名→2名 (96.3%)	8名←46名 (85.2%)

(矢印←や→のついている人数は、隣のグループへの移り変わりの人数を表している)

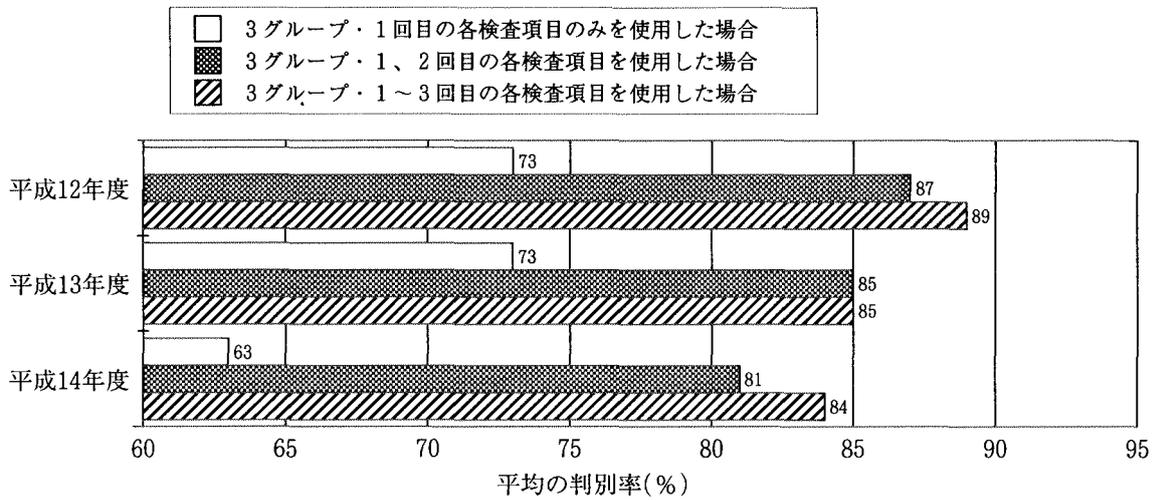


図3 3グループの場合の平均の判別率

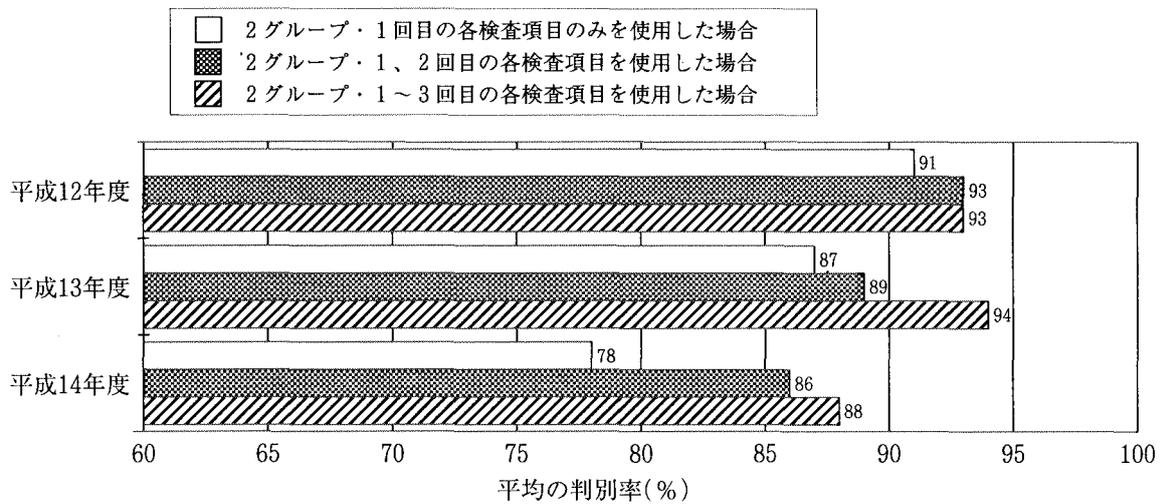


図4 2グループの場合の平均の判別率

表5-1～表5-3は、各年度の判別分析におけるF値を示したものである。各表ともF値が大きくなった上位3つの検査項目を示す。これを見るとグループ分けに寄与した検査項目として、「操縦」、「高度」を挙げることができる。これは試験官の主観評価である「操縦感覚」評価が、グループ分けに大きく寄与していることを意味している。また、水平直線飛行の高度のずれを客観評価する項目が、グ

