

安全システムの科学(Ⅶ)

Sciences of Safety Systems (7)

松 井 宗 彦

Munehiko MATSUI

SUMMARY

In this paper we deal with problems of Safety Assessments. Safety Assessments is the most important problem in Safety Science. Safety Assessments are analyzed in point of view reliability and stability of systems. In other words, the factors affecting systems could be as follows:

- (1) reliability of Man System
- (2) reliability of Machine System
- (3) stability of Media System

A lack of reliability and stability in these systems may very possibly be produced a accident and a trouble. Many case studies proves the above facts. Concrete examples of aviation accidents (the crash of a passenger plane), railway accidents, shipwreck accidents (a disaster at sea), industrial accidents, mountain accidents will be very useful to help the detailed explanation.

It is the subject for a future studies that reliability and stability of systems improves by a industrial robot and an automation. Details in this paper are as follows:

- (16) Inspections — Safety Assessment of Systems
- (16-1) Assessment on the Reliability of Man System
- (16-2) Assessment on the Reliability of Machine System
- (16-3) Assessment on the Stability of Media System
- (16-4) Assessment on the Adjustment of Man-Machine Systems
- (17) On the Future of Safety Sciences — Its View

〔目 次〕

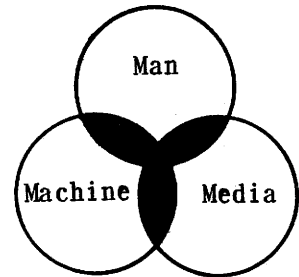
16 検証・システムの安全評価

(1) 人間系の信頼度

- (2) 機械系の信頼度
- (3) 環境系の安定性
- (4) 人間=機械系の整合性
- 17 安全科学の将来—その展望（以上本号）
- 18 安全を脅かすもの—心理の盲点
 - (6) 人間の錯誤と信頼度を高める方法（以下次号）
- 19 機械=環境系の不整合—事故から得た教訓②
 - (4) 鉄道事故—山陰線・余部鉄橋列車転落の真相
- 20 人間=環境系の不整合—事故から得た教訓①
 - (5) 環境破壊—人間=環境系のネガティブ・フィードバック

16 検証・システムの安全評価

安全システムは、人間=機械系の整合（adjustment）、人間=環境系の整合、機械=環境系の整合という三つのシステムの総合的整合から成り立つものと考えられる。いいかえるならば、人間（Man）・機械（Machine）・環境（Media）という三つの要素（factors）を機能的に統合し、有機的調和させることによって安全システムは構築される。いま人間系・機械系・環境系の機能的連関性を右のような「整合図式」として図形化してみるならば、この「整合図式」のうち、相互に重なり合う部分は三つのシステムの特に「整合性」を必要としていることを示している。逆に言うなら、相互に重なり合っている部分の「不整合」の度合が大であればあるほど、安全システムの完成度は低下し、事故発生率は増大することになる。



〔人間=機械=環境系の整合図式〕

安全システムがどの程度まで完成したものであり、またどの程度「信頼性」があるのか、といったシステムの安全評価については、次のような基準コード表に記入を試みるだけでも、かなり有力な判断材料となるはずである。安全評価の尺度は、(a) 人間系の信頼度、(b) 機械系の信頼度、(c) 環境系の安定性、(d) 人

〔安全評価のためのコード基準表〕

評価尺度	評価段階	code 0	code 1	code 2	code 3
人間系の信頼度		著るしく信頼性が欠如している	やや信頼性に欠ける	信頼性がある	信頼性が高い
機械系の信頼度		同上	同上	同上	同上
環境系の信頼度		著るしく安定性が欠如している	やや安定性に欠ける	安定性がある	安定性が高い
人間=機械系の整合性		著るしく整合性が欠如している	やや整合性に欠ける	整合性がある	整合性が高い
人間=環境系の整合性		同上	同上	同上	同上
機械=環境系の整合性		同上	同上	同上	同上

(コード数が大であるほど、信頼度や整合性は高くなる)

間＝機械系の整合性，(e)人間＝環境系の整合性，(f)機械＝環境系の整合性という六つの観点から構成される。安全評価の段階は，(5-1)環境因子とは何か，の節で既述したとおり，code 0 からcode 3 までの4段階とする。段階の位置づけは，主観を排除し，あくまでも客観的データに基づくことを原則とする。

以下にもう少し具体例を用いながら，詳しく解説することにした。

(1) 人間系の信頼度についての評価

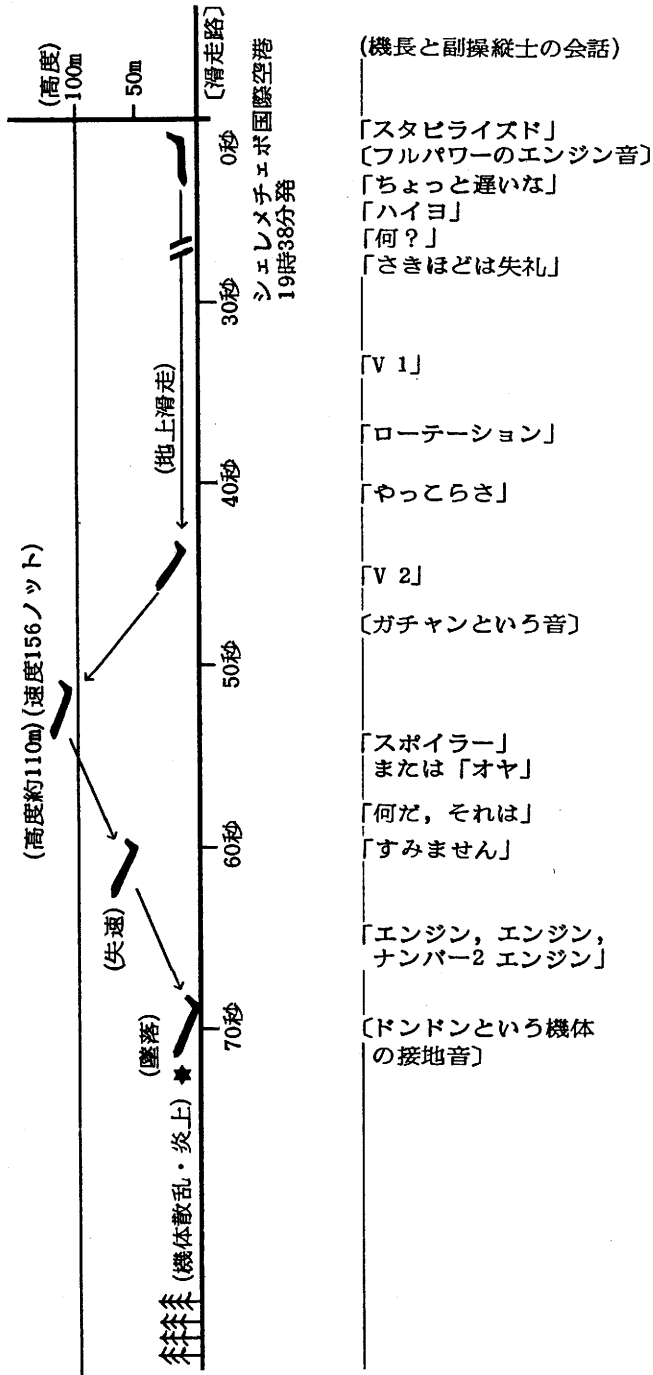
人間系の信頼度は，身心の両面にわたって判定するものとし，身体面においては，視知覚（例えば視力・色覚異常のあるなし等），聴知覚（例えば聴力・難聴のあるなし等），触知覚，嗅知覚，味知覚に関する生理的な諸条件のほか，身長体重・各種の筋力・握力・肺活量・血圧・肝機能などの基礎体力，現在の疾病内容，過去における罹病（既往症）も考慮の対象とする。精神衛生面においては，心身症・神経症・精神病の有無と過去のこの方面の病歴，家族関係や，職場における人間関係（問題点はないか），人格と行動特性（協調性があるかないか）。チームワーク。作業能率），訓練過程における成績の良悪・事故やミスが発生率などを検討する。

参考までに，人間系そのものの欠陥が主原因で発生した事故として，次の4例が上げられる。

〔日航DC 8-62型機・モスクワ空港墜落事故（昭和47年11月29日）〕氷点下5度。粉雪の舞うモスクワ・シェレメチェボ国際空港を東京へ向けて離陸した直後，機は失速して滑走路から約4kmの地点に墜落。乗客62名，乗員14名中，死者62名，重軽傷者14名。日本・ソビエト合同の事故調査委員会の下した結論は，①副操縦士が離陸後，誤ってスポイラー（着陸したあとで減速するために左右の主翼につけられているブレーキのような機構）を立てた，②このためスピードが出ず機体は沈むので，機長は機首を上げようとしたが，スポイラーが利いているため機首を上げ過ぎの姿勢になり，失速状態になる，③エンジンが上向き（仰角）になってしまったためジェットエンジンへの空気流入量が減り，燃料の供給過多となって爆発的な異常燃焼（バックファイア）を起し，④エンジンの推力も激減して墜落した，という内容のものになっている。この調査委員会の報告にしたがう限りでは，人間によるミス（操縦ミス）だということになる。ただし誤って不用意にスポイラー・レバーを引いてしまうような（平凡なエラーを誘発するような）DC 8型機のコックピット（操縦席）の構造それ自体にも問題があるといわねばならない。

