

土木工学と安全

株式会社 山海堂 雑誌「土木施工」(1974.4～1976.9)
電子出版向けの PDF 版

島 田 静 雄

この PDF 版は、山海堂の雑誌「土木施工」の連載講座として、1974.4～1976.9 の足掛け三年、19 回に分けて連載したもののコピーです。この元になった資料は、筆者が名古屋大学の助教授時代、大学院学生を対象としたセミナーを目的として集めた資料です。連載の完結を待って、全体を通した講義テキストとしてコピー版を作り、その後のセミナーの受講学生に配布してきました。連載中は、多くの方からの反響がありました。しかし、雑誌の記事は、著作権で保護されているとは言え、一過性の情報の性格がありますので、読者が図書館などでのランダムな検索の手段で見つけることができません。筆者としては、単行本の形式で発行できれば、と思っただけでしたが、1970年代は、まだ原稿作成の電子化が未開発でしたので、余分な作業に手を割くことができませんでした。

2010年度から、出版関係は電子出版を模索した努力をする時代に入りました。電子出版のアイデアは古くからあったのですが、安価な携帯端末が利用できるようになって、読書の形式が多様になってきました。実を言うと、この傾向は10年前から予測されていました。筆者は、この先取りとして、三種類の発表形式を試してきました。一つ目は、雑誌の記事としての形式です。この書式は、通常、B5版2段組みです。この原稿には、MS-WordでA4版一段組みで作成してきましたが、そのまま体裁のよいレポート形式になるように注意して編集しています。雑誌型式と異なるのは、カラー版のイラストや写真が使えることです。この形式のままインターネット上で発信するものが二つ目の形式のPDF版です。すこしページ数が多くなりますが、ユーザは、これをダウンロードして印刷して見ることができます。プリンタをお持ちでなければ、原稿ファイルをUSBにして持ち込めば、簡易製本までサービスしてくれる街中の印刷屋さんが見つかりようになりました。

三つ目は、パソコンの画面でランダムに項目がアクセスするように、章・節・項単位でリンクを張ったWEB版です。この利用方法を考えて、筆者の原稿は、約600字程度のパラグラフ単位分けて、インターネットでのアクセス速度が速くなるように、一つのパラグラフがパソコンの一画面に入るようにしています。目次と索引とを参照すれば、かなり便利な検索が使えます。

この「土木工学と安全」では、上の三つ目の形式に代えて、写真版での発信方式を採用しています。元になった原稿は、テキスト形式のファイルが全くありませんので、雑誌記事のページ単位をスキャナーでグラフィックスデータとして取り込み、前後のページと目次とのリンク情報を付けただけのhtmlファイルの集合にしています。これは、現在の時点で問題にしている電子出版の発信形式と同じです。文字が読める最小の解像度で元の原稿を取り込むため、1ページ単位のグラフィックスファイルの寸法として200KB以下に抑えています。全体として95ページ分を一単位のPDFファイルにするとアクセスが重くなりますので、10ページごとに分割して全部で10ファイルにしました。筆者が作成した種々の技術資料のWEBサイトは、差し当たり下記にしています。

http://www.nakanihon.co.jp/gi_jyutsu/Shimada/shimadatop.html

(この冊子は、通して全95ページあります)

土木工学と安全

目 次

この連載を始めるに当たって

[I] 安全の認識論

- (1) 安全の認識____(2) 安定と不安定____(3) 安全と社会生活____(4) 保障と補償____(5) 安全の量的認識____(6) 安全と信頼性____(7) 安全と法律や基準____(8) 安全と人間の性格との関わり合い____(9) 歴史の教訓

[II] 破壊や事故の調査と分析

- (1) 証拠の収集____(2) 記録の価値____(3) 証言の信頼性____(4) 経過の追跡____(5) 調査の組織とテクノロジーアセスメント

事例研究資料 事故や災害の現場調査の進め方

- (1) 現場調査の計画
(2) 現場の観察
(3) 聞き込みと設問
(4) 資料の採取・発掘
(5) 復元
(6) 資料の価値判断
(7) 原因の判定
(8) 現場の解除
(9) 資料の管理訓
(10) 調査のまとめ方
 i 専門的な記録、データ、統計数値、資料など
 ii いわゆるドキュメント、記録報告に類するもの
 iii 総括、論評、抄録、解説に類するもの
 iv 随筆、感想文、小説、ドキュメンタリーの類
(11) 調査委員会の運営の方法
 i 委員会の位置づけ
 ii 委員会の構成
 iii 委員会の招集
 iv 予算措置
 v 討議のまとめ

[III]. 安全の対策

- (1) 教育の方法とその評価____(2) 組織と責任____(3) 自己補償的システム信頼性の検出____(4) 信頼性の評価____(5) 異常の検出____(6) 並列システム____(7) 安全を目的とするための基準や製薬の意義____(8) 基準はだれが定めるべきか____(9) 保護制度は安全対策の有効か____(10) 人間の役割とその限界____(11) 監視と信頼____(12) 検査と処置____(13) 異常の場合の救済

参考資料 その1

- A. 地震____B. ダム災害____C. 流土・雪崩____D. 橋梁・鉄塔____E. 航空機事故____
F. 船舶火災・爆発・海難____G. 海洋構造物____H. 大気汚染____I. 安全性其の他

[IV] 破壊と安全率とのかかわり合い

(1) 破壊の定義と認識____(2) 設計理論と破壊のモデル____(3) 荷重の意味____(4) 寸法効果と相似性____(5) 伸び性能(ダクティリティー)____(6) 衝撃率とたわみ制限との関係____(7) 疲労の見積もり____(8) 信頼性と安全率

[V] 橋梁の進歩と破壊の歴史

はじめに____(1) ティ橋の落橋____(2) ケベック橋の崩壊____(3) ブルックリン吊橋と潜函病____(4) タコマ吊橋の落橋____(5) 最近の橋梁事故の展望

[VI] コンクリート構造物の破壊

(1) コンクリート進歩の歴史____(2) コンクリート示方書の意義____(3) 地震とコンクリート構造物____(4) コンクリートの耐久性と安全____参考資料とその解説

[VII] 土と水とに関連する災害や事故

はじめに____(1) 地滑り(ビオント・ダムノ地滑り、マルパセ・ダムの崩壊)____(2) 崖くずれ、山くずれ____(3) 土工事における事故____(4) 地盤沈下や不等沈下

[VIII] 疲労と脆性破壊

(1) 脆性の考え方____(2) ハッセルト橋の崩壊____(3) その他の著名な脆性破壊____(4) ボイラーの破壊____(5) 疲労による脆性破壊____(6) コメット機の墜落事故____(7) コンクリート構造物と疲労

[IX] 振動の問題

(1) 振動と安定問題____(2) 振動による疲労

[X] 構造物の非破壊検査

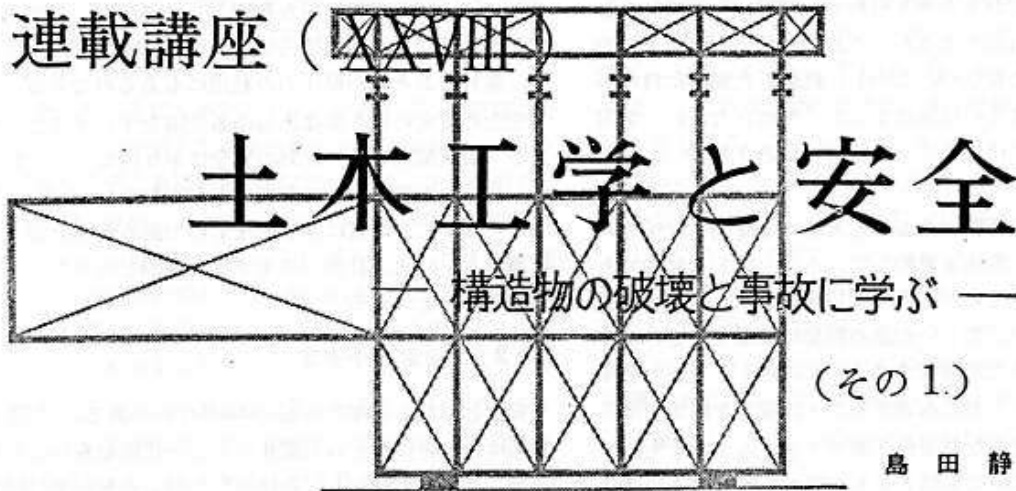
(1) 直接検査の方法____(2) 間接検査の方法____(3) 構造物の応力測定の手法____(4) 構造物の健康診断____(5) 振動測定の実用

付録 事故災害年表(1974 迄)

用語索引

英字		賭	5	実物強度試験	44, 80
fail safe	35	危険	1,	寿命試験	50
safety	3	危険の数量化	45	宗教的禁制	1
security	3	基準	6	衝撃率	49
あ行		規格	29	証拠	11
アポロ計画	4, 27	記録	13	証言	11, 13, 14
アンケート調査	15	救済	30, 39	信頼	24
圧密沈下	71	強度	44	信頼性	6, 26, 51
安全	1, 3	業務上の過失	8	信頼性工学	27, 50
安全対策	3, 6, 39	極限設計	44	信頼性理論	4, 38
安全第一	40	禁欲	6	信頼率	6
安全標語	24	クリープ	67	振動	78, 83
安全率	1, 43, 51	偶然	1, 4	振動の周期	2
安定	2	群集	34	寸法効果	47
イタイイタイ病	38	ケバック橋	53	世界三大落橋事故	52
委員会	21	経過	15	正確性	26
異常	26	経験	2	正副システム	27
遺跡発掘	19	健康診断	83	静的安定	2
石橋を叩いて渡る	3, 78	建築基準法	29	脆性材料	48
ウエストゲート橋	56	検査	37	脆性破壊	16, 74
ウォーターハンマ	75	原子力	2	責任	24
エッフェル	46, 53	ことわざ	9	設計法	44
円弧すべり	68	コメント機	77	設計理論	44
オペレーションズ・リサーチ	38	コンクリート示方書	63	戦争	3
応急橋 (ベイリー橋)	28	コンクリート年表	58	潜函病	54
応力集中	76	駒宮功額	85	塑性設計	45
応力測定	82	古文書	14	相似性	47
遅れ破壊	80	公害	29	促進試験	50
か行		口述書	15	損害保険	31
カールソンメータ	82	考古学	19	た行	
カルマン渦	55, 79	降伏点	43	ダクティリティ	48
可撓性(flexible)	3	高張力ボルト	48	タコマ吊橋	46, 55
火災報知機	27	国家保険	31	タブー	3
荷重	45	さ行		たわみ制限	49
過失	9, 32	座屈	16	高木家古文書	14
霞ヶ関ビル	49, 66	再現性	51	対策	6
会計検査院	38	災難	3	耐久性	50, 67
海難	41	システム	6	耐爆橋梁	28
崖くずれ	68, 70	システムエンジニア	35	代償	7
学習	2	システムズアナリシス	38	チェックリスト	24
環境医学	34	使用限界	43	地すべり	68
環境汚染	2	事故	11	地震	66
環境破壊	39	事故率	6	地震計	14
監視	34	時間的要素	5	地盤沈下	71
間接検査	80	自己補償形	37	超高層ビル	49
		自己立証的	25	直列システム	27
		自然災害	68	津波	27
		実験計画法	45	テイ橋	9, 46, 52

テクノロジーアセスメント		ビオント・ダム	69	冒険	2, 5
	16	ピサの斜塔	72		
低温脆性	74	ヒューズ	4	ま行	
帝王学	36	疲労	50, 67, 76	マイクロフィルム	14
適正規模	34, 38	非破壊検査	37, 80	マルパセ・ダム	69
鉄道橋	9	飛騨川バス転落事故	32, 70	万代橋	34
天災	3	フィードバック	25	武藤清	66
転倒	2	フェイルセーフ	27	無過失責任	7
とび職	71	フォース橋	53	無過失賠償責任	29
土工事	71	フライトレコーダ	14	無知	2
東京都新公害防止条例	30	ブラックボックス	35	摸形	81
動体視力	34	ブルックリン吊橋	54		
動的安定	2, 3	ペンストック	75	や行	
道徳的規制	6	不安定	2	山くずれ	68, 70
		不等沈下	71	弥彦神社	34
な行		不文律	6	ゆとり	28
ナイロンザイル	80	復元	4, 19	吉田徳次郎	45, 57
雪崩	70	ボイラー	76		
人間工学	8	平和	3	ら行	
人間工学	34	並列システム	27, 39	リーダーズ・ダイジェスト	40
		閉所恐怖症	71	量的評価	5
は行		保険	3, 4, 31	歴史の教訓	9
ハイブリッド構造	49	保障	4	ロイド規格	7
ハッセルト橋	74	補償	3, 4	労働安全衛生法	31
ハムラビ法典	7	崩壊	43	労働基準法	31
破壊	2, 11, 43	法則性	1		
賠償責任	29	法律	6		
爆発	16	傍証	13, 14, 15		



この連載を始めるにあたって

多くの設計技術者が、常々不満に思っていることは、いくら厳密な理論を駆使しても、最後には安全率という、わけのわからぬ数値に丸め込まれて、結果的に、ありきたりの設計に落ちてしまうことである。つまり、安全率が、もっと理論的に根拠が明確であって欲しいと思っている。

土木関係の安全率が、他の分野の設計に比較して大きいことに一種の肩身の狭さを感じている方は多い。筆者自身も、以前にはこのような気持ちをもったことがあるが、実は逆にこのことが1つのヒントになって、安全というものの考え方を、もう少し組織的に洗い直してみようと思ったのである。

数年前から、大学院の学生とともに、構造物の破壊や事故の事例研究をセミナーとして続けてきた。このなかには、時代に迎合した公害問題などもあるが、取りあげてきたテーマは千差万別である。このセミナーの成果は個別にいくつかの教訓を含んでいるが、これらを単に並べただけでは、三面記事の寄せ集めと変わりがない。

そこで、もう少し根本的な見方、安全とはどういう概念なのか、安全を工学的にどう扱うか、安全対策はどのようにするか、などのテーマを骨にして論議をまとめてみることにした。

連載の最初は、いくらか哲学的な論説から始めるが、間には読み物的にいくつかの破壊や事故の事例研究をばさんでいきたいと思っている。

目次のあらし

- 第1章 安全の認識論
- 第2章 破壊や事故の調査と分析
- 第3章 安全の対策
- 第4章 破壊と材料科学

* 名古屋大学工学部助教

〔I〕 安全の認識論

(1) 安全の認識

安全と危険とは互いに反対の意味をもつことばであるが、安全という概念を認識するには危険という状態を想定したうえでなければ到達できない。また危険という概念も、まだ実際に人や物が損害を受けていないが、そのおそれがあることを認めることにある。したがって、危険であるという考え方なり見方なりが意識されていなければ、安全そのものを理解することができない。

具体的な例として幼児の行動をあげよう。幼い子供の行動は親からみれば常に危険である。子供にしてみれば危険であるという考えがまったくないのであるが、大人がみるとき子供の行動は常に危険をはらんでいる。つまり危険ということの認識はきわめて主観的であり、知識の蓄積のうえに成り立つといえよう。さらに抽象的な認識には、宗教的かつ運命論的なものがある。われわれの知らない危険な状態があるにもかかわらず、われわれはそれに対して無知であるという見方である。神のみが全能者であるという恐れはこれである。

いっぽう、災害、事故、災難、破壊などは、危険が現実のものとなった現象であり、きわめて具体的である。生じた事象の原因と結果とは多くの場合必然性があり、それゆえに他の場合にも適用できる法則性が見つかる。われわれが危険を予測することができるのも実はこの法則性を知識としてもっているところからきている。しかし、危険が現実になるには、さまざまな要因がからむのが普通であって、偶然が相当に大きい要素になるのもまた事実である。偶然、つまり法則性のないことを評価するとき、先にも述べたような宗教的かつ運命論的な考え方も出てくると思われる。

さて、危険であるという状態を認識するには知識の蓄

積の過程を必要とするわけであるが、これは経験と学習とによって得られると考えられる。冒険は、危険を承知のうえでとる行動であるが、これは危険の実体を具体的に経験するのに役立つ。しかし、経験した瞬間に自らが破滅したのではその経験はまったく役に立たない。学習が重要であるのはいま述べた論旨からあきらかである。

