

TEM理論と航空機の安全運航に関する一考察

Consideration for TEM Theory and Safety of Aircraft Flight Operations

山田 光男

Mitsuo YAMADA

これまで航空安全のために、警報システムの開発、多重装備、航法機器の精度向上など様々な方策がとられてきたが、近年最も注目を浴びているのは人間の行動そのものに対する方策である。機長の判断ミスが致命的なエラーにつながった2件の事故から Cockpit Resource Management (CRM) と呼ばれる乗員の行動様式を改善するための方策が開発され、このCRMにエラーとそのエラーの元となる潜在的危険要素を考慮した Threat and Error Management (TEM) の概念が組み込まれ、一層の安全性を確保する動きへと繋がっていった。この経緯を検証し、TEM の概念は有効な安全対策に成り得るか、また今後の課題は何かについて考察した。

1. はじめに

大型旅客機の事故は、一度で多数の死者や重傷者を発生する大災害に繋がるため、何としても防がなければならないが、レシプロエンジンが主流だった1950年代後半の致死事故率は100万回のフライトで40件以上も発生していた。これを防ぐための努力は絶えることなく続けられてきたが、事故率の減少に大きく寄与したのはB707やDC8などの第1世代ジェット旅客機の登場であった。これらのジェット機が安定した運航を始めた1960年代前半には100万回のフライトで4件ほどに激減したのである。従来のレシプロエンジンに比べジェットエンジンの信頼性が高かったことが事故率低下に大きく寄与した。

航空機事故をなくすために、航空機の航法装置、警報装置の導入、整備方式の見直し、空港や航空路の整備、管制方式の改善など近年に至るまで様々な安全対策が取られてきた。これらの対策により1970年代までは事故率は顕著な減少が見られたが、それ代以降大幅な減少は

見られない。現代の航空機における死亡事故発生率は、100万回のフライトにつき約0.3件でほぼ横ばい状態が続いている¹⁾。

近年の事故原因を分析した結果、70%以上は乗員などに関するヒューマンファクターに起因していることがわかった。安全対策で残されたのは、人間そのものへの取り組みであったのである。1件の事故として史上最多の死亡者数を出したテネリフェのB747同士の衝突事故を含む2件の事故が契機となり、問題解決のための決断までのパイロットの行動様式を見直し、望ましいパイロットのマネージメントの必要性が提案された。その結果、乗員のマネージメント能力を向上させるためのプログラム Cockpit Resource Management (CRM) が開発された。その後CRMは改良が重ねられ、第1世代から第4世代へと変わっていったが、1990年代になるとCRM教育・訓練は効果を上げているのかとの疑問が呈され、実際の運航の中で調べることとなった。それが、LOSA (Line Operations Safety Audits) と呼ばれるものである。これは専門家が操縦席に乗り、実際の運航をオブザーブしそれを記録するものである。試験と異なり個人評価をしないため、日常の運航がそのまま観察できるという特徴がある。その結果、日常パイロットたちは多くのエラーを起こす可能性のある潜在的危険要因 (Threat) の中で運航していること、それにより多くのエラーを犯していること、中には修正されず危険な領域に入り込んで

連絡先：山田光男 myamada@cis.ac.jp

千葉科学大学危機管理学部工学技術危機管理学科

Department of Engineering Technology for Risk and Crisis Management, Faculty of Risk and Crisis Management, Chiba Institute of Science

(2014年9月30日受付, 2015年1月18日受理)

しまうケースが少なからずあることが報告された。この事実を踏まえて、従来の個々の乗員の行動様式を見直し、チームとしての機能を向上させ安全性の向上を図ろうとするCRM訓練プログラムに、エラーを発生させるThreatへの対応策や、Threatにより生じてしまったエラーに対処するための安全理論TEMが組み込まれ更なる安全性を確保する仕組みが作られた。本報では、航空機の安全性に直接かかわる操縦士を観察することにより、安全運航を行うためのTEM理論が生まれた経緯を解説する。さらに航空機の安全を図る操縦士の役割と課題について述べる。

2. CRM

2. 1 誕生の契機となった重大事故

CRMを誕生させる契機となったのは、以下の二つの事故である。

●テネリフェ空港ジャンボ機衝突事故

1977年3月27日、スペイン領カナリア諸島のテネリフェ島にあるロス・ロデオス空港の滑走路上でKLM・パンナム機のボーイング747型機同士が衝突し、乗客乗員583人が死亡した事故である。1件の事故の死者数では、世界最悪の事故である。濃い霧の中離陸を急いでいたKLMの機長は、出発後の経路の許可を離陸許可だと受け止めてしまった。滑走路にはまだパンナムのB747がいたのである。副操縦士は、まだ離陸許可は来ていないのではと疑問を持ったが機長に言うことはなかった。但し心配だったため管制塔に「我々は離陸を開始する。」と述べたが管制塔からの「待機せよ」との指示は交信が重なったためよく聞こえなかった。航空機関士は、まだパンナム機が滑走路にいるのではないかと機長に問いかけたが、機長が離陸を中断することはなかった。KLMの機長は会社のチーフパイロットであったため副操縦士や機関士が強く自分の意見を主張できなかったこと、機長に他の乗員のアドバイスを聞こうとする態度がなかったことが事故を起こした要因であった。