〔日航DC 8-61型機・羽田沖墜落事故（昭和57年2月10日）〕羽田空港に着陸しようとして進入態勢に入っていたDC 8型機がなぜか急に高度を下げ，滑走路手前の海中に墜落した事故。乗客166名，乗員8名中，死者24名，重軽傷者150名。その後の調査で，この日本航空350便を運行していた機長（当時35歳）に精神衛生上，問題があることがわかり，会社の健康管理の杜撰さに，社会的な批判があびせかけられた（まだ着陸もしていないのにジェットエンジンを逆噴射させたのだ）。当初，日航はこの機長には心身症の既応症（病歴）があったと説明したが，その後，専門医による診察では心身症ではなく，さらに症状の重い精神障害があり，パイロットとしては明らかに不適格者であったことが判明した。この事故がきっかけになって，墜落したDC 8-61型機が，もともと中古を買入れ，しかもタッチ・アンド・ゴー（離着陸）訓練を29000回も繰り返した訓練機上りで，他の老朽機の3.7倍も酷使したということもあって，日航の整備史上でも例のないほど故障が多発していた問題機であったことも露呈した。

日航機 (JAL446便) ・モスクワ空港墜落事故・略図
 (M. Matsui, 1987)
 機長と副操縦士の会話はボイス・レコーダーから再録



〔国鉄名古屋駅構内・機関車-ブルートレイン激突事故（昭和57年3月15日）〕名古屋駅10番ホームで停車中のブルートレイン寝台特急「紀伊」（6両編成）に、連結しようとしたディーゼル機関車が時速80～90kmの猛スピードで激突。特急の1両は大破，3両が脱線。乗客13人，機関士1人が重傷を負った。愛知県警・捜査本部の調べでは，機関車の運転士が運転業務に就く前の休憩時間に，規則を破って飲酒。酔っぱらって運転した上に，寝過したので運転を急ごうと慌てたため，ブレーキをかけ忘れるという二重三重のミスがあった。この「たるみ運転」を許容した国鉄の乗員管理体制にも重大な問題があるとして，批判の声が上った。

〔国鉄特急「富士」西明石駅構内・脱線激突事故（昭和59年10月19日）〕寝台特急「富士」（15両編成）が西明石駅を通過しようとしたさいに脱線。一両目の客車がホームのコンクリート土台に激突して大破，他の全車両も脱線。乗客など24名が重軽傷を負った。事故原因は機関士が飲酒運転の上，構内での速度制限を無視したため（制限時速60kmのところを時速100kmで減速しないで走行させたと機関士は供述），ポイント通過の際に客車が浮き上って脱線したものと断定。飲酒・居眠り運転という線で兵庫県警は捜査。またまたブルートレインの事故，しかも国鉄の乗員点呼など，管理体制の不行届が指摘され，たるみ国鉄に特別査察が施行されることになった。

上の4つの事例について安全評価するならば，そのいずれもがcode 0（著るしく信頼性が欠如している）に該当するであろう。〔DC8型機・モスクワ墜落事故〕は，パイロットの人的要因（human factors）が事故発生に直結していたことは疑いなく，コックピット内での会話を記録したボイスレコーダーには，離陸時の緊張感に欠けた不必要なやりとり（離陸操作のみに全力投入せねばならないときに），「ハイヨ」「先程は失礼」「何？」「ヤッコラサ」「何だ，それは」「すみません」などといった間のびしたというか，たるみきったというべきか，そうした言葉のやりとりがあった直後に（30秒たらずのうちに）墜落してしまったこともわかり，世間の人達には「たるみ操縦」を示す象徴的な根拠として受けとめられた。しかしいずれにせよ大事故に陥った主要因に，誤ってスポイラーレバーを引くというミスがあり，またそうしたミスを誘発させた背後要因に「適度な緊張感の欠如」があったことは否定できないであろう。一時的とはいえ（一過性のものとはいえ），大事な時に「緊張感に欠けた」ということは，やはりcode 0に該当する。

〔日航機・羽田沖墜落事故〕はcode 0に該当する機長（重度の精神障害）に乗務させたことが事故原因であり，〔国鉄名古屋駅構内・ブルートレイン激突事故〕ならびに〔国鉄西明石駅構内・ブルートレイン激突事故〕はともにcode 0に該当する機関士（飲酒酩酊・居眠り）に乗務させたために発生した事故である。

人間系にありがちな心理的盲点であり，人間系の信頼度を低下させる因子の一つに，「適度な緊張感の欠如」にともなって誘発される「たるみ因子」があるが，これが災いを呼んだケースは非常に多い。次に紹介する日航機長の場合も，これに当てはまる典型的なケースであった。

昭和60年10月31日，日本航空の成田発→モスクワ経由バリ行きJAL 441便・ボーイング747型ジャンボ機（乗客110人・乗員22人）が，日本海上で正規のコースを逸脱。サハリンに向けて迷走飛行を続け，その迷走飛行は約1時間で1000km，正規のコースから東に110kmもはずれ，サハリンの西方約180kmまで接近。自衛隊のレーダーにソ連機（複数）が緊急発進するのが映し出されたというのである。

機長によれば、午後0時52分ごろ、日本海上の位置通報点「カドボ KADBO」付近に乱気流が予想される雲を発見。それを避けようと自動操縦の航行法を慣性航法装置 (INS) から一定の方位での飛行を指示するヘディング (HDG) に切り替え、右旋回して雲を避けたあと、もとのINSにスイッチを戻しておくことを忘れ、そのまま約9300mの高度で飛行。機は偏西風の影響を受けたため正規のコースからどんどん東に外れ、ソ連の飛行情報区に入った。

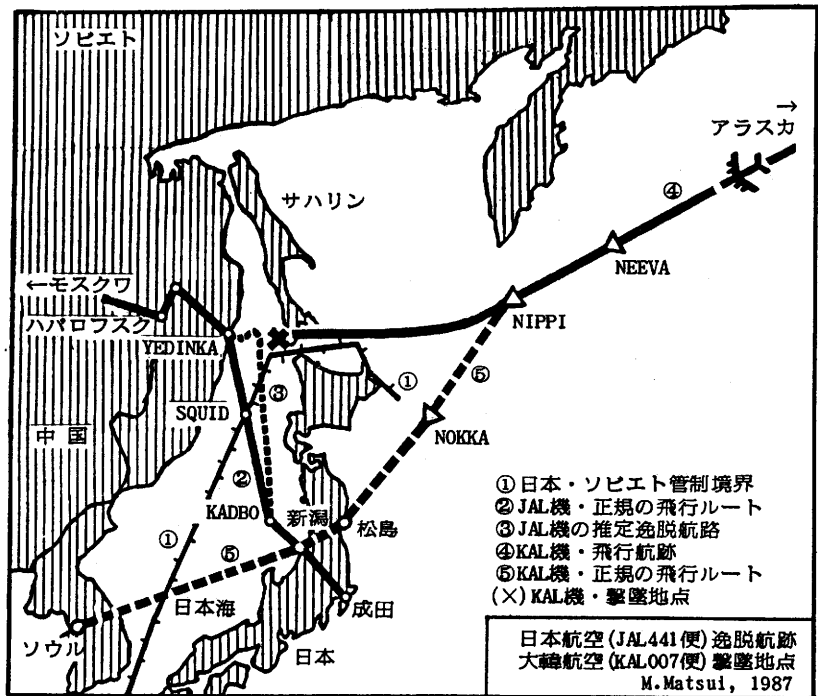
雲を避けて約1時間後の同1時47分、ソ連沿海州の上空にある位置通報点「エディンカ YEDINKA」通過予定時刻にINSの通報点予告標示灯 (アラートライト) が点灯したため、機長らは飛行地点を確認したところ、大きくコースを逸脱していたことがわかった。急ぎハバロフスク航空管制センターに連絡、約14分後に左旋回して正規のコースに戻ったというものである。

2年前に、サハリ

ン上空でKAL大韓航空ジャンボ機 (ソウル行き・007便・乗員乗客269名) がソ連戦闘機 (スホイSU15) の迎撃を受けて撃墜される (1983年9月1日) という問題の危険空域であっただけに、ソ連機のスクランブル発進という現実もあって、かつてのKAL機の「二の舞い」になることが、コース逸脱に気づいていた地上の関係者には恐しかったのである。

では機長たちはなぜ地上からの呼び出しに回答しなかったのか。運の悪い時には悪いことが重なるもので、緊急通信用の周波数121.5MHzを何回使って稚内自衛隊レーダサイトの指令官が呼びかけても、応答はなかった。それもそのはず、このとき121.5MHz送受信機のボリュームはしばらくの状態になっており、逸脱に気づいたあとは搭載している3台のVHF送受信機を同時に使ってハバロフスクと交信していたため、再度の自衛隊からの緊急通信も受信できなかったという。

「どこかに慣れの気持ちがあったのかも……」30代半ばでジャンボのキャプテンになった空のエリートが記者会見の席上で語った言葉である。747型機に搭載されたINSという名の自動装置 (コンピュータ) は、出発前に飛行コースに合わせて通過地点をインプットしておけば、あとは自動的に目的地にまで連れていってくれる。自動化に対する過信や慣れが心に油断をつくり、その油断や隙が「121.5MHzの緊急無線は常時モニターする」という義務を怠らせ、計器パネルへのウォッチングを怠らせるという「うっかりミス」につながるところに、自動化の落とし穴があることが再認識



