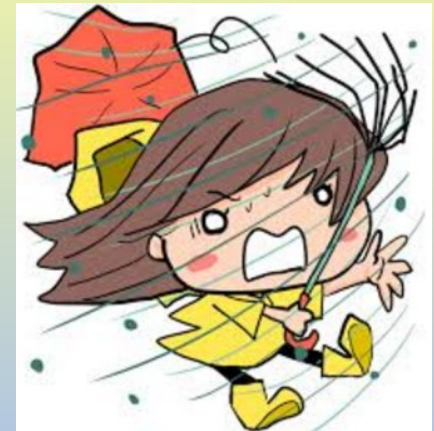
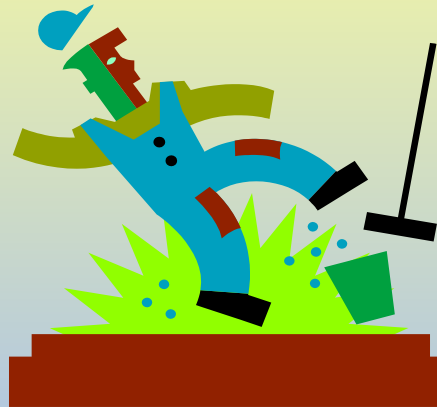


# ハザード解析における事前確率の 効率的な推定方法について

航空交通管理領域

天井 治、住谷 美登里、松岡 猛



1. 研究の背景
2. ハザード解析
3. 提案手法
  - 3.1 人的過誤確率、PSF値
  - 3.2 重大さ
  - 3.3 前提条件の定量化(事象、出来事)
4. まとめ

# 研究の背景

残念ながら**航空機事故**は絶えない。

最近もエチオピア航空の旅客機の悲惨な事故  
...離陸直後に墜落、乗客全員死亡



# 研究の背景

国際民間航空機関 (International Civil Aviation Organization: ICAO) Annex11 (航空交通業務) に  
安全性評価義務の記述 (2000年)

航空交通管制システムの安全性に関わる重要な変更は、安全性の評価により安全性の許容レベルが満たされることが示され、そして、利用者の意見を聴いた後で行われるべきである。

更に、適当な時期にその安全性のレベルが満たされ続けているかを確かめるべきである。  
(Annex11 2-26より抜粋)

ICAO Safety Management Manual (第1版 2006年)

ICAO Annex19 (安全性管理) 2013年11月に追加 (第2版 2016年)

Annexの文書は航空業界におけるバイブル的存在

# Safety Management Manual (SMM)

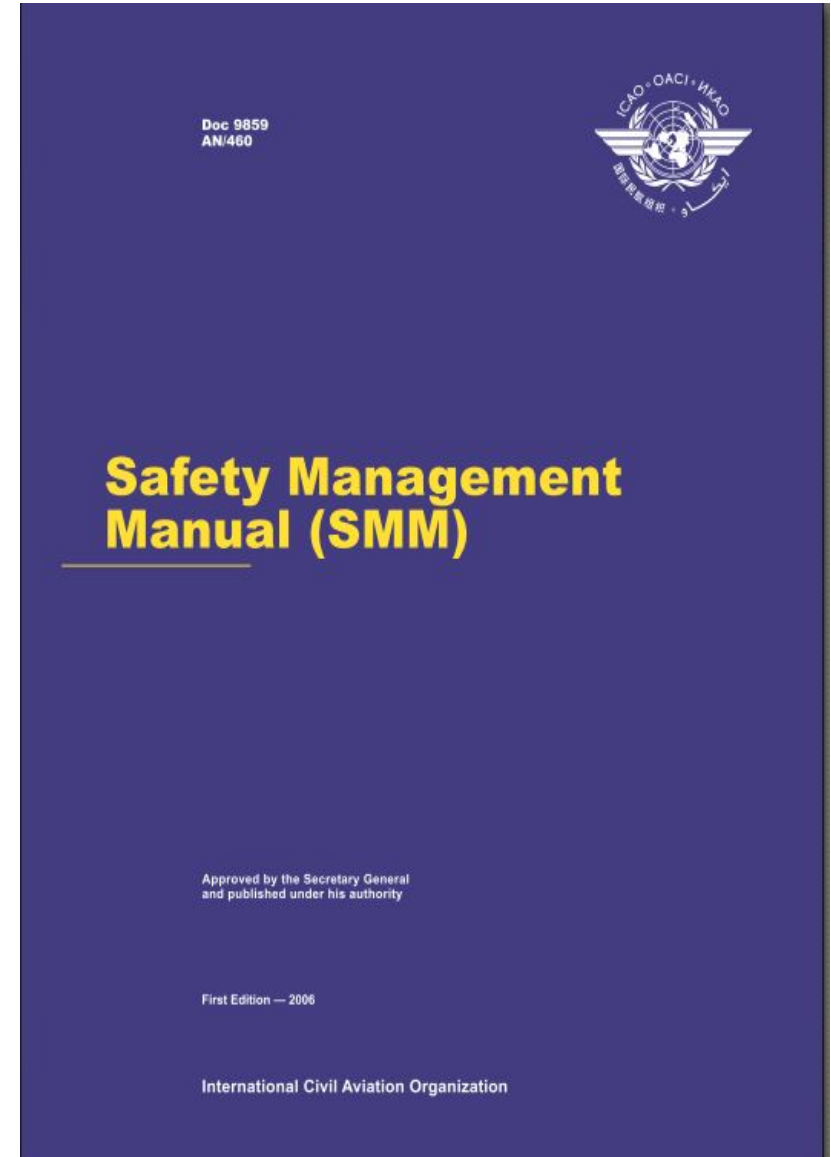
ICAO Doc 9859  
Safety Management Manual