●United航空173便燃料切れ墜落事故

1978年12月28日United航空のダグラスDC8型機がオレゴン州ポートランド空港への進入中に燃料切れにより墜落した事故である。着陸前に車輪を出した際、衝撃と異常な振動があり横揺れもあった。更に車輪が出たことを示すDown and lock indicatorも点灯しなかったので機長は着陸時に車輪が引っ込み胴体着陸となり、火災が発生する恐れがあると考えた。機長はすぐに進入を止め、空中待機を管制に要求し、客室乗務員に緊急脱出の恐れがあることを伝えた。また地上の整備や運航管理者とも故障について無線で打ち合わせを始めたため、空中待機は1時間にも及んだ。機長はこの対応に没頭してしまい、

残燃料が少なくなっていることを失念していた。副操縦士、航空機関士は、残燃料が少ないことに気が付いており、機長にそのことを告げたが、機長の注意を引きつけるまでには至らなかった。その結果、当該便の2度目の進入時に残された燃料はほとんどなかった。空港の手前6マイルの地点で燃料はなくなりすべてのエンジンが停止し墜落した。米国事故調査委員会(NTSB)は、直接の事故原因は機長の不適切な燃料マネジメントにあるが、適切な助言をしなかった副操縦士や航空機関士の責任でもあるとした。すべき助言をできなくしたのは、機長の高圧的なマネジメントの仕方であると結論付けた。

NTSBは1979年に、すべてのエアラインの乗務員に、必要な場合は自分の意見をためらわずに伝えられる訓練を行うことを推奨するという文章を出した²⁾。この2件の事故の機長は、他の乗員の意見に耳を貸すことがなかった。また機長以外の乗員は自機が危険な状態にあることを知っていながら機長の決断を変えるまでに強く主張できなかったのである。操縦席における権威勾配の大きすぎたことが、これら2件の悲劇を生んだといえる。

同年アメリカ航空宇宙局National Aeronautics and Space Administration (NASA) は、1968年から1976年に発生したアメリカ国内における航空機事故62件の分析を行った。その結果、事故原因に共通する項目があることが判明した。それらは次のようなものである。

- ・コミュニケーションの欠如
- ・安全への主張の欠如
- ・意思決定の失敗
- ・リーダーシップの欠如

2. 2 旅客機の操縦に関する課題

航空界における訓練や審査は、他の乗員の手助けなしにあらゆる故障や悪天に対処できる技能を身につけることを目的に行われ、それを確認する場が審査であった。審査では、機長はすべて自らの判断と操作で故障に対処してゆく。副操縦士に命令し操作させることはあっても、副操縦士が機長のエラーを指摘し修正することは許されない。個人の技量が審査されるためである。このような訓練はあっても、機長のエラーを見つけ進言し修正させるといった訓練は皆無であった。自分より経験があり技量も優れている機長に異なった意見を述べることは勇気のいることであり、困難なことであった。

しかし上記のNASAの調査結果より、事故の原因は機長の指揮・決断能力にあるだけでなく他の乗員の行動様式にもあることがわかったのである。NASAは、機材の故障や悪天候などの外的な問題は事故を起こす誘因であり、乗員の行動様式が主因である、事故率低減にはこれを見直すことが必要であると結論付けた。

2. 3 CRMの誕生と課題

NASAの提言を受け、ユナイテッド航空が1981年に、事故を未然に防ぐためのプログラム開発を始めた。その後ノースウエスト、トランスワールド、デルタ、KLM航空等の大手航空会社が続いて訓練の開発に着手した。そして同年ユナイテッド航空は航空界で初めてヒューマンファクターによる事故を防ぐための新しい「訓練プログラム」を完成した。このプログラムは主に個人の行動欠陥を矯正するためのものであり、副操縦士や航空機関士が安全への主張をためらったり、機長の独裁的な考え方や行動様式を取ったりするのを正すことに主眼を置いたものであった。その訓練プログラムは、Cockpit Resource Management (CRM) と名付けられた³⁾。

CRMでは、「操縦室内で得られる利用可能な全ての人、情報、機器などの資源を活用し、安全で効率的な飛行を目指すこと、操縦室の乗員全体で話し合い、安全にかかわる脅威の影響を最小にできるよう積極的に行動すること、そのためにヒューマンファクターに関する知識を活用することが重要」とされた。つまり、機長は操縦室内の副操縦士や航空機関士を重要な資源と考え、決断の際に彼らの意見を十分聞くこと、また副操縦士や航空機関士は機長をサポートするとともに安全に対する主張はためらわず行える能力を持つ必要があるとしたのである。このため各乗員に対し、「自らの行動様式を知るための心理テストやゲーム」が実施された。知らず知らずのうちに他の乗員に不要な圧力をかけていないか、他の者に対して聞く耳を持っているか、威圧的な態度の機長に対しても勇気をもって意見を言えるかなどを知ることにより、日常運航でのより安全なマネジメントができるチーム構築を目指したのである。

しかし、ライン運航で実践できるような「具体的手法」は示されず、乗員が実運航の中でどのようにCRMを実践するかは各自の解釈に委ねられていた。また訓練受講後、一定の改善が見られた乗員の中にも、時間と共に効果が薄れ元の行動様式に戻ってしまう者も少なからずいた。訓練には航空機の運航と無関係な心理的テストやゲームが用いられ、そのため訓練の効果を疑問視する乗員もあり、訓練の効果がほとんど見られない場合もあった。