される形になった。どのようにひいき目でみても、このケースに code 1 以上の評価を与えることはできないと私は考えた。

人間は本質的に、事故多発者である。これは、私が本書を貫ぬく基本命題として繰り返し用いてきた言葉であるが、人間なるが故に起こしがちな人間系特有のミスは、各種の交通機関や産業現場にかぎらず、また医療の場面においても顕現している。

〔医療ミス・ケース1〕東京都八王子市に住む幼稚園児A子ちゃん（当時3歳）は虫歯予防のため歯科医院に母親と一緒に出かけた。医院では虫歯3本の治療を受けたが、その後で歯科医師（69歳）は「八王子ではフッ素の塗布が義務づけられている」といって、金属皿に入れた溶液をガーゼにつけ、A子ちゃんの歯に塗った。その直後、A子ちゃんが急に痛みを訴え、床にころげ落ちて苦しみ出した。口のまわりが真赤にただれており、腹痛も訴えた。A子ちゃんは溶液を塗られた直後口から白い煙が出て、エンジ色の唾液を吐き続けたという。医師は初め、「これはフッ素の反応だから心配ない」と言っていたが、A子ちゃんがあまり苦しむため、強心剤の注射をし、救急車で市内の救急医療センターに運んだが、幼な子の命は午後6時までしか持ちえなかった（昭和57年4月23日）。

「八王子署は、この歯科医が用いた溶液は「フッ化ナトリウム NaF」ではなく、きわめて毒性の強い酸性劇薬の「フッ化水素酸 HF」を誤って使用したものと断定。業務上過失致死の疑いが強くなった。解剖の結果では、A子ちゃんの口の周囲だけでなく、胃の内部もひどくただれていたことと、塗布した直後に白い煙が出たことから判断したものである。これは明らかに歯科医師の責任が問われるべき医療ミスであるが、溶液を塗布した直後に「白い煙」が口から出るというのはどんな素人がみても異常なことであって（たとえ高濃度の「フッ化ナトリウム」を使ったとしても絶対に白い煙が出たり、口内がただれたりすることはない!）、それをなぜこの医師が気づかなかったのか、という疑問が出てくる。自分のミスに気がつき口内をすぐに洗浄するとともに胃内洗浄をおこない、一刻も早く救急センターと連絡をとるべきであった。これを怠ったのは、開業医としての世間体を考え、内々にとりつくろうとした意図さえ感じられる。歯科医としての医療ミスに加えて、医師としてのモラルを追求したい事件であった。

それにしてもなぜ虫歯予防のためとはいえ、「フッ化ナトリウム NaF」のような有毒な薬物を使用せねばならないのか、まったく私には理解できない。「フッ化ナトリウム」はたしかに劇薬ではないが、その水溶液はアルカリ性でガラスを溶かす性質をもち木材の腐食の防止にも用いられている。約20年前、京都の小学校では虫歯の予防ということで、給食のミルクに「フッ化ナトリウム」を入れていたが、その量を間違えたため978人の学童のうち175人が吐き気などの軽い食中毒を起こした実例がある。とにかく日本では、ごく安易に薬物を飲用させる悪い風習がある。

〔医療ミス・ケース2〕鹿児島市のBちゃん（当時1歳4カ月）は鹿児島大学附属病院で、ヘルニア（脱腸）の手術を受けた。手術は小児科と麻酔科の医師4人が立ち会い、1時間15分後に、無事終了した。麻酔医はBちゃんの意識回復を早めるため、手術後すぐに全身麻酔用の笑気ガス・ハロセンガス・酸素の三種混合ガスから「酸素」だけに麻酔器を切り換えたが、間もなくBちゃんの容態が急変。血圧が急激に低下し脈拍も落ちてチアノーゼ状態が出て、意識を失った（昭和57年3月29日）。

医師団は血圧昇圧剤を注射したり、人工呼吸をしたりして応急処置をするとともに、麻酔器を調べたところ、酸素の元栓に付けなければならないホースが笑気ガスの元栓に間違っ取り付けられていることがわかった。このミスに気づくまでの約8分間、Bちゃんには「酸素」の代わりに「笑気ガス」が送り込まれ、これが原因で容態が急変したのだった。

病院では高圧酸素療法などでBちゃんの治療を続けているが、1カ月たっても意識は回復せず、今後意識を回復しても脳や耳などに後遺症が残る可能性があるという（昭和57年4月26日現在）。

使用した麻酔器は、ガスを送り込むビニールホースの取り付け金具（アダプター）が傷んでいたもので、医療器業者に取換えを依頼。今回の使用にさいしては麻酔担当の医師は点検していなかった。このため不慣れな業者が間違っ取り付けていた工事ミスが事前にチェックできなかった。酸素用と笑気ガス用のアダプターはそれぞれ形が違い、ビニールホースも酸素用は緑色、笑気ガス用は青色と指定されていたのに、業者の取付けミスと麻酔医の始業点検ミス（安全のための日常的整備点検ミス）が重なり合っ、尊い生命を危機に曝す結果になったものである。

〔医療ミス・ケース3〕東京都太田区在住のTさんの妻E子さんは、肺結核にかかり、昭和39年の7月と9月の二回にわたっ洗足池病院で手術を受けた。病状は一時回復したが、E子さんは昭和51年に入って呼吸困難・高熱を出すなど体調を崩し、都立の病院で治療を受けたが、肺膿瘍症・気管支拡張症などを起こし、昭和56年5月に38歳で死亡した。

E子さんは昭和53年6月から、咳をすると痰とともに「ガーゼの糸くず」を吐くようになり、調べたところ昭和39年の手術時に、縦横それぞれ約5センチ四方の「ガーゼ」が胸（右肺上葉の死腔内）に残されていたことがわかった。都立病院では、摘出手術を勧めたが、経過を見ていた間に、「ガーゼ」が原因で気管支瘻が起っ、細菌感染により、肺膿瘍などを併発させ死に至ったものである。

17年後の死の原因は、手術のさいに放置された「胸部のガーゼ」にあるとするこの判断にもとづき、東京地裁・民事部は、洗足池病院に対して合計2678万円（慰謝料その他）の支払を命じた。

手術が終っ縫合する前に、かならず使用したメスやガーゼ等の点数を調べ、点数に不足はないか点検するのが通例である。これを怠ったために医療ミスが発生した。

（2） 機械系の信頼度についての評価

機械系の信頼度は、①人間の行動特性をよく理解したシステム構成になっていること、②使用者側の論理を優先した設計思想になっていることなど、果してどこまで人間側に立っ機械設計になっているかで、その第一の評価は決まる。次に日常的な整備と保守点検の「しやすさ」が機械そのものの安定性を左右する。第三にはその機械や施設の材質の良し悪しが、そして第四には、システムの故障率が信頼性を推し測るバロメーターになるであろう。手動（マニュアル）制御であるか、半自動（セミオートマチック）であるか、完全自動（フルオートマチック）であるかという観点も、機械系の信頼性を評価する尺度にはなるが、（4-4-1）および（4-6）節においてナショナル航空機・マイアミ空港墜落事件として説明したように、高度に機械系が自動化されていること自体が、逆に「機械への過信」や「依存心」といった人間系の問題を引き起こすとともに、「何もすることがないから退屈だ」からはじまっ「機械による人間疎外」という状況すら顕現化させるから、諸手をあげて歓迎ばかりはしてられない。

機械系の信頼性を改善し高める手段として、近年「フェイル・セーフ」の考え方が強調されるようになった。第1の回路や操作系が故障を起こしても、第2・第3の回路や操作系でもってそれを補ない十分に安定した制御がおこなえることを目的とした思想で、とくに新型の航空機を中心にその適用が積極的に進められてきた。ボーイング社が開発就航させたB747型ジャンボ機は、この「フェイル（故障しても）・セーフ（助かる）」の思想を基本として設計された安全率の高い航空機であるという定評を得て、世界の大空を雄飛していた。ところが操縦系に二重三重のフェイル・セーフ機構をとり入れて、安全であったはずのB747型機が524名の乗客と乗員を満載したまま操縦不能に陥り、山に激突大破炎上するという予想外の重大事故をひき起こしたのである。

