飛行経験が射出脱出に及ぼす影響についての分析*

仲村 彰**

There are many statistical researches about the pilot ejections from high-speed aircrafts in many countries and the contents generally related to the types of emergencies, ejection seats abilities, and/or types and positions of injuries. Although we also have similar studies in Japan, and according to one of these studies, the biggest reason for fatalities is the delay in the decision to eject and it's relation to human factors. Therefore, this research was performed to investigate the influence of ejectees' attributes for their survivability with statistical approach. Data relating to the flight experiences, number of pilots in the aircraft, etc. have been extracted from all accident records, which were accompanied by ejections, experienced in the Japan Air Self-Defense Force and has been analyzed. As a result, it was observed that the pilots who received fatalities have longer total flight hours than those who survived and there was no significant difference in flight hours in the crashed aircrafts, the result suggested that the total flight hours influenced the fatality rate of ejection. It was clarified that the number of pilots in the aircraft didn't influence the success rate of ejection.

これまで、多くの国において、射出脱出に関する統計的な研究は行われており、その多くは緊急事態の種類、射出座席の性能、脱出者の生存率、傷害程度及び部位に関するものであった。日本においても同様の研究がなされているものの、最大の死亡理由は脱出決心の遅れであり、人的要因であることから、本研究は、操縦者に関する変数に焦点を当て、統計的分析を行い、操縦者要因の脱出成否への影響を調査することを目的とした。そこで方法として、航空自衛隊における全射出脱出事例の資料から、飛行経験、機内の操縦者数等のデータを抽出し、分析を行った。その結果、死亡した操縦者の総飛行時間が生還した操縦者より有意に長い一方、事故機種飛行時間に関して差は見られず、総飛行時間が射出脱出に関する成否に影響することが観察された。また、機内の操縦者数が脱出成功率に影響しない事が確認された。
(キーワード：射出脱出、緊急事態、意思決定)

1. はじめに

1-1. これまでの研究および本研究の目的

射出座席とは、高速で飛行する航空機における操縦不能や火災、爆発等の状況から、搭乗員を座席ごと射出することにより安全に救出するためのシステムであり、世界中で多くの軍用機に装備されている。航空自衛隊においても全ての戦闘機及びジェット訓練機に装備されており、1957年の最初の射出脱出以来、多くの操縦者が射出座席によって救われてきた。

多くの国において、射出脱出に関する統計的な研究が行われており、その内容の多くは、生存率や骨折や火傷等といった受傷の性質、部位等の医学的な分析、または緊急事態の種類（エンジンの故障等）、脱出時の速度、高度、機体姿勢等の航空機の状況に関する分析、射出座席の性能

と生存率や受傷の関係について述べたものである¹⁻⁶⁾。射出座席の性能向上に伴い成功率が向上しているとしながらも^{3,5,6)} 脱出決心の遅れ等心理的要因について言及した内容が数カ国において見られ^{4,6,7)}、近年では、Callaghanら⁸⁾ が、戦闘機操縦者に対しシミュレータを用いて、シナリオに応じた脱出判断に関する研究を行っている。

航空自衛隊においても、射出脱出に関する生存率や受傷の性質、脱出時の飛行諸元等に関する研究は、岩滝⁹⁾ および武田ら¹⁰⁾ によって行われており、また、近年のNakamuraの研究¹¹⁾ によれば、日本は他国と比べて脱出成功率が低いこと、脱出決心の遅れが約40%を占める最大の死亡理由であり、それが時代を通じてコンスタントであること、さらに射出座席の性能向上に伴う脱出成功率の改善が見られなかったことから、人的要因が他国より深刻であると思われる。

先述の通り、海外の研究では、射出座席改良の観点から、航空機の飛行諸元や受傷部位、性質に焦点が当てられており、操縦者に焦点を当てた研究は少ない。さらに日本では人的要因が死亡理由と大きく関わっていること