2. 4 第2世代のCRM

1980年代前半に開発された上記のCRMは第1世代CRMと呼ばれる。個人の行動様式の見直しにより安全なマネジメントに繋げようとするものであったが、効果は限定的であり個人差も大きかった。そこで乗員個人の行動様式ではなく、操縦室内の乗員がチームとして問題解決に取り組むための実践的な訓練に変えられた。名称は、Cockpit Resource ManagementからCrew Resource Managementに変えられた。この世代の特筆すべきこと

としては、CRMを実運航で実践するための訓練としてLine-Oriented Flight Training (LOFT) が導入されたことが挙げられる。

LOFT訓練とは、機長と副操縦士という通常の編成によりライン運航を模擬したフライトをシミュレーターで行い、その中で起きる問題にチームで対処する訓練である。ブリーフィングでは実運航のように、飛行計画・飛行情報・気象情報などが用意され、乗員が確認した後に訓練を開始する。教官は管制官や客室乗務員、運航管理者の役を務めながら訓練を進める。飛行中に機材故障や急病人発生、天候の急速な悪化などの問題が発生するが、それに対し機長と副操縦士がどのように対処するかを訓練するのである。その様子はビデオに録画されており訓練終了後、自分たちの行動を見ながらより安全なマネジメントの方策を探求する訓練である。LOFTは、技能評価を行わず、失敗から学ぶ訓練として機長と副操縦士がチームでより安全な方策を考える場として有効であった。CRMを実践するための方法として、行動指標(CRMスキル)と呼ばれる概念が考えられた。その内容は、「意思疎通」「チーム作り」「状況の認識」「意思決定」「負荷の管理」などであったが、抽象的であったため実際には難しく実用的ではなかった。

2. 5 第3世代

1990年代前半にCRM訓練は、単にチームでより良い問題解決を図るための訓練ではなく、技量維持向上のための訓練の要素を取り入れた。第2世代で登場した行動指標(CRMスキル)の各項目は、より具体的なものになり、具体的な行動につながるものになった。

行動指標は、細分化され具体的な行動指標が示された。「意思疎通」を例にとると、「タイミングを考え簡潔明瞭に伝える」「誰もが理解できる標準的な用語を用いる」「受け手は理解したことを明確に示す」など具体的な細目に分かれた。この内容はCRMに関するセミナーで詳しく解説されたため、乗員たちは運航の現場でCRMを使いやすくなった。

一方CRMの対象を運航乗務員だけでなく、客室乗務員、運航管理者、整備士を含めることにし、運航乗務員と客室乗務員との合同LOFT訓練も開始された。

2. 6 第4世代

1990年代中ごろには、米国ではすべての飛行訓練にCRMが取り入れられ、CRMと訓練、審査、実運航との統合化、および操作手順への反映が行われた。また、技能評価を行わないLOFT訓練から、CRMに関する技量の判定が行われるLine Operational Evaluation (LOE) が導入され合否判定が行われるより厳格な訓練となった。

日本では航空局により1998年にCRM訓練が義務化

されたが、LOEは導入されず、現在もLOFTのまま実施している。理由としては、訓練を審査化すると対応が硬直化してしまう恐れがあることと、もし乗員の決断が最良のものでなかったとしても、失敗から学ぶほうが得るものが多いと考えたためと考えられる。

2. 7 CRMの効果と課題

CRMは、パイロットのエラーに起因する事故を減少させるために始められ、事故防止に対し一定の効果を上げるとともに、パイロットのモラル及び運航効率の向上に役立った。しかし、時間経過とともに、その目的は徐々にあいまいになっていった。原因の一つは、訓練対象を運航乗務員だけでなく、整備士、客室乗務員等に広げたことが挙げられる。CRMは徐々に良好な人間関係を築きチームワークを向上させるための教育技法としてとらえられるようになってきた。もちろんチームワークは重要であり良好な人間関係を築くことは大切であるが、それらはあくまでも手段であり、本来の目的はパイロットのエラーを減少させ安全性を向上させることにある。

このため、1990年代後半から、CRM訓練プログラムが実際に使われているのか、安全性向上に役立っているのかが議論されるようになった。その結果生まれたのがLOSAであり、以下解説する。

3. LOSAとは

3. 1 開発と実施

CRM訓練で学んだことが日常運行に活かされているか、安全性向上に役立っているかを調べるために、テキサス大学とデルタ航空が協力して、ライン運航での実態調査をすることになった⁴⁾。この調査には、テキサス大学オースティン校のRobert L. Helmreich教授を中心とするチームが開発したプログラム、ライン運航安全監査/Line Operations Safety Audits (LOSA) という手法が使われることになった。1994年にデルタ航空の乗員に対しライン運航安全監査 (LOSA) が行われた。調査は専門の訓練を受けたオブザーバーが、操縦室内に同乗し、乗務員の行動と運航状況を観察・記録するものである。オブザーバーとしては、LOSA運営機関/The LOSA Company (TLC) 専属オブザーバーの他にテキサス大学で特別な訓練を受けた各機種のパイロットたちが参加した。対象便は通常運航便で、審査・訓練・検査飛行などの特別な便は除外した。また実施に当たっては、当該便の機長の同意を取ること、個人に対する評価はしないこと、乗員名は記録しないこととした。このため乗員たちは特別な緊張なしに日常の運航を行ったのである。訓練審査では、日常より細かい注意を払って飛行するため通常運航のデータは取れないが、LOSAでは乗員たちの日常な運航データを取ることができたのである。