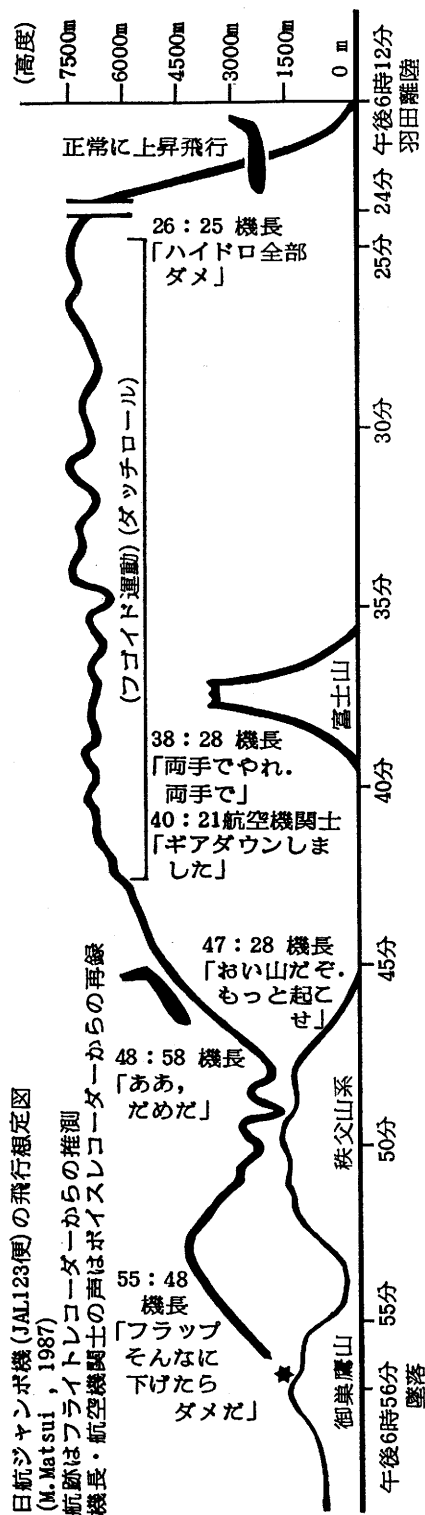
当時の新聞記事を手掛りに、事故発生から墜落に至るまでの経過を概観してみよう。

昭和60年8月12日、日航JAL123便・B747SRが真夏の夕日をあびて羽田を飛び立ったのは、6時12分だった。機は一路大阪に機首を向け順調に上昇を続けた。巡航高度7200mに達し、エンジンを少し絞って水平飛行に移った瞬間、機体後部に異常が発生した（6時24分・このとき客席の最後部にいた乗客のひとり＝生存者は、後方でドーンという爆発音がきこえ、目の前に白い霧のようなものが立ちこめ、座席の上から酸素マスクがおりてきたと証言している）。機首が突然跳ね上がったかと思うと次には機体が右へ傾く。油圧が下がり、操縦系統に異変がきた（6時26分）。操縦がまったく不能になった機は約1分30秒の長周期で襲ってくる大きな縦揺れのうねり（高低差約1000mのフゴイド運動）にほんろうされはじめた。続いて機には、機体を細かく震えさせる短期の振動とともに約11.5秒の周期で左右に大きく横揺れさせるダッチロールが襲ってきた。

機長とパイロットはエンジンの出力をフルに上げたり絞ったりして、何とかフゴイド運動を消そうと試みる（6時29分）。車輪をおろしてみる（ギアダウン）。エンジンを絞り徐々に高度を下げる。右に機体を傾けながら、富士山を右手に見つつ、山梨県大月市上空で大きく旋回（このとき一時的にフゴイド運動もダッチロールも収まり、機は安定を取り戻したかにみえる）。しかし次の瞬間、下降しつつきてきた機の眼前には、大きく秩父山系の黒い山肌がせり上ってきた（6時48分・「おいっ山だ。もっと起こせ。ぶつかるぞ、マックパワー」ボイスレコーダーに記録された機長の声）。

エンジン全開。スピードを上げたので機首は上を向く。しかしまた強烈なフゴイド運動に機は見舞われる（最大縦揺れ角度は40度にも及ぶ）。ジャンボ機はまるで棒立ちになったような姿勢で、かろうじて秩父の連峰（1950m）を越える。まったく操縦不能。エンジンの操作だけで飛び続けるJAL123便。機は迷走状態のまま群馬県御巢鷹山系へと接近していく。上下左右の激しい揺れをおさえようとしてエンジンを絞ると機のスピードは落ちるばかり（揚力を得るためにフラップをおろす）。フラップがきいて奇跡的に一時上昇するがスピードは衰える。パワーを上げる。すると機首が上り過ぎて失速状態になる……。この繰り返しの中で、6時56分、機は多野郡上野村御巢鷹山に墜落。

運輸省航空事故調査委員会の最終報告によると、事故機を操縦不能に陥らせた胴体後部尾翼の破壊過程の検証に重点をおき、垂直尾翼の実物大模型を使った破壊実験やコンピュータによる破壊過程のシミュレーション実験などによる解析をすすめた結果、日航ジャンボ機の事故は、①後部圧力



隔壁の破壊→②胴体尾部の破壊→③垂直尾翼の破壊の順序で進行し、それに要した時間はわずか 0.3 秒前後であったという。そしてこの事故の直接の引き金となったのは、ボーイング社による後部圧力隔壁の修理ミスから金生した金属疲労による亀裂であるとの最終的な判断を示した(事故機は以前に、大阪空港において着陸のさいに尾部が下がりすぎて滑走路にしりもちをつく状態になったことがあり、そのあと後部の与圧隔壁のひび割れ箇所をボーイング社の手で修理していた)。

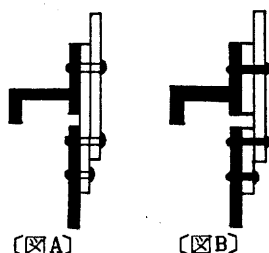
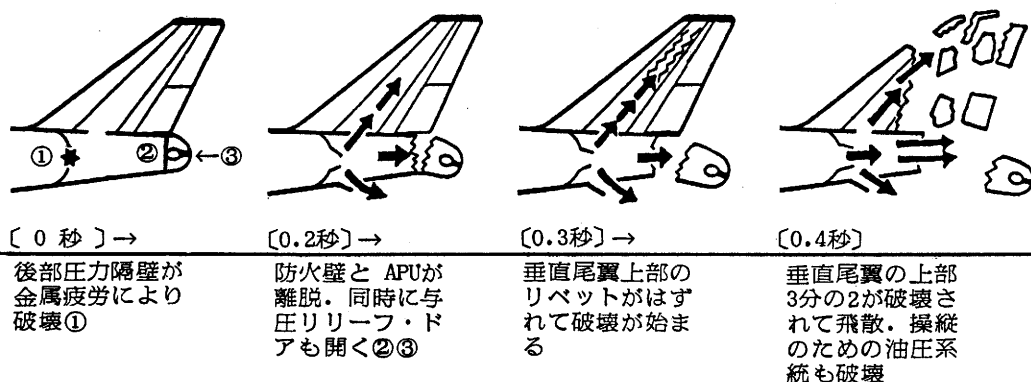
ボーイング社ならびにジャンボ機に対する信用の失墜はこのことだけにとどまらなかった。もっと大きな失墜は、「フェイル・セーフ」を誇りにし、売り物にしてきたジャンボ機的设计そのものに矛盾があったことが露見してしまったからである。

B 747 の操縦系は四重のバックアップ・システムになっている、という謳い文句であった。ところがこの方向舵や昇降舵を動かす四系統の操縦系(油圧系統)は客席の下を通り、後部与圧隔壁の下部を通して、一つにまとめられて、垂直尾翼・水平尾翼へと配管されたのだった。このため与圧隔壁の破壊のさいに、いっきに全部の油圧システムも破壊されてしまったのである。ジャンボは決して落ちないとされた安全神話はもろくも崩れ去ったのだ。

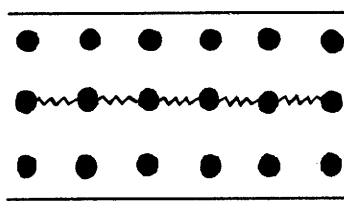
機械系の信頼性は、なにわともあれまず基本的設計思想にはじまるものだということはもはや自明であるように思われる。ボーイング社は「フェイル・セーフ構造」に欠点があることを認め、①新造機の与圧隔壁には壁面を支えるフレーム数を増やす、②隔壁中心部や下部の材質も強化する、③油圧系統は四本のパイプが圧力隔壁の後方でひとまとめになっており、この付近が破壊されると油が一気に抜けてしまって操縦不能に陥る危険性があることから「第4油圧パイプ」に「ヒューズバルブ」と呼ばれる安全弁を設け、不測の事態が起きても油の流出が途中で止まり、少なくとも一系統の油圧システムだけは生き残るようにする—など既存機も含め改修作業をおこなうことにしている。

またアメリカの国家運輸安全委員会 (NTSB) は、1985年12月6日、連邦航空局 (FAA) に対して、①

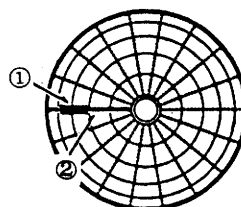
日航ジャンボ機(JAL123便)の機体後部・破壊過程(M.Matsui, 1987)



ボーイング社による修理箇所。〔図A〕が正しい補強法。〔図B〕は事故機の間違った修理法。



〔図C〕 金属疲労による与圧隔壁の破断部分。リベット間にひび割れが発生。
M.Matsui, 1987



〔図D〕 機体後部の与圧隔壁
①は補強板使用部分
②は破断部

B 747の垂直尾翼・水平尾翼に大きな圧力がかかっても致命的な破壊が生じないように設計変更すること、② B 747の尾部に大きな圧力がかかっても油圧系統に損傷がおよばないように設計を変更すること、③ B 747および B 767の後部圧力隔壁の安全性を確保する設計・点検・修理の手順の見直し——などについての実施を勧告した。このことは B 747の基本設計に重大な誤謬（設計ミス）があったことを示唆するものとして受けとめてよいであろう。

日航ジャンボ機の墜落事故は、日航という組織の体質や営業方針、乗員の管理体制、整備力などについても厳しい社会の指弾をあびる結果となったが、問題を墜落した B 747という機体だけにしぼるならば、その機械系の安全評価はかつての「安全神話」とはまったくうらはらに、「コード 0（著しく信頼性が欠如している）」を与えねばならなかったであろう。