一般的に、未経験であることと若さとは同じ意味合いに解釈できる。危険を承知しているかそれとも無知であるかは区別しにくい。若さは冒険を好み、進歩的であり、失敗も多いが新しい知識の開発に貢献することが多い。経験を積んだ思慮深さは、これに対して老成を意味している。安全を見込み過ぎることは変化を好まず保守的になるが、確実な結果を予測できる。みすみす失敗する予測がついていても同じような過ちをくり返すのは経験の伝承がうまくいかないこともあるが、安全の認識が主観的なものであるため、多くの人が共通の理解で判断することができないためと思われる。

安全を科学的に研究することは、とりも直さず安全を客観的に評価する方法を研究することを意味している。しかしながら安全と危険との2つの状態がともに抽象的な概念であるので、これを数量的に表現する手法に苦しむ。これに対して破壊という現象はずっと具体的であるから、破壊の研究は進めやすい。そしてこの知識をもとに安全を認識していくことを工夫していく研究が安全の科学である。

ところで、安全を研究するには、想定する危険の実体をどこで考えるかが論議の出発になる。たとえばナイロンのザイルで物をつり上げる、という事象にかぎってみても、危険の状態はザイルが切断するかもしれないつた状態だけでなく、切断によって引き起こされる2次的な損害をおそれている状態でもあるのである。つまりザイルで物をつること自体がすでに危険であるわけで、絶対的安全はザイルで物をつることそのものを否定することにある。他の手段があることはこのさい考えないことにして、ザイルでつる作業が必要であるとすると、ザイルが切断しないと保障されている限度を安全とみることで妥協しなければならない。しかしながらこの安全は、ザイルが切断するかもしれないという素朴なおそれを完全に否定できない。

安全の論議の第1歩は安全の限界をどこに引くかであるが、その考え方は工学的な常識と社会一般の常識とが必ずしも一致しない。定量的に裏打ちされた工学的な安全は、一般にある限られた条件のもとでの安全であるから条件が異なれば評価は変わる。構造物の崩壊事故の原因のいくつかは、最初に考えられていた安全の成立条件が変わったことによって引き起こされている。つまり、工学的な安全は絶対的安全を意味しているのではないか

ら、安全の工学的認識のときにすてられていた条件がめぐりめぐって非常に危険な要因として浮び上がってくることもある。これは環境汚染が1つの切実な例であるし、素朴なおそれが原子力の利用にもあるのである。

安全の研究の第1歩はあらゆる危険を予測することである。現実問題として絶対的安全はあり得ないとする。妥協の限度をどこに引くかという判断を必要とする。そしてこれは常に主観的なものであるから、安全の認識は人、時代、社会のさまざまな要因を織りなして変化するものといえる。

(2) 安定と不安定

安全と似たことばに安定 (stability) がある。安定な状態はつり合いがとれた変化の少ない状態を意味しているが、必ずしも静止した物体の座りのよさを示すだけではない。水に浮かんだ船の安定は転覆しないように元にもどる性能をもっていて、この場合は動的に安定が考えられている。

物理的な安定、不安定の説明には、斜面と球とを思考モデルにして説明することが多い(図-1)。このモデルは動的安定の説明にはきわめてわかりやすい。つまり安定であるのは、仮に静止の位置からずれた場合にも元の位置にもどるように力が作用する性質があることをいっている。このことは静止の位置を中心として左右に振動する場合でも安定な状態であるといえるわけである。



図-1

いっぽう、静的な安定の例題は、平らな机の上に立てられた積木細工の転倒や墓石の転倒などにみられるように、振動を始めたらずでに安定な状態ではなくなる。静的安定と動的安定との力学的な区別は次のように分けて考えることができる。静的安定は力がつり合い状態を保っている状態を指し、不安定の定義はその力のつり合いが破れ、物体に運動を起こさせる力が作用するときである。生ずる運動が望ましくない結果になるならば、静的な安定は安全な状態を意味する。いっぽう、動的な安定は仮想の変位を考えているから、力学的にはエネルギー問題を扱っている。仮想の変位を与える仮想の力を考えて外から加えた仕事の量を計算したものと、その変位が生ずるときにその力学系が蓄積する内部エネルギーの量とを比較したとき、仕事量のほうが大きければその力学系は安定の位置にもどれない。動的に安定である場合はある安定状態の付近で振動するが、振動の周期が無限大になるときが限界の状態である。つまり動的に安定であ

れば静止の位置から動いていっても再び帰ってくるが、周期が無限大であることは動いていって止まらないことになるからである。

振動しているにもかかわらず、それが安全の証拠になるという一見矛盾した現象が動的な安定である。たとえば横断歩道橋や高層の塔状構造物がある。とくに最近では構造材料が進歩してきて、寸法が小さいが強度が大きい、いわゆる可撓性 (Flexible) 構造がふえてきた。振動そのものが悪影響を及ぼす場合は別にして、たわみやすきを利用して衝撃的な外力に対して安全性を高める手法がいくつも考えられている。

静的な安定では、静止の位置から動くことが不安定を象徴しているのに対して、動的な安定は静止の位置からのある変位を許容している。つまり安定に対する考え方で、静的なものとは動的なものとは認識の出発点でかなりの見方の相違が生まれる。というのも安定・不安定を感覚的にとらえて安心したり不安になったりすることが多いから、たとえ力学的に保証されても振動することは心理的に不安を与える。安全対策のなかには心理的な不安感を取り除くことも重要な課題となっているが、小さな変化や乱れがあることが安定の象徴になる場合があることは興味深い。

安全を確認するために故意に小さな運動を起こさせ、その手応えで安全であると判断することは一種の経験的な知恵である。丸木橋を渡ろうとするときの動作はこれである。「石橋を叩いて渡る」のは念には念を入れて安全を確認する諺であるが、「叩く」という意味は小さな振動を起こさせる動作を示していて、まさに動的安定の原理を示している。しかしながら静的安定を確認するには叩くなどの動作は相当に危険である。積木細工はわずかの振動でも崩壊するのは子供がよく知っている。

社会的な安定は、互いに対立している力につり合いがとれているときに成立しているが、小さな争いは頻繁にあるものという振動を考えれば、よい意味での競争が容認されることになる。自然現象にも同様な一種の動的安定はある。たとえば小さな崩壊が起きていれば、大きな事故がない証拠になる。これは地震の発生について統計的にも確かめられている。

(3) 安全と社会生活

人間生活の場で考えられている安全は、品物などの物理的な破損や破壊に対する安全だけでなく、生命や財産の安全を含めた広いものと考えられている。たとえば家内安全、商売繁盛を神仏に願うというときの安全は、怪我や病気をしないことも含んでいる。

社会生活において最大の災難は現代においては戦争によるものであろう。互いに主義、主張、宗教、民族性などを異にする集団間の闘争は深刻な状態になることが多

い。戦争や闘争によって引き起こされる災難は、原因が人為的なものでありながら、個人の注意や努力で止めようのないことが多い。平和は、戦争や災難のない状態をいうが、これは受動的な性質があって第三者の介入によって破られる。

これに対して、安全という言葉には多分に能動的な意味が含まれていて、自分の努力で災難に対処することを指している。この微妙なニュアンスは日本語では曖昧であるが、英語では safety と security との2つの言葉が区別して使用されている。つまり、safety には安全無事の状態をいうが、security には積極的に危険な状態から保護をする、安全保障の意味が強い。日本語の安全という言葉では、英語の safety の意味はあるが、security のほうの意味はない。安全とは危険から遠ざかっている、のどかで平和的な状態を想像するのであって、たとえば高い城壁をめぐらし、武器で武装したとりでのなかで生活することが安全であるとはわれわれは考えていない。

欧米人の安全に対する考え方と、われわれ日本人の安全の考え方が根本的に食い違うのは、どうもこの辺からくるように思える。日本では、災難の最たるものを、ほとんど人為的な原因によらない天災とみている。相手が自然現象であるから、危険に対する対策は取りようがない。必然的に神頼みということになるのであろう。しかし、災難の大部分が戦争や闘争の渦中で生ずるならば、安全対策を真剣に取り組まざるを得ない。そして、このことが保障制度、保険制度の発達をうながしたとみるべきであらう。

安全に対する考え方、特に安全対策の考え方は生活環境、歴史、宗教、民族性によってそれぞれ異なるものである。生活習慣は一般に宗教の影響を色濃く受けるものであり、この見方からすると、安全に対する考え方は宗教の教義や教典に含まれていることが多い。たとえばユダヤ教はキリスト教の発祥よりも古く、現代にまで伝えられているが、その中に伝えられている安全の考え方は、キリスト教民族を含めて、欧米人の物の考え方の背景を知るうえで重要である。

たとえば、イザヤ・ベンダサンの「日本人とユダヤ人」の中に、「日本人は、安全と水とはただで手にはいるものと考えている」という文章がある。つまり、生活感覚の中に安全対策が息づいていない、ということ指摘しているのである。したがって、安全をより身近に認識するためには、日本では機会あるごとに安全教育を行なう必要があるわけである。

社会生活を円滑にすることは、一般的な意味で安全につながる。個人が安全に留意することが社会生活を円滑にするのに役立つ。再びそれが個人の安全を保障するとき、共同体としての約束なり決めごとが定まる。これは道徳であるが、場合によっては宗教的なタブーや法律

の形を取ることも多い。しかし、これは異なる共同体相互では必ずしも理解の一致をみるとは限らない。現代は社会が複雑化してきていることもあって、安全に注意しなければならない問題がふえてきている。そしてこれは新しい道徳観や価値観を生み出すことになってきている。

(4) 保障と補償

安全を考えると、常にその背景に危険を想定していることはすでに述べた。ということは、危険が現実になった場合、もしくは、その可能性がみえた場合、具体的な対策なり処置なりを考えていなければならない。想定される大きな危険を未然に防ぐため、小さな損害を覚悟して、より大きな損害をくい止める、という手法は、一般的な安全保障の考え方である。1つの典型的な実例は、電気のヒューズである。

より大きな損害を何にするか、また、小さな損害をどの程度に考えるかの判断は事象ごとに異なるが、最大の損害には、人命を失なうこととみるのが常識である。最近健康をそこなうことも重大な損失と考えられるようになってきている。より大きな損害を防ぐため、小さな損害を容認するには、かなりの高度の認識が必要である。それは、危険が現実のものとならない限り、安全保障のための手段は無用の長物となるからである。

損害が生じたとき、その損害を回復することができる場合と不可能な場合とがある。物的な損失は、それに付随されている無形の価値——たとえば歴史的な価値——などを除けば一般に復元が可能である。しかし、人命は元にもどり得ない価値の中で最大のものと考えることができる。回復可能な損失は補償によってつくることができる。ただし、これは補償に耐えうる十分な余力がある場合であって、その能力がない場合には、損害が生ずることは破滅にひとしくなる。

たとえば、個人の財産が火事で消失したとする。この損害は個人の能力では回復が不可能であったとしても、金銭的な援助があれば回復ができる。万一の災害、それも多くの人が一様に遭遇する機会があるものとするとき、その危険に備えて多くの人がわずかず積み立てて大きい資金を備え災害を補償することが、いわゆる保険である。

保険が制度として成立するには、少なくとも安全に関して共通の認識を持った個人の集合が必要である。また、個人の損失が全体の損失とつながることも必要である。よい意味での個人主義を母体とした社会には補償制度は育ちうるが、たとえば封建的な社会にあっては、親方日の丸的な補償方法しか考えられない。

回復不可能な損害を受ける危険が予測される場合、これには、個人の余力をはるかに越える物的な損害を受け

ることも含めるが、小さな損害を意識的に先に発現させて、主要な災害をくい止める考えが保障であると先に述べた。しかしながら、ヒューズのように、あらかじめ意図的に計画されているものは、現実の事象には多くない。事故や故障は一般に偶発的に発生し、幸運にも大きな災害に発展しないことが多い。したがって、このような事故や故障を研究することによって安全保障について教訓をうることが多い。災害や事故の研究の主要な目的はここにあるといえる。

ところで、まったく新しい技術の開発においては、どのような事故や故障が生ずるか、またどのような災害が起きるか、ということ自体にまったく未経験である。1つの大きな冒険の例は、アメリカのNASAが立てたアポロ計画である。人類を安全に月に送り、再び地球に帰るという計画にひそむさまざまな危険は、ほとんど予測がつかない。どのような些細な事故であっても、それは致命的な崩壊につながる可能性がある。そこで考えられた手法は、個々別々の小部品がまったく完全に信頼が置け、偶発的にも故障の発生が皆無であるようにすることから始めた。つまり完全保障である。この手法の裏づけとなる理論として信頼性理論が応用されたこととみるべきであろう。

いままでの論述からわかるように、保障と補償とは物の見方に決定的な差がある。前者(保障)は対象物の存在を前提に、それを保持するための手段であり、後者(補償)は対象物の消滅から出発した代替物の手段である。また両者ともに量的な概念を含んでいることに注意する必要がある。つまり完全保障とか部分保障という考え方や、全額補償などの言葉使いがあることがこれを裏づけている。

(5) 安全の量的認識

安全を科学的に研究することは、安全を客観的に評価する方法を研究することと同じである。また客観的な評価の手段として、何かの形で数量的な概念に結びつけることが必要になる。しかしながら、安全の認識そのものが主観的な概念の産物であるから、数量的な理解に達するにはいくつかの難問題が横たわっている。

まず、そもそも安全そのものに対する認識の度合いが個人や個人を含んでいる集団ごとに異なる、という客観性のなさがあるが、それを抜きにしても、危険が現実になるきっかけには、偶然が大きな要素になっている。そして偶然というのは法則性のないできごとであるが、科学的方法論の中で最も苦手とする分野が、この偶然という事象である。

よく知られているように、サイコロを振って、一の出が出る確率は1/6である。偶然の事象にも、長い眼でみただときにはいくつかの法則性のみつかる事例は多い。し

かしながら、この法則性は、6 回目ごとに正確に 1 の目が出ることを保証するものではない。安全を科学的に研究しても、同様な歯切れの悪さが常につきまとう。というのも、科学的な研究ということの一般的な理解は、現象に含まれている法則性を見出すことだと考えられていて、その法則性は常に再現できる普遍性を持つべきだと多くの人は考えている。

確率論や統計的な方法論というものに、多くの科学者が長い間低い評価しか与えていなかったのは、つまるところ、この法則性の曖昧さを嫌っていたのである。安全に対する研究が少なかったのは、対象の範囲が広過ぎることも一因であるし、解析的な方法論に適した課題ではないからである。しかしながら、科学者はそれでよいとしても、現実問題に直面する技術者にとっては、具体的な数量で安全対策を立てねばならぬ切実さがある。

何かの新しい冒険に挑戦する場合、予想し得ない危険が常につきまとう。失敗の可能性のある計画を実行するとき、失敗したときの損害と、成功したときの利益との兼ね合いは一種の賭になりうる。この場合、安全と危険との評価は金銭的な出入り勘定で算定される。つまり安全の数量的認識は経済的な問題に変えられている。欧米においては、新しい技術的な冒険に対して、その費用を債券の発行で得ている事例が非常に多い。失敗は破産するか、もしくは投資が無価値になることである。

安全と危険とが、このように一種の賭の形で数量化されている場合には、1つの利点として、損害が生じたときの責任を技術者が負う必要がなくなることである。これは非常に重要なことであって、万一事故があったとしても、事故の原因を純粹に追求する機会が与えられ、再び挑戦することが許されていることである。

責任のことについては後で触れるが、とにかく、安全であることは経済的に引き合う。しかしながら、経済性を天秤にかけて安全を認識することは、安全の絶対的評価にはなり得ない。損害の場合の額が小さければ、安全性を犠牲にして初期の投資を抑えることが経済的になる。いわゆる「安かろう、悪かろう」の論理である。賭

