

『倒壊、墜落』における現場労働安全管理のあり方について

—失敗知識データベースから共分散構造モデルへの探索—

What Safety Control should be Done in the Scene to Prevent “Fall”?

—Investigation of Structural Equation Modeling from Failure Knowledge Database—

野口 博司*

Hiroshi Noguchi

企業の労働安全の事故は多くなってきている。今回、2007年に生じた「神戸川崎造船のクレーン倒壊」などの『倒壊、墜落』という現象を取り上げて、JST 失敗知識データベースの『倒壊、墜落』という現象の 63 件の事故事例データから、特異値分解を用いて、その共通する重大事故発生時の仮想構造モデルを探った。そのモデルによるメカニズムから日常のヒヤッとした、潰さなければならない労働災害の重要要因は何かを提言する。

キーワード：労働安全管理、倒壊・墜落、失敗知識データベース、特異値分解、共分散構造

I. 緒言

近年、自動車の欠陥や食品の農薬使用などによる品質事故が問題になっているが、「那覇空港の中華航空機の爆発炎上」や「神戸川崎造船のクレーン倒壊」のような労働安全の事故も多い。これは、労働者自身の安全意識の高さによる暗黙知に頼っていた労働安全管理のやり方が、今や崩壊してきていることを示している。

アメリカの損害保険会社にて技術調査部の副部長をしていた H.W.ハインリッヒが、同一人物が起こした同一種類の労働災害の約 5000 件におよぶ事例を統計学的に分析して、『1:29:300』の法則があることを 1929 年に論文にして発表した¹⁾。即ち、「重大災害」が 1 件発生する背後には、29 件の「軽傷」の災害が起こっており、さらに 300 件もの「ヒヤリ・ハット」した傷害のない災害があるとするものである。いわゆる『ハインリッヒの法則』といわれるものである。この法則は、いつ起こるか分からない「重大災害」を未然に防ぐには、「ヒヤリ・ハット」とした段階で地道な対策を考え実施することが大切であることを示唆している。過去は、この「ヒヤリ・ハット」としたことをベースに、もともと労働者の質の高さや労働者に対する教育強化などで、重大災害にまで至らない「軽傷」段階までで抑えられていたことが多かったが、リストラや団塊世代の退

*流通科学大学商学部、〒651-2188 神戸市西区学園西町 3-1

職などによる技術伝承の不足や教育不足により、重大な労働安全の事故は増えてきている。これからは、この暗黙知の部分を極力形式化し、「ヒヤリ・ハット」から重大災害に至る件数を削減しなければならない。

そこで、過去の失敗事例から分析し、人が失敗に至ったメカニズムについてのパターンを抽出し、そのメカニズムにおける重大なプロセス要因を明らかにし、失敗を防ぐための労働安全管理の方法や仕組みについて提言したい。まず、JST 失敗知識データベースには、安全に対する事故事例が数多く掲載されており、そのデータベースを活用する²⁾。事故の内容が多岐に亘っているので、2007年に生じた「那覇空港の中華航空機の爆発炎上」と「神戸川崎造船のクレーン倒壊」における『倒壊、墜落』という63件の事故事例データを用いることにした。そして、今回は、特異値分解を用いて、その共通する重大事故発生のメカニズムの概要構造モデルを探ることにした。次の報告では、共分散構造分析を用いて最適な事故発生メカニズムのモデルを示すことにする。

II. 本研究のデータについて

前述のように JST 失敗知識データベースから『倒壊、墜落』とい事故現象の事例を63件取り上げて本研究の元データとした。そこで JST 失敗知識データの内容の構成について説明する。