世界の注目を浴び、栄光と賞讃とアメリカ国民の期待の中で華々しく登場し、数多くの実験的飛行を成功させてきたスペースシャトルが、世界中の信頼を裏切るかのようにして空中高く大音響とともに飛散したのは、1986年1月28日のことだった。この悲劇のまさしく劇的な光景をまのあたりにして、冒険には危険はつきものだ、といった甘い発想が如何なる結末にたどりつくものか、痛感した人も多かったに違いない。「安全率 99.9999%」とまで誇らしげに語られたスペースシャトル

ル計画は、第25回目、チャレンジャー号の飛行（10回目）において大きく躓いた。（搭乗した宇宙飛行士は7名。船長フランシス・スコビー（46歳）、操縦士マイケル・スミス（48歳）、空軍中佐エリソン・オニズカ（39歳）、物理学者ロナルド・マクネイア（35歳）、電気技師グレゴリー・ジャービス（41歳）、ジュディス・レズニック（36歳・女性）、高校教師クリスタ・マコーリフ（37歳）—— 全員死亡）

日航ジャンボ機の事故分析に接続させて、私はもう一つ機械系の信頼性を評価するための事例として、冷静にチャレンジャー号の悲劇を考え直してみたい。

〔爆発に至るまでの経過〕

〔打ち上げ6.6秒前〕主エンジンに点火

〔0秒〕固体燃料ロケットに点火

〔0.0587秒〕上昇開始

〔0.445秒〕右側固体ロケットの継ぎ目付近から黒煙が噴出。約12秒後に消失。

〔6.5秒〕チャレンジャーは轟音をひびかせながらゆっくりと発射台を離れる。主エンジンの出力は104%（推力1300 t のエンジンが三基）。機体は予定どおりゆるやかな回転に移り、搭乗員の頭が下に向く姿勢で上昇軌道に入る。20秒後に姿勢の変更を完了。

〔35秒〕エンジンの推力を自動的に65%まで下げる（過酷な大気との摩擦抵抗にあって機体がバラバラに分解しないようにするため）。

〔52秒〕再びスロットル全開。

〔58.774秒〕右側固体ロケットの外部液体燃料タンクとの接合部近から煙が噴出。

〔59.249秒〕煙の出ている部分から炎が噴出。

〔60.164秒〕右側固体ロケット燃焼室の圧力が低下（約4%の推力減）。このためバランスが崩れて左側固体ロケットの推力が大きくなり、その結果、飛行コースからずれ始める。

〔62.484秒〕船内のコンピュータが作動して機体右翼のフラップを動かして軌道の修正を試みる。

〔63.924秒〕続けてコンピュータは右下の主エンジン、左下の主エンジンの噴射口ノズルを動かして軌道修正を試みる。

〔64秒〕ヒューストンの管制官から「チャレンジャー、スロットルを開け」→スコビー船長「了解、スロットルを開く」（これが最後の交信）。管制官も乗員も容易ならぬ事態が進行していることには、まだ気づいていない。

〔66.174秒〕右側固体ロケット上部に明るい点のような炎が現われて急速に大きくなる。同時に外部液体燃料・酸素タンクの圧力低下。

〔72.01～72.281秒〕左右の固体ロケットの推力の方向が前後左右ともバラバラになり、機体は激しく揺れ始める。

〔73.201秒〕外部液体燃料・水素タンクから出たと思われる白い雲が現われ、青空に線を引く。続いて機体と液体水素タンクの間でオレンジ色の炎が発生。

〔73.226秒〕固体ロケットと外部液体燃料タンクの前接合部付近で爆発。

〔73.534秒〕主エンジン停止。

〔73.621秒〕データの送信途絶（巨大な火の玉のような大爆発を地上から視認）。

アメリカ航空宇宙局 (NASA) の「安全率シックスナイン (99.9999%)」という諷刺文句とは逆に、早くからその設計上、構造上の難点を指摘し、ひとたび重大な故障が発生すれば、乗員の安全確保はできないと予測した専門家も少なからず存在したのである。そのひとり、五代富文氏 (宇宙開発事業団) は次のようにシャトルの安全性について解剖している。

(1) 外部燃料タンクの破裂。チャレンジャーの事故はまさしくこれだ。このタンクには、シャトル本体 (軌道船) のエンジンで燃やす液体水素と液体酸素が詰まっており、破裂すればタンクは爆発するからどうにもならない。

(2) 固体ロケットの爆発。爆発まではいかなかったが、チャレンジャーの事故は、固体ロケットの爆発ガスの大量漏れが第1原因と考えられている。

(3) 主構造の破損。日航機事故がそうだったように、主構造が壊れたら、もうどうしようもない。

(4) 誘導制御システムの完全故障。飛行に欠かせない誘導制御システムを失ったシャトルは、糸の切れたたこのようなものだ。

(5) 2基の固体ロケットのうち、1基に着火しなかった場合。スペースシャトルの全推力の80%は固体ロケットが受け持っており、地上から飛び上がる時に1本だけが推力を出したら、スペースシャトルは発射台上で転倒してしまう。

(6) 飛行中に固体ロケット1基の推力がなくなる。例えば飛行の途中で、固体ロケットのノズルが吹っ飛んだりしたら、左右の推力のアンバランスでスペースシャトルは大きく傾くと同時に、異常な空気抵抗を受けて木っ端みじんになるだろう。

(7) 軌道船の主エンジン (液体ロケット) の推力が、パイプの故障による燃料供給の停止などで、完全になくなる。このエンジンは開発中から不具合が多く札付きのエンジンだが、3つとも一度に完全に壊れることは考えにくい。

(8) 軌道船から外部燃料タンクが外れない。たとえ空であっても、腹にこんなものを抱えていては軌道船は着陸できない。

(9) 固体ロケットの分離が早すぎる。固体ロケットがまだ燃焼している間に外部タンクから離れてしまったら、加速が大きい固体ロケットは外部タンクと軌道船のわきを通り過ぎて、その時に軌道船にぶつかるか、火炎を吹きつけて、軌道船が無事にいられるとは考えられない。(五代富文『シャトルの安全性を解剖する』「科学朝日」1986年5月号・参照)。

衝撃のチャレンジャー爆発から1カ月が経過する頃から、直接の事故原因は、右側固体燃料ブースターの接合部に絞られてきたが、調査が進むにつれて「人災」という線も濃厚になってきた。フロリダにしては異例の寒さと技術陣の燃料ブースターに関する不安警告を無視してスケジュールの消化を急ぐあまり、打ち上げを強行したNASA当局幹部の意思決定過程に致命的な落とし穴があったとする批判である。しかし私はここでも先のジャンボ機の事故分析の場合と同様、スペースシャトルの「設計思想」そのものに疑問の目を向けてみたい。

スペースシャトルは最大限に「経済性」を優先して計画設計されたものである。ちょうどそれは昔から手作業の機織り道具の一つとして用いられてきた「杼 (梭) shuttle」のように、宇宙空間と地上とを使い捨てではなく何回も往復することを目的としている。宇宙飛行士が搭乗する宇宙船の部分は何回も繰り返し使用することを考慮して製造され、とくに乗員室は堅牢につくられている。しかしロケット・エンジンを格納するブースター部分は、打ち上げに使用したあとパラシュートで

海中に落下、それをひろい上げて、やはり繰り返えし20回使用するのである。にもかかわらず、スペースシャトルに搭載する諸々の実験用機器の搭載量を増大させる（運搬能力を向上させる）ために、その分だけブースターの重量を軽減させるという手を用いた。このため非常用の緊急脱出装置は設けない、ブースターの燃料タンクの厚みを薄くするなどの軽量化が図られた（この点、滑空して着陸できる宇宙船と比べると、海面への着水時の衝撃で、ブースターには歪みも出るだろうし、噴射回数がつれば燃焼室にも疲労がつるのであろう。また海水による腐食という問題もある）。これに関連して、製造経費を安くするために、モートン・サイオコール社製の継ぎ目（ブースターの鋼板製外被は四つに分かれており、それらをつなぐ接合部には、Oリングと呼ばれるドーナツ型の保護リングがあてがわれ、燃料の高温ガスが接ぎ目からトーチのように噴き出すのを防いでいる）のあるロケットを採用したが、エアロジェット社の継ぎ目のない一体型のものに比べると明らかに固体強度の点でおちるという弱点をかかえていた（事実これが事故原因と断定された）。

なお驚くべきことに、「経済性優先」の発想は、シャトル計画が進行するにつれてより露骨になり、爆発事故をひき起こしたこのシャトルには当初、装備されていた異常感知のためのセンサーやコンピュータによる監視装置の大半が不要と判断され、シャトルの重量軽減のための対象にされたというのである。このため爆発10秒前にはブースターがすでに異常燃焼を起こしていたにもかかわらず、それを察知して回避することができなかったのである。ひとことにいってチャレンジャー号は「経済性優先」のために安全システム（警報システム）を犠牲にしたのだった。

1987年2月の打ち上げ再開を目指し、大統領調査委員会の勧告を受けて、NASA は事故発生の直接原因となった固体燃料ロケットの改良（主として継ぎ目部分の補強）と乗組員のための緊急脱出装置を工夫しているが、従来、ジェット戦闘機やジェミニ宇宙船等に装備されてきた「脱出ポッド方式（座席ごと宇宙飛行士を船外にカタパルトのように射出する仕組み）」は、大がかりな設計変更を必要とし、またシャトルの翼にぶつかる危険もあることから、別に、異常時には乗組員を小さなソリに横たわらせ、酸素ボンベ、救命いかだ、無線標識とともに小型ロケットで搭乗口から打ち出す「トラクター・ロケット方式」の開発をすすめている。しかしチャレンジャーの事故時のように宇宙船がきりもみ状になって落下すると、飛行士たちはソリや壁に押しつけられて脱出できない恐れがあり、またエンジン全開で加速中の2～3分間（もっとも事故の起こる可能性の高い時期）には使用は無理ともいわれている。