3. 2 LOSAで分かったこと

3. 2. 1 エラーとマネージメント

調査開始当初は、CRM訓練の使われ方と実効性に焦点を当てて記録していたが、観察しているうちにデルタ航空の乗員たちが様々なエラーを起こす誘因と戦い、また起こしてしまったエラーに対処している様子が明らかになってきた。この状況をはっきりとデータ化するため、後半のLOSAでは記録方式をエラーとそのマネージメントに焦点を当てたものに改め、観察を続けることにした。つまり、どのようなエラー発生誘因があったか、発生したエラーの種類は何か、誰がエラーを引き起こしたか、エラーは発見されたか、誰が対処したか、エラーの結果どうなったかなどの記録を取ったのである。データはTLCに集められ分類・分析され、データベース化され、デルタ航空に最終報告書として渡された⁵⁾。

LOSAにより、パイロットたちは安全を維持するために多様な行動をしていることが分かった。彼らは様々なエラーを起こす可能性のある要因に対処し、もしエラーしてもそれが安全に影響を及ぼす前に修正し、望ましくない状況になってもインシデントに至る前に危険な状態からの回復行動をとっていることが確認された。

この最終報告書は乗員にフィードバックされ、乗員の危機管理能力向上に役立てられた。それと同時に運航に関わる規則・手順などで見直すべき点をはっきりし、潜在的危険要因を減らすことに役立てられた。

3. 2. 2 エラートロイカ概念

LOSAの観察を基に、R.Helmreichは、人間である限りエラーは避けられない、エラーをどうマネージメントするかが重要だと考え、Fig. 1にみるエラートロイカという概念を作った³⁾。エラーと共存し、その結果をコントロールするという概念である。その内容は以下のとおりである。

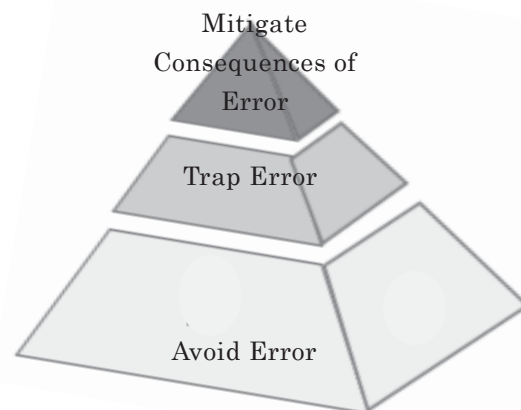


Fig.1 The Error Troika by R.Helmreich

- ① まずはエラーが起きにくい環境を作る。
- ② それでもエラーを生じてしまったら、影響が出ないうちに発見し修正する。
- ③ もしエラーの影響が出てしまったら、それが広がらないようにする。

エラートロイカ概念を基にCRMの見直しが行われた。安全なマネジメントのために個人の行動様式を見直そうという考え方から、エラーをどう扱うかという問題を中心に据えた考え方ができたのである。エラーを発見し閉じ込める、影響を最小限にとどめることこそ重要だとした考えである。

3. 3 LOSAによる分析結果

LOSAは、その後も多くの航空会社で行われ、2002年から2006年にかけて実施されたLOSAでは15か国29航空会社で計4,532便が調査された。この調査から、今まで分からなかった潜在的危険要因や日常運行で実際に発生したエラー、それにより陥った望ましくない飛行状態などが判明した。具体的な数字としては、19,053件の潜在的危険要因、13,675件のエラー、2,589件の望ましくない飛行状態が観察されたのである⁴⁾。また次のようなことがわかった。

- ・80%の便で平均3件のエラーが発生した。
- ・発生したエラーの25%は不適切に対処された。
- ・6%のエラーは新たなエラーの原因となった。
- ・19%のエラーは望ましくない飛行状況になった。

つまり、ほとんどすべての便でエラーが発生しており、そのエラーへの対処の内1/4は不適切なものであったのである。LOSAにより日常の運航の中に隠れた不安全要素が明らかになったと言える。また他社と比較することで各航空会社の改善すべき点や優れた点も把握できた。

3. 4 LOSAの果たした役割

3. 4. 1 潜在的危険要素の抽出と重要性

従来から不安全要素を洗い出すための方法としては次のようなものがある。

- ・事故及びインシデント報告
- ・機長報告
- ・ライン審査及び訓練審査記録
- ・フライトデータモニタリング (FDM)
- ・ヒヤリハット報告

これらは、起こってしまった事故やインシデント、または不具合事例に基づき、対策を立てようとするものである。またフライトデータモニタリングも交通違反の取り締まりのようなもので、ある一定基準値を超えた乗員を呼び出し、状況を聞き取り調査するという事後対策的な対応しかできない情報である。これに対しLOSAは、日常運航のありのままの姿をモニターすることで、まだ

表面化しない危険要因を洗い出すことができるのである。つまり、エラーを起こす可能性のある要因にはどのようなものがあるか、誰がエラーを犯したか、それは発見されたか、どのように対処されたか、不安全な状態に陥ったものはないか、それに対しどのように対処したかなどが把握できるのである。その他、CRMを効果的に使っているかを把握することもできる。つまりLOSAを用いれば、病気になる前の健康診断のように予防的な対策を立てるための貴重なデータを集めることができるのである。