ループ分けに比較的寄与しているということは、この項目の難易度にも関係しているのではないかと考える。グループ分けに寄与する検査項目を見つけていくために、適切な難易度の検査項目を設定することは大切であるとする。

以上のことから、毎年若干の変更を加えている操縦適性検査の更なる改良において、ある程度の方向性を示すことができたのではないかと考える。

表5-1 平成14年度の判別分析におけるF値

	グループ数：4		グループ数：3		グループ数：2	
1～3回の各検査項目を使用した場合	水平2	36.93	高度2	29.79	操縦1	21.86
	高度3	17.37	水平2	10.87	高度2	9.35
	高度2	6.35	高度3	6.95	水平2	5.18
1～2回の各検査項目を使用した場合	操縦1	21.86	高度2	29.79	操縦1	21.86
	高度2	9.35	水平2	10.87	高度2	9.35
	水平2	5.18	方位2	5.71	水平2	5.18
1回のみ各検査項目を使用した場合	操縦2	21.86	操縦1	20.59	高度1	25.76
	高度1	5.20	高度1	5.31	水平1	6.83
	水平1	3.33	水平1	2.75	操縦1	2.75

表5-2 平成13年度の判別分析におけるF値

	グループ数：4		グループ数：3		グループ数：2	
1～3回の各検査項目を使用した場合	高度3	20.55	高度3	26.75	高度3	50.40
	操縦2	10.64	操縦2	13.33	高度1	15.00
	水平1	11.76	操縦1	14.35	水平2	10.09
1～2回の各検査項目を使用した場合	操縦2	20.05	操縦2	26.69	操縦1	34.27
	水平1	17.46	操縦1	22.60	高度2	16.43
	操縦1	8.65	水平1	13.86	水平2	9.27
1回のみ各検査項目を使用した場合	水平1	16.06	操縦1	25.02	操縦1	34.27
	方向1	11.10	水平1	12.22	水平1	13.33
	高度1	9.69	方向1	7.35	高度1	7.23

表5-3 平成12年度の判別分析におけるF値

	グループ数：4		グループ数：3		グループ数：2	
1～3回の各検査項目を使用した場合	操縦2	35.20	操縦2	69.20	操縦1	76.58
	操縦1	24.11	操縦1	20.28	操縦2	40.05
	方位1	11.70	方位1	9.94	水平2	13.54
1～2回の各検査項目を使用した場合	操縦2	35.20	操縦2	69.20	操縦1	76.58
	操縦1	24.11	操縦1	20.28	操縦2	40.05
	方位1	11.70	方位1	9.94	水平2	13.54
1回のみ各検査項目を使用した場合	操縦1	34.26	水平1	41.43	操縦1	76.58
	水平1	13.69	方位1	15.87	水平1	29.20
	方位1	12.58	操縦1	9.87	高度1	9.33

6 まとめ

本研究は、今後の模擬飛行訓練装置を用いた操縦適性検査の改正、変更点を見つけだす基礎研究として、平成12年度から平成14年度の操縦適性検査に使用される各検査項目が、操縦適性検査の判定にどのように寄与しているか、線形判別手法を用いて分析検討を行った。その結果以下のことがわかった。

- (1) 1～3回目の各検査項目を使用した場合と1、2回目の各検査項目を使用した場合の分析結果から、両者の判別率はほとんど差がみられず同程度となった。また、年度による傾向の相違はみられなかった。
- (2) 判別率はグループ数が減ると増加する傾向にあった。
- (3) 最下位グループのグループ分けに寄与した検査項目は操縦感覚の得点および、水平直線飛行の高度であった。

参考文献

- 1) 日野克己：「入学試験成績と帯広課程成績および各課日間成績の相関関係について」、航空大学校研究報告R-36(1982) pp.89-107
- 2) 田尻惟敏：「操縦適性検査成績と実科成績との相関関係について」、航空大学校研究報告R-39(1985) pp.1-9
- 3) 新村秀一：「パソコン楽々統計学」、講談社ブルーバックス(2001) pp.181-198
- 4) 杉山高一：「多変量データ解析入門」、朝倉書店(1983) pp.80-88
- 5) 河口至商：「多変量解析入門I」、森北出版株式会社(1983) pp.79-83
- 6) 圓川隆夫：「多変量のデータ解析」、朝倉書店(1988) pp.55-60
- 7) StatSoft社、「STATISTICA」

付録

参考までに、付表1、付表2にそれぞれ、最下位グループを判別するための分類関数、最上位グループを判別する分類関数を示す。判別分析では得られた個体(サンプル)データから分類関数が作成できる。得られた分類関数を用いて新たに選られた未知の個体が、どのグループに属するかを判別することができる。