*受付：2007年1月25日 受理：2007年9月7日

**航空自衛隊航空安全管理隊

Aero Safety Service Group, Japan Air Self-Defense Force

から、本研究は、射出脱出に関する操縦者側の数値的変数、つまり、飛行経験、操縦者数等に焦点を当て、実際の事事例の統計的分析を行うことを目的として行われた。また、脱出決心の遅れが死亡の最大の原因であることから、脱出決心の遅れに関わった操縦者についても調査を行った。脱出決心の遅れに関しては、これまでの研究では海外も含め、あくまで射出脱出に関する統計であったことから、射出脱出事例のみを対象として研究が行われてきた。しかしながら、脱出決心に関しては、最終的に脱出を行わなかった事例も関連があると考えられる。そのため、脱出決心が遅れたことにより、脱出を行わなかった事例についても統計的分析を行った。

1-2. 脱出決心に関わる心理状態

上記内容に関する、射出脱出の決心に影響する心理状態が幾つか考えられる。

まず始めに、緊急時の心理状態である。異常を知覚した際、状況に対する判断パターン(理解スクリプト)が活性化し、それに対する行為パターン(行為スクリプト)の活性化が続いて起こる。これらのスクリプトとは、個人の持つ知識構造であり、そのレベルはその個人の経験や教育、訓練等に依存する。基本的に平常時と緊急時の情報処理は同じであるが、緊急時においては、情報処理及び時間的資源に対する負担を軽減させるため、これらのスクリプトが活性化しやすい状態になる¹²⁾。言うまでもなく、射出脱出は、航空機が危険な状態にあり、生命の危機が迫っているときになされるものであることから、脱出前は緊急状態にあると考えられる。この場合、スクリプトが豊富なベテラン操縦者の方が、より適切な理解、行為双方のスクリプトの活性化が予想されることから、適切な時期に脱出するため、脱出成功率が高いと考えられる。実際、ブルガリアの統計的研究によれば¹⁾、40歳代の射出脱出による死亡事例はなく、それは飛行経験によるものと考察されており、Callaghanらの研究⁸⁾においても、ベテラン操縦者の方が、より脱出の判断基準が明確であることが報告されている。また、緊急事態において、状況を認識する事によって生じた情動反応として、何の行動もとることができないことがある。訓練されている人々の方がこの現象が発生しにくいことが報告されている^{12,13)}。ことから、飛行経験が少ない操縦者に関して同様の事象が発生し、その結果死亡率が上昇するかもしれない。しかしながら、射出脱出行為そのものは稀であり、ほとんどの操縦者は経験することがない頻度の行為であることを考えれば、経験による成功率の差は見られないかもしれない。

緊急事態が常に脱出を意味するとは限らず、無事帰投することもある。しかし、脱出が必要か判別困難な場合、時期を逃せば、航空機及び操縦者双方喪失する可能性が高くなる。一方、脱出すれば、操縦者の生還する確率は高いが、航空機は確実に喪失する。このような射出脱出の特徴を考えた場合、脱出決心を一種の損失状況下での意思決定と捉えることができる。プロスペクト理論によれば、損失回避の傾向から、よりリスクテイキングな行動をとることが予想される、つまりこの場合、脱出は敬遠される傾向があると考えられる。また、プライドや周囲からの結果に対する評価が大きいほど、コミットメントが増大しリスクテイキング傾向が強くなると言われている¹⁴⁾。この場合、プライドや周囲からの脱出行為に対する評価、任務継続に対する意識等の点から、操縦経験が長い方がより飛行継続に対するコミットメントが増大すると考えられ、経験が長い操縦者の方が、様々な対処操作の試行などにより、死亡率が高まる可能性が考えられる。実際、Callaghanらのシミュレータを用いた研究¹⁴⁾において、全体的に操縦者は指示した脱出高度でも脱出を行わない傾向にあること、経験と系統だった関係は見られなかったものの、操縦経験が長い操縦者にその傾向が強かったことが報告されており、この傾向が実際の事事例においても観察されるかもしれない。

操縦者が2名搭乗している場合、1名に比べ、情報収集及びその処理能力の増加が見込まれる。そのため、1名の場合に比べ、より適切な時期に脱出が可能かもしれない。また、Tai¹⁵⁾は、脱出時の状況によっては、脱出成功後、周囲の人々から脱出の是非について批判されることがあるため、操縦者が複数の場合の方がその批判に耐えやすく、より容易に脱出するかもしれないと述べている。これらのことから2名の場合の方が、適切な時期に脱出が行われ、脱出成功率が向上すると考えられる。しかしながら、それぞれ異なるタイミングで脱出する場合や機長の独断で決定する場合、成功率の差は見られないと考えられる。そして、教官と学生、機長と副操縦士等に技量の差がある場合、技量の高い操縦者が低い操縦者の行動に注意を配分しなければならないことから、教官や機長の負担が増加し、2名である事によって成功率が低下することも考えられる。