第1版 **First edition** 2006

第2版 **Second edition** 2009

第3版 **Third edition** 2013

第4版 **Fourth edition** 2018



## ハザードとは？

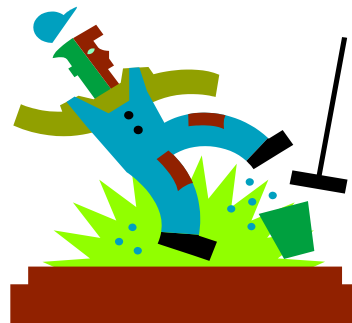
「予期しない、または期待しない出来事を導いたり、その原因となったりする状態、事象、状況」

(FAA (Federal Aviation Administration: 米国連邦航空局) ORDER 8040.4 in 1998)

A condition that could **foreseeably** cause or contribute to an accident.  
(FAA ORDER 8040.4A in 2012)

A condition that could foreseeably cause or contribute to an **aircraft** accident. (FAA ORDER 8040.4B in 2017)

航空機事故の原因となる状態、事象、状況



# ハザード解析

## ハザード同定

予備的ハザードリスト (PHL)

HAZOP手法  
Hazard and  
Operability Studies

定常状態からのズレ  
早い・遅い  
強い・弱い  
高い・低い 等

## リスク評価

故障木分析 (Fault Tree Analysis)  
事象木分析 (Event Tree Analysis)  
リスクマトリクス  
等

## ハザード解析

### 提案手法

出来事の概念を用いたハザード同定  
定量的評価手法

# ハザード解析

		発生頻度				
		殆どあり 得ない	極めて起 こりにくい	起こりに くい	やや多い	頻繁
重大さ	壊滅的	要軽減策	要軽減策	許容不可	許容不可	許容不可
	危険	許容可能	要軽減策	要軽減策	許容不可	許容不可
	高い	許容可能	要軽減策	要軽減策	要軽減策	許容不可
	低い	許容可能	許容可能	要軽減策	要軽減策	要軽減策
	極小	許容可能	許容可能	許容可能	要軽減策	要軽減策

## リスクマトリクス(SMMで推奨)

- ・主観的(定性的)な評価になってしまう。
- ・リスクが数値として表現されない。



# 提案手法

同定されたハザードに対する**定量的**リスクの推定

ハザードの**前提条件** (複数の「出来事」) → **定量化**

×

人的過誤 (ヒューマンエラー) 確率 (HEP) 数値 (文献調査)  
(「忘れる」、「言い間違える」等に応じた値)

×

Performance Shaping Factor (PSF) 数値 (文献調査)  
(「緊張感が高い」等に応じて倍率を設定)

×

重大さ (想定される被害の大きさ)

→ **定量化**

5段階で選択 (主観入り得る)

英国安全衛生庁 (HSE) の報告書と比較して、数値の妥当性を検証

## 人的過誤確率、PSF値

人的過誤確率とPSF値は、**文献調査**の結果を使用。  
最近、比較的新しい多くの文献を探し出せたため整理中。

人的過誤確率に対し、例えば

没頭・注意散漫による脱落の発生確率  $1.8 \times 10^{-2}$  [2]

PSF値では

緊張感が高い場合 2倍<sup>[3]</sup>

動的な困難作業の場合 5倍<sup>[1]</sup>

[1] A.D. Swain & H.E. Guttman, Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, Final report, NUREG/CR-1278, 1983.