3. 4. 2 現場での取り組みとCRMへの応用

LOSAにより見つかった問題点に取り組み、改善しエラーが起きにくい体質を作り上げるのは航空会社に任されている。TLCから挙げられたデータは、現場の運航乗務員に公表することが義務付けられている。各乗員がこのデータを知ること、エラーなどを起こす可能性のある要因の発見が容易になり、事前に対処を考えることで、安全に対するマージンを大きくすることができるのである。また運航に関する組織の取り組みとしては、分かりにくい規定の改定や手順、方針の見直しなどと共に、TLCが保有する他の航空会社のデータベースと比較することで、潜在的な危険要素を知り自社の環境改善を図ることができる。

このようにエラートロイカ概念として示されるエラーマネジメントの概念が形作られ、この概念を取り込んだCRMは第5世代のCRMと呼ばれる。⁴⁾

4. TEMへの進化

4. 1 Threat及びエラーマネジメントの創出

4. 1. 1 Threatの存在

従来の安全プログラムは「エラー」そのものに重要性を置いていたが、LOSAの分析から潜在的危険要因となる事象Threatの存在とその重要性がはっきりしてきた。

ここでThreatとは、悪天や機材故障など、エラーを引き起こす可能性のある事象をいう⁶⁾。操縦室外の関係者のエラーもThreatとなるため、外的事象と内的事象に分けて整理すると、具体的には下記のように挙げられる。

・外的事象

悪天候〈出発・進入経路・航路上の積乱雲等の悪天, 乱気流, 台風, 降雪, 霧, 着氷, 強い横風, 風向風速の変化〉

空港〈複雑な誘導路, 分かりにくい標識, 複雑な出発・進入経路, 短い滑走路, 乱気流を生み出す滑走路近くの障害物, 出発機・到着機の混雑, 見にくいマーキング, 滑走路・誘導路の閉鎖, 航法援助装置の不作動, 雪氷に覆われた滑走路・誘導路〉

管制 〈使用滑走路・進入方式の突然の変更,従うことが困難な管制指示や制限, 不明確な用語の使用, 通信設定の困難なエリアの存在, 英語以外の母国語による自国機の管制, メートル法を用いた高度指示〉

・内の事象

PILOT 〈時差による睡眠不足, 長時間飛行による疲労〉
機体 〈操縦系統・エンジン等システムの故障, 修理の持ち越し〉

運航上の負担
〈出発前の搭乗旅客数不一致, 使用機材の到着遅れ, 特殊な運航〉

客室 〈急病人の発生, 旅客のトラブル, 客室乗務員のエラー, 搭載品の不足〉

Threatの存在により「潜在的危険要因」⇒「エラー」⇒「望ましくない飛行状態」⇒「事故・インシデント」といった連鎖が起きる。

この連鎖と、各段階での対応を理論として組み立てたのがTEMである。図示するとFig. 2のようになる。

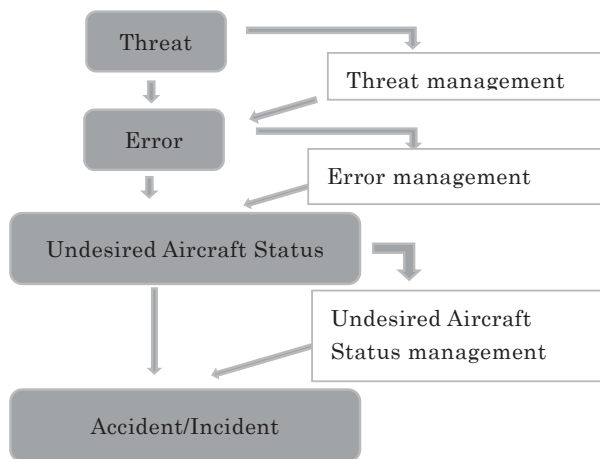


Fig.2 Threat and Error Management (TEM)

LOSA統計⁴⁾では、航空会社により差はあるが1便あたり4～6件のThreatが観察された。最も多かったものは、天候と管制に関するものであった。また80%の便でエラーが観察され、1便の平均数は3件であった。このうち約45%のエラーが見逃されたり放置されたりしていた。また35%の便で望ましくない飛行状態が観察された。

4. 1. 2 Threat マネージメント

Threatがエラーにつがらない工夫をすれば、安全を保つことが出来る。このような工夫をThreat マネージメントという。Threat マネージメントのポイントは、

- 1) Threatを早く見つけ対処すること
- 2) 可能性のあるThreatに対しては、対処方法を事前に考えておくこと、などである。

Threat マネージメントの具体例

- ・ 風向の変化が予想され使用滑走路が変わる可能性があったが、事前に計画を立て他の乗員にその内容をブリーフィングした。
- ・ 目的地の天候悪化が予想されていたが、予備燃料を搭載することで対処した。
- ・ 従うことが困難な管制からの高度・速度・通過時間などの指示に対して、その旨を告げ可能な高度・速度・通過時間を要求した。
- ・ 先行機から揺れているとの報告があったため、客室乗務員に強度や継続時間を伝えサービスを中断させベルトサインをつけた。