Smelseyの研究¹⁶⁾において、1度無傷で生還すると、その操縦者は脱出システムを過信するまたは十分であると自己満足するようになり、次回より深刻な怪我を負う傾向があると報告されている。そのため、脱出経験の影響についても調査を行った。

2. 方法

本研究の対象は航空自衛隊発足の1954年から2004年までになされた、すべての事故事例であり、本研究において用いられたデータはそれらの事故資料から得られたものである。

これらの事例の内、射出脱出に関わった事例から、事故機種、操縦者氏名、年齢、飛行経験（総飛行時間、事故機種飛行時間）、緊急事態の種類、傷害程度と飛行経験、機内の操縦者数、死亡理由に関するデータの抽出を行った。

また、脱出決心の遅れに関する調査を行うため、全事故事例の内、脱出決心が遅れた事が死亡の理由として挙げられた事例を抽出した。本研究における「脱出決心の遅れ」とは、過去の研究¹¹⁾と同様に、状況に応じた結果として、最適な時期に脱出を行わなかったこと、を指すものであり、その研究において、“delay in the decision to eject”と分類された事例は12件見られる。しかし、脱出決心の遅れについては、脱出決心の遅れが影響した結果、脱出しないまま地面と衝突した操縦者も、実際の所、数秒の行為の違いであり、ほぼ同様の現象であることから全事故事例から、これに該当する事例を抽出し、それらを「脱出決心の遅れ」として分析に加えた。これらの脱出決心の遅れに関する事例から、脱出が遅れた理由及び操縦者の飛行経験を抽出し、飛行経験についてはその他の理由で死亡した操縦者との比較を行った。

海外での研究との比較を容易にするため、米空軍の安全規則を参考に、傷害程度を死亡、重傷、無傷の3種類に分類した⁷⁾。ここでの重傷の定義は、5日以上入院、5分以上の意識喪失、骨折、脱臼、内臓の受傷、3度の火傷、体表面5%以上の2度の火傷、これらのいずれかに該当するものであり、それ以下の受傷は無傷と分類した。

3. 結果

3-1. 操縦者の飛行経験

飛行経験と傷害程度に関する分析を行った。総飛行時間と事故機種飛行時間を操縦者の飛行経験の指標として用いた。射出脱出を行った搭乗者のうち1名は操縦者ではなかったことから、この搭乗者は分析から除外した。その結果、射出件数はそれぞれ傷害程度毎に、死亡32件、重傷13件、無傷94件であった。図1はそれぞれの傷害程度別に平均総飛行時間及び平均事

図1 飛行経験と傷害程度の関係

Fig.1 Relationship between flight experience and degree of injuries

故機種飛行時間を示したものである。それぞれの傷害程度を負った操縦者の平均総飛行時間は死亡2143.2時間(SD=1801.9)、重傷1208.6時間(SD=956.9)、無傷は1328.6時間(SD=947.8)であり、平均事故機種飛行時間は、死亡347.2時間(SD=379.0)、重傷390.4時間(SD=387.2)、無傷424.9時間(SD=435.0)であった。飛行経験と傷害関係との関係を分析するため、傷害程度を要因として、総飛行時間と事故機種飛行時間それぞれに対し、1要因の分散分析(ANOVA)を行った。その結果、総飛行時間に関する効果に有意性が見られたものの($F(2,136)=5.96$, $P < 0.01$)、事故機種飛行時間については見られなかった。総飛行時間に対して、Tukey法による多重比較を行ったところ、死亡した操縦者と重傷を負った操縦者の総飛行時間($p < 0.05$)、死亡した操縦者と無傷の操縦者の間($p < 0.01$)に統計的に有意な差が見られた。このことは、致命傷を負った操縦者の総飛行時間が、生還した操縦者の総飛行時間に比べ、有意に長いことを意味している。また、事故機種飛行時間に関して傷害程度間に差は観察されなかった。