[2] NUREG/CR-4639 EGG-2458 Vol.5, Revision 4, Nuclear Computerized Library for Assessing Reactor Reliability (NUCLARR) Part 2: Human Error Probability (HEP) Data, 1994.

[3] D.I. Gertman et al., INTENT: a method for estimating human error probabilities for decision based errors, Reliability Engineering and System Safety, 35, pp.127-136, 1992.

# 人的過誤確率、PSF値

## 人的過誤確率リストの一部

項目	一般的記述	具体的動作	人的過誤確率(HEP)	参考文献
簡単な日常的作業	うっかり間違い	物理的間違い (二択)	$2 \times 10^{-3}$ ( $8 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-3}$ )	(Gibson & Kirwan, 2008) <sup>[24]</sup>
		意図しない キー制御	$9.8 \times 10^{-4}$ ( $1.5 \times 10^{-4} \sim 3.3 \times 10^{-3}$ )	(Preischi & Hellmich, 2013) <sup>[25]</sup>
		意図しない押し ボタンの押下	$1.18 \times 10^{-3}$ ( $1 \times 10^{-4} \sim 3.9 \times 10^{-3}$ )	(Preischi & Hellmich, 2016) <sup>[26]</sup>

24. W. Huw Gibson and Barry Kirwan, "Application of the CARA HRA Tool to Air Traffic Management Safety Cases," EUROCONTROL report, 2008.

25. W. Preischi and M. Hellmich, "Human error probabilities from operational experience of German nuclear power plants," Reliability Engineering and System Safety, 109, pp. 150-159, 2013.

26. W. Preischi and M. Hellmich, "Human error probabilities from operational experience of German nuclear power plants Part II," Reliability Engineering and System Safety, 148, pp. 44-56, 2016.

## 提案手法

同定されたハザードに対する**定量的**リスクの推定

ハザードの**前提条件** (複数の「出来事」) → **定量化**

×

人的過誤 (ヒューマンエラー) 確率 (HEP) 数値 (文献調査)  
(「忘れる」、「言い間違える」等に応じた値)

×

Performance Shaping Factor (PSF) 数値 (文献調査)  
(「緊張感が高い」等に応じて倍率を設定)

×

**重大さ** (想定される被害の大きさ) → **定量化**

5段階で選択 (主観入り得る)

英国安全衛生庁 (HSE) の報告書  
と比較して、数値の妥当性を検証

# 重大さ

## 重大さ(Severity)の値

重大さ	値	状況
極大	1	100人程度の死亡事故
大	$1.5 \times 10^{-3}$	1人程度以上死亡+傷害発生
中	$3.0 \times 10^{-5}$	傷害発生, 経済的損失大
小	$6.0 \times 10^{-7}$	軽度傷害発生, 遅延, 乗客に不都合発生
極小	$1.2 \times 10^{-8}$	カスリ傷程度発生, 何らかの影響発生

## 提案手法

同定されたハザードに対する**定量的**リスクの推定

ハザードの**前提条件** (複数の「出来事」) → **定量化**

×

人的過誤 (ヒューマンエラー) 確率 (HEP) 数値 (文献調査)  
(「忘れる」、「言い間違える」等に応じた値)

×

Performance Shaping Factor (PSF) 数値 (文献調査)  
(「緊張感が高い」等に応じて倍率を設定)

×

重大さ (想定される被害の大きさ)

→ **定量化**

5段階で選択 (主観入り得る)

英国安全衛生庁 (HSE) の報告書  
と比較して、数値の妥当性を検証

# 前提条件の定量化

このような状況を数値化する必要あり

管制指示

速度調整  
高度指示  
針路指示  
等

安全な間隔

管制指示

ターミナルレー  
ダ管制官



レーダアンテナ



対空通信用アンテナ



# 前提条件の定量化

## 考慮すべき事項

- ・無線システム故障(地上、機上両方)
- ・同時応答で無線が使えなくなる状態
- ・対象となる航空機同士の位置関係
- ・滑走路閉鎖
- ・天候
- ・行動(管制官、パイロット両方)