私は大木にセミがとまっているようなスペースシャトルの打ち上げのスタイル自体が設計に矛盾を強い、構造的にも無理を強いていると考える。図のように、ロケットの最先端に宇宙船を搭載し、しかもその上部には緊急脱出用のロケットを装備するとともに、宇宙船内には瞬間に離脱できるカプセル構造を組み込んでおけば、二重のフェイル・セーフ構造となって、生き残れるチャンスは増大すると思う。

チャレンジャー号の惨事が私たちに教えてくれたものは、「安全思想」をぬきにして真の「安全神話」はつくれないということ。そして安全への比重が軽くなるにつれて、機械系の信頼度は低下するという戒めであろう。

機械系の信頼性に関する評価は、たとえ私が事故例を取扱ったからといって何も航空機や宇宙船、それに原子力プラントといった高度なシステムが必要とされる機械系だけに該当する問題ではない。

視点を移動させて考えてみると、他にもいくつか思考の素材となるものを発見する。

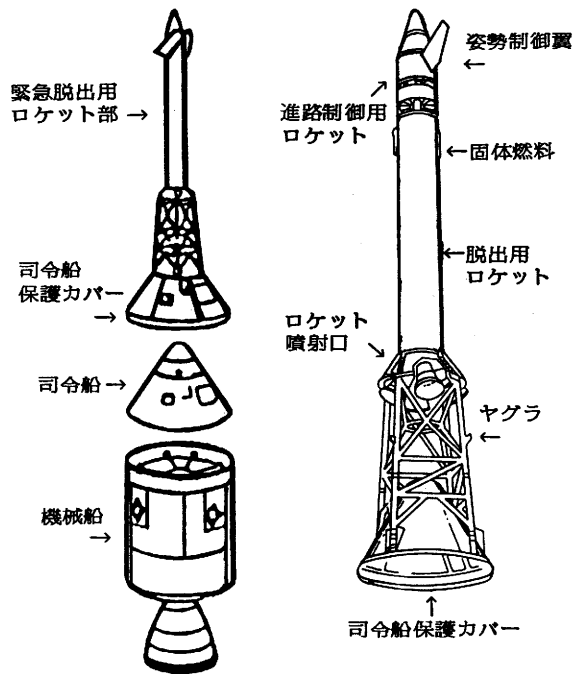
機械系の信頼性を高め、積極的に導入して大いに効果があると思われるのは、コンピューター・グラフィックス方式によるシミュレーション（simulation）である。三次元の映像情報の処理を可能にしたコンピューターシステムは、新しく開発されてきた科学技術について「模擬試験」をおこなうことができる実力を持っている。その一部はすでに、パイロット養成のための「操縦訓練装置」となって実用化されているし、「核融合反応」のように実際には巨額の費用を投入せねばできなかった大規模な実験プロセスを、コンピューターグラフィックス方式で再現し、その「核融合」のための磁場構造に設計上、無理がなかったかどうか、あるいは期待どおり（計算されたとおり）作動するかどうか、いとも鮮やかに検証する能力を持っている。このようにコンピューターグラフィックスによるシミュレーションは、安全システムの完成度を高める上で非常に貢献するものである（NHK教育テレビ『現代の科学—映像革命の旗手①』参照）。

そもそも機械というものは、いくら最良の設計がなされていても、製作のさいに技術水準が低ければ、決して良い機械を完成させることはできないし、また材質が良くなければ、性能を十分に引き出せないばかりか、耐久性の点でも劣り、経年劣化が早まることもある。

ここでは「機械」を広義にとらえて「施設」というように考えてもよいと

文 献

1. 特集「エラーを科学する」
柳田邦男「フェイセルセーフの落とし穴」
五代 「シャトルの安全性を解剖する」
科学朝日、1986、5月号
2. News Week、1986、2月13日号
「シャトル大惨事の全容」TBSブリタニカ発行
3. News Week、1986、3月6日号
「人災だったシャトル爆発」TBSブリタニカ
4. 特集「有人宇宙飛行25年の明と暗」
木村 繁
「吹き飛んだ宇宙科学の年」
辻 篤子
「科学朝日」 1986、4月号



〔図A：サターン5型ロケットの最上部に取りつけられる司令船と脱出用ロケット
(M. Matsui, 1987)

〔図B：緊急脱出用ロケット部の略図
(M. Matsui, 1987)

緊急脱出用ロケット：打ち上げ用のサターン5型ロケットに故障がおき宇宙飛行士に危険が及ぶときに、ロケット本体から司令船だけを切り離し、脱出用ロケットを噴射させて安全な高空へ持ち上げるロケット。長さ10m、重量は3.3t。

思うが、例えばコンクリート建造物の場合、川砂を使うか、海砂を使うかで、鉄筋コンクリートの堅牢さに違いがでてくるほか、著しく耐用年数が違ってくるのが最近の調査研究でわかってきている。

沖縄では台風対策ということもあって、20年ほど前から一般の民家にもコンクリートの建物が続続新築されてきたが、50年は大丈夫といわれていたはずの鉄筋コンクリートの家が、わずか4～5年のうちに傷みはじめ、亀裂が各所に入って崩れ始めてきているという。なぜそうなったのか。理由は、海砂を材料として使用したからであった。海砂は大量の塩分を含んでおり（通産省の規定では、水洗いなどして塩分を20%まで減らすことが義務づけられているが、海砂採取業者は、費用がかかることもあって、ほとんどの場合やっていない）、その塩分によって鉄芯や鉄柱が時間の経過とともに、早いスピードで腐食する。一度膨張したあと鉄材はボロボロに崩れて細くなり、脆くなってゆく。つまり腐食して膨張したときにまずコンクリートにひび割れが入り、堅牢さが失なわれていくものと見られている。

このように材質の粗悪な海砂による悪影響は、大小の「施設（建造物）」にかなり現われてきているが、実に驚くべきことに、国鉄山陽新幹線の姫路－岡山間のコンクリート製橋脚部分の損傷がひどいと指摘されている。この部分の建設にあたっては、突貫工事だったということもあって、ほとんど塩ぬきされていない海砂が大量に用いられたからだという（NHK総合テレビ・NHK特集『コンクリート・クライシス』昭和59年10月28日・放映）。

（3） 環境系の安定性についての評価

環境系の安定性は、（5－2）節、環境因子とは何か、で説明したとおり、環境条件を構成する20の因子（factors）のそれぞれについて、時間的推移にともなう変動率を検討する。例えばコンスタントな（恒常的な）風の方向と風速は、航空機や船舶などのように定点移動を行おうとする場合には、きわめて重要な条件となる（突発的な風向きの変化や風速の増大は安定した飛行や走行を妨げるばかりか、危険に陥し入れる可能性もはらんでいる）。登山者やハイカーを思わぬ危機に陥し入れるのは、気象条件の急変である。根雪にまだならない降雪の初期は、表層雪崩が起きやすく、スキーヤーや雪山登山者を事故にまきこむことが多い。マラソン・ランナーにとって気温の上昇は大敵である。日本国内では素晴らしい記録を樹立した期待の選手が、気象条件の異なる外国での競技会で、十分に実力が発揮できず惜敗する。ここには環境因子の生体に与える大きな影響力があるといわねばならないであろう。

暗い夜道を帰ってきて、工事中の溝に足を踏み込み大怪我をする。明るい日中であれば、このようなことにはならなかったであろう。自動車の事故発生率は、平均してみると、走行台数に比較すると日中よりも夜間の方が高くなる。また雨の日、雪の日のスリップ事故は、晴れた日よりは、はるかに増大する。これらは環境系の不安定性が安全操業を阻害する大きな要因になっていることを示しているといえよう。環境系にみる不安定要素に対しては、code 0～1の低い評価を与えなければならない。

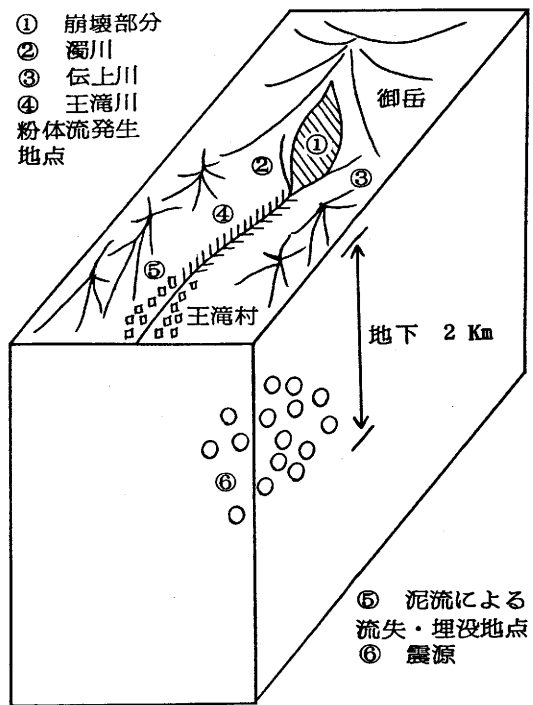
一億二千万もの人口をかかえた日本は、南北に地形を開いた火山列島であり、地震王国である。しかも台風が北上するさいのメインルートに位置していて台風の銀座通りといった感のある日本列島は、また大陸性高気圧と熱帯性低気圧の狭間はざまにあって、常に不安定な気象条件と対面している。