や博打、投機と結びついた安全性は一般に相対的な評価で考えられることが多く、損害の評価が変われば安全の見方も変わる。

安全の量的評価には経済性との関連抜きには考えられない点はあるが、生命の安全という金銭であがない得ない大きい価値を問題にする場合には、安全を絶対的なものとしなければならない。つまり、100%の安全が保障されねばならない。もしも何%かの危険があれば、それはすでに安全ではないという見方である。現実問題としてたとえば、自動車がある限り自動車事故はなくならないが、自動車をまったく消滅させることができない。そこで、2段階の安全性が解決策として考えられることになる。それは、ある限度を決めて、その限度以内では100%の安全を保障するが、その限度以上では危険の可能性があると判断するのである。つまり、1つの妥協である。

限界を定めて、その範囲内で100%の安全を保障することを、安全の絶対評価と呼ぶことにしよう。そして、この限界を定めることが安全の量的な認識の一手段である。ところで、この考えの中には時間的要素が量的要素の1つとしてはいつてくることに気がつく。たとえば、3年間保障とか100万回のくり返しに耐えるとか、である。

ところで、われわれの感覚として、変化が急激に生じること、より危険であると考えている面がある。破壊現象でも、急激に起きる現象は非常に危険であるが、ゆっくりと破壊が進行する現象であれば、破壊が完全に進行してしまう前に対策を立てることができる。危険が、ある確率のもとで避け得ないものであれば、急激に生じる破壊を、できるだけ時間的に引き伸ばすことが安全につながる。

すなわち、この節のまとめをいえば、安全を定量的にとらえるのに、相対的な評価方法と絶対的な評価方法があることを述べたのである。前者(相対的評価)には経済的な尺度が適用できるが、後者には物理的な限界値と時間的要素とが関係してくる。(つづく)

(6) 安全と信頼性

ある機械装置が安全であるという意味と、それが信頼が置けるという意味とは異なっている。安全には、何かの事故が起きて、それが原因で人や物が損害を受ける状態を想定しているが、信頼には単なる事故や故障そのものしか想定していない。事故や故障そのものの起こる可能性は多分に偶然が支配するから、似たような多くの事象の事故の発生には統計的な数量を持ち込んで理解することができる。これを事故率と呼ぶことにすると、この数量の補数もしくは逆数が信頼性の尺度になる。これが信頼率 Factor of Reliability と呼ばれるものである。

安全が危険を想定しているのに対し、信頼性は事故を想定している。しかしながら、工学的には安全よりも信頼性の考えの方が数量的に理解するのに適している。ところが、信頼性が高いということは、必ずしも、より安全であることを意味しない。それは、信頼性には事故が少ないという意味のほかに、正確さ、安全さ、乱れの少なさ、取り扱いの容易さ、などを含むからであるが、事故が皆無であるとは保証していない。

安全性を高めるには、人や物に損害を及ぼすような事故を減らすため、個別の部品や装置に信頼性の高いものを採用することが役立つが、安全の目的にはまったく別の対策を立てることも多い。たとえば、電気のヒューズが切れて停電した場合、懐中電灯や蠟そくを用意して非常の照明に備えることが対策である。ある用途を完全に満たすには、必要最小限の部品で無駄なく全体の装置なり構造なりを組み立てることが最も経済的になる。しかし、この場合には、どれか1つでも故障があれば、目的の用途にそぐわなくなる。このため、故障が起きたとき、その故障を補う別の装置が非常のときに役立つように計画することが多い。このような動作は、生物が環

* 名古屋大学工学部土木工学科助教授

境に適應する機能と似ているので、全体の装置をシステムと呼ぶ習慣が生まれた。

結局、安全を確実なものとするには、危険が想定される全体について、組織的な見方、つまりシステムとして見る必要があり、機能的に有効に安全側に動作するためには、個々の信頼性が高いことが絶対に不可欠の条件として要求されるようになる。すなわち、安全と安全対策とは別の問題になる。

(7) 安全と法律や基準

生命、財産などに損害が生じないように対策を講じる重要な手続きに法的な規制がある。これは、あらゆる損害が結局は人と人との間の問題に帰着するからであって、互いに相手の安全を保障するために個々に課すべき禁欲を示したものと考えることができる。法律の形を取るには、人間の集団である社会に、秩序が保たれている場合に効果がある。原始社会などに見られるタブー、不文律などの道徳的規制、宗教的禁制なども、広い意味で考えれば安全保障の制度と見ることができる。

犬・猫・家畜などのしつけ、動物の母親が子供に課す教育や訓練は、規則を守らない行動に対して体罰によって制裁が加えられるが、法的な規制においても何らかの制裁が規定されるのが普通である。しかしながら、安全に対する対策上の規制と、現実には損害が生じた後の処置の方法とは、必ずしも連続的にはつながらない。もっとも簡明な場合は、意識的に損害を与える意志があった場合や、故意の規則違反によって損害が誘起された場合であって、あきらかに罪が成立し、罰が科せられる。

しかしながら、事故による損害は多くの場合、悪意のない過失や、予測できない原因によっても起きるから、安全対策の規則に違反していないことが幾らも発生する。あらゆる危険を想定して網の目のように制約を設け、その個々について、わずかでも違反した瞬間に罪が

成り立つように法律を厳しくすることは、現実には不可能である。したがって安全対策上のよりどころになる規則には罰則を伴わずに定め、事故によって損害が生じたときの後の処置、つまり責任の追及、損害の補償、罰則の適用などを裁判によって取り決める習慣が生まれた。

歴史的に最古の建築基準法は Hamrabi 宝典に見られ、その中には、かなり細かい細部の構造にまで規制されていたと云われている。当時の事故補償はきわめて即物的であったようで、損害を与えた場合にはその物で補償することが定められていた。「眼には眼を、歯には歯をもってつぐなえ」ということわざの真の意味は、世間の常識とは逆に、相手の眼を失明させたら、自分も眼を失明させて償なう、ということを行ったものとされている。

即物的な補償は、原則としてもっとも合理的であるが、当然のことながらその適用は困難になることが多い。したがって、代替物、代償の方法が必然的に研究される。これは安全対策のために設定される規則や、それを犯した場合の罪というものはまったく独立に、当事者同志の間での納得のいる問題である。法と罪とは、社会的な1つの制裁の方式であるから互いに異なる法制度にいる人達には普遍的な意味を持ち得ない。極端な場合は、1つの社会では是認され、他の社会では罪になる。法的な罪の認識だけの論議では現実的な事故後の処置はできない。

補償に関する限り、法的な規制は殆んど無力である。したがって、人と人との間での損害の補償を個別の契約で取り決めるか、第三者の介入による裁定で解決する必要が生ずることになる。ところで、安全についての法的規則があった場合、その規制を忠実に守ったにもかかわらず事故が起きて損害が生じたらどうなるであろうか。この場合の解決方法は2段階構えになる。第1は当事者同志での補償であり、第2は規則を守ったほうである加害者が、安全規制を施行した立法者に対して損害賠償を請求することである。

国や政府の機関が安全について規則を定めた場合には、損害が生じたときの補償を国家が全額負担できる意志を示したものと考えることができる。この場合の損得勘定は、安全規則を守ることが国の利益つまり個人の集合全体の利益となるのであって、不利益行為に対して罰を科す形でつぐなうを求める。しかしながら、このような法的規制は現代のように複雑な社会になると実質的な効力がほとんどなくなる。安全規則に示されていない原因による損害は加害者の罪にならず、損害の大部分を国家負担する破目になるからである。無過失責任を追及してこの不都合を補なう考えは1つの必然的帰結になる。

ところで、安全を定める機関が、国ではなく保険会社であると、罪や罰の問題点を持ち出す必要がなく、損害の補償だけに限定することが可能になる。船舶の保険会

社のロイドはこの1つの例である。船の安全性については、ロイド規格に合格した船舶だけが保険の対象に認められるのである。欧米における各種の協会は、それに属する加入者の出資で構成し、彼等の利益の保護を目的としているが、同時に災害や事故の場合の救済をうたっていることが多い。救済の適用を受けるための条件として規則が定められるが、これは法律ではなく、契約の条件なのである。当然のことながら、この契約の中には事故の発生による損害の額と資金の額との相対的な評価が必要になり、安全を定量的にとらえる必要がでて来る。

保険会社が安全についての契約を定める場合、安全の規定が甘ければ出費がかさみ、厳し過ぎれば加入が減る。豊富な資金を持てば保険の料率は減り、加入者の増加による資金も増加する。したがって保険はより大きい組織であることが望ましい。最大規模の保険は国家の保護になるわけで、国家補償の場合の契約が法律の形をとることになる。

ところで、地方の公共企業体が自治の建前から独自の事業を行なう場合には、時として深刻な事態になることがある。つまり、自己の補償能力をはるかに越えた計画が実行され、事故による損害を救済する資力がない場合である。一般に計画の段階の時に、災害や事故の救済について過少な見積りをする無知と、地方であることに安心して意図的に安全率を下げることで、がわごわいしている。しかし、資力が小さいからこそ、逆に安全について厳しく臨むことが必要なのである。最近では地方公共企業体の方が、安全に対してより厳しい条件を定める傾向になって来ているのは、補償が財政を圧迫するからとも云える。

安全についての規則を経済的な収支勘定を根拠にして定めることは、既に述べた安全の量的認識の評価方法でいえば相対的なものである。事故や災害の起きる可能性を否定していないから、この場合の規則には事故後の救済や補償を同じく規則の中に織り込む必要がある。しかしながら、安全の規則が絶対的な評価に根拠を持つ場合には対象の存在そのものを否定することがあり得る。

一般に、公共の建造物に要求される使命は、ダム、橋りょう、堤防などに代表されるように、安全が絶対的な条件となっている。しかしながら、私的な建造物においては安全性と経済性が天秤にかけられている。よく知られていることであるが、土木(公共)構造物の設計のさいの基準や仕様は、建築(特に私的)構造物の設計の基準よりも厳しい。同じ構造物の設計においては、建築の基準を利用する方が経済的になる。最近のように私的な企業の規模が大きくなって公共的な性格を持つようになって来ると、安全についての考え方の相違が問題になり始めた。つまり、私的企業といえども、安全は絶対的な評価に根拠を置くべきだという考えである。(つづく)

(8) 安全と人間の性格との関り合い

安全の認識はきわめて主観的な判断であるが、一面、生物学的な本能や遺伝的な形質で無意識の中で判断されることも多い。下等な動物であっても、敵からの本能的な逃避行動を示すし、経験の蓄積、つまり記憶が認められる。まして人間の場合、安全と危険との認識の中で精神活動が大きな関り合いを持つであろうことは理解できよう。

人間の場合、遺伝形質は現代の高度の文明の中に生きるための本能的知識としてまったく役に立たない。一方、ニューギニアの奥地の原住民であっても、文明に対する順応性がきわめて高いことからみても、経験することと学習することが安全の認識に役立つほとんどすべてであるといえる。

しかしながら、知識の吸収には個人差があるし、無意識にとる行動の底には個人の身体的構造、性格、民族性などが影響していることが多い。複雑なシステムの中で人間が作業をしているとき、たとえば航空機の航行における操縦士の行動には、時として想像もできない非常識な過ちで事故になることがある。人間の行動を客観的にとらえ、その知識をもとに、より合理的な対策を講じようとする研究分野が人間工学である。

複雑なシステムの中において、人間が危険から回避しようとする行動は、事前の教育や訓練によって効果がある。システムが複雑になるほど、この教育や訓練は専門的になり、特殊なものとなるが、このことは普通の人にしてみれば、どのような危険な状態かを知ることができない。したがって専門家は当然のことながら普通人、つまり社会に対して大きい責任を持つことになる(業務上の過失)。

ところで、人間がシステムの中において、事故の防止に

* 名古屋大学工学部土木工学科助教授

有効な行動をするといっても、人間が介在する限り事故や故障がある確率のもとで発生することが避けられない。たとえば、自動車の安全運転をみても、10年以上の無事故、無違反の優良運転手が、不運にも事故を起こす例が少なくない。個々の事例にはそれなりの特異性もあるが、そこに登場する人間を見る見方に2通りある。1つは、「人間は誤りを冒すこともある」と好意的にみるのと、「誤りを冒すことはそれ自体が罪である」と厳しくみることである。

確かに、専門家にはそれなりの社会的責任がついて回るのは異論がないが、ただちに事故のさいに犯罪視することが当を得たものでないことも、最近では次第に理解されて来た。交通事故の防止に、交通違反に対して厳罰で臨むことは一面効果的である。これは、交通安全の教育と訓練とを不愉快な方法で解決しようとしているとみることができよう。どのように取り締まりや罰則を厳しくしても、事故はある確率で発生し、それが犯罪的でないこともきわめて多い。

男女の差、性格の相違、女性における1ヵ月ごとの周期性などが交通事故の発生と強い関連があることは幾つかの研究が示しているし、常識的な事実でもある。人によって、まったくの無事故を誇りとする者がいるのに対して、事故を起こしやすい性格の人も確かにいる。この原因を神経病理に求めたり、心理学でいう潜在意識の作用としたり、場合によっては占星術や占いなどで運命論的に判断することすらある。いずれにしても、悪意のない、意図的でない場合に生ずる偶発的な事故は存在する。そして、それをどのように考えるべきかの問題がでて来るのであるが、これについては後でふれる。

安全が究極には人と人との相互関係に帰着するが、互いに相手を保障する前提条件は相互の信頼である。しかしながら、大多数の人間が正常であったとしても、1人の精神異常者が大きな災害を引き起こす危険がある。ま

た、集団になったときの群衆の異常な興奮、パニック、集団ヒステリー、暴動、ひいては戦争は、人間そのものが既に非常に危険な存在であることを示している。

人間の集団が示す異常な行動は、教育と訓練とによって抑えることができる。これは集団を形造っても、その集団が常に個人としての意識を失なわないときに効果があるが、集団が組織となって動き、個性が抑えられた場合に危険になる。軍隊による侵略は、異常な指揮官が集団を制御する悲劇であろう。共通する思想、主義、宗教の下で集団を作ることそれ自体は別にありきたりのことであるが、これが統率された意志で動くとき、他の集団に対して力となる。中央集権や独裁のもとでは、他の集団を許さないわけである。集団合議制、協議制などは、能率のよくない面があるが、全員の一致をみないことが危険に片やらず良識の存在している証拠であるという見方がある。

人間それ自身は、意図的である犯罪やサボタージュ、精神の異常による行動も含めて、子供の無知によるいたずら、良心的であるが、つい魔がさしたような過失、無過失であるが結果的に事故となるもの、などのようにあらゆる危険の原因になる。早い話、人間は機械のような馬鹿正直さがなく、信用することは間違いないのである。正常でかつ良心的な人を含めて、人間の行動の信用のなさを表明することは、教育と訓練を受けた専門家たちの心情を害なうことも多い。人間は感情の動物であるから、意欲的であるのと、なげやりの気持とは動作に大きな差があるから、熟練を必要とする作業ほど性格の差が影響する。したがって、特殊な能力を要求される職種であるものが、機械による自動化に次第に切り替えられていく。それというのも、技能が熟練していることは必ずしも安全ではないからであって、たとえば自動車の運転にしてみても、婦女子の一見未熟に見える運転者の方

が、青年の卓抜した運転技能よりも安全に信頼が置ける。安全を保障するための対策がこのような熟練を排して非人間性を帯びて来るのは皮肉な現象であり、新しい社会問題を誘うようになって来ている。

(9) 歴史の教訓

われわれは普段、何の疑いも持っていないが、よく考えてみるとわれわれの身の回りには危険な状態が幾つもある。危険を意識する必要がなかったために、安全であると錯覚していたが、事実はその裏に安全対策が折り込まれていることがある。その背景を知らずに、表面的な合理性を追究することによって災害や事故の原因を作ってしまうことも多い。たとえば環境を人為的に破壊したために、自然災害の規模を大きくし、質も変わって来ているのはこれにあたる。

人間の生活サイクルにくらべて自然界の輪廻は長い周期を持つから、自然災害から身を守るには、長い歴史で積み重ねられた智慧を活用することになる。ところで、現代のように生活のサイクルが目まぐるしく変化している時代では、短い期間での安全には注意を向けるが、長い眼で見る安全性に劣ることがでて来る。現代は、技術の進歩が早いから、何年もの歴史の積み重ねで得られた知識を、理論や実験で短い期間に確かめることもできる。また、情報の発達によって知識を相互に交流できるので、少ない労力で多くの経験を学ぶことができる。しかし、その反面、歴史の試練を受けていないことが、安全性について不安の影を落とすこともあるわけである。