平成14年の2グループ(1回目～3回目)の場合を例にすると、付表1から最下位グループを判別するための分類関数 Z_1 は、

$$Z_1 = 0.048 \times \text{高度1の値} - 0.001 \times \text{方向1の値} \\ - 0.038 \times \text{水平1の値} + 0.219 \times \text{高度2の値} \\ + 0.037 \times \text{方向2の値} + 0.138 \times \text{水平2の値} \\ + 0.357 \times \text{高度3の値} + 0.258 \times \text{水平3の値} \\ + 5.160 \times \text{操縦3の値}$$

また付表2から最上位グループを判別するための分類関数 Z_2 は、

$$Z_2 = 0.064 \times \text{高度1の値} - 0.003 \times \text{方向1の値} \\ - 0.055 \times \text{水平1の値} + 0.197 \times \text{高度2の値} \\ + 0.016 \times \text{方向2の値} + 0.112 \times \text{水平2の値} \\ + 0.328 \times \text{高度3の値} + 0.248 \times \text{水平3の値} \\ + 4.992 \times \text{操縦3の値}$$

と書け、得られた Z_1 と Z_2 を比較し、大きい値を得た方にその個体は属すると判別する。

付表1 最下位グループを判別する分類関数の各項目の係数

	「高度」1	「方位」1	「水平」1	「操縦」1	「高度」2	「方位」2	「水平」2	「操縦」2	「高度」3	「方位」3	「水平」3	「操縦」3
4グループ・平成14年度・1～3回	0.214	0.020	-0.031	3.642	0.390	-0.097	0.165	—	0.176	0.048	0.333	5.267
4グループ・平成14年度・1～2回	0.110	0.027	0.058	3.947	0.209	-0.070	0.085	—	—	—	—	—
4グループ・平成14年度・1回のみ	0.125	—	0.048	3.200	—	—	—	—	—	—	—	—
4グループ・平成13年度・1～3回	0.207	0.028	0.040	2.470	—	0.068	0.171	2.217	0.341	-0.196	0.018	—
4グループ・平成13年度・1～2回	0.169	0.021	-0.013	2.179	0.196	0.016	0.085	1.878	—	—	—	—
4グループ・平成13年度・1回のみ	0.184	0.028	0.055	1.913	—	—	—	—	—	—	—	—
4グループ・平成12年度・1～3回	—	0.021	0.200	5.953	—	—	-0.139	5.699	0.335	—	0.151	3.144
4グループ・平成12年度・1～2回	—	0.013	0.178	5.640	0.133	—	-0.038	6.330	—	—	—	—
4グループ・平成12年度・1回のみ	0.146	0.032	0.131	4.916	—	—	—	—	—	—	—	—
3グループ・平成14年度・1～3回	—	0.024	0.016	—	0.082	0.048	0.039	—	0.061	—	—	—
3グループ・平成14年度・1～2回	—	0.004	0.023	—	0.090	0.012	0.037	—	—	—	—	—
3グループ・平成14年度・1回のみ	0.137	—	0.038	3.023	—	—	—	—	—	—	—	—
3グループ・平成13年度・1～3回	—	0.014	-0.007	1.945	0.113	0.020	—	1.725	0.122	—	-0.006	—
3グループ・平成13年度・1～2回	0.173	0.018	-0.004	2.448	0.180	—	—	1.662	—	—	—	—
3グループ・平成13年度・1回のみ	0.157	0.016	0.038	2.010	—	—	—	—	—	—	—	—
3グループ・平成12年度・1～3回	—	0.033	0.207	4.920	0.011	0.115	-0.051	6.436	0.301	—	0.175	3.043
3グループ・平成12年度・1～2回	—	0.022	0.197	4.752	—	0.173	0.085	6.862	—	—	—	—
3グループ・平成12年度・1回のみ	0.161	0.035	0.170	4.708	—	—	—	—	—	—	—	—
2グループ・平成14年度・1～3回	0.048	-0.001	-0.038	—	0.219	0.037	0.138	—	0.357	—	0.258	5.160
2グループ・平成14年度・1～2回	-0.010	0.003	0.031	—	0.058	0.014	0.030	—	—	—	—	—
2グループ・平成14年度・1回のみ	0.111	0.020	0.070	3.201	—	—	—	—	—	—	—	—
2グループ・平成13年度・1～3回	0.169	0.016	0.047	2.152	—	—	0.031	—	0.198	-0.072	0.058	—
2グループ・平成13年度・1～2回	0.163	0.015	0.038	2.047	0.081	—	-0.005	—	—	—	—	—
2グループ・平成13年度・1回のみ	0.162	0.017	0.041	2.012	—	—	—	—	—	—	—	—
2グループ・平成12年度・1～3回	—	0.042	0.314	4.643	—	—	0.104	3.982	—	—	—	2.375
2グループ・平成12年度・1～2回	—	0.042	0.258	4.516	—	—	0.119	4.931	—	—	—	—
2グループ・平成12年度・1回のみ	0.144	0.024	0.128	4.797	—	—	—	—	—	—	—	—

