

D-3

航空事故リスク信頼区間の推定に関する研究

Estimation of Confidence Intervals of Civil Aviation Accident Risk

指導教授 轟 朝幸

4028 川島 拓也

1. はじめに

我が国の航空機事故の発生件数は、長期的には減少傾向にある。その一方で、航空交通の情勢を見ると、現在首都圏を中心に航空機の交通集中による混雑や遅延等が深刻化しており、今後更に航空交通量が増大していくことが予測される。このため、より一層安全で効率的な航空交通システムを確立することは重要である。このような状況の下、国土交通省航空局では、航空交通の安全性向上を目的に、「航空安全プログラム」を平成 26 年度から導入している¹⁾。同プログラムの中で、航空事故発生率など国の安全指標をいくつか定めており、各指標に対して過去 5 年間の実績発生率の平均に基づく年度単位の評価が行われている。また、国際民間航空機関 (ICAO) が策定する安全管理マニュアル²⁾では、航空安全の評価法について、過去 12 ヶ月間の実績発生率から算出された平均と標準偏差に基づいた年単位の方法が例示されている。具体的には、安全目標値に加え、誤差の範囲を示した 3 段階の信頼限界を設定している。その一方で、航空事故は発生確率が低い稀有な事象であることから、その発生は確率的に変動しうる。このため、より科学的判断基準に基づいた評価を目指す上で、確率的変動を加味した評価を行うことが肝要である。

そこで、本研究では、より適切な安全評価基準の一助となることを目的に、国の安全指標別の航空事故及び重大インシデント発生に関する傾向を分析するとともに、ポアソン分布に基づく事故発生の偶然変動を考慮した航空事故リスク信頼区間の推定を行う。

2. 既存研究の整理と本研究の位置づけ

航空安全性の評価方法に関わる研究を整理すると、例えば長岡³⁾は、安全性をリスクに基づき管理する品質管理の手法であると述べている。また、Milan⁴⁾は、民間航空におけるリスク評価方法の具体的な提案を試みている。その結果、実際の事故データを用いた確率論的評価方法として、航空事故の発生時間間隔は指数分布に従うことなどを指摘している。

一方、道路交通分野における事故の危険度評価のための方法として、斉藤⁵⁾は、統計品質管理の概念を応用

した事故率管理法を検討している。事故率管理法とは、ポアソン分布を正規分布で近似することで得られる信頼限界式を用いて、事故率の信頼区間を定めたものである。

対して、本研究では、国の航空事故及び重大インシデントの実績発生率を対象として、事故率管理法を適用し、航空事故リスク信頼区間の推定を行うものである。

3. 航空事故のリスク信頼区間の推定方法

3. 1 航空事故発生リスク

本研究では、国の安全指標における航空事故または重大インシデント発生率を航空事故発生リスクと定義する。ここで、航空事故発生リスクとは、式(1)に示す単位時間あるいは回数あたりの航空事故または重大インシデント件数を示す。

$$S_i = \frac{k_i}{m_i} \times 10^6 \quad (1)$$

i : 国の安全指標番号 ($i=1, 2, \dots, 17$)

表-1 中の各指標①~⑰を、1~17でそれぞれ表記

S_i : 航空事故発生リスク (件/10⁶)

m_i : 運航時間 (時間) または運航回数 (回)

※指標⑬, ⑭は管制取扱機数 (機), 指標⑮~⑰は着陸回数 (回)

k_i : 航空事故または重大インシデント件数 (件)

3. 2 事故リスク信頼区間の推定方法

事故発生に関する偶然変動を考慮した航空事故リスクの定量的評価を目的として、事故率管理法を援用することで、航空事故等の発生リスク指標の信頼区間を推定する。信頼限界の上限は、式(2)で表される。

$$U = P_i + w \sqrt{\frac{P_i}{m} + \frac{1}{2m}} \quad (2)$$

ここで、 w は有意水準 α に対応する標準正規分布の値である。 i は式(1)と同じ、 P_i は既存研究と同様に平均発生率である。 m は暴露量に該当し、ここでは式(1)に示した運航時間または運航回数等を採用している。

3. 3 使用データ

まず、表-1に示す国土交通省航空局より提供を受

けた、平成 29 年度航空安全プログラム実施計画で示された「その他安全目標」の各指標値の算出に必要な航空事故件数や運航時間、運航回数等のデータを用いる。さらに、事故の 1 件 1 件の内容を特定化するために、国の運輸安全委員会が公表する事故報告書データ（「航空事故の統計」等）も併せて使用する。

表－1 分析対象の国の安全指標（その他安全目標）

業務提供者の区分	安全指標の種類	業務提供者の区分	安全指標の種類
航空運送事業者	① 航空事故発生率(時間)	交通管制分野	⑬航空事故発生率
	②-1 " (回数)		⑭重大インシデント発生率
	②-2 " (回数)		⑮航空事故発生率
	③ 重大インシデント発生率(時間)		⑯重大インシデント発生率
航空運送分野	④ " (回数)	空港管理業務等提供者	⑰制限区域内において、地上での作業又は地上の施設若しくは物件に起因する人の死傷、又は航空機が損傷した事態の発生率(着陸回数あたり)
	⑤ 航空事故発生率(時間)		⑱航空事故発生率
	⑥ " (回数)		⑲航空事故発生率
	⑦ 重大インシデント発生率(時間)		⑳重大インシデント発生率
(3) 国、地方公共団体、個人	⑧ " (回数)		
	⑨ 航空事故発生率(時間)		
	⑩ " (回数)		
	⑪ 重大インシデント発生率(時間)		