などなど







# 事象

事象一覧：ハザード同定をし易くするために予め列挙しておく。  
 ヒューマンエラーも敢えて含める。

空域環境	フェーズ		地上走行中	
			離陸	
			上昇中	
			エンルート	
			下降中	
			最終進入中	
			着陸	
	経路		交差路(交差角を記述)	
			一方通行	
			平行経路	
	運用規定	管制方式		管制間隔(数値を記述)
				AR経路優先
				視程(カテゴリーまたは数値を記述)
		運用時間		騒音等での禁止時間帯を記述
	地形	地上障害物		山
			建物	
			山岳波(気象と絡む)	
滑走路			滑走路本数	
			滑走路長	
			滑走路変更	

事象一覧  
 (一部)

# 事象

大分類	中分類	小分類	細分類
気象			風向風速
			濃霧
			積乱雲
			台風
			積雪(滑走路との関係)
			大雪(視程)
			雷雨
			山岳波(地形と絡む)
			砂埃
情報提供の欠如			緊急異常事態の伝達
			被管制機の周囲の航空機の状況
			滑走路面の状態
	緊急事態 (優先権あり)		燃料不足
			ハイジャック
			機内トラブル
			エンジントラブル
			急患
	異常事態		ドローンが空域に侵入
			VFR機の迷い込み

事象一覧  
(一部)

# 出来事

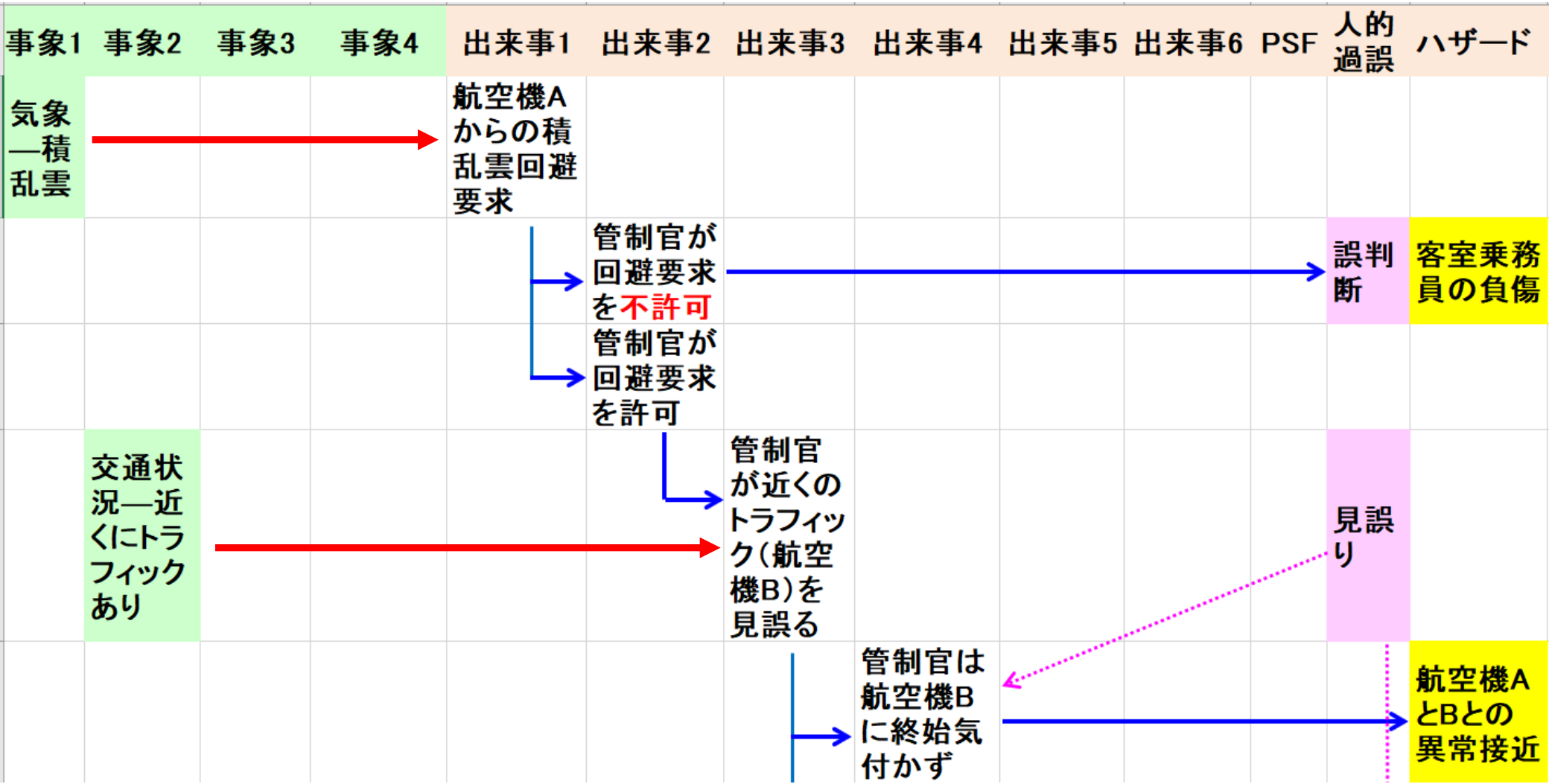
出来事... イベント、スレット(脅威)、ストーリー  
スレットに近いが、スレットと呼べないものも含むため  
ここでは「**出来事**」と呼ぶことにする