3-2. 操縦者の年齢

操縦者の年齢の範囲は20~48歳であり、平均は28.96歳(SD=5.87)であった。傷害程度別の平均年齢はそれぞれ、死亡31.44歳(SD=7.82)、重傷27.62歳(SD=4.19)、無傷28.30歳(SD=5.06)であった。傷害程度別に年齢の差を分析するため1要因の分散分析(ANOVA)を行ったところ、効果に優位性が見られた($F(2,136)=3.96$, $p < 0.05$)。そのため、Tukey法による多重比較を行ったところ、死亡と無傷間に有意な差が見られた($p < 0.05$)。これは死亡した操縦者が無傷であった操縦者よりも有意に年齢が高いことを意味するものである。また、死亡と重傷、重傷と無傷間には有意な差は見られなかった。

表 1 機内の操縦者数と傷害程度の関係

Tab. 1 Relationship between number of pilots in the aircraft and degree of injureis

操縦者数	傷害程度			計
	死亡	重傷	なし	
1名	16	9	57	82
2名	16	4	37	57
計	32	13	94	139

年齢と飛行時間の関係について調査するため、相関係数を求めた。その結果、年齢と総飛行時間間の相関係数は0.89、事故機種飛行時間については0.33であり、年齢と総飛行時間の間に強い相関が見られた。

3-3. 航空機内の操縦者数

機内の操縦者数と傷害程度間の関係に対する分析を行った。全射出脱出のうち、57件は操縦者が2名搭乗していた航空機からなされたものであり、32機がそれに関わっていた。82件は1名の操縦者が搭乗している航空機からなされたものであった。非操縦者が後席に搭乗していた件は、操縦者が1名の航空機として分類し、非操縦者は分析から除外した。表1は機内の操縦者の数と傷害程度との関係を示したものである。2名の操縦者が搭乗した航空機に関する死亡率は1名の操縦者に関する死亡率よりもやや高かったものの、カイ自乗検定の結果、機内の操縦者数と傷害程度間に有意な関係は見られなかった。

3-4. 「脱出決心の遅れ」に関する操縦者

脱出決心が遅れ、その結果脱出を行わなかったことが死亡の原因として分析された事例の件数は、単座機において3件、操縦者が2名搭乗していた航空機からは1件であった。また、2名搭乗していた航空機の実例については、1名は適切な時期で事前に脱出し、生還していた。これら4件と、過去の研究において射出脱出を行ったものの脱出の決心が遅れた事例12件を加え、脱出決心に関連して死亡した操縦者の合計は16名であった。

脱出が遅れた理由としては、回復操作に集中していたため、エンジンの再起動を試みたため、人家を回避するため、無事故記録を維持するため等の理由が見られた。

図2は、脱出決心の遅れが死亡理由とされる操縦者、それ以外の理由で死亡した操縦者それぞれの飛行経験を示したものである。脱出しなかった事例を含め、脱出決心の遅れに関する操縦者の平均総飛行時間は2240.3時間(SD=1604.5)、事故機種飛行時間は354.1時間(SD=307.3)であった。一方、不明を除くその他の死亡原因に関する操縦者の平均総飛行時間は2298.4時間(SD=1920.4)、事故機種飛行時間は385.1時間(SD=419.9)であり、飛行

図 2 脱出決心の遅れに関わった操縦者及びその他の理由により死亡した操縦者の飛行経験

Fig. 2 Flight experience of ejectees who received fatal injuries caused by the delay of the decision to eject and other reasons

経験に関してはほぼ同様であった。

3-5. 2度目の脱出

2名の操縦者が2度の射出脱出を経験していた。そのうち一人目は2度とも無傷であった。1度目の射出脱出の理由はエンジンの故障であり、2度目はエンジン火災であった。二人目は1度目の射出脱出においては無傷であり、2度目では重傷を負っていた。1度目の射出脱出の理由はエンジンの故障であり、2度目はコントロール系統の故障で、コントロール不能状態であった。

4. 考 察

これまでの射出脱出の統計的分析に関する研究の多くは、傷害部位や飛行諸元などを中心としているものの、日本における射出脱出における最大の問題が脱出決心の遅れであることから、本研究は、操縦者側の変数に対して統計的な分析を行ったものである。