4. 1. 3 エラー マネージメント

Threatに対する対処を誤るとエラーにつながる。LOSA統計によれば、80%の便でThreatによりエラーが発生し、エラー平均数は1便あたり3件であった。ここでエラーとは、乗員が誤った操作をしたり、またはすべき操作をしないことにより乗員や組織の意図に反することをいう⁶⁾。具体的なエラーには、操縦操作エラー・手順エラー・会話エラーなどがある。エラーが別のエラーにつながったり、望ましくない飛行状態につながったりしないための工夫をすれば安全を保つことになる。このような工夫をエラー マネージメントという。

エラー マネージメントのポイントを挙げれば、

- 1) エラーを早く見つけ対処すること
 - 2) 過去の事例を応用して、対処方法を考えること
- などである。このエラー マネージメントの考え方はLOSAの大きな成果であった。

エラー マネージメントの具体例

- ・ 離陸前のチェックリスト実施中に管制との通信が入り中断され、最後まで実施するのを忘れていたが、滑走路に入る前にチェックリストが所定の場所に戻されていないことに気づき実施した。
- ・ 着陸前に急な滑走路の変更があり、進入のための周波数を誤ってセットしていたが、着陸ブリーフィングの中で発見し正しくセットした。
- ・ 航空路を飛行中に誤って自動操縦装置を進行方向維持モードにセットしてしまったが、航空路から徐々

に逸脱していくのを発見し、正しい航路維持モードに直した。

4. 1. 4 望ましくない飛行状態のマネージメント

LOSA統計によれば、Threatにより引き起こされたエラーのうち約45%が見逃されたり放置されたりしていた。エラーが放置されれば、望ましくない飛行状態となり、LOSA統計では35%の便で望ましくない飛行状態が観察された。望ましくない飛行状態とは、位置や状況、姿勢が通常状態から逸脱し、明らかに安全に対するマージンが下がった状態にあるものを言う⁶⁾。状態を放っておくと事故やインシデントにつながる恐れがある。望ましくない飛行状態は下記のようなものが挙げられる。

地上 〈指示されていない誘導路への進入, 許可が出ていない滑走路への進入, 過大なタクシー速度, 離陸のためのフラップなどのセット忘れ〉

上空 〈航路からの縦・横方向への逸脱, 進入コースからの縦・横方向の逸脱, 指示されていない滑走路への進入や着陸, 不安定な進入, 接地点の伸び, 衝撃を伴う接地, 滑走路中心線を大きく外した着陸, 着陸のためのフラップなどのセット忘れ〉

発生要因としては、エラーの発見が遅れたり、不適切に対処したりした場合に起こる。また内的外的Threatからエラーなしに望ましくない飛行状態に陥る場合もある。望ましくない飛行状態を安全性の高い飛行状態にするマネージメントポイントを挙げる。

- 1) 速やかにこれに対応し回復操作を実施すること
- 2) そのままの状態を継続したままで通常状態にしようとしないうこと

望ましくない飛行状態のマネージメントに関する具体例

- ・ 進入時に高度処理が間に合わず、高くなってしまったため、進入復行を行った。
- ・ 着陸時に背風（後方からの風）が強く、接地帯を超えても着陸できなかつたため、着陸復行を行った。
- ・ 着氷状態なのに防氷装置を入れ忘れていたため、エンジンに着氷してしまった。外気温の高い低高度へ降下するとともに、防氷装置を入れた。その際氷を吸い込むことによるエンジン停止に備え一つずつ間隔をあけスイッチを入れた。

4. 2 TEM理論の意味と意義

TEM理論の基本的な考え方は、「Threat」「エラー」「望ましくない飛行状態」に対し、Fig.2に示すように、「Threatマネージメント」「エラーマネージメント」「望ましくない飛行状態マネージメント」をその状態に応じて実施する。それにより更に深刻な事態が起きないようにすることにある。

平穏な日々の運航の中にも、隠れたThreatは存在する。乗員は、まず潜在的危険要因であるThreatを予測し、見つけ、取り除いたり回避したり予防的な対策を立てたりすることから始める。このために乗員にはLOSAデータを始め3-4-1で述べた様々な方法で集められたデータを公開し、個々の乗員がまだ遭遇していないThreatの存在を知らしめ予防的な対策を考えておけるようにすることが重要である。

エラーに対しても同様に、どのようなフェーズでどのようなエラーが多いのかを知らせる。各乗員は自分がまだ犯していないエラーの傾向を知ることによってエラーを起こしにくくすることができる。同時に、安全担当部門はその原因を分析する。もしそれが、複雑な手順によるものならば見直し、分かりにくい規定であれば表記を平易なものにするといった対策をとる必要がある。

エラーにより望ましくない飛行状態(USA)に陥った場合には、速やかな回復操作が必要である。安全に対するマージンが明らかに少なくなっており、事故につながる恐れのある状態だからである。一般的には、乗員はまさか自分がそのような状態に陥るような操作はしないと考えていることが多いが、具体的にどのようなUSAがどの空港で発生しているかを伝えるとともに「Threat」⇒「エラー」⇒「USA」の連鎖を具体的に周知することで、彼らが危険な領域に近づくことを防止できるのである。

なおTEMは第6世代のCRMと呼ばれることがあるが、従来のCRMとしてのプログラムでは、乗員それぞれの「意思疎通」「チーム作り」などの行動指標を見直すことによって安全を図ろうとした。一方、TEMの考え方は「Threat」「エラー」「望ましくない飛行状態」をマネージメントすることにより危険な状態に陥ることを防ごうとする。TEMは安全を高めるための理論であり、また実践のための技術としても使える。訓練手法としてのCRMは、TEMの考え方を取り入れ、より一層、高い安全性を目指している。