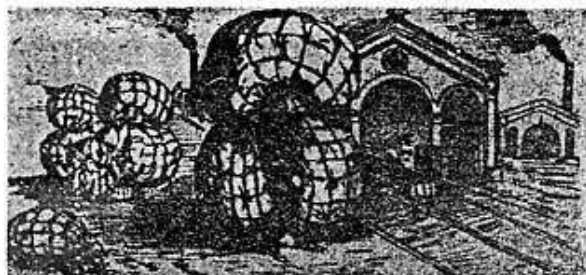
科学技術の発達の表面のはなやかさとはまったく裏腹に、その歴史は失敗の連続であったとみることもできる。災害、事故、破壊の歴史を調べることによって、現代に生かされている安全の考え方を知ることができる。この1つの例として、鉄道橋の安全設計の歴史は興味深いものがある。

われわれの知っている範囲で、列車が橋を通過していて、橋もろとも転落したという事故はきわめて少ない。また、あった事例でも、橋そのものの力学的な欠陥ではなく、河の砂を乱掘したため、橋脚が倒れたことによるなどのような、いわば2次的な災害である。不思議なように思えるが、実は、大きな事故になる前に破壊の兆候があらわれ、それに気づいて対策を立てる時間的余裕があったからである。

ところが、鉄道発達の初期の時代には、橋の落橋事故が頻発し、大きな社会問題になったという一時期が欧米にはあった。列車に乗るのは命がけ、ということを諷刺して、乗客が空気袋のクッションを身にまとっている図が漫画に描かれている。橋の3大落橋事故の1つである Tay 橋は列車が橋もろとも風に吹き飛ばされた事故である。あまりに事故が多いので事故防止の委員会がで

安全に関係のあることわざ

石橋も叩いて渡れ。
命あっての物種。
命にかえる財宝なし。
高木は風に折らる。
狂人走れば不狂人も走る。
火事後の火の用心。
君子は危きに近よらず。
下衆のあと智恵。
後悔先に立たず。
弘法にも筆のあやまり。
鹿をおうものは山を見ず。
上手の手から水がもる。
大は小をかねる。
大の虫をいかして、小の虫を殺せ。
用心は臆病にせよ。
用心は前にあり。
転ばぬ先の杖。



事故に備える防護服

汽車に乗ったときの身の危険を避けるために、男も女も、動物も、つめものをした刺し子を着ればよい、と提案している 1847 年の漫画です。機関車や、道の向こうに見える飾りたてた駅から煙が吹き出されています。当時の人々は、汽車に乗るたびに、火を吹き、脱線するのではないかと恐れていました。

タイムライフインターナショナル発行「科学者の話」より

きて、安全設計の規程が制定されたという経緯がある。重要なことは、日本に鉄道の技術が輸入されたのが、欧米において安全設計の規程が実用化された時期よりも後であったことで、規程の定められた背景を抜きにして、最も効率よく技術が導入されたのである。

安全を得るのに、手痛い事故という高い代償を払ったのだという感覚がないと、安全問題の本質を見失う恐れがある。つまり、どのように精密に理論を組み立てて設計に利用しようともそれは仮空の話であって、現実に生じた事故の持つ教訓のほうが具体的なのである。すでに完成された（ように見える）安全についての欧米の知識を利用していたため、事故が起きた場合に、事故そのものを冷静に分析して現行の安全規程を改めていく習慣を育てなかった。つまり、安全基準そのものは、きわめて流動的なものとみる必要があるのである。

明治以来、日本が欧米の技術を必死に模倣していた時代には、欧米の技術はまさに魔術のような神秘性があっ

た。学者はその魔術を究める特殊な才能（主として外国語が読める）を備えた人であるという見方が世間にある。研究というのは、魔術を実行するときの呪文を見つけるため、静かに冥想にふけるような姿を想像しがちである。手取り早く、しかも経済的に技術を導入するのは、他人がやった経験を書いた書籍を読めば早い。これは、自分で手を下すことなく、静かな研究室で優雅に知識が吸収できる。

学者が、みずから手を下すことなく技術の問題にリーダーシップが取れた時代は既に終わっているといえよう。というのも、日本での研究の水準が欧米と肩を並べ、あるいは未知の分野で先鞭をつけている研究の場合には、みずから手を染めて経験するのでもなければ知識が得られない。外国文献を模倣していた場合には失敗の危険が少なかったが、自分で切り開くとなれば当然、失敗は増える。いままでは、きれいな事で済んでいた研究であったため、事故や失敗の処理のしかたを知らなかったのである。

技術の歴史をみると、われわれはもの事の陽の部分だけを眺めていたきらいがある。成功の裏にある多くの失敗、事故、破壊、災害は、考えようによっては実に豊富な教訓を持っている。これを他山の石として参考にすることは無論、大切なことであるが、より重要なことは、事故や災害の背景を知ること、事故の跡仕末をどうつけたか、得られた教訓をどのような形で反映させたかをみる必要がある。事故そのものを、ジャーナリストィックに取り上げて、当面の責任を追究したり批判したりするだけでは安全問題の真の解決にはならない。災害や事故を歴史的にみる必要があるのは、安全をつけ焼刃的に解決するのではなく、長い眼で見ながら育てている過程を学びたいためである。

〔Ⅱ〕 破壊や事故の調査と分析

(1) 証拠の収集

破壊や事故が発生した場合、その原因を究明することは常に必要である。その目的は、同じ種類の事故や破壊を防止するための教訓を得ることであるが、社会的には責任の所在の追求、補償、復旧、ならびにその後の対策を立てるために必要とされる。物が壊れるような、純然たる物理現象に限る場合には、破壊を客観的にとらえることは困難ではない。しかし、破壊や事故が大きな社会問題になると、調査がつい責任の追究だけに向きやすく、破壊や事故の公平で、かつ客観的な評価が失われる可能性がある。

似たような破壊や事故を意識的に発生させ、その現象を観察し、測定することは一種の実験的な研究である。この方法は、実際に起こった破壊や事故の結果から、これらの現象の経過を逆に推定するときに使われる手法である。ところが実際の破壊や事故は、いわば偶発的なものであるから、現象をありのままに観察する機会が少なくなっている。また、測定機器でデータを取ることもまれであり、科学的な解析は現象が生じた後の残りを集めて行なうことになる。つまり証拠の収集が調査・分析の第一歩になる。

われわれは、証拠というとなにか品物のような物品を真っ先に考えるが、それと同時に目撃者や当事者の証言を大事に扱うことも訓練しなければならない。幾つかの信頼性のある証言を集め、これを単にドキュメンタリー的に並べただけで、破壊や事故の経過を再現し、多くの人に説得力を持つ事実が浮かび上がってくる。この種の文章としてよい参考になるものは、たとえばリーダーズダイジェスト誌のなかの事故や災害の記事がある。これら

* 名古屋大学工学部土木工学科助教授

の記事のなかで、数人の目撃者や体験者の、そのときの行動や見たり聞いたりしたことが、淡々と記されているだけで、鮮烈な印象を与えてくれる。

1章 地震概要

1節 地震

(1) 地震の概要

気象庁の“新潟地震速報”より1964年6月16日の新潟地震の概要を抄録すれば次の通りである。

I 1964年6月16日13時01分新潟県粟島南方付近を震源とする大地震が発生し陸上に被害を発生するとともに津波が起り四周の海浜に到達した。この地震は日本海沿岸地帯に起きた地震としては地震計観測が始まって以来（概ね1900年以降）の最大の地震であった。この地震を気象庁は“新潟地震”と名づけた。この地震によって生じた被害は新潟、山形、秋田、福島、長野及びその近隣にも及び土木構造物、建築物の震害、交通、通信、電気、水道等の公共施設の破壊、田畑の地変、砂噴、冠水等、大きな被害を生じた。中でも新潟市街の地盤沈下、石油タンクの発火及低地の津波による浸水等は特筆される。

II 各地の震度

各地の震度及び振巾は表1.1及び図1.1に示す如きである。

無味乾燥な学術報告書の地震記事

震 災 日 記

6・16日—6・30日

6月16日（火）

▷午後1時2分、地震発生、新潟地方は一瞬にし

て停電。至るところに地割れ、陥没、隆起を生じ、地下水とともに土砂噴出して高層建築物はじめ一般家屋の倒壊、傾斜相つぐ。東西両新潟を結ぶ信濃川四橋のうち、昭和大橋落橋、万代橋、八千代橋も交通不能となり、都市機能まったくマヒ。国鉄新潟支社管内の列車運行も全線にわたって停止。地震発生と同時に新潟市東臨港町昭和石油新潟製油所、王瀬町成沢石油、柳島町丸井水産の3カ所より出火。午後2時45分ごろの波高1.5メートルを最高とする数波の津波襲来。新潟港背後地はじめ信濃川沿岸一帯の工場、住宅地帯に浸水、被害を拡大する。

▷午後1時30分、出張中の塚田知事に代わり野々山副知事、緊急部長会議を招集し、県地震災害対策本部を設置。自衛隊新発田、高田部隊に出動を要請するも、通信、交通機能マヒのため状況つかめず、対策の講じようなし。午後5時すぎトラック、散水車約70台を動員、市民への飲料水供給を開始。新潟市に対し災害救助法を発動す。一方、県警察本部は警察庁に対し航空機による火災消火を要請、野々山副知事はラジオを通じ県民に対し「軽率自動を慎むように」呼びかける。

▷中央气象台、震源地を北緯38度5分、東経139度3分(粟島付近)と発表、「新潟地震」と命名す。各地の震度は新潟、長岡、酒田5、仙台、高田、山形、秋田、長野、前橋、盛岡、輪島4、高山、甲府、東京、宇都宮3、高崎、銚子、青森2。新潟地方の地震エネルギーはマグニチュード7.7、福井地震(昭和23年6月)の7.2を上回り、関東大震災(大正12年9月)の7.9に次ぐものと判明。

▷新潟地震の災害視察のため赤沢自治大臣来県。政府、新潟地震非常災害対策本部(本部長・河野建設大臣)を設置。①道路、橋の復旧のため大量の自衛隊出動、②金融面の万全措置、③復興用木材の早期供給を指示するとともに、新潟地震対策現地本部(本部長・松村消防庁長官)を県内に設置、中央本部との連絡に当たらせる。

17日(水)

▷午前4時、塚田知事、出張先の北海道より急拠帰庁。自衛隊第12師団新潟市に前進指揮所を設置するなど、災害対策軌道に乗り、万代橋は自動車交通を再開。

県は、①給水タンク車および水道復旧用資材、②堤防護岸決壊対策用の袋、③政府米の払い出し、その他コンロ、ローソク、簡易組み立て鉄橋などの緊急手配を政府に要請する一方、新潟市長の要請により防疫業務を代行、非常防疫体制にはいる。

▷海上保安庁、新潟地方の被災者救援のため第1(小樽)第2(塩釜)第8(舞鶴)第9(新潟)各

管区本部所属巡視船17隻による災害救援船隊を編成、第1陣(3隻)北陸地方より救援物資、救護班を乗せて新潟港に入港。一方、海上自衛隊もフリゲート艦9隻を新潟に派遣、海上からの救援活動開始。

▷昭和石油火災に対し、米軍機、空から消火薬品を投下するも効果なく、民家に延焼。

新聞社で編集した地震のドキュメントの例

太平洋の海底下40キロで、巨大な地塊が東に移動し、氷のかたまりのように、南アメリカ西海岸の下にすべりこんだ。その移動が地殻に猛烈な圧力を加えたのである。その圧力にたえかねて、地殻が割れた。それは、ペルー沿岸の漁業と製鉄の中心地チンボテから西へ約25キロの地点だった。そこから、はかり知れぬエネルギーをもった地震波が四方に波及していった。

☆

1970年5月31日、ウアラス市は400年の歴史のたたずまいを見せて、気持ちよく晴れた、静かな日曜日を迎えた。海拔3千メートル、「ペルーのスイス」として知られる、美しいカレホン・ド・ウアイラスの谷間の南の入口にある町である。気持ちのいい午後、時刻は3時24分。ウアラス市から6キロあまりのところにあるモンテレイ・ホテルでは、休暇を楽しむ人びとが50室のすべてを埋めて、からりと澄み切った空気を味わっていた。

支配人の美しい妻ニコール・クルジザノフスキーは、ホテルの居間で、夫と9か月になる息子といっしょにくつろいでいた。そのとき彼女は大地が揺れるのを感じた。しどろしどろいうことはウアイラスの谷では珍しくなく、3、4秒ぐらいでやむのが普通で、会話がちょっと途切れるだけのことだった。

だが、このときの揺れは止まらなかった。1秒ごとにますますひどくなり、まるですぐそばを急行列車が通過するような轟音が耳を襲ったのである。アドービレンがの壁からしゅくいがばたばたと落ち、煙突ががらがらとくずれた。客たちは、悲鳴をあげて、揺れる建物から芝生にとび出した。

支配人夫妻も走り出た。互いにささえ合い、よろめきながら、赤ちゃんを2人でかばっていた。大地は横に揺れ、縦にうねり、2人は立っているのがようやくだった。割れ目が四方八方に走り、水が地中からしみ出てきた。ホテルの敷地内においている温泉が沸騰し、いつもは透明な湯が真っ赤に変色していた。ニコールは恐怖におののきながら、「もうおしまいだわ」と思った。

想像を絶する激動は1分近くつづいた。永遠とも思われる時間だった。ホテルの外で身を寄せ合った人たちは、東の方、雪をかぶったコルディエーラ・ブランカの山なみをじっと見すえていた。1941年に、山の2つの湖が、自然の障壁を破って、3階建の高さに達する大水をウアラス市に落とし、6千人近い死者を出したことを思い出していたのである。あのとときと同じ惨事が起こるのだろうか。

湖堤は破れなかった。しかしニコールがウアラス市の方を見やると、人口5万を擁する市の上に、不吉な黒雲が立ちのぼるのが見えたのである。

(リーダースダイジェスト1970年11月 p. 43)

ドキュメンタリー的な表現を使った作品の例

破壊や事故を原因と結果だけで結びつける狭い見方をするだけであれば、地震による災害は単なる地球物理学的な現象にすぎなくなる。しかし、地震を体験した人達の証言を集めれば、災害のときの人間行動の分析や、防災対策の教訓を引き出すことができる。

破壊や事故、さらには災害を含めて、起こった事実を証拠として集めるとき、最初から原因と結果とに一つの物語りを作ってしまうのは避けなければならない。証拠の収集は組織的に行なう必要があるが、断片的でよく、作為を取り除いた、ありのままが最もよい。収集した証拠は、すべてがすべて事実の説明に役立つとは限らない。場合によっては全く無関係なものも含まれるし、ときには錯覚、思い違い、嘘の証言、作為などがはいることもないとはいえない。証拠を判断して、そのなかから一本の筋道の通った経過を説明できるように組み立てる作業は、証拠の収集とは全く独立にあるべきで、いわゆる専門家の分析に待つ必要がある。

専門家の判断に役立つような証拠を集めるには、ある程度の専門的な素養と、訓練とが必要である。いわゆる専門家が証拠を集めるのは、証拠を有効に集められるからであるが、だからといって、一般の人の協力が全く証拠に役立たないと考えるのは誤っている。むしろ、一般の人の協力を有効な証拠にするような訓練を受けていないことのほうが多い。

たとえば、交通事故や犯罪が起きた場合、その現場を乱さないことが事実解明の鉄則であるのは誰でも知っている。しかしながら、目撃者に証言してもらうことも重要な情報収集の作業であるにもかかわらず、これが証拠として低い価値しか与えられない理由は幾つか考えられる。その第一は、質問者が一般に行政機関側（たとえば警察官など）であって、取調べという形を取ることに對する反発があること。第二に、調べる側が民間人であっても、証言に作為を加える危険があること、たとえばジャーナリスティックな発言が意図的に採用されやすいこと。第三に、特にわが国では第三者の発言を大事に聞

く、という習慣があまりないこと。第四に、証言することに一般の人が慣れていないことなどである。

証言を含めて証拠が価値あるものとなるには、証拠自身が正しいという証拠を持っている必要がある。これを自己立証的であるというのであるが、証拠それ自身と、それに付随する幾つかの傍証とから組み立てられるものである。ただし、どれを証拠とし、どれを傍証にするか、また捨てるか採用するかは専門的な判断に待つのが普通である。