ここ1~2年の間に発生した大型の自然災害だけを摘出して見ても、「三宅島大噴火(1982.10.3)」「日本海中部地震・津波襲来(1983.5.26)」「長野県西部地震-王滝村災害・御岳大崩壊(1984.9.14)」と続発している。日本はもともと環境系の安定度のきわめて悪い国だといわねばならないのに、いったいどうした因果で長い民族の歴史と伝統文化を育て上げ、一億を超える人びとが定着するようになったのか、私にとって非常に素朴な興味がわくところである。おそらくは自然の悪条件を克服しようと努力したところに、生活の知恵が生まれ、技術が発展したと解釈すべきであろうが、しかし科学技術の高度化した現代においてもなお「自然災害に対する科学的予知」は難しく、予測体制は万全とは言いがたい。その分だけでも、私たち個人が日常的な防備の体勢を固めておかねばならないということになる。東京都は地震予知に関する研究の一環として、ナマズの行動観察が有効であると考え、この施設に数千万円を計上し、実験研究に入ったと聞いている。

ナマズが地震の予知を——と失笑する人もいるだろう。だが笑ってばかりはいられない。大正15年のあの関東大震災のときには、地震の起こる1時間前に、上野・忍ばずの池のコイが水面高くハネ上り、通路にまで飛び上ってきたのを目撃した人がいるし、日本と並んで地震で有名な中央アジアのモンゴル共和国タシケントでは、大きな地震の起きる数時間前に、きまって野性の動物が恐れおののいて鳴き出し暴れ出すという。自然界の変動に対する野性の生き物たちの「予知能力」の高さには、とうてい人間はかなわないのである。

東海大地震の前兆と指摘された「長野県西部地震(昭和59年9月14日・8時48分・死者29名・負傷者10名・家屋の全半壊87戸・被害総額468億円)」で長野県木曾郡王滝村は大災害を被ったが、この地震で最大の被害をもたらす原因となった「土砂なだれ」は、まず①急な斜面から火山灰層や火山角れきがマグニチュード6.9という強震によって下から突き上げられ、大規模な粉体として崩れ落ち「粉体流」となった。それが②王滝川下流の川の流れと合流したあとで「泥流・土石流」となり、いっ気に王滝川沿いの松越地区・滝越地区を襲ったとみられている(震源地は王滝村直下)。

これと同時に、やはり御岳山の頂上近くの山腹でもきわめて大規模な「粉体流」による土砂崩れが発生、伝上川から濁川一帯の地形を一変させてしまった。火山灰が何層にも堆積して成形された御岳の場合、表層の火山灰・角れき層とその下の柔く崩れやすい軽石層の間にタテ・ヨコの「断層(亀裂)」が出来ており、この「断層」がさらに地下水脈によって絶えず動きやすい状態に保持されていたことが、その後の調査



〔御岳山(標高3062m)ならびに王滝村周辺断面図〕
M. Matsui, 1987

で判明した。水分などを含んでいて密度の高い土砂（空気が入りこんでいない土砂）は、急斜面を「ずり落ちていく（地滑り）」だけであるが、土砂に空気が入り「粉体流」となると威力を増し、急斜面から峡谷にそってすさまじい勢いで突進し、立木をなぎ倒し、岩肌を削り取って地形を一変させてしまう。御岳山の大崩壊は、原理的には「王滝村」の場合と同一だったのである。

日本列島には御岳山と同じ形状で不安定な地層をもち、しかも危険度の高い活断層に位置する山は、羊蹄山・恵庭岳・八甲田山・岩木山・鳥海山・磐梯山・富士山をはじめ、御岳・男体山・八丈富士・雲仙・桜島・開聞岳など約30あるという（NHK総合テレビ『御岳大崩壊』昭和59年12月17日・放映）。

環境系の安定性を考察する上で、災害列島日本は格好の標本であり、実験場である。そうした意味ではわが国は、安全システムを検証する最適の環境条件を備えているといえる。「日本海中部地震（昭和58年5月26日・死者102名・家屋全壊2000戸・船の損傷1300隻）」のときには「津波警報」の伝達が徹底しなかったために、運悪く昼食のため男鹿半島・加茂湾の浜に立ち寄った合川南小学校の学童たちに多くの犠牲者を出す結果になったことは、まだ私たちの記憶に新しい（NHK総合テレビ『津波急襲——日本海中部地震』・NHK特集『目撃された大津波』参照）。

環境系における安全システムは、自然災害に対する積極的な対抗措置として実用化されるべきものである。地震・火山活動・台風等の「予知システム」の完成を目指すとともに、「情報の伝達システム」の強化、異常時における「避難＝救助システム」の確立が急がねばならない。自然災害の発生の構造的メカニズムを解明してゆく努力も必要であろう。環境系の安全評価はこうした多角度な尺度でもって防災体制そのものが総合的に判定されねばならない。安全システムの完成度の高さは、環境系の安定性向上のしるしとして相対的に読みかえることが可能である。

（4） 人間＝機械系の整合性についての評価

人間＝機械系の不整合を物語る事例については、すでに②章、③章、④章において、多数を取り上げた。したがってこの項目においては、これまでに取り扱わなかった四つのケースについて検討し、人間＝機械系の整合を考える材料にしよう。

〔ケース1・白ろう病〕これは山林労働者のように木材伐採に従事している人達が、チェーンソー（動力ノコギリ）を使用することによって手の指が蒼白になり、神経麻痺や筋肉の無力症状とともに上肢のしびれ、肩こり、腰痛、上下肢の運動障害が発生すると考えられている職業病の一つである。一般には振動工具使用者に起こる障害を総称して、「振動障害」と呼ばれており、労働省は昭和40年5月、人事院は41年7月にチェーンソー作業者の職業病と認定している。白ろう病は40年代に入って社会問題として大きくクローズアップされ、これまでに公務災害と認定された国有林作業員（林野庁関係）は59年3月の時点で3603名、また民有林などでも11000名余りが労災保険を受けており、潜在患者を含めた患者数は国有・民有林あわせて5万人にもものぼるといわれている。国有林作業員の白ろう病をめぐって現在、全国八つの地方裁判所（民事部）で原告100人が、総額25億円の損害賠償（林野庁の安全義務違反－債務不履行－）を求めて係争中であることは、周知されているとおりである（武谷三男編『安全性の考え方』岩波新書(7)章参照）。

〔ケース2・難聴という名の職業病〕工事現場や工場をはじめ、とにかく機械が作動している作業環境においては、人間はたえず大小さまざまな周波数成分をもった騒音（noise）と対面してい

る。聴力障害とこの騒音との間には深い因果関係がある。

職業病としての難聴は、とくにジェット機を操縦するパイロットに多いことで有名である（ジェット・パイロットの平均聴覚閾値は、500～4000Hzのいずれの周波数においても、一般人の閾値よりも低い→NASA資料より）。また宇宙時代を迎えた今日、ロケット発射台上のブースターが発生するすさまじい音エネルギーの拡散は、宇宙船の搭乗員（宇宙飛行士）にも、地上の要員にも甚大な影響を与えることで、問題になっている。日本国内では、国鉄新幹線の騒音公害、飛行場とその周辺住民への騒音公害など、多くの深刻な現代的問題を提起している。

参考までに、3フィート離れたところで聞くごく普通の会話の音圧のレベルは平均65dbであり、20フィート離れたところで聞く自動車の平均走行音は78db、地下鉄の走行音は95dbである。これに比べて150フィートの距離で感じるジェット戦闘機（F100型スーパーセーバー）の音圧は125db（320Hzで最大値）、アトラス・ロケットの発射音は156db（約20Hzで最大値）である。騒音の大きさといっても、実際はその騒音の中心周波数がどこにあるか、騒音の継続時間・周囲の環境・馴れによって、受けとめる側の感じ（印象）はかなり変わってくる。ターボジェット・エンジンの発生する作動音の中心周波数はだいたい300～1000Hzと比較的高いのに比べ、サターンロケット・エンジンなどの超大型ブースターでは20Hz以下のところに音圧のピークがくる（データはすべてアメリカ航空宇宙局NASAの資料による）。

耳に痛みが発生するおおよその閾は130（phon=db）である。40～60Hzの強烈的な低周波騒音は呼吸器（胸廓）の機械的共鳴、めまい、方向感覚喪失、悪心嘔吐を引き起こさせる。キーンというジェットエンジンの連続的な金属音（7500Hz・120db以上）は、いら立ちや疲労感を促進させる。生理的には呼吸数・脈拍・血圧の変化、胃腸運動の減退、蝸牛（平衡感覚器）の血流量の変化などを引き起こす。また交感神経系の失調も発生し、これによって皮膚末梢血管の収縮と末梢血流抵抗の増加、動脈血流量の全体的な減少がおこる。1000名の鉄工労働者を対象とした臨床的研究によって、90～120phonの強い騒音に3年以上曝露された群においては、循環器系の障害が多いことも確認されている。白ろう病にみられるレイノー現象（Raynaud）に似た症状は、圧さく空気をあつかう工具を除外してみても、やはり非常に強い騒音に日常的に曝露されている工具に多かった。

作業能率に与える騒音の影響という観点から考えてみると、長時間にわたる監視作業の能率は、100dbくらいの騒音で低下する。2000Hz以上の周波数域に主勢力をもつ騒音は、より妨害作用が強い（科学技術庁監修『人間-環境系-人間機能データブック』人間と技術社・参照）。