操縦者の飛行経験について調査したところ、死亡した操縦者の総飛行時間が、生還した操縦者に比べ、有意に長いことが明らかになった。一方、事故機種飛行時間については、傷害程度間に差は見られなかった。このことから、脱出の成否に関しては、総飛行時間が影響したものと考えられる。

ここで脱出の決心について考えた場合、脱出の決心は自分の技量と状況と照合した結果なされるものであるため、判断能力を含めた操縦技量と直接関係するものと考えられる。そして、武田らの研究¹⁷⁾によれば、人的要因に関する事故には、総飛行時間よりも事故機種飛行時間の方が影響していることが述べられており、また、本研究において傷害程度毎の事故機種飛行時間が同程度であ

ることから、人的要因の発生頻度やその対処能力が同程度と考えた場合、総飛行時間と関係する心理的要因が脱出決心に影響したと考えられる。これらのことから、操縦者として比較的経験が長い事によって、プライドや周囲からの批判、ミッション継続への意志等から生じる飛行継続へのコミットメントが強化され、その差が脱出の成否に関わったことが考えられる。飛行経験に関しては有意な差が見られており、脱出した操縦者の傾向は確認できたものの、内的な過程についてより明確に結論づけるにはさらなる研究が必要であろう。Callaghan らの研究結果⁸⁾において、飛行経験が長い方が脱出決心の基準が明確であるという結果が報告されており、本研究とは異なる結果と考えられるが、これは、実験環境と実際の緊急事態環境では緊急度や社会的影響が大きく異なることが合理的意思決定に影響したためと考えられる。これまでの射出脱出関連事故に関する統計的研究には、飛行経験を分類、分析したものはないため、他国と比較することはできないが、総飛行時間についてはブルガリア⁸⁾とは異なる結果と考えられることから、組織文化が影響したのかもしれない。

死亡した操縦者のうち、死亡原因が脱出決心の遅れと分類された操縦者の飛行経験とそれ以外の理由で死亡した操縦者の経験を比較したところ、ほぼ同様の飛行経験であった。これについては、脱出決心以外の事例における死亡理由の種類が多く、それぞれの事例数も少ないため原因を明確化することは困難と思われる。射出脱出に関する人的要因としては、脱出決心のみでなく、体を座席に固定するベルト（ハーネス）の固縛が十分でないことや射出脱出姿勢などもあり、死亡した操縦者の平均総飛行時間が中堅を超えた付近のポジションであることから、経験者の慣れによるものであったのかもしれない。航空自衛隊における着陸事故に関する研究¹⁷⁾からは、総飛行時間増加に伴い、概ね事故件数が減少する傾向が見られており、射出操作そのものには技量が必要ないためか、射出脱出事例は、それとは異なる特徴を持つものと考えられる。

年齢と総飛行時間について相関係数を求めたところ、強い相関が見られた。職業として操縦を行っているためと考えられるが、傷害程度間の比較を行ったところ、死亡と無傷間のみに有意な差が観察され、死亡と重傷間には見られず、総飛行時間とは異なる結果であった。これは、操縦者として採用される年齢が一定ではないこと、及び経歴管理上操縦とは異なる業務に就く場合があること等が影響したためと思われる。このため、操縦者としての能力を見る場合、国や組織により異なるかもしれないが、

年齢よりも飛行経験を指標とすべきと思われる。

機内の操縦者数と傷害程度の間に関連性は見られなかったことから、操縦者数が脱出に影響を与えなかったものと考えられる。フィンランドの研究⁴⁾において、複座機の場合、成功率が高かったと報告されており、本研究結果とは異なるものであった。これはフィンランドの事例が2機で4名分と少ないことによる可能性が考えられ、比較は困難と考えられる。また、責任の分散による脱出決心への影響については、脱出の成功率及び脱出決心の遅れからは確認出来なかった。これについては、脱出せずに帰投した事例のように、機長がもう1名の操縦者を先に脱出させることが影響した可能性が考えられる。

2名の操縦者が2度の射出脱出を行っており、1名は2度共に無傷、1名は1度目よりも2度目の方が、傷害程度が深刻であった。Smelsey¹⁶⁾の考察するように、1度目の脱出が2度目に影響したことも考えられるが、事例が少ないこと、及び事例で見られた2度目の脱出の際の重傷が操縦不能状態の際に発生しており、操縦不能時に怪我が深刻化しやすい傾向にあると言われている^{2, 11)}ことから、本研究の結果からは、Smelseyのいう過信の是非について結論づけることは困難と考えられる。