一つの例として、写真による記録を証拠とする場合をあげよう。写真は作為のない客観的な記録媒体であるから、証拠としての価値は高い。しかし、たとえば報道写真と航空写真とでは専門的な価値には大きな差のあることは明らかであろう。このような評価はどこからくるかというと、たとえば寸法に対する情報が写真のなかに含まれているか否か、またそれが適切であるかに左右されるといってよい。写真は任意の大きさに引き伸ばしができるから、寸法の比較となるものが同時に写っていないと全く無価値になることがある。これが、いわゆる芸術写真や、報道写真などのようなものと区別される最大の相違点である。

写真には、トリック撮影や、意識的な修整が可能であることは誰でも知っている。ということは、証拠となるべき写真には、それが確かに事実を撮影したものであることを証明する裏付け、つまり傍証も必要としている。すなわち、証拠というのはそれが独立に決定的な意味を持つものではなく、事実を説明する幾つかの舞台装置を従えて、始めて意味を持つことになる。

証拠は、誰が見てもそれが事実を示すことを納得させるに足る客観性を持っている必要がある。客観的であることは、要するに科学的な弁証法に耐えられることであるから、概して科学的な分析や解析で裏打ちされたものは、証拠としての質が高く評価される。したがって、よい証拠を集めるには、手当たり次第に物を集めるのではなく、組織的、かつ計画的に収集する必要がある。この意味で、証拠を収集する際に、手引による教育や、訓練が必要である。

(2) 記録の価値

証拠は自己立証的でなければ価値が低い、ということ先述した。この場合、証拠が正しいことを側面から証明する傍証が必要になる。この傍証には、本来は別の目的で集められた記録が利用されることが多い。その理由は、少なくとも偶然に起こった現象を、最初から作為を交えて記録しようという意図はないと考えられるから、公平でかつ客観的な証拠として価値がある。しかし、これらの証拠は、起こった現象の直接の証拠ではなく、傍証としての価値がある。これらの具体的な例は、

日誌、日記などの日常の記録や、風速・雨量などの観測記録、新聞・雑誌などの印刷物、列車・電車の時刻表、テレビ・ラジオの番組などあらゆるものが利用される。

一方、非常の事態を想定し、そのときだけ記録が取れるような装置が最近では特に注目されている。具体的には、地震計がそうである。各地の気象台にある地震計のほか、重要な建造物に強震計を設置することが増えているが、この管理には法的な義務がない。航空機事故の解明にフライトレコーダが注目されているが、この設置もあらゆる航空機にすべてつけられているものではない。このような、いつ起こるか全く予測のつかない現象をつかまえるために、常時待期の態勢を取るような測定設備は、維持管理に大きな費用がかかるものである。したがって、観測や測定上の技術的な研究と同時に、日常得られる散発的な記録を有為なデータとして生かすような研究が望ましいことになる。過去の災害や事故の記録の収集、統計量などを日常、継続的に積み重ねることの価値はここにあるが、これらの資料がデータとして生かされよるような別の対策、つまり資料の管理と利用とが最近の情報処理の最大の問題点の一つとなってきている。

作為を加えない記録の例として価値のあるものには、いわゆる古文書や古い手紙などがある。地震や洪水などの自然災害の古い記録は、このような古文書に頼って調べられている。古い記録は、それが単に昔のものであるというだけで無批判に価値があると錯覚しやすいが、実はそうではない。

古記録の価値は、古い記録が組織的に作られ、現代にまで伝承されてきた、ということに価値がある。たとえば、古新聞を集めて保存すれば、何10年も経てば古文書になるというのではない。記録は、そもそも書かれたものを、半永久的に後世に伝えることを意図して作られる文書のことをいうのである。古新聞が価値を持つためには、その保存が後世の役に立つことを意図して集められた場合に記録としての価値を持つが、そうでない場合には、単なる骨董的な興味の対象でしかあり得ない。したがって、古新聞が記録としての価値を持つためには、記録として残るのに耐えられるように処理をする必要がある。この手法としてマイクロフィルム化が各新聞社で研究されている。

一つの実例として、水文・治水関係の貴重な記録をあげよう。中部地方の木曾川、楯比川、長良川の治水には、徳川時代に美濃の高木家が代々にわたって治水奉行を務めてきた。その記録は高木家古文書として一部が名古屋大学付属図書館に保存され、整理作業が進められている。この古文書がなぜ貴重か、というと、記録が治水の当事者によるものであるということと、記録がある程度

の標準化された形式で長年にわたって蓄積されたものであるからである。

ところが、高木家は、明治維新によって没落し、木曾川の治水関係の業務は、国、県・市町村がそれぞれ引き継いだわけであるが、それとともに、木曾川の治水関係の組織的な資料はほとんど残されなくなった。つまり、高木家文書は、資料を後世に残すような形に積み上げた記録の形態を持っているのに反して、現代においては豊富な情報が氾濫しているにもかかわらず、記録として耐えられるように保存の努力をしていないため、ほんの数年もたたないうちに資料は散逸してしまう。

記録として積み上げるには、単に資料を収集して保存するだけでは記録の価値が低いと述べたが、後世に半永久的に残すためには、特別な注意が必要である。学術雑誌は、明らかに記録を半永久的に後に伝えることを意図して、そのための形式に特に気をつけて編集されている。ただし、この雑誌を確実に残すには、図書館がこの雑誌を製本して登録するなどの処理を必要としている。

製本・保存は、永久保存として確かな方法であるが、最近ではこの方法が必ずしも最善であるとはいえなくなった。その第一は、紛失などの事故の危険、第二に、最近のおびただしい情報量の増加による保存のためのスペースの増加が、保存という目的に不向きになってきたことである。そこで、より少ないスペースで、大量の記録を永久保存する方法が種々試みられ、その一つの解決策として資料のマイクロフィルム化が急速に普及してきている。

(3) 証言の信頼性

事故や災害の体験者、目撃者の証言が証拠としてきわめて重要であるのはいうまでもないことである。しかし、人間の記憶がきわめてあいまいであるのもまた事実であるから、証言を絶対視しないこともまた一つの常識である。

証言が価値を持つためには、個人個人が自分の発言に責任を持つ社会的な道義が絶対に必要であり、嘘言が社会的に制裁される場合に成り立つ。残念なことに、利害がからむ場合の証言は、常に正しいとはいき切れない。日本の場合はともかくとして、欧米においては聖書に誓って証言するという風習をよく見受ける。嘘の発言よりも、証言を拒否するという習慣は自分の発言に責任を持つための態度と考えられる。

口頭での発言はその場限りであるから、証拠に残すためには文書にして残す必要がある。最近ではカセットテープレコーダが普及しているので一昔前と大分条件は変わっているが、いずれにしても文書の形にしたものが証拠として必要であり、テープはその傍証になる。

ところで、ともかく問題となるのは、日本語が一般に英語などと比べて論理的な構文でないことから、発言そのものにあいまいさが残っていて、肝心の結論がぼけていたり、どちらにも受け取れることが多い。文書になったものについても、字句の意味の解釈や、言外の意味を分析したりすることに注意が向けられる。裁判に関係する証拠の場合には、法律上の用語や解釈とからんでくることもあって、証言の文書の文体は日常の文章とかけ離れたものになりやすい。このようなことから、証拠として残された証言は信頼性の面からは偏った情報になりやすいという考えがある。不責任な局外者が、発言の裏の意味をソタリ顔で披露することはよく見受けられる。

実のところ、われわれの生活習慣では、証言というと直ちに裁判に関係するものだと先入観を持ってしまいが、学術的な研究にも、証言を有効に利用する必要があるし、証言を有効な形にまとめるための訓練も大切であると考えている。アンケート調査や面接による調査などは、方法そのものや内容についての適否は別として、一種の証言の記録であるから、証拠としてのある価値を持っている。世論調査は一種の統計的な手法を採用した証言であるが、この証言の信頼性を高めるために科学的な裏付け、つまり、いかに客観的に公平な基準で調査が行なわれるかが研究されている。

証言をする人、つまり証人であるが、証人の発言を文書にするのは自筆の場合を除いて、多くは専門的に訓練された人があたるのがよいと考えられる。作られた文書を口述書というが、証人と文書作製者との署名（日本の場合は氏名、印）があるのが最善である。この署名は、いわば一種の傍証になるからである。文書の作製者が専門家もしくは特に訓練された人がよいのは、話の要点をとらえて、事実を客観的に記録できることと、多くの証言の記録を同じような質（内容は別である）にそろえることができるからである。しかしながら、反面では、質問者が偏った意志を持っていれば、証言の記録は偏ったものになりかねない。この例は、ジャーナリストックな取材レポートによくあることである。

証言をする人、およびその証言を記録する人は、どちらも人間であるから、証言のなかの事実のみを記録するには、人間の性質を十分に考えた方法を取る必要がある。つまり、興奮していたり、怒っていたりしたのでは冷静な判断ができないから、そのような状態での証言の記録は避けるべきである。よく、事故や災害のときの新聞、テレビなどの報道に、「……の怒りをぶちまけていた」という表現を見聞きするが、これは、いみじくも証言の信頼度を低下させ、報道そのものの価値を下げることになっている。

証言を聴き取って、それを記録に残す方法については、調査に先立ってなんらかのルールを定める必要があ

る。いわば調査の手引とでもいおうか。証言に限らず、証拠を集めるうえでもこのような調査方法の研究も必要と考えられる。これは、引用の引用になるが、航空機事故の調査において、証言聴取のルールというものが欧米の事故調査手引にあるといわれている。そのなかで2、3の参考になりそうなものには次のようなものがある。証人の証言を聞いて記録するのは、質問者と証人とが1対1で行なうのがよい、とされている。その理由は、質問者が複数で質問を集中すると返事を誰にしてよいか混乱するおそれがあり、場合によっては集団的なつるし上げの形になりかねない。また、証人が複数になると、あいまいなことであっても結果的に相談し合って物語りを創作してしまうおそれがあるというのである。

証言は、それが個人の記録であるため、どうしてもそこに人間的な感情が込められることを避けるわけにはいかない。証言をまとめる記録者が、その感情におぼれ、文学的な、またセンチメンタリズムに陥ると、ドキュメント、つまり記録としての価値が問題にされる。ジャーナリストの作るドキュメンタリーやルポルタージュは、読者に読ませるテクニックを必要とすることから作者の評論を加えることがあり、結果的に証言の記録の価値を下げることになっている。最近この種のものとして話題の対象になっているものには本多勝一作品がある。また低俗週刊紙のゴシップ記事は一部が事実で残りが創作というものでありながら、すべてが事実らしく読ませる、という意味できわめて悪質な文書になるわけである。

証言は、たとえどのように注意深く客観的であろうとしても、文章作製者の主観がはいることは避けられない。したがって、証言そのものを批判することや、証言から言外の意を推論したりすることを控えるのが、証言を正しく扱う最も基本的な態度である。

(4) 経過の追跡

一つの事象が進行するのを理解するには、時間の流れを一つのパラメータにして、事の成り行きを当てはめると分りやすい。原因は常に結果よりも時間的に先行しているから、集められた証拠から破壊や事故の経過を組み立てていくのが有力な分析の方法である。

事故や破壊は概して短時間に終わる現象であるが、長い時間的要素、そのなかには歴史的な経過をも含めて考える必要がある。自然災害はその典型である。長年月で造られた地形や地質は、災害の原因究明に欠くことのできない要素になる。このような長い時間的要素でなくとも、当面の問題としている事象が発生した同じ時間の経過で、他の事象をも同じように経過をたどることは大切である。一つの例は地震の観測である。各地で観測された地震の時間的なズレから、震源の位置を求めることが

できる。

列車、船舶、航空機の運航には決められた時刻表があり、その時刻表に乗っていない場合には事故と考えている。人命や物件に損害を与えていなくても、決められた定時刻より遅れても、また逆に早く到着しすぎても事故である。事故には理由や原因があるわけで、結果として衝突や墜落のより大きい事故になることがある。社会生活においても、また個人の生活態度においても、時間的な流れのなかで規則正しく行動することが社会全般の広い意味での安全と結びつく。遅刻、早退は明らかに個人の事故の一種であり、生活態度が不規則であるのは人格になんらかの事故があると考えるのは一般的な常識である。

構造物や材料の破壊のような物理的現象であっても、時間的な流れを追跡する必要がある。たとえば、瞬間的に破壊するガラスや、杭打ちの衝撃的な現象でも、破壊や衝撃の進行を高速度カメラで再現するように分析することが大切である。破壊は連鎖的に進行するのが普通であるから、破壊の痕跡から破壊の進み具合を物語りのように説明するように分析する。

破壊が時間的にゆっくりと進行すれば、致命的な被害を受ける前になんらかの対策を立てることができる。破壊が大きな社会問題や技術上の大問題になるのは、破壊の進行が予想をはるかに越えた早さで進むときである。火事は最初の3分間の処置が適切であれば被害を最小限度に抑えることができるが、爆発は瞬間的であるから破壊としてより悲劇的である。構造物の圧縮部材の座屈は、変形が突然大きくなるから危険であり、脆性破壊は本来の鋼の破断の性質と異なる現象であるとともに、破壊の進行が早いことが恐れられている。

ある異常な破壊現象を分析するには、破壊の痕跡から破壊の進行を多くの証拠をもとに推理しなければならない。この推理は論理的であるべきで、証拠をもとに実証的でなければならない。科学的弁証法つまり科学的方法論は推理の正しさを証明するのに使用される。しかしながら、破壊や事故の原因が常に究明されるとは限らない。原因が不明になることもまた少なくない。この場合、不明は不明であることが真実であって、仮説を立てて推理することは科学的な方法とは考えられない。仮説が正しくない場合には、嘘を正しいものとして採用する危険があるわけである。

科学的な究明の手法が、このように非常に結論に対して慎重になることは、真理の追究に厳しい態度を取る学問の立場からは当然のことである。このことは、破壊や事故が大きな社会問題となる場合に、学者や研究者の態度のあいまいさが非難される。つまり、たとえ仮説に基づく推理であっても、結論を明言する社会的な責任があるというのである。学者や有識者が構成された委員会の

運営の難しさは、この面の認識に欠けるからであり、より合理的な活動をする調査分析の手法が望ましいといえる。

というのは、こうである。つまり、幾つかの現象の個々について、原因と結果との必然性を確かめるには、科学的な方法論は効果的であるが、破壊現象全体を総括的にとらえ、これを物語りの説明に組み立てたり、ドキュメンタリー的にまとめることは、学問的方法論と矛盾するのである。とりわけ潔癖なのは数学的な証明に類するもので、少しでも例外やあいまいさの残るものは正しいとはいわない。しかしながら、事故や災害の経過を説明するとすると、必ずそこに推論がはいるし、主観がはいることが避けられない。したがって、経過の追跡を行なって、これをまとめるのは、より文学的な表現にならざるを得ない。また、多くの場合、調査の報告が政治的にも大きな影響を持つならば、事実と推測とを混えた調査の報告が、客観的であろうと努力しても情緒的な部分が残ることは避けられない。強いて客観的であろうと努力すると、味もそっけもない無味乾燥した文章になる。

最近の事例として、羽田沖の航空機事故調査委員会(委員長木村秀正)の調査報告と、この報告に不満を持った山名教授のレポートとが一つの興味ある対照を示している。木村委員会の報告の結論は、要するに原因不明であるが、この結論は集められた事実だけからの当然の結論といえる。つまり、推理、推測、仮定を一切採用しない、純粋な調査報告である。一方、山名レポートのほうは、事実を説明する物語りになっているから、読物として非常に面白い。つまり、山名教授の立てた仮説なり推論を、証拠をもとに正しいことを裏付けようとしているわけである。

木村報告と山名レポートとのどちらが調査報告として妥当であるかは一概にいえないが、この責任は要するに、調査委員会とはいかなる活動をすべきかの方針の欠除にあると考えられ、より一般には、調査方法そのものの研究不足にあると考えられる。

(5) 調査の組織とテクノロジー・アセスメント

破壊や事故が発生した場合、その事象だけに限定して調査のための組織が作られることが多い。起こった事象の社会に及ぼす影響の程度や損害の及ぶ範囲に応じて、この組織がどのような責任と権限とを持つかの性格が定まってくる。