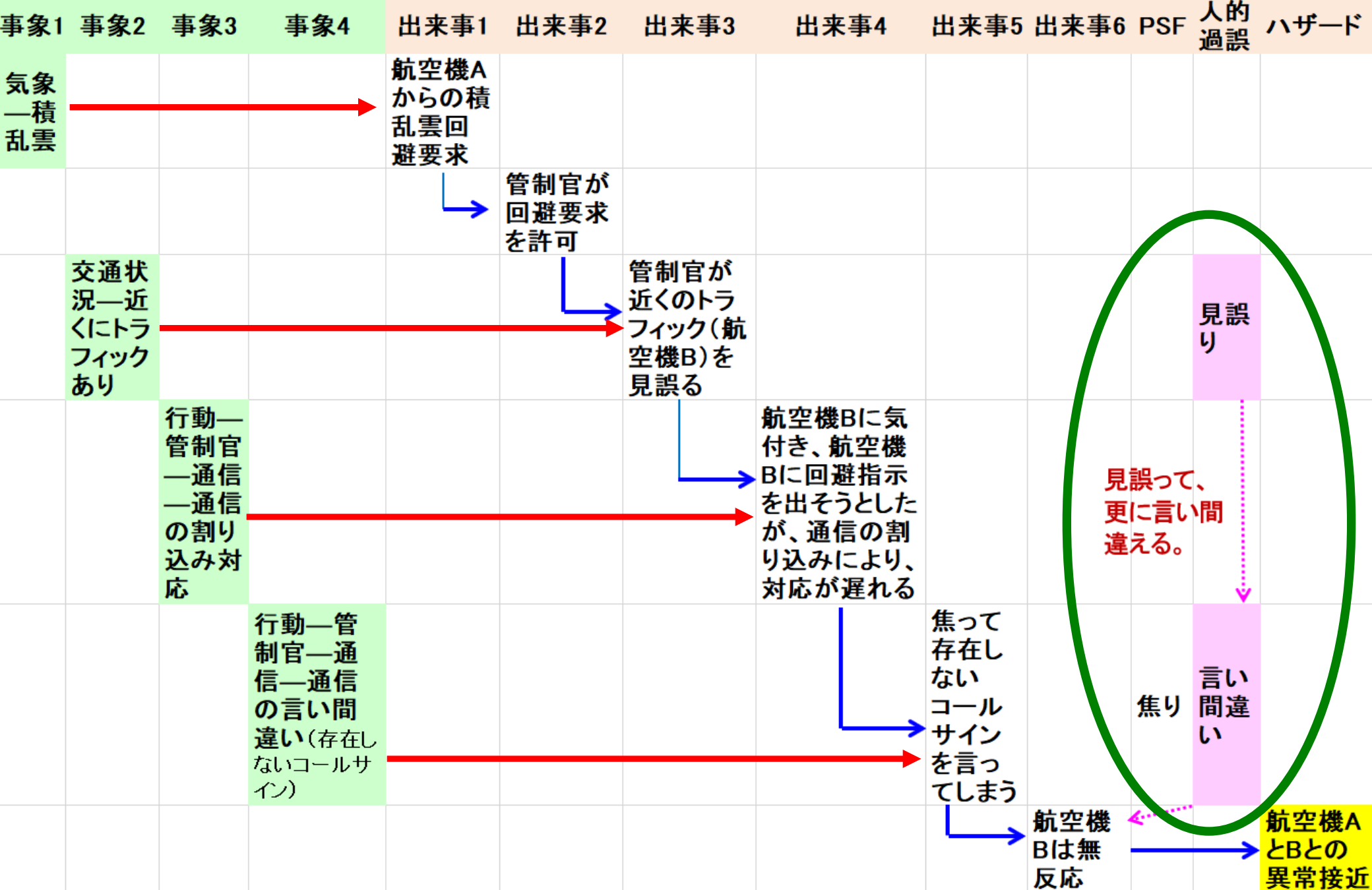
事象一覧からある事象を選択し、  
それに従ってストーリーを立てていく。

出来事も数値化が必要だが、  
事象と重複する値や人的過誤確率、PSF値は含めない。



# ハザード同定の例





## 前提条件の定量化

各ハザードのリスク値は加算できるようにする。

ハザードは細かく幾つに分けても問題無いようにする。

リスク軽減策を施した後のリスクを含めて、全て加算し、システム全体として残っているリスク(残留リスク)として扱う。

同じ前提条件から発生し得るハザード(最終的なヒューマンエラーのみが異なるもの。ヒューマンエラーの値が異なるので別々に考える)

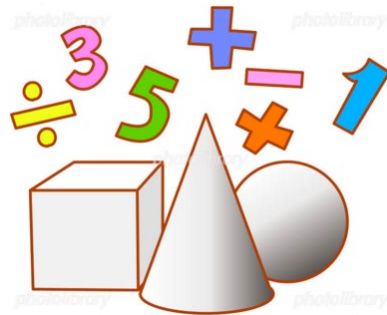
- ・管制指示の言い間違い(ヒューマンエラー)
- ・管制指示のパイロットの聞き間違い(ヒューマンエラー)
- ・管制指示の伝え忘れ(ヒューマンエラー)
- ・コールサイン間違い(ヒューマンエラー)

などなど

# まとめ

開発中のハザードの**定量的リスク評価手法**の概要を述べた。

- ・現在、**前提条件となりうる状況を洗い出す**作業の最中