4. 3 TEMの利用例

TEMが実効を上げた良い例としてコンチネンタル航空が挙げられる。1996年に1回目のLOSAを実施したコンチネンタル航空では、LOSAの結果をTEM理論に基づき分析し、その結果を利用して教育や訓練に生かしたところ、チェックリストエラーが大幅に減少し、不安定な進入が7割減少したのである。そればかりでなく乗員の運航効率に明らかな改善が見られた。この事実を知った乗員たちのTEMへの信頼感は大きく向上し、TEMの更なる活用につながった⁵⁾。

その結果、他の航空会社にもTEMの考え方の妥当性が理解されるようになり、国際民間航空機関(ICAO)は、国際線の運航に従事する運航乗務員にTEMを取り入れ

た訓練を必須とする基準を定めた。現在では各航空会社でTEMに関して訓練が行われている。模擬飛行装置を用いたTEM訓練では、Threatを予測し、避け、エラーを起こしてしまった場合は早期に発見し対処する訓練を行う。

TEM理論の核の一つであるThreatについても、分析結果に基づき、ハード・ソフト面に渡って世界的に様々な対策が取られてきた。

ハード面のThreat対策は、機上搭載機器や地上設備の開発・設置で行われている。例をあげると、機上に搭載された山などの障害物に異常接近した場合に警報を発する対地接近警報装置(GPWS)が開発され、操縦士のエラーで山岳に衝突する事故が激減し、空港低空ウィンドシア警告システム(LLWAS)が開発されマイクロダウンバースト(強い下降気流)などの危険な気象状態を離着陸機に事前に通報できるようになった。これらは、事故に結びつく可能性の高いきわめて危険なThreatであるが、操縦士が危険な領域に近づくことを防ぐ実効性の高い対策であった。その他、自動操縦装置の改良、計器の配置、警報装置など様々なハード面のThreat対策が取られている。またソフト面では、技量維持向上のための訓練技法開発、標準の手順の見直し、エラーを生みやすい規定やチェックリストの改定などのThreat対策が取られている。

5. TEMと今後の課題

現在では、TEM理論は各航空会社の訓練に取り入れられるとともにインシデント・事故の解析ツールとして、安全監査ツールとしても使われ、安全に対する事前防衛的な組織風土を築くために役立っている。TEM導入により、各航空会社の風土は、従来の事案発生後に原因を分析し対策を立てるという事後対策的なものから、Threatの早期発見・エラーの防止・正しいマネジメントにつなげるという事前防衛対策的なものになってきたのである。

さらに、この考え方を推し進める上で、操縦士の観点、航空機の運航に関わる他の組織との観点から考察する必要がある。

乗員たちは注意を払って日々運航しているが、それでも平均1フライトごとに2~3件のエラーを犯しているのである。古から「To Error is Human」人間は過ちを犯すものであるという言葉通り、常に乗員たちはエラーとの戦いの中で飛行機を飛ばしているのである。TEM導入とともに「Threat」「エラー」「望ましくない飛行状態」の数は減少しているが、今日でも不安定な進入のまま着陸してしまったり、衝撃を伴う着陸をしてしまったりする事例は後を絶たない。エラーを犯し望ましくない飛行状態に陥った場合でも、故意にそのままフライトを続け

るパイロットがまだいるのである。このような事例を減らす上で最も重要なのはパイロットたちにTEMの実効性を具体的に示し有効性を理解してもらうことである。

しかし単に運航乗務員のみでTEMを適用するだけでは、事故率の低減につなげることは難しい。より実効性のあるものにするためには、TEMを組織全体の取り組みに広げてゆくことが必要である。何故なら客室乗務員や運航管理者、整備担当者などの運航に関連する者が犯したエラーはThreatとして扱われ運航乗務員たちはそれにも対処を強いられるからである。彼らを取り巻く環境の中のThreatを減らし、エラーを起こしにくくすることが最終的には事故やインシデントを減らすことにつながる。

そのためには、LOSAに相当する安全監査を管制・整備・客室・航務などの運航に関わる各セクションで実施し、それぞれの隠れた不安全要素を洗い出し、改善することが必要である。実際に、航空管制、運航管理にもTEMを適用するための研究が進んでいる。すでに航空管制分野ではNormal Operations Safety Survey (NOSS)と呼ばれるLOSAと同様の監査がオーストラリア、カナダ、ニュージーランドで実施され、エラー防止効果を上げている。また運航管理の現場では、Dispatch Operation Safety Audit (DOSA)と呼ばれる監査の導入も進められている。このような活動は、他のセクションのエラーつまりTEMという乗員に対するThreatを減らすことにつながる。

TEMの基本となるLOSAデータは専門機関で航空会社毎にアーカイブされており航空業界全体の平均像を知ることができる。他の航空会社と比較することで、個々の会社の強み弱みを知ることができるので、データを有効に活用しより安全な環境を築くことに繋げるべきである。データの中で、シミュレーターによる訓練が必要な項目に関しては定期訓練に取り込む必要がある。