1人の個人が、自分の責任の範囲で生じた損害は、自分の納得のもとに自分が負担するのは至極当然のことである。たとえば、海釣りに出かけて、財布を海に落としたりすれば、本人があきらめるしか手はない。しかしながら、2人以上の個人が関係していて、破壊や事故によ

る損害が発生した場合、そこには、本人同志が互いに納得のいく解決方法を模索しなければならない。そこに、公平な第三者の存在を必要としている。

調査の組織は、この第三者に相当するが、一般的には、事象に関係を持つ当事者がいったん裁定を公平な第三者にゆだね、この第三者が独自に調査の組織を招集するのが普通である。つまり調査の組織は当事者の利害から遊離して立場を持ち、財政的にも機構的にも公平な第三者の系列の下に活動することになり、調査の組織は、その属する上部機関に対してのみ責任を持つことになる。

互いに利害の対立する当事者が、それぞれ独自に調査の組織を持ち、互いに証拠を集め、それを裁判の資料に利用することはまれではない。しかし、これは裁判という場での駆け引きの材料として意味があり、科学的な判断の資料として作為を含む危険がある。御用学者とか、御用機関と呼ばれ、旗色を鮮明にして主張することは、当面の問題点の直接の判断に役立つので、弥次馬的な傍観者から見れば面白いことも多い。

しかしながら、学問の自由とか、研究の自主性という立場から考えるとき、仮に時流に乗って大方向から称賛される場合も、また逆に世間の大部分から批判を受けようとも、科学的な方法論や結果に対して社会的な尺度で評価が与えられるのは大変迷惑な話である。というのも、科学的な弁証方法では、断定的な結論を下すことに非常に憶病であるからで、正しいか、正しくないかの二者択一的な結論を避けるものである。つまり世間の見方からすれば歯切れが悪くなる。

事故調査委員会の人選をする場合、学識経験者を集めることはよく行なわれるが、一般的な傾向として、この委員会の答申なり結論は奥歯に物のはさまったような、どうにも取れる表現になることがきわめて多い。また逆に、このような不鮮明な結論の出ることを期待して隠れミノ的に委員会の体裁を整えることで政治的に利用されることがある。このような委員会に委員として招集される学者は、いい面の皮としかいいようがない。

このような調査機関として、同様な組織を持つべきであるかは論議のあるところであるが、参考となる考え方に、テクノロジー・アセスメント (Technology Assessment) の概念が1966年ころアメリカで現われている。

テクノロジー・アセスメントというのは、日本語に訳せば技術の評価ともいうべきもので、ある技術問題に対してそれが実現された場合に生ずる利益、不利益を総合的、客観的に評価することで、不利益が生ずると予想される問題については、それを解決するための手段や方法を積極的に研究することを提案するものである。

アメリカにおいては、このための機関として1973年大統領の命令で Office of Technology Assessment (O. T. A.) が設けられ、関係各省からの人材と予算とが投入されている。この機構は、問題となった技術上の諸問題のいわば調査委員会の任務をもつものと考えられ、その報告はアメリカにおいては議会もしくは各種の公聴会に提出される形を取っている。

O. T. A. はそれ自身十分の予算を持ち、その機関が更に大学や研究機関に調査や分析を依頼する形を取っている。ここで大切なことは、大学や研究機関は調査や分析の結論を O. T. A. に対してのみ責任を持つだけでよく、技術上の評価に対して直接の責任を負う必要がないことである。

わが国では、各種の調査委員会というものの行政的な権限や責任について比較的あいまいであり、これが調査そのものの活動を制限することが多い。結論からいえば、調査というものは、原則として学問的な判断よりは行政的な判断の資料に提供するものであり、当然のことながら学問的に意見の対立や矛盾を含んでいてもよい。委員会の結論に対して少数派である一部の学者が、その委員会そのものから決別して対立する論を唱えることは、調査委員会そのものを正しく育てる方法ではない。そして、このような調査委員会においては、委員は学者や研究者であるよりも、むしろ行政的な立場に立つべきことが要求されるのである。(つづく)

事例研究資料

事故や災害の現場調査の進め方

以下に示すものは、実は消防大学校でまとめた火災原因調査関係指導資料を種にして作ったものである。調査手引書のようなものを各方面で探しているが、筆者の見た範囲では、災害調査の手引にも、上述の資料は十分利用できる優れた内容を持っている。この内容を大部分拝借して、要点を下にまとめることにした。

(1) 現場調査の計画

現場調査は、事故や災害の発生直後から開始される。この調査に先立って、調査の組織の法制度上の位置づけや予算的な面の処理などがあるが、ここでは触れない。計画時の作業は次のような項目でつめることである。

- ① 情報の収集による調査項目の取捨選択
- ② 調査日時決定
- ③ 調査従事人員と任務区分
- ④ 服装、器材の手配
- ⑤ 関係する諸機関との連絡
- ⑥ 予算処置

上述の各項目についての具体的な説明は省略するが、二、三の重要な事項を解説しておく。

③ 調査日程に無理をしない。作業は写真撮影や他の機関との連絡の便を考えて、通常の勤務時間帯がよい。

⑥ 調査員の任務区分は、調査指揮者、専門ごとの分担責任者、記録の責任者、もしくは聞き込みに従事する者、写真撮影者、図面の作製に従事する者、器材の管理者などを定めておく。

⑦ 服装は、作業服、ヘルメット、手袋、半長靴など、できるだけ調査員全体がそろっているのがよい。こ

* 名古屋大学工学部助教授

れは調査の作業のときに無関係な弥次馬を区別できる。

④ 携行用具として、手帳、筆記用具、用紙等の整理用品は共通に支給できるようにしておく。

(2) 現場の観察

調査の基本は、まず全体の総括的な把握から始める。なるべく高い所から観察したり、周辺との関連をつかみ、次いで観察を次第に細部へと進めていく。写真の撮影も、全景や周囲との関連がわかるような構図を考え、次いで対象物に次第に近づいて行って部分を拡大するような複数枚の組写真になるように計画する。撮影とともに、見取図、スケッチ、メモなどを作るのが望ましい。

(3) 聞き込みと設問

事故や災害に直接、間接かかわった人からいろいろな事情を聞き取り参考にするには非常に大切であるが、異常状態であったことから、あらゆる感情が交錯し、平常の心理状態でないことも多い。聞き込んだ内容をそのまま信用することは避けて、吟味ができるように記録を蓄積する。注意することは次のような事項である。

- ① なるべく、事故や災害が起きてから早い時期に、多くの人から聞く。
- ② 聞き取りは、なるべく1対1で聞くようにして、相手の住所、氏名、年齢などを確かめておく。
- ③ 相手の答を助けるような、誘導質問をしない。
- ④ 又聞きであるかどうかに注意する。
- ⑤ 前後関係の不一致やあやふやな供述に注意する。
- ⑥ 利害にからむ供述か、感情的な供述か、態度や口ぶりに注意する。
- ⑦ 供述のときには図面を示して説明させるか、供述書に書いてもらって聞きとるとよい。
- ⑧ 必要に応じて、供述者に立ち会ってもらって写真を撮る。

聞き込み内容はあとで検討する材料に使用するが、検討する項目として次の点に注意する。

- ① 時間的なズレ、前後関係の誤りはないか。
- ② 錯誤していることはないか。
- ③ 関連する複数の人々と比較検討できるか。
- ④ 生活習慣、言葉などからくる特異な語作、表現がないか。

このような聞き取りを良い資料にするためには、あらかじめ事項を定めておくアンケート調査の手法を利用するのがよいが、アンケート調査と異なるのは、調査員のほうで設問にあまりこだわらないようにし、先入観を持たないようにすることである。つまり、答が幾つかあって、その1つに丸をつける、という方式を取るべきでない。また調査員は、服装、言葉づかいなどで不快感を与えることは無論注意すべきである。

(4) 資料の採取、発掘

証拠物品の収集は、現場の状況を変えるから、資料の採取や発掘には細心の注意が必要である。その要領は考古学の遺跡発掘の要領と基本的に変わりが無い。すなわち、できるだけ原形に近い状態にとどめるようにし、不必要に乱さないのが原則である。寄ってたかかっていじくり回すのは禁物である。

資料の採取や発掘の基本的な進め方は次のようになる。

- ① 資料採取の範囲を決める。発掘範囲を設定する。同時に、前後関係などの相対的位置関係を記録する。
- ② 発掘の場合には一方向から掘りながら進める。
- ③ 関係者に立ち会ってもらう。
- ④ 落下物は取り除く。
- ⑤ スコップ、つるはしなどで資料が乱されないように注意する。重機械で処理すると、その操作のときの損傷が判断を誤らせることもある。
- ⑥ 発掘には、必ず全体の進行を見守る指揮者のもとに行なう。
- ⑦ 採取した資料には順に番号をつけた荷札をつけたり、印をつけて復元の便や判断を誤らないようにする。
- ⑧ 写真の撮影、図面の作製、スケッチ等は指揮者が指示する。

(5) 復元

復元というのは、火災においては火災直前の状態に採取した資料を取り立てて考察することを指している。一般の事故や災害でも、事象が起こった直前の状態を再現するような処理を考えればよい。構造物のような大きなものは実物の復元が不可能であるし、破壊前の状態は分かっていることが多いので、図面上での復元が多い。

地震や振動による災害で、転倒した物品の被害直後の

状態は、必ずしも調査時点での状態と同じでないことが多い。同様に、ある構造物の崩壊が2次的な災害を誘起した場合、復元の手法は、直接原因の推定をするうえで欠かせない。

(6) 資料の価値判断

採取された資料、供述を筆記したもの、写真などは単に集めただけでは証拠にならない。したがって、これらを精製して、採用する価値があるか否かを検討しなければならない。価値判断の基準は事故や災害の種類ごとに異なるが、原則としてある判断を立証できる内容を持つ直接証拠を傍証との一組になるようなものが価値ありと判断する。たとえば、部分の拡大写真が直接証拠で、その部分を全景中に含めたものが傍証になる。

火災調査の手引によると、価値判断の基準に、存在価値、位置的価値、機能的価値のような見方があることを述べておきたい。

(7) 原因の判定

事故、災害の原因の判定は、なるべく速やかであるのが望ましい。判定には、現場判定と事後判定とに大別される。現場判定は明白な原因のある場合で、事後判定は結論の一時保留である。事後判定は、現場での資料をもとに、さらに、(1)実験、(2)鑑定、(3)文献による引用などを含めることを意味する。

(8) 現場の解除

現場調査の期間中は、現状保持のために立入り禁止や多くの制限を依頼することが多いから、復旧や救済を必要とするとき、明瞭な調査終了の宣言と事務引継ぎなどの事務処理を行なうことが大切である。

(9) 資料の管理

現場調査の解除後は、写真、調査資料が永久に保存されることになり、実物は残らない。したがって、資料の管理が重要である。資料として重要なものは写真と図面である。特に写真については次の事項に注意する必要がある。

- ① 撮影日時
- ② 撮影の場所と方角、特に別図面として写真撮影位置を図として作製するのがよい。
- ③ 被写体の大きさ、距離を客観的に判断できるように、スケールなどをあてて撮影する。
- ④ 画面に人物を入れないのが望ましい。
- ⑤ 被写体の位置関係を明確にするように、縄、ひもで囲んだり、丸印、矢印などの指示を入れるのもよい。
- ⑥ 濃淡、変色等の撮影では明るさや光線に注意して、陰を入れないようにする。(つづく)

(6) 調査のまとめ方

何かの破壊や事故、さらにそれに派生する災害の影響は、われわれの社会生活にあらゆる形で反映してくる。したがって、立場を異にする多くの人に、すべて納得のいく調査のまとめは実際上できない。つまり、種々の調査報告があっても当然であり、注目点を明確にした幾つかの専門的な報告があってもよい。自己の興味の対象が含まれていないからといって、それが必ずしも不十分な報告であるといえない。事故や災害に関連のある、あらゆる資料を集めることの意義は、少なくとも、物の見方に偏見や先入観を持って知識が片寄るのを避ける意味からも大切である。したがって逆に考えれば、何かの調査を行なうには、自分の立場なり専門に忠実であることが、対外的に説得力を持ち、信用のおける調査報告となりうるわけである。事故や災害が起こると、にわか専門家が発生して賑やかな論争を展開することが多いが、むしろ、論評を控えた専門家の考え方を多く聞くほうが、問題点がどこにあるかを知るのに役立つことが多い。現代では、シンポジウムとか、パネルディスカッションのような形の研究集会が多くなっているのは、一つには、専門領域が広がってきたことと無縁ではない。

また、あまりにも専門分野が広がってきたこともあって、多くの論文や報告にすべて眼を通すのも大変になってきた。そこで、抄録、つまりダイジェスト作りが盛んになってきているし、同時に、全体の流れというか、物事を総括的にとらえて論評を加えて、多くの人の参考に役立てる役割りの人が必要になってきている。

さて、調査報告はどのように書くべきか、という命題にもどるが、結局はそれをどのような読者を対象にするかでまとめ方が変わる。破壊や事故、災害には多くの人に関心を持つから、その報告が何を意図しているかの態

* 名古屋大学工学部助教授

度をあきらかにしなければならない。そして、その分類としては、次の4種のもの考えるのがよい。

i) 専門的な記録、データ、統計数値、資料など

要するに、オリジナルデータ、生データ、サンプルなどを単に集め、専門家の分析や解析に役立つようにまとめたものである。たとえば、気象の記録、地震の波形記録、物理的な測定値、化学分析のデータなどを、論評を加えずに整理したものである。データの科学的信頼性の評価は論議が出ることもあるが、あらゆる調査資料の中でも、歴史的に不変の価値を持たせうる、ただ問題になるのは、生のデータを確実に記録、保存、管理する組織が不十分であることである。

ii) いわゆるドキュメント、記録報告に類するもの

一般的な調査報告は大抵この分類にはいる。これは、ある事象を調査した人の個性、専門分野、調査に関与したときと場所、興味の範囲などによって報告の内容に差があるものだからである。文筆を業とする作家、ジャーナリスト、技術者、学者、政治家、さらには小中学生などの体験の記録など、あらゆる作文はドキュメントである。

われわれは、調査報告というと、学術的な調査報告や官公署の報告だけしか重要視しないが、同時に新聞、雑誌などのローカル色の強い多くの資料を見逃してはならない。学術調査と称して、専門家の集団が調査を行なって、それをまとめた報告書があるが、これはこれで価値があるとしても、読み物として面白いものではない。むしろ、文筆を業とする人達のレポートのほうが、内容として整っていることが多い。前節でも紹介したが、新潟地震の調査報告の類の中でも、新潟日報がまとめた「新潟地震の記録」が実にしっかりした編集を示していて、読み物としても面白い。

専門家の集合で調査報告をまとめるよりも、その専門家の中に文筆を専門とする作家や、専門のカメラマンを

含めたほうが、総合的な調査報告を生硬いものにならない。新聞社やテレビ局がスポンサーになって学術調査を行なうものには、是非善悪を別にしても、読んでもらうことを目的として報告が作られる利点がある。

iii) 総括、論評、抄録、解説に類するもの

先の i) に属するデータは専門的に過ぎるし、ii) の記録報告では、データの取捨選択があり、個人差がでてくる。そこで、多くのデータや資料を総合的に判断し、必要に応じて解説を加え、結論の出るものには結論を出し、将来の提案などをまとめる報告が必要になる。この種の報告は、たとえば、学術研究の成果をもとに、今後の研究の方針を決定するための提案を含んでいたり、事故調査の結果をもとに、事故防止に対する提案を加えたりしたものである。一般に、この種の報告は、官公署や行政機関などのように命令権、決定権もしくは財政権を持つ機関に提出されるもので、具体的な措置に反映することを望んでいる。このことは、ともすれば結論や目的を急ぎすぎて、役所の作文のような乾いた報告を作製しがちになる。