〔ケース3・目に異常をおこすコンピュータ・ディスプレイ表示装置〕マイクロエレクトロニクスの進展とともにOA化（オフィスオートメーション）の時代に突入した。OA化の主役は何といってもコンピューターである。このコンピューターには文字や記号の入力と出力を写し出すディスプレイ表示装置（テレビによるモニター）が不可欠である。つまり人はブラウン管の画面に写し出されるごく小さな文字信号を追跡しながら、キーボードのキーを叩くわけである（以下これをVDT作業という）。

ところでこの種の仕事に従事している人たちの半数が、目に異常を訴えているという。総評マイコン調査委員会は、製造、建設、金融、サービス業などで、ディスプレイ表示装置を使用している労働者12000名を対象にアンケート調査を実施、このうち6860名についての結果をまとめてい

る。

アンケートは、VDT作業の実態、作業環境、健康状態など49項目にわたっている。回答者はVDT作業を始めてからの期間が平均2年8カ月。19～39歳と若い層が圧倒的に多く、そのうち40%が女性で占められている。

調査の結果では、「目の疲れ」を訴える人が一番多く76.8%、VDT作業を始めてから「視力低下」「色覚異常」「涙が出る」などの目の異常が出始めた人は50.6%、VDTを扱い始めて1年以内に、20歳代の人46%が近視になったと回答している。また三分の二の人が作業後に疲れを覚え、このうち五分の一が慢性的な疲労を訴えている。このほか「イライラする」といった精神の不安定症状を36.7%が訴え、「便秘」「不眠」「どうき」「息切れ」など中枢神経系の疲労も多いことが判明した（データは『毎日新聞』昭和59年7月23日より）。

ひと昔前までは、オフィス病といえば、夏場のクーラーによる冷え過ぎがもっぱらの話題であったのが、今ではこれにとってかわって新しいタイプのオフィス病が登場してきている。今後さらにOA化が進行することは避けがたい状況だから、このVDT労働に付随する健康障害は、精神衛生面の問題として更にもっと深刻な事態を招来させるようになるであろうことは、重々予想できる。

〔ケース4・安全ではない石油ストーブ〕『コンシューマー・レポート』というアメリカの商品テスト専門誌は、「開放型石油ストーブ」から出る四大汚染物質（一酸化炭素・二酸化窒素・炭酸ガス・亜硫酸ガス）の排出率から室内の空気中の濃度を計算し、この濃度が人体にとってどのくらい有害か、医学的知識に照らして判定している。それによれば、これら汚染物質の影響は妊産婦・子供・老人・心臓疾患のある人などに対しては、明らかに危険であること、なお健康な成人においても有害となる可能性は充分あるという。

一酸化炭素（CO）の影響について——一酸化炭素は不完全燃焼すれば、かならず発生する。無色無味無臭だから分りにくい、生命にかかわる毒性が強いことでよく知られている。狭心症の人、心臓に疾患のある人は、もっともこの影響を受けやすい。とくに反射型石油ストーブから出るCOの平均濃度は13ppmであり、医学的に見て、胎児・新生児・貧血の人・呼吸器系ないしは循環器系に疾患のある人には危険である。

二酸化窒素（NO₂）の影響について——燃料が高温で燃えると、多量のNO₂が放出される。たとえ濃度が低くても健康上、一番有害なのはこのNO₂で、とくに呼吸器（肺）への悪影響が心配される。石油ストーブから出るNO₂は反射型の場合0.6ppmでEPA（アメリカ環境保護庁）のいう年間平均許容限度の0.25ppmをはるかに超え、基準の35倍にも達している。長期にわたってNO₂に子供達が慢性的に曝されていると、肺気腫のような重い肺障害を起こす恐れがある。

炭酸ガス（CO₂）の影響について——CO₂の人体に与える影響については、あまり一般には認識されていないが、石油ストーブはアメリカ労働安全保健局の基準の2倍、10000ppmにも達するという。CO₂の影響についての事例は、潜水艦の乗組員によくみられ、長期にわたって5000～10000ppmの濃度の中にいると、各種の病気の発生率が高くなると報告されている。

亜硫酸ガス（SO₂）の影響について——SO₂は硫黄を含んだ燃料を燃やすとできるもので、石油の中にはこの硫黄成分がかなり多量に含まれている。EPAは24時間の空気汚染の基準を0.14ppmと決め、しかも年に2回以上は基準を超えてはならないと定めている。しかし石油ストーブから出るSO₂は、たとえ硫黄成分の少ない良質の石油を用いても、基準より何倍も高いガスが放出される。

医学的見地からは、ぜん息・慢性気管支炎・アレルギー体質の人などには、この亜硫酸ガスは大敵である。

〔四つの汚染物質の濃度〕

コンシューマーズ・ユニオンの計算値 ①

	一酸化炭素	二酸化窒素	炭酸ガス	亜硫酸ガス ②
対流型石油ストーブ	5	1.8	10000	0.8~1.6 ③ 6.0~12.0 ④
反射型石油ストーブ	13	0.6	10000	0.8~1.6 ③ 6.0~12.0 ④

国・民間の基準

環境保護庁（EPA）⑤	9	0.05	—	0.14
アメリカ空調冷凍学会（ASHRAE）⑥	9	0.05	2500	0.14
アメリカ労働安全保健局⑦	50	5.0	5000	5.0
産業衛生会議⑧	50	3.0	5000	2.0
アメリカ海軍（潜水艦用）⑨	15	0.5	8000	1.0
航空宇宙局（スペースシャトル用）⑩	25	0.5	10000	1.0

表の説明

- ① コンシューマーズ・ユニオンの計算値は、2300~2500キロカロリーの石油ストーブを6帖強の部屋で運転し、1時間に1回換気した実験結果から算出した。ストーブの大きさが倍でも、同じ換気で部屋が倍の広さなら、同様の結果になる。
- ② 亜硫酸ガスの濃度は、壁面や家具との関係で変化するため、数値に幅をもたせた。
- ③ 1Kの灯油（硫黄分0.04%）使用。
- ④ 2Kの灯油（硫黄分0.3%）使用。
- ⑤ 一酸化炭素については、8時間あたりの平均許容値。1年に2回以上これを越えてはならない。二酸化窒素は年間平均許容値。亜硫酸ガスは24時間あたりの平均許容値で、1年に2回以上の超過禁止。
- ⑥ EPAの基準を、ASHRAEが職場以外の屋内環境について採用した。炭酸ガス基準はEPAにないため、独自に設定。
- ⑦ 1日8時間、週40時間の就労者に対する平均許容値。二酸化窒素濃度は、就業時間中に許容値を越えてはならない。
- ⑧ 1日8時間、週5日就労者の平均許容値。
- ⑨ 90日間勤務中の最大許容濃度。
- ⑩ スペースシャトルに長期間乗務する場合の最大許容濃度。

17 安全科学の将来— その展望

「人間=環境系の整合性」については(5)章で既述したし、同様「機械=環境系の整合性」についても、(6)章で詳述したから、もはやここでは繰り返さないことにする。

むしろ本書をしめくくるにあたって、もう一度よく考えておきたいことは、事故に関する事例研究が安全システムを構成する上で、実際にどのような利益をもたらすか、という点についての理解

である。

第一に、事故分析から得た数々の教訓は、システムの整合性を評価する有力な手掛りとして大いに活用することができる。システムの不整合性を発見し矛盾や誤謬を見抜くことは、結果的には、システムの整合性を高め、安全性を高めることになり、安全システムづくりに大いに貢献するはずである。だから事故の原因究明は徹底的におこなねばならないし、安全評価も積極的におこなうべきである。目先の利潤のみにとらわれていては、決して安全性の追求はできない。長期にわたる地道な研究と努力の積み重ねが、安全システムの完成度を高め、これがひいては多くの人びとに、より多くの素晴らしい利益と幸福を与えることになると、私は信じてやまない。

第二に、事故の多角的・多面的な分析研究は、事故の直接要因ないしは背後要因になっている諸因子を暗号（cryptogram）とみて、これを精密に解読することにより、一国の産業レベル・行政レベル・科学技術レベル等を割出し推察するさいの有力な手掛りになる。

事故の規模が大きく、国際的にも与える影響が大きい場合には、当該政府の指導力や対外政策の内容・国内情勢もかなり読めるであろう。例えば昭和58年9月1日にソビエト領空・サハリン附近で発生したソ連空軍機による大韓航空機撃墜事件や、昭和51年9月6日に函館空港にソビエト最新鋭のジェット機（Mig25フオックスバット）が自衛隊レーダーの目をかいくぐって超低空で突如飛来、ビクトル・イワノビッチ・ベレンコ空軍中尉（29歳）が亡命してきた事件（私はこれらも広義では事故として読みかえることができると思う）などは、第二の観点からの分析的研究の対象になる。

また事故の系統的・通時的な追跡研究によって、関連企業が現在どこに力を入れており、どこが弱点になっているか、その企業の「志向性」「企業の方向性」が掴めると同時に、企業の「手の内」すなわち「機密事項」も読み取ることができるはずである。

第1章で述べたように、安全科学はまさしく総合科学であると同時に、現代社会の要請に応えうる最新の知識体系をもった実践科学である。それゆえに安全科学はまた「時代の申し子」として、絶えず社会の荒波をかぶりながら、揉まれ続けねばならない運命にあるのであろう。

（以下次号）