LOSAによるデータ収集は一定期間を空けたのちに繰り返し行うことが望ましい。しかし費用も時間もかかるため、高頻度で実施するのは難しい。このため、3-4-1に示した手法で安全情報を収集し、対策を立てることが、安全の向上には欠かせない。そのためには、管理組織と組織構成員間の信頼関係は不可欠であり、運航の現場から安全に関する情報が躊躇することなく報告され、全体に周知されるような環境を作り上げなければならない。このためには、ヒヤリハットなどの不具合事例報告に対しては非懲罰とする体制が重要である。報告したことが本人に不利になるようなシステムでは、現場からの積極的な報告は望めない。自発的な報告は安全に対する有効な情報であるが、本人が自覚しているエラーのみの報告で、気づかないエラーは報告されないことに注意する必要がある。

6. 終わりに

CRMは1970年代後半に起きたテネリフェ空港とポルトランド空港近くで起きた2件の航空事故を契機に作られた。2件の事故は共に、機長が自分の犯したエラーに気づかず、他の乗員たちは危険な状態にあることを知っていながら機長に強く進言できなかったことにより発生した。大きすぎる権威勾配がその一因で、これを是正し物が言える操縦室内の環境を作り上げ、各乗員の持てる能力を最大限に引き出そうとすべく誕生したのがCRMである。

その後、CRMは第1世代から第4世代へと進化を続け、模擬飛行装置を使ったCRM実践訓練であるLOFTや、CRM技量を判定するLOEと呼ばれる審査が導入された。

しかし人間の行動様式に重点を置いたCRMの転機を作ったのが、乗員たちの日常運航を観察しデータを集めたLOSAと呼ばれる観察であった。当初LOSAは、CRM訓練で学んだ技法が日常運航の中で活かされているかどうかを調べるために実施された。しかし観察しているうちに、乗員を取り巻く環境の中にはエラーを誘発する様々なThreatがあり、乗員たちはそのThreatと戦い、起こしてしまったエラーに様々な対処をしていることが明らかになってきた。このことからLOSAは、Threatやエラー及びそのマネジメントに焦点を当てたものに改められた。

LOSAデータの分析の結果、段階に応じたエラーへの対応の重要性が認識され、エラートロイカ概念が生まれた。

エラートロイカ概念では、従来のCRMで行われてきた会話やチームの雰囲気作りなどの個人の行動指標を改善するという考え方から、エラーそのものを中心に据え安全なマネジメントのために何をすべきかが考えられるようになった。エラーを早期に発見し、閉じ込め、影響を最小限にとどめることこそ重要だとした概念である。

その後、エラーに重要性を置いたエラートロイカ概念を発展させ、エラーを発生させる潜在的危険要因となる事象Threatの存在とその重要性を取り入れたTEMが誕生した。TEMは、Threat、エラー、不安定な飛行状態などを早期に発見し対処法を考え解決すれば、より危険な状態に陥るのを避けることができるという考え方である。現在では、この考え方に基づき操縦訓練が行われている。航空機運航の安全性を高める大きなきっかけになったのがTEM理論の創出であった。

CRMで教育されてきた人間関係を築き上げるための会話技法やチームワークを向上させるための技法は、TEMを実践するなかでの効果的な技法として現在も使われている。

TEMを有効に機能させるためには、実運航に関わる全ての組織の関与が重要である。外部組織のエラーは操縦室へのThreatとなる。その組織の関わりが大きいほど、その可能性と影響は大きいことに留意する必要がある。運航計画立案部門や規定策定部門、運行管理部門のみならず、整備や客室乗員など各部門がLOSAに相当する客観的な観察を実施し、その結果をTEM教育に取り入れ、Threatへの対応能力を高め、エラーを減らすための努力を続けることが重要である。安全に関わる情報を組織全体で共有し、組織全体でTEM理論を活用し、より安全な環境を作り上げる努力が望まれる。

引用文献

- 1) The Boeing Company : "Boeing Safety Statistical Summary. 2012." alves1192, San Francisco CA USA, Nov 13 2012
<http://ja.scribd.com/doc/113037928/Boeing-Safety-Statistical-Summary-2012> (cited 2014-08-12)
- 2) Amy L. Fraher: Team Resource Management (TRM) : A Tavistock Approach to Leadership in High-Risk Environments 1 Resonances of 9/11. OPUS Organizational and Social Dynamics Journal, 5 (2) , 163-182, 2005
- 3) Robert Helmreich, Ashleigh Merritt, John Wilhelm: The Evolution of Crew Resource Management Training in Commercial Aviation. The International Journal of Aviation Psychology, 9, 19-32, 1999
- 4) Ashleigh C. Merritt, James Ray Klinec : Human Factors Research Project, The LOSA Collaborative: Defensive Flying for Pilots, An Introduction to Threat and Error Management. University of Texas Human Factors Research Project, The LOSA Collaborative, 2006
- 5) James Klinec, Patrick Murray, Ashleigh Merritt and Robert Helmreich : "Line Operation Safety Audits Definition and Operating Characteristics." Proceedings of the 12th International Symposium on Aviation Psychology, Ohio USA, April 14-17 2003, The Ohio State University, 663-668
- 6) Federal Aviation Administration: Line Operations Safety Audits. Advisory Circular, AC 120-90, 2006.
http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_120-90.pdf, (cited 2014-08-12)
- 7) USC Viterbi School of Engineering: "Threat And Error Management Course Japan Airlines Tokyo", USC Viterbi School of Engineering Aviation Safety And Security Program, Los Angeles, 2007