民主主義社会では、主権在民の立前から、調査報告を広く一般に公開し、多くの民意を再び行政に反映することが必要になることも多い。これは、純粋な学問的な調査報告であっても、社会一般に説得力を持ち、ある程度のジャーナリスティックな効果を持つことも許されよう。最近の話題の中では、公害問題、原子力発電所の安全問題、地震対策などに、積極的に学者グループが発言しているのが、このジャンルの報告類と見るべきであろう。

iv) 随筆、感想文、小説、ドキュメンタリーの種類

調査報告というものは、概して叙事的であり、客観的であることが至上であると思われる。しかし、災害や事故には悲喜こもごもの人間模様が折り込まれるのが常である。災害や事故のさいの人間の行動や心理状態を知るには、物理的な災害や事故の描写だけでなく、人間そのものの感情の記録が必要である。人間を描写することには、われわれはあまり巧みとはいえない。むしろ、あまりありふれた話題であるため、人間そのものを注意深く観察しようとしなない。しかし、日本の中だけの事件であれば想像しても的はずれる危険は少ないが、言語、習慣を異にする海外の事件を正しく理解するには、人間そのものの記録がなくてはならない。

人間を含んで事件を記録したものは、調査報告というよりも、読み物として出版されることが多い。ノンフィクションという形式のものがこれにあたる。

さて、以上の4つの分類のそれぞれについて、具体的にどう書くのがよいかを、ここで簡単に説明することはむずかしい。調査報告が有効な情報として生かされるためには、一つの組織が必要であって、その組織に属する各個人が、それぞれの専門の立場で協力し、これを総合

する体制がなければならない。上述の i), ii) の類は学者や専門家の平常の研究活動と密接につながったレポートであってよいが、iii), iv) はあきらかに意図する目的が存在している。

(7) 調査委員会の運営の方法

災害や事故の調査には、調査委員会が構成されることが多い。そして、この委員会の活動には多くの人が関心を寄せるので、運営についてしっかりとした考え方を持っていないと混乱のもとになる。そこで、委員会の運営について要点となることを簡単に説明しておきたい。

i) 委員会の位置づけ

一般的に言えば、会議なるものを分類すると、頂点に決定権、もしくは議決権を持った最高の機関があり、その機関に属する会員のすべてが会議に参加する権利を持つが、普通は適当な規約のもとに選出された代表者によって会議が運営される。委員会はこの上級の機関に属し、委員会招集の権限者は上級機関の長である。委員会の任務は、この長に対して意見を具申、もしくは答申することであって、議決権や決定権を持たない。注意することはこの点であって、背景となる決定権のある機関のない、名目だけの委員会は、いわば一種のお祭りではない。

ii) 委員会の構成

委員会は、委員長、議長、書記、複数の幹事、複数の委員という構成が理想で、構成人員は10名前後がよく、20名を越えるのはよくない。委員の数が増えるときは、委員会の下部組織をもう一つ作らなければ会の流動性が失われる。

委員長は原則として上級機関の長が任命する。委員長の責任の及ぶ範囲は、上級機関の長が命じたことを遂行することで形式的な責任が全うされる。一方、議長は会議の進行掛りである。委員長と兼任であってもよいが、幹事の一人がなるのが望ましい。委員会の討議は、常に委員が行なうのが建前であり、委員長は討議に加わらない、いわば中立であることが望まれる。小人数の委員会においては、委員長も議論に参加することも少なくないから、この場合には議長が存在するのが便利になる。書記や幹事は委員会の裏方で、委員長とともに会の実質を取りしきる。積極的に討議に参加できるためには、委員と兼務でなければならない。

委員会の性格にもよるが、委員というのは一般に受益者の代表である。原則論からいうと、委員は選出された畑を代表する人物であると同時に、所属の所にもどって説得力もしくは決定権を持つことが望まれる。というのも、小人数の委員会だけでは実質の作業ができないから、委員個人はそれぞれ作業部門を動員できるような立場にないと困るからである。委員の身分が役職や管理職

であることが多いのはそのためである。官公庁の役人が委員となる理由は、役所が行政的な権限を持っていることに由っている。

学識経験者や大学の教授などの委員は、社会的にとおりはよいけれども、当面の問題について自分の研究グループを動員できる体制にないと役に立たない。

iii) 委員会の招集

委員会の発足は、より上級の機関からの委嘱によって始まる。そのさいに委員会の大体の目的ならびに主要な人選がだいたい決定しているのが普通である。委員の人選は、半ば委員長権限であるが、討議の問題に直接、間接に利益のからむ機関の推薦に左右される。私意のない公平な学術的な委員会であっても、公共という広い視野での利益代表であることに変わりはない。

委員会の発足に先立って準備委員会が持たれることが多く、そこで最終的な案として委員人選、委員会名称、討議事項、日程、予算、成果取りまとめの方針などが決まる。

委員ならびに幹事には、上級の機関から正式の依頼状が出される。委員が公務員である場合も、また会社に所属する場合も、本人への依頼とともに所属の長に対する依頼状が必要である。官庁の主催する委員会では、任命するという形も少なくないが、普通はお願いしますである。

問題になるのは、委員として不適任であったとしても委員長が罷免の権限を持っていないことである。つまり委員会は紳士協定で成立しているので、事柄が紛糾してくると、決定権をも持たないから委員会は無力化する危険がある。このよい例、というよりは悪い例は、大学紛争の当時の大学内の各種の委員会を考えるとよい。決定権や行政権も持った上部機関と結びつかない委員会の活動は、結果的にはお祭り騒ぎで終わってしまう。

委員会が有効な活動を行なうには、委員会という制度上の立場を認めるとともに、委員長をはじめとして委員全員が一種の運命協同体として活動することを納得することで、はじめて委員会が正常に活動できる。

iv) 予算措置

委員の活動には、必ず経費がからむ。委員会活動のための予算を持たない委員会は絶対に開くべきではない。委員会の職務を遂行するために委嘱された委員は、本来の本人の職務以外のことに時間を割くわけであるから、それによる損失を補う手当や見返りを考えねばならない。委員が手当を支給されることに道義的な負い目を感じたり、また外から批判が加えられたりすることもある

が、見方を変えれば委員に責任を取ってもらう費用と考えられる。

委員会の活動は、会を開いて討議を重ね、その結果をまとめていく、一種の思考作業が本来の任務である。討議の参考となる資料の作成に要する作業や、研究活動をするものであってはならない。このような作業は委員会が必要と判断した作業部に委託するか、適当な機関に委託しなければならない。したがって、委員会には、このような委託費を含んでいなければならない。必然的に予算の使用や配分に関する検討が一つの重要な議題となるのである。

委員会が調査のための十分の予算を持たず、具体的な調査活動の費用を委員個人、もしくは委員の所属する機関が負担することが多いが、委員会の活動と、調査や研究の活動とは分離するのが望ましい。この点に関しては制度的な面での検討とともに、大学を始めとする研究機関のあり方とも関連を持ってくる。というのは、大学の研究においては、従来から学問と研究の自由という旗印のもとに、あこ意図を持った研究が委託されるのを避けていた。災害や事故の調査には大学を始めとする研究機関の協力が必要であるけれども、従来、個人の資格での委員として参加するだけで、予算的な面でのつながりがきわめて薄いのである。前節でも触れたが、アメリカにおけるオフィスオブテクノロジーアセスメントの組織では、調査、研究のための経費の窓口を一つにまとめ、資金の運用を合理化していることは参考に値する。

v) 討議のまとめ

委員会は、何度も述べたように、決定機関ではない。委員会の答申は常に案であって、上部機関で常に採択されるとは限らない。したがって、互いに対立する意見があった場合、委員の多数決で一方の意見を採用するとしても、必ず他方の少数意見を参考として沿えるのが正しく、また結論が導かれた過程を含むものでなければならない。

少数意見の側の委員が、委員会の結論に不服を唱え、さらには委員を辞退して対立することを見受けることもあるが、委員会のルールから見れば大人気ない行動になる。むしろ、委員会というのは、幾つかの対立する意見が存在することを浮きぼりにするような討議のまとめが理に適っている。最近の公害問題にからむ各種の委員会では、ともすれば悪役側の委員が世論の集中攻撃にさらされるが、委員個人に罪はないにしても、相当の勇気が必要になるのは致し方のないことであろう。(つづく)

〔Ⅲ〕 安全の対策

(1) 教育の方法とその評価

安全を認識するには、何が危険であるか、どのようにすれば危険を避けることができるか、を教育するのが効果的である。

危険な目にみずから遭遇した経験があれば、その経験が身に備わる理屈であるが、これは常には役にたたない。たとえば、武術は個人と個人との闘いの技術である。相手の攻撃はつまり生命の危険になるわけで、危険を避けるための手段は、理論を学ぶとともに、訓練によって身につける必要がある。未熟な技術は、経験した時点で身の破滅となってしまう。

安全を評価するのに武術と同様の考え方がある程度あてはまる。剣道や柔道に段位制があるように、安全には相対的にみて高低の程度の差がある。より高次元の安全を確保するには不断の教育と訓練とが必要である。また、安全の度合には、なにかの基準をもとに評価が与えられることが望ましいことになる。

高次元の安全の認識は、少なくとも、より低次元の安全の認識をふまえたものであるべきであるから、安全の教育は初歩から段階的に積み上げる課程が必要になる。いわゆる初歩的ミスによる事故といわれるものは、高次元の安全を達成するべきための土台が、完全でなかったことと考えるとよい。しかしながら、初歩的な段階での安全教育から始まって、高い次元まで連続的に、また統一のとれた方法で教育するということは、具体的な問題になるとなかなかむずかしい。

安全の認識が一部経験的なものであるから、教育の方針の中に、「見習い」という徒弟制度的な形で行なうのが一面では効果がある。しかし、反面では教育に具体性

* 名古屋大学工学部助教授

が少なく、個人差ができ、精神訓話的なものになったり、スパルタ的であったりする欠点がつきまとう。

安全に関する教育と訓練とを系統的に行なう1つの一般的な例には自動車運転の教習所がある。その教育の評価は、免許の試験で与えられる。また免許を受けた後でも、交通違反を点数にして減点する点数制度が個人のいわば安全度を評価している。とはいうものの、自動車運転の教習所ほど評判の悪いものはない。これは、教育とか、訓練とかに常につきまとうもので、小学校から大学にいたるまで、教育方法や評価方法について議論が絶えないのはご承知と思う。

教育問題について深入りする気持はないが、少なくとも、安全の教育と訓練とには基本的な理念が必要であると思われる。それは、個人個人が安全に努力することが、結果的に全体の安全につながり、それが再び自分の安全を保証することにつながる、という認識がある。つまり、教育は自分のためであると同時に、全体のためであり、排他的な個人の利益に役だてるものではない。安全教育と訓練とは、それを受けたものに、当然のことながら義務と責任とを要求することになる。それは当の本人にしてみれば楽しいものではないはずである。

安全教育と道徳教育とは似ているようでだいぶ異なっている。最大の相違は道徳教育は訓練と評価とをもたず、多分に精神訓話的なものになりやすいことである。安全を守らせるのに道徳的な説得力はあまり効果がな

い。

ところで、構造物の設計から建設にいたるような創造的活動を最初から最後まで過ちなく遂行するには、幅広い経験的知識を生かし、初歩的ミスを確実に抑えて高次元の安全を目指す。この作業が多くの人々の協同行なわれれば、協同作業の人たちはすべて共通の安全の認識をもつ必要がある。ある一定の水準の知識はこれらの人たちに必要であるから、作業に参加する前に、事前の教

育を欠くことができない。このような教育を、われわれは精神の高揚とか一般常識とか、教養という形でしか考えていなかったふしがあり、具体的な問題について手とり、足とりして教育することを、一種の職業教育だとして低い評価を与えていた面がなくもない。

いっぽう、ひととおりの経験を身につけた人たちは、自分の知識や経験にプライドをもつあまり、自分の後輩に対して小姑的に振舞うことも少なからずある。未熟な自動車の運転者に対するイヤガラセはこの例である。たしかに、経験を積んだ人たちからみれば馬鹿馬鹿しくなるような初歩的なことであるが、それを具体的に筋道をたてて教育の課程に採り入れるのは、相当に難問である。初心者にわかりやすく、熟練者にも参考に耐え、必要最小限の要点を確実に理解させるような教育技術はたいせつである。このような教育を怠ると、経験が私物化され、知識の伝承が途切れるおそれがある。

非常に日本的な経験の伝承方式とその評価方法は、いわゆる免許皆伝とか、悟(さと)りのように具体的でないものか、精神訓話的な安全標語に集約する例がみられる。あらゆる種類の注意事項を確実に守るには、順序を追って確かめていくのがよく、これを具体的に進める方法としてチェックリストがしばしば実用されている。教育においては、初歩、中級、上級のような教育コースを設定して、コースの区切りごとに成績の評価を行なって進級を判定するのは、チェックリストの考え方と同じである。

このような段階的学習は、訓練によって、より確実に、また、より短い時間で身に備わったものになる。たとえば、自動車の運転において、自動車を停止させるブレーキ操作は、最初にブレーキを踏み、後でクラッチを切るという順序が基本であると習う。しかし、とっさの場合に常に正しい動作ができるようになるには、訓練が必要である。この基本に忠実でなくても、実用上は支障がないし、慣れによる基本の省略が熟練の度合を誇るような気風が育つことがある。これが安全教育そのものの軽視となりやすい。したがって、安全教育の効果を評価するには、結果がたとえ遅くとも、確実な課程を踏んで課程に報いるのが必要となる。

日常業務において、安全を至上とするような職種、たとえば、バスや電車の運転士とか、機械のオペレータなどは、一定の水準に達した後はほとんどロボットのような作業の連続になる。安全についての絶え間のない努力が必要であるが、より高度の技術を習熟して、さらに高い職種に移ることも望めない。安全について努力しているにもかかわらず、社会的、制度的に報われないようにみえることがある。これは人事管理の面で複雑な問題を提起することになる。

(2) 組織と責任

安全を達成するには全体の機能が確実な動きをするような組織(システム)を構成しなければならない。この組織は人間の構成する集団、機械・電気系で構成された回路、または人間と機械との組み合わせで構成されたシステムのように、あらゆる方面でみられるものである。

組織は、ある定められた目的なり機能なりを達成するように構成されるが、その活動が能率的であるように、また故障や事故が発生した場合に、損害を最小限にいとめる保障や回復の能力をももたせることが多い。これはちょうど、生物の体において構成する各種の器官や神経で組み上げられた組織に似ているし、また電気回路を構成する部分品の集合で相似することもできる。

定められた目的なり機能なりを直接実行するように作られている部分は、生物の組織でいえば器官であり、人間の作る会社などでは、工場の作業部門である。いっぽう、これらの活動を円滑に動かす機能をもつものが神経や管理の機構である。

これらの組織の構成要素は、定められた職分を実行する任務が科せられるが、それを自分が行なうことを責任といい、第三者が実行するとき信頼と呼ばれている。第三者が実行するとしても、それを自分が行なうと同等にみなすことが、責任をとるとい言葉でいい表わされている。さて、問題は、人間、機械を含めて、自分以外の何かの手助けを得て任務を遂行する場合、自分の意志に正しく従って確実に実行することを信頼しなければならない。事故や故障は、その信頼が裏切られたことによって発生することが多いから、信頼の度合を、何かの形で評価する必要がでてくる。

ところで、現代の社会ではすべての活動は非常に複雑なシステムの組み合わせで動いているから、完全に信頼することはできないし、すべてに全責任をもつことも実際上不可能にちかい。そこで、必然的な手段として個々の構成要素の信頼性の向上を図るとともに、責任範囲の限定と、事故や故障の場合の機能や職分が定められる。

組織によって作り出される活動は、現在では電気回路の信号の伝達に相似させて理解することが多い。信号のことを情報といっている。人間の集団においては入力情報が命令という形をとる。さて、非常に基本的な組織は、与えられた入力情報を単に次に伝える中継ぎの機能をもったものである。この組織の任務は、入力情報を誤りなく次に伝えることであり、事故や故障はその機能の停止や、入力と異なった情報を流すことである。容易にわかることは、情報の性質が量的なもの(デジタル量)であるほうが、質的なもの(アナログ量)に比べて誤りが少ないことである。