— の項目は、判別においてグループ分けに寄与しない項目として削除されたもの

付表2 最上位グループを判別する分類関数の各項目の係数

	「高度」1	「方位」1	「水平」1	「操縦」1	「高度」2	「方位」2	「水平」2	「操縦」2	「高度」3	「方位」3	「水平」3	「操縦」3
4グループ・平成14年度・1～3回	0.219	0.016	-0.044	3.894	0.326	-0.119	0.134	—	0.168	0.040	0.319	5.123
4グループ・平成14年度・1～2回	0.117	0.022	0.043	4.177	0.150	-0.096	0.056	—	—	—	—	—
4グループ・平成14年度・1回のみ	0.104	—	0.041	3.533	—	—	—	—	—	—	—	—
4グループ・平成13年度・1～3回	0.129	0.005	-0.022	2.753	—	0.055	0.163	2.704	0.299	-0.169	-0.048	—
4グループ・平成13年度・1～2回	0.096	-0.002	-0.070	2.473	0.186	0.004	0.087	2.385	—	—	—	—
4グループ・平成13年度・1回のみ	0.133	0.011	0.020	2.095	—	—	—	—	—	—	—	—
4グループ・平成12年度・1～3回	—	-0.018	0.151	6.909	—	—	-0.197	6.257	0.279	—	0.081	3.453
4グループ・平成12年度・1～2回	—	-0.017	0.120	6.551	0.100	—	-0.115	7.051	—	—	—	—
4グループ・平成12年度・1回のみ	0.096	0.016	0.059	5.433	—	—	—	—	—	—	—	—
3グループ・平成14年度・1～3回	—	0.000	0.008	—	0.036	-0.049	0.012	—	0.029	—	—	—
3グループ・平成14年度・1～2回	—	0.001	0.011	—	0.040	-0.001	0.011	—	—	—	—	—
3グループ・平成14年度・1回のみ	0.124	—	0.029	3.224	—	—	—	—	—	—	—	—
3グループ・平成13年度・1～3回	—	0.007	-0.035	2.292	0.089	0.023	—	2.065	0.093	—	-0.037	—
3グループ・平成13年度・1～2回	0.156	0.010	-0.035	2.743	0.146	—	—	1.981	—	—	—	—
3グループ・平成13年度・1回のみ	0.137	0.008	0.014	2.207	—	—	—	—	—	—	—	—
3グループ・平成12年度・1～3回	—	0.013	0.166	5.351	0.033	0.093	-0.094	7.114	0.271	—	0.145	3.229
3グループ・平成12年度・1～2回	—	0.005	0.152	5.195	—	0.149	0.036	7.614	—	—	—	—
3グループ・平成12年度・1回のみ	0.134	0.027	0.115	4.973	—	—	—	—	—	—	—	—
2グループ・平成14年度・1～3回	0.064	-0.003	-0.055	—	0.197	0.016	0.112	—	0.328	—	0.248	4.992
2グループ・平成14年度・1～2回	0.046	0.000	0.012	—	0.037	-0.006	0.008	—	—	—	—	—
2グループ・平成14年度・1回のみ	0.106	0.019	0.057	3.263	—	—	—	—	—	—	—	—
2グループ・平成13年度・1～3回	0.152	0.013	0.039	2.221	—	—	0.014	—	0.148	-0.058	0.031	—
2グループ・平成13年度・1～2回	0.146	0.012	0.031	2.135	0.060	—	-0.016	—	—	—	—	—
2グループ・平成13年度・1回のみ	0.146	0.013	0.030	2.097	—	—	—	—	—	—	—	—
2グループ・平成12年度・1～3回	—	0.035	0.291	5.027	—	—	0.065	4.186	—	—	—	2.480
2グループ・平成12年度・1～2回	—	0.035	0.232	4.895	—	—	0.082	5.177	—	—	—	—
2グループ・平成12年度・1回のみ	0.126	0.020	0.094	5.086	—	—	—	—	—	—	—	—

— の項目は、判別においてグループ分けに寄与しない項目として削除されたもの