5. まとめ

これまでの射出脱出に関する統計的研究は、緊急事態の種類、射出座席の性能、脱出者の生存率、傷害程度及び部位に関するものが多く、また、日本における死亡理由として脱出時期の遅れが指摘されていることから、本研究では、操縦者に関する変数に焦点を当て、分析を行った。

その結果、事故機に関する経験はほぼ同等であり、同程度に事故機種に習熟していたと考えられるが、総飛行時間に関しては、死亡した操縦者に関して他の傷害程度であった操縦者より有意に長いことが明らかになった。このことから、飛行継続に対するコミットメントが死亡に影響した可能性が考えられる。今後は、死亡した操縦者に関しては確認不可能であることから、操縦者の認知プロセスについてより明確な結論付けをするため、生還した操縦者を参考としたアプローチが必要となろう。

機内の操縦者数に関する結果としては、2名搭乗していることが、脱出決心に影響しない事が確認された。これは2名搭乗していたとしても機長が1名を先に脱出させる事などの理由から2名であることが影響しなかったことが考えられる。このことから、脱出成功率を高めるため、今後は複座機における脱出時のコミュニケーションや意思決定について研究する必要性があると思われる。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、ご支援いただいた、清水憲氏及び藤城希恭 2 等空佐に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) L. Milanov : Aircrew ejections in the Republic of Bulgaria, 1953-93, *Aviat Space Environ Med*, 67, 364-8, 1996
- 2) J. M. Moreno Vazquez, M. R. Duran Tejada, J. L. Garcia Alcon : Reports of ejections in the Spanish Air Force, 1979-1995; an epidemiological and comparative study, *Aviat Space Environ Med*, 70, 686-91, 1999
- 3) D. G. Newman : The ejection experience of the Royal Australian Air Force: 1951-92. *Aviat Space Environ Med*, 66, 45-9, 1995
- 4) T. Visuri, J. Aho : Injuries associated with the use of ejection seats in Finnish pilots, *Aviat Space Environ Med*, 63, 727-30, 1992
- 5) U. Werner : Ejection associated injuries within the German Air Force from 1981-1997, *Aviat Space Environ Med*, 70, 1230-4, 1999
- 6) P. Sandstedts : Experience of rocket seat ejections in the Swedish Air Force: 1967-1987, *Aviat Space Environ Med*, 60, 367-73, 1989
- 7) G. W. McCarthy : USAF take-off and landing ejections, 1973-85, *Aviat Space Environ Med*, 59, 359-62, 1988
- 8) K. S. Callaghan, R. J. Irwin : The decision to eject: a receiver operating characteristic analysis, *Aviat Space Environ Med*, 72, 1017-24, 2001
- 9) 岩滝典生 : 航空自衛隊における緊急射出脱出に関する考察, *航空宇宙医学心理学*, 3, 69-74, 1966
- 10) 武田馨, 加藤象二郎 : 航空自衛隊における脱出事故事例に関する分析結果, *航空医学実験隊報告*, 21(1), 1-15, 1980
- 11) A. Nakamura : Ejection Experience 1956-2004 in Japan: An Epidemiological Study, *Aviat Space Environ Med*, 78, 54-8, 2007
- 12) 池田謙一 : 緊急時の情報処理, 東京大学出版会, 1986
- 13) J. Leach : Why people 'Freeze' in an emergency: Temporal and cognitive constraints on survival responses, *Aviat Space Environ Med*, 75, 539-42, 2004
- 14) J. Goldberg, R. Von Nitzsch : 行動ファイナンス, 真壁昭夫 (監訳), ダイアモンド社, 1999
- 15) Y. Tai : The decision to eject, *Approach*, November, 34-35, 1988
- 16) S. O. Smelsey : Study of pilots who have made multiple ejections, *Aerosp Med*, 41, 563-66, 1970
- 17) 武田馨, 加藤象二郎, 垣本由紀子, 黒田勲 : 着陸事故と経験度について, *航空医学実験隊報告*, 17(1), 17-24, 1976