このことは、電話で伝えられた伝言を取り次ぐことを

考えてみればよくわかる。時間、金額、電話番号などの数値や、名前、地名など（これらはデジタル的である）はメモに記録することで誤りなく取り次ぐことができるが、こみいった話になると怪しくなるし、まして声の質や話し方などは伝えようがない。つまり、中継ぎという任務に対して信頼性が低いわけであるから、責任の限度も狭い範囲になるべきだ、ということになる。

測定機器の信頼性についても同様のことがいえる。つまり、アナログ量を扱う計測器械は精度を非常に重要視するが、デジタル量で情報を受け渡しすれば、途中にいくつの中継ぎはいつても、精度を問題にする必要がなく、単に誤りの発生だけに注意すればよい。このことが電子計算機、とくにことわれば、デジタル計算機の利用の急速な発展をうながしたと考えることができる。

人間社会の作る組織においても、命令や管理は具体的であるのが望ましく、いわばデジタル的に与えられ、それを実行する部署では責任の範囲が限定され、事務的、機械的であるが能率がよく、また誤りの発生、事故、故障の発見に役だつ、このような組織の極限は軍隊のそれである。同様のものは官公庁などの機構がそれである。役人は事務的で、官僚的で、縄張り意識が強くて不親切だという批判は、公務員が責任の範囲が限定され、仕事をデジタル的に処理することが義務づけられているところからきている（職務の分掌という）。

人間社会の組織の管理には、なるべくデジタル的な情報を媒体にするのがよいから、出勤、欠勤などのチェックにタイムレコーダを使うことや人間の作業を量的に計測することが必要になる。このことは、人の労働を機械の一部とみるような感を抱かせるから、その反撥として人的要素（Human Factor）が重要な課題として浮かび上がってくるわけである。人間の集団が組織化され、その活動が能率化されれば、その集団の構成員に没個性化が要求される。この場合の責任の所在というものは本来、その組織の中の限られた任務にあるわけであるから、その組織から離れてまで有効ではない。

官公庁や会社などの企業では組織が巨大になるとともに、責任の範囲が部署ごとに限定され、いわば、小回りのきかない官僚的機構に落ち入りやすい。しかし、逆説的にみれば、命令系統の要をうまく利用すれば、非常に能率的に話が進展することも多い。これは、組織の組み方にも関係があるので、その点を次節で述べてみる。

(3) 自己補償的システム

なにかの職務なり機能なりが与えられ、それを実行するように作られた組織があるとする。ある程度の誤差や損害の発生に許容限度を決めておいて、全面的にその組織に仕事を任せてしまおうとしよう。これは、責任の委譲であるが、任せられた方は、自分の権限で誤差や損害の

発生に対処する。このようなものを一般に自己補償的システムであるといい、システムとして最も基本的なものである。

非常に単純なシステムの例として、情報の中継媒体を考えてみる。いわばメッセンジャーである。これは、与えられた命令なり情報を、誤りなく次に伝えるだけのものである。この動作の確実さを確める方法は、受け取った情報と送り出した情報とを常に対比させることで行なわれる。

人間社会においては、電話の取り次ぎを例にすることができる。電話で応対するとき、いったんメモをとり、それを読み上げて相手の確認をとるのが親切で、確実で信頼があるとされる。この行動は、入力情報と伝える情報とを比較して、誤りをチェックしているが、この取り次ぎの人は、いみじくもシステム的にはフィードバックをかけていることになり、自己補償のシステムを構成している。

自己補償システムには必ずフィードバックの回路が含まれていて、入力情報と出力情報とを比較するように作られている。電気的には、これは閉じた回路を構成している。情報の行きっぱなしは、つまり開いた回路であって、結果がどうなったかの確認がとれない。

自動車や電車の運転士が、操作のさいに「信号よし」とか、「右よし」とかの呼唱をしながら行なう動作は、眼で見た情報を口に出すことで自分自身の動作にフィードバックをかけ、確認を行なう方法である。機械や設備の点検のさいに、検査項目をリストしたチェックリストをもとに、一項目ごとに確認していく方法は、システムの動作の確実さを検査する一般的な方法であるが、やはり一種のフィードバックである。

この節の初めに述べたように、システムを信頼するといっても、それは完全に手離した信頼ではなく、誤差や損害をいくらかは覚悟している点に注目しなければならぬ。もしわずかの不都合さも容認しないのであれば、職務を任せることをやめて、自分で実行するしかない。つまり、どのように信頼のおける自己補償形のシステムであっても、それがより大きいシステムの一部であるならば、万一の異常を発見できるチェックのシステムが必ず必要になる。これはもとのシステムとは完全に独立でなければならない。

会社や企業体においては会計の監査のシステムは外部機関であるし、国や公共企業体の検査機関は一種のチェックシステムである。これらは、なんらかの形で法的に権限が与えられていることが多い。生産会社内においても、自社内に検査部門をもつことも多いが、これはむしろ会社を1つのシステムとみて自己補償システム内のフィードバック部分と考えることができる。

会社や企業体の規模が大きくなってくると、先にも述

べたようにシステムのマンモス化に伴う非効率化や悪い意味での官僚的機構になりやすい。したがって、最小限のチェックシステムを温存しながら、独立可能な自己補償形のシステムを切り離していく傾向がある。資本的には結びついている関連会社や小会社の分離はその例であり、同一企業下における事業部制度もこの例にもれない。官公庁においても、年々増加する仕事量をさばき切れず、民間機関に下請けさせる事例が増加してきている。それと同時に、本来官公庁の使命であると考えられていたチェックシステムの弱体化が問題になってきている。

(4) 信頼性の評価

あるシステムに職務を委任させる場合、100%の信頼を置くことはまず考えられない。ある程度の誤差や損害の発生を覚悟しろ、というのは当然であるが、同時に、許容限度を越えた異常の検出や、そのときの対策も考慮にはいっていないければならない。その話にはいる前に、信頼性をどのように見積もっておくかを決めておかねばならない。

人と人との繋がりの場合、また、ある仕事を他人に任せる場合、会社や企業体が下請け企業に作業をしてもらう場合、なにかの装置を使う場合、そのいずれの場合においても、許容できる誤差や損害の範囲をあらかじめ設定する。これは一般に行なわれている仕様 (Specification) の確認や、契約条件の中に含まれていることが多い。

信頼がおける、ということの常識的な理解は、大部分が自己補償能力の程度を判断していることに注意する必要がある。量的な判断材料は、資本金の額とか、取り扱いの実績、事故歴の有無、などである。そして、これは多くの場合、前歴がものをいう。

工学的に考えた信頼性の評価の基準は、大別して2つの種類がある。1つは、同じ品物が多数作られるとして、どれもが同じ性質をもつことを期待するものである。品物の品額にムラがないことがよいわけであるから、この場合には正確性という方があっている。もう1つの種類は、品物に不良品が含まれる率が低い、もしくは不良になる確率が低いという意味での信頼性である。狭い意味での信頼性は、この後者を指している。

品物の正確性の場合には、ある許容の誤差範囲を考えて、限度を越えたものを不良と判断することが多いから、この場合の信頼性の尺度は主観に左右される。規格に外れる率が高いのは一種の事故であり、予定した規格に合うように制御することが信頼性の向上を意味する。

しかしながら、電球が断線するような不良は、製品の精度の不良というものとは異常の質が根本的に異なっている。構造物の場合においても、部材に多少の変形が起

きると、構造物の崩壊とではその受け取り方に大きな差がある。精度の不良が、致命的な事故と結びつくものであれば、正確性は事故率と一意に対応し、信頼性がその事故率の補数で定義される。たとえば、材料の強度は平均の強さを中心に上下に分布するが、ある余裕をもたせた使用限度よりも下回る強度の材料の割合は破壊事故の発生の確率に等しい。

しかしながら、信頼性の評価はそれほど単純ではない。多くの場合、ある限度を定めた誤差や異常を許容しているから、その基準よりも下回る場合に信頼性が低いと判断することが多く、その基準よりも大幅に良好であるのは、今度はなにか不経済な使用をしているのではないかと考えるのである。つまり、信頼性の評価は主観がはいる、常に相対的に判断されている、比較の対象として最も一般的なものは経済的な尺度である。

(5) 異常の検出

ある全体の中の1つのシステムが信頼がおけるといっても、たびたび説明したように100%の信頼をおいているわけではない。もし、そのシステムが異常になった場合、その異常が検出できなければ、それが組み込まれた全体の機能になんらかの異常を引き起こす。したがって、異常が発生した場合、なにかの手段でその異常を検出させる必要がある。この手段にはいくつか考えられるが、基本的なものは次の2つである。

第1の方法は、異常であることを別のシステムを介して管理の機構に知らせる。第2の方法は、異常である、そのシステムの機能を停止させる。前者の処理の場合、異常であってもシステムの動作は続くことが多い。したがって、異常の検出が正しく行なわれ、適切な処置が行なわれなければ、全体のシステムの異常に進展する。ということは、異常を検出するもの自体が1つの独立した信頼のおけるシステムでなければならない。

第2の方法では、システムの異常を他に知らせるものをもっていない。異常は、そのシステムの動作が停止していることによって生じた全体の異常で判断するわけである。この場合も、異常の処理はシステム全体で考えることを意味している。

構成要素が異常になった場合、そのシステムが暴走して、より危険な事故を誘うようになっては困る。異常になった場合、危険側になるのではなく、安全側に動作するように計画することも一種の自己補償の主要な能力である。

話が抽象的であるので、2, 3の具体的な例をあげて説明を補うことにしよう。まず設計計算のような一連の計算が実行されることを例としよう。計算の途中で、なにかのミスがあって、計算結果が狂ってしまうとする。狂ったまま、最後まで進んでしまうのは、異常の検出が

正しく行なわれなかったことによっている。計算の誤りを検査する手法にはいくつかの方法があるが、経験の深い技術者が、適当なポイントをチェックするような方式が普通である。この検査が可能であるためには、計算の流れ（システムとしての情報の流れ）をいくつかのブロックに分け（細分化されたシステム構成）あらかじめチェックするポイントを決めておかねばならない。

この処理を怠ると、最終結果だけで信頼性を評価することになるから、非常に不安であり、似たような同種のものと比較するぐらいしか評価の手段は残されない。特に、最近では電子計算機が普及してきたこともあって、途中の過程がまったくわからず、かえって結果に対する不信心も強まってきている。

さて、システムが異常になった場合、それを検出するシステムの一例は火災の自動報知機がある。これは、万一のときに確実に動作することを期待させるものであるから、このシステム自体が信頼のおけるものでなければ役に立たない。しかし、新潟地震のさいに問題になったように、異常のときに、検出のシステムまで破壊されることも起こり得る。警告灯やブザーで単に知らせるだけのものは、それを受け取る人間が不在では役に立たない。

異常の場合に機能を停止し、より大きい異常を防ぐための FAIL SAFE の例は電気のヒューズやブレーカーである。システムが停止することはいくらかの損害になるが、より大きい損害を防ぐための検出と処理に使用される。

最近、地震の予知ということが真剣に研究されている。地震は災害の規模が非常に大きい、もし10秒でも早く予知できれば、大災害の源となるようなプラントや原子力発電所などでは応急の対策を可能にできる。直下形の地震では手の施しようがないが、震源からの距離があれば、役立つ場合もある。この場合、地震を検出する、ということ自体にも多くの問題があるが、その情報を送る通信方式や、それを受けて適切な処理を行なうシステム全体が高度の信頼性が要求される。

これに対して、津波の警報は時間的にまだ余裕があるし、ダムの放水による下流の増水はある程度的人為的なものであるが、いずれにしても、異常の警告を正しく受け止めるシステムが存在しなければならない。

一方、構造物のような静的なものは、部材という構成要素を組み上げたものであり、やはり力の流れを考えれば、システムと考えることができる。ただし、このシステムは非常に複雑であるから単純に割り切ることができないが、少なくとも一部の部材の極端な変形や破損が異常の情報であることに変わりはない。異常の検出は構造物の維持管理のシステムによるべきであるといえる。ただし、構造物の点検には、機械設備の点検のような標準

化がむずかしいという面があり、維持管理面のシステム化や制度化を困難なものとしている。

(6) 並列システム

部屋の照明をするのに、電球1個だけの照明である、球が断線したらたちまち困る。念のため2つの照明をすれば、2つとも断線することはまずない。3つ以上であれば、もっと安心できる。同じ機能のものを2つ以上同列に並べて使用することを並列システムというが、これは安全を確保するのに最も基本的な処置である。この方法はあらゆる方面に応用されているので、取り立てて問題にはしないが、信頼性工学の中で数量的にその信頼性が与えられ、この応用がアポロの月面探査の計画に応用されたということで一躍有名になった。

一方、クリスマスのイルミネーション電球のように、1列につながったものは直列システムといわれる。どれか1個でも破損すれば、つかなくなる。直列システムは、どうしても故障や事故の確率は大きくなる。さらに悪いことには、個々の部品の信頼性よりも、全体の信頼性が下がるという不都合なことになる。つまり、個々のシステムが良質であっても、組み立て方が不都合だと、よくも悪くもなるのである。

並列、直列の構成は、電子機械や機械設備だけに限らず、人間社会の構成にも常に現われる。会社や官庁の人事の組織のように、部長、課長、掛長、掛員のよう縦に繋がった組織は、いわば直列システムであり、1つの部にそれぞれ複数の下部組織が存在すれば並列システムである。直列システムでは、どこかのポストに問題児を抱えると機能障害を起こすし、役職の更迭はシステムそのものが変動する。

直列システムは、能率がよい面はあるが、弾力性に欠けるから、同等の作業のできる複数の並列システムを構成させることがある。つまり作業の分担であるが、能率は落ちる面もあるが、確実性が保証される。研究という創造的な作業においても同様なことが起こる。それは、非常に優秀な研究者が1人であるのと、多くの研究者の協同で行なうのとでは、長い眼で見れば後者の研究が結果的に成功する。

並列システムと似ているものに正副システムの構成がある。正のシステムが異常のときに副システムが動作を開始するものである。正のシステムが正常のとき、副システムが待期の体勢にある場合と、別の作業に従事するのがある。停電のときの懐中電灯やローソクは、いわば副システムである。

並列システムの考えは、なにも設備や機器に限らない。研究者が理論的な研究をするさい、参考とする引用は、いわば比較のための並列で信頼を高めているし、手法の異なる方法で比較するのも並列の考え方である。実験

や測定においても、複数個の測定点の選定が普通であり、また、構造物においても、応力の測定と同時にたわみを計測することが並列の考え方になる。

旅客を輸送する商業航空においては、洋上を航行する航空機には、エンジン3基以上の航空機でなければ許可されていない。理由や根拠はつまびらかではない。

さて、構造物の安全という立場から考えるとき、静定構造物は原則として部材の直列システムで構成されている。つまり、静定トラスを考えてみれば、どの部材が破壊されても、原理的にトラスは崩壊する。しかしながら、不静定構造物では、不静定次数に相当する数の部材を除去しても、原理的には不安定ではない。これが不静定構造物のもつ潜在的な安全性である。一方、積極的に不静定化、並列システム化を採用している構造物の例としては戦時使用の応急橋（ベイリー橋）や、耐爆性能の向上を意識した橋りょうである。

耐爆橋りょうの立場から眺めて傑作と考えられるものの例として、第2次世界大戦後、すぐに架けられたライン河のデュッセルドルフ・ノイス橋 (Dusserdorf-Neuß)

をあげる。この橋は、鋼床版連続箱げたという斬新な設計であったため、世界の橋りょう技術を驚倒させたが、耐爆橋りょうとして実にうまく設計されている。つまり、連続橋（不静定構造）であること、見かけは1つの橋であるが、2つの橋としても実用になること、鋼床版は爆撃による破壊の補修が容易なこと、などが挙げられる。

もっとも、耐爆性についての指摘は筆者の想像であるが、構造物の安全性の向上についての考え方には共通するものがあると考えられる。設計方法の進歩によって、計算上は合理的な構造物が計画されるけれども、橋の主げたの本数が2本がよいか、4本がよいか、のような判断については、数量的に割り切れないものである。

安全設計という面から考えるとき、品質の高級な材料を使って経済的にシステムを組み立てるよりも、個々の品質は劣っても、ゆとりのある、システムの組み立て方によるほうがはるかに安全で信頼のおける設計になる場合がある。そして、ゆとりというのが、言葉を変えた並列システムとも考えられるのである。