- ・前提条件の定量化では、**条件付き確率**や**加算**等も必要になると考えられるが、計算方法は現在検討中。
- ・数値の信頼性は重要だが、まずまず**妥当と考えられる値**で数値化を進める。
- ・**前提条件の定量化には、時間を要する。**
- ・**限定した条件**での定量化を行っていく。





## 今後について

今後は、

- ・前提条件となりうる状況の洗い出しの継続
- ・前提条件の定量化(まずは限定した条件で)
- ・ベイジアンネットワーク等他の手法の利点の取り入れ

上記に対するブレインストーミングを続けて、当該手法の開発を進めていく予定。

ご清聴ありがとうございました。



何処にでもハザードが...



# ハザード同定

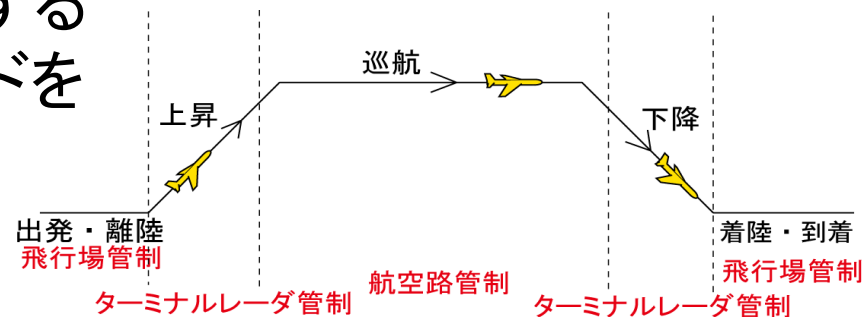
ハザード同定にあたり、以下の状況におけるハザードも同時に検討する必要がある事が認識された。

## 1. 「忘れる」、「遅れる」、「言い間違える」等の状況



ウーマンエキサイトより

## 2. 一つの飛行フェーズのみでなく該当する全ての飛行フェーズにおけるハザードをそれぞれ考える。



## 3. 管制官の視点から同定されたハザードをパイロットの視点からも考える。パイロットの視点で同定されたものは管制官の視点でも...