※「(時間)」は100万運航時間あたりを、「(回数)」は100万運航回数あたりを示す。
管制取扱機数は100万管制取扱機数を、着陸回数は100万着陸回数を示す。

4. 分析方法

4. 1 ポアソン回帰モデル

仮に航空事故がランダムに発生すると仮定した場合、一定期間内の事故発生件数の確率は、長期的な航空事故発生件数の平均値から確率現象として算定し得るものと考えられる。このため、本研究では、ポアソン回帰モデルを用いて、安全指標ごとの航空事故及び重大インシデント件数の平均発生確率を推定する。ここで、ポアソン回帰モデル式を式(3)に示す。確率分布を規定するパラメータ P_i を説明変数の関数で定義すると、 P_i は定数項のみの式(4)のように表される。

$$P_r(k|\lambda_i) = \frac{\lambda_i^k}{k!} e^{-\lambda_i}, \lambda_i = mP_i \quad (3)$$

$$P_i = \exp(\beta_i) \quad (4)$$

P_r : 事故が k 件発生する確率, k : 発生件数,

λ_i : 平均発生件数 (件/年), P_i : 平均発生率 (件/10⁶),

β_i : 未知パラメータ, i 及び m : 式(2)に同じ

5. 航空事故発生リスクの信頼区間推定結果と考察

平成 14 年 1 月から平成 28 年 12 月までの 15 年間分の月データを用いて、定期便を運航する本邦航空運送事業者に関する運航回数あたりの重大インシデント発生率(指標④)のモデルを推定した結果を表-2 に例示する。さらに、同結果から算出された $P_4=5.64$ (件/100 万回) を用いた信頼区間の推定結果を図-1 に示す。

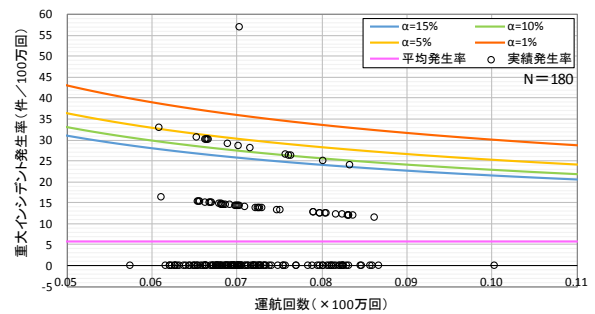
この例では、例えば有意水準 $\alpha=1\%$ において、月別実績発生率の全 180 個のデータのうち、179 個は信頼区間内であった。また、同区間を逸脱している月を危険月とみなし当該月の発生状況を調べてみると、月別平均

発生件数は 0.41 件であるのに対し、同月では 4 件発生している。また、この 4 件のうち 3 件の内容は、滑走路誤進入であることが判明した。滑走路誤進入については、平成 21 年 1 月～平成 28 年 12 月までの 96 ヶ月間で計 17 件程度発生しており、そのうちの 3 件が当該月に集中的に発生していることから、他の月に対して、確率の変動を考慮した上で稀有な月であるとみなされ、抽出されたものと推察される。

表－2 指標④におけるモデル推定結果

	推定値	p値
定数項(β_4)	1.730	$< 2 \times 10^{-16}$ ***

***・0.1%有意



図－1 指標④の月データにおける信頼区間推定結果

6. おわりに

本研究では、国の安全指標別に実績の航空事故及び重大インシデント発生率について、ポアソン分布を仮定した航空事故リスク評価法を適用し、リスク信頼区間を推定した。その結果、暴露の小さい区間に対する変動の許容範囲がより広くなるように設定されることがわかり、事故発生の偶然変動による見せかけ上の高い危険率に基づく判断の誤りを防止し得る危険度の評価方法であることが示唆された。一方で、各指標区分について、たとえ同一の指標内であっても、事故類型が多岐に渡る場合がある。したがって、そもその起こりやすさが異なる事故類型同士を同じ区分で考えている可能性があることから、その点について考慮に入れた分析を行うことは今後の課題である。

謝辞: 本研究を進めるにあたりご協力頂いた、国土交通省航空局の皆様へ深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局: 航空安全プログラム, <http://www.mlit.go.jp/common/001180721.pdf> (最終閲覧日: 2018.1.29) .
- 2) ICAO : Doc 9859 AN/474 Safety Management Manual (SMM), Third Edition, pp. 5-App 6-1-5-App 6-9, 2013.
- 3) 長岡栄: 航空輸送の安全向上の方法について—安全規格から安全管理への変遷—, 電子情報通信学会 基礎・境界サイエティ Fundamentals Review, Vol.11, No.2, pp.100-107, 2017.
- 4) Janic, M.: An assessment of risk and safety in civil aviation, Journal of Air Transport Management, Vol.6, No.1, pp.43-50, 2000.
- 5) 斉藤和夫: 事故危険度評価方法に関する調査研究の概観 (II), 交通工学, Vol.15, No.7, pp.37-48, 1980.