シナリオ

←戻る

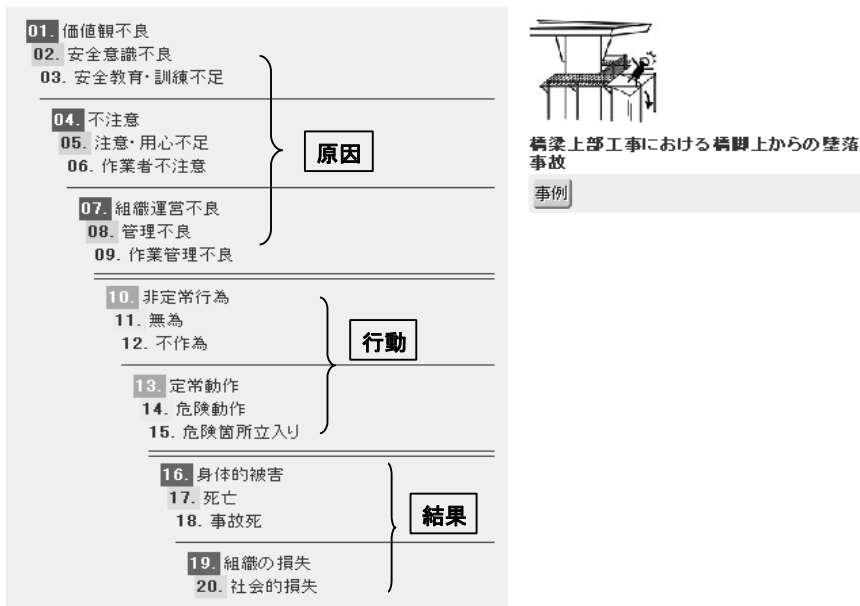


図1. 事故事例データNo.13の橋梁上部工事における橋脚上からの墜落事故におけるシナリオの例

表1. 原因と行動と結果の言葉の分類表

大分類	中分類	小分類	細分類	大分類	中分類	小分類	細分類
原因	個人に起因する原因	無知	知識不足	行動	物への行動	計画・設計	計画不良
			伝承無視				流用設計
		不注意	理解不足			製作	ハード製作
			注意・用心不足				ソフト製作
			疲労・体調不良			使用	運転・使用
		手順の不遵守	連絡不足		保守・修理		
			手順無視		輸送・貯蔵		
			状況に対する誤判断		廃棄		
		誤判断	狭い視野		定常操作	手順不遵守	
			誤った理解			誤操作	
	個人・組織のいずれの責任にもできない原因	調査・検討の不足	仮想演習不足	非常操作	操作変更		
			事前検討不足		緊急操作		
			環境調査不足	定常動作	不注意動作		
		環境変化への対応不良	危険動作				
		組織に起因する原因	企画不良	権利構築不良	非常動作	状況変化時動作	
				組織構成不良		体調不良時動作	
			戦略・企画不良	誤対応行為	連絡不備		
異文化	自己保身						
価値観不良	組織文化不良	安全意識不良	不良行為	倫理道德違反			
				運営の硬直化	規則違反		
				管理不良	変更		
組織運営不良	構成員不良	未知	非常行為	非常行為			
				未知の事象発生	無為		
誰の責任でもない原因	未知	異常事態発生					

大分類	中分類	小分類	細分類
結果	物への結果	機能不全	諸元未達
			ハード不良
			ソフト不良
		不良現象	機械現象
			熱流体现象
			化学現象
	破損	電気故障	
		劣化	
		減肉	
		変形	
	外部への影響を伴う結果	二次災害	破壊・損傷
			大規模破損
	人への結果	身体的被害	損壊
環境破壊			
精神的被害		人損	
		発病	
組織・社会への結果	組織の損失	負傷	
		死亡	
	社会の被害	精神的損傷	
経済的損失			
これから必ず起こる結果	未来への被害	社会的損失	
		社会機能不全	
		人の意識変化	
起こるかもしれない結果	起こり得る被害	未出来の結果	
		予想可能な結果	
		予想不可能な結果	
		ヒヤリハット	
		潜在危険	



図2. 2007年読売新聞から引用した神戸川崎造船のクレーン倒壊現場の写真

まず、失敗という現象が生じたわけであるが、それには幾つかの原因が考えられる。原因には直接結果に及ぼす原因もあれば、結果に直接及ぼさない潜在的な原因がある。いずれにしても、これらの原因から人間が何らかの行動をおこし、時間的経過を伴って、失敗・事故という現象が生じるわけである。JST 失敗知識データは、原因のみや行動のみだけは失敗には至らず、原因と行動の両方が伴ったときに失敗の結果に至ると考えて、各失敗事例をデータ化している。そして、この失敗が生じた原因・行動・結果のつながりを「脈絡」または「シナリオ」と呼び、図1のように図示している。図1は、著者が取り上げた事件事例データNo.13の橋梁上部工事における橋脚上からの墜落事故におけるシナリオの例である。

表1は、JST 失敗知識データにおいて原因と行動と結果で、どのような言葉を用いて分類し、各事故のシナリオを作成しているのかをまとめたものである。かなりの細部にわたった言葉の表現にて、原因や行動の内容を表している。事故発生メカニズムの構造モデルを表現するためには、事件事例のサンプル数よりも多い表1の細分類の言葉数、すなわちカテゴリー数79をすべて取り上げるのではなく、まずカテゴリー数を整理してモデル構築を考え易くする立場を取った。すなわち、表1の30の小分類を用いて集計し、『倒壊、墜落』の現象結果の原因メカニズムの概要を探索することにした。そこから事故発生のメカニズムのモデルを構築し、共分散構造分析^{3), 4)}によりその妥当性を検証することにした。今回は、事故発生メカニズムのモデルを探索して示し、共分散構造分析による検証は、次回の報告とする。

表2. 63件の事例が、小分類(カテゴリー)の言葉と、どの程度関係しているかを集計した解析用元データの一部

No	事例	F1無知	F2不注意	F3手順の不遵守	F4誤判断	F5調査・検討不	F6環境変化対応	F7企画不良	F8他
1	トッパライよりの転落	2	0	0	2	2	0	0	
2	建設現場安全帯不適墜落	2	0	0	0	0	0	0	
3	バックホウ用途外使用事故	0	2	0	0	0	0	0	
4	建設現場ヘルム在引揚時墜落	0	2	2	0	0	0	0	
5	ガラス倒れ下敷き	0	0	0	2	0	0	0	
6	フレキ不 작동ローダー下敷き	2	2	0	0	0	0	0	
7	調査不足作業で土留板扶	0	2	2	0	2	0	2	
8	仮置鋼矢板の荷崩れ	0	0	2	0	0	0	0	
9	踊場からの墜落	0	2	0	2	2	0	2	
10	空港前小型飛行機墜落	5	0	0	0	2	0	0	
11	作業連絡ミス墜落災害	0	0	0	0	0	0	0	
12	石育ホド作業玄関吹抜墜落	0	2	0	1	0	0	0	
13	橋脚上からの墜落	0	2	0	0	0	0	0	
14	飛散防止ネット転倒	0	0	2	0	0	0	0	
15	近道行為エレベータ屋根墜落	0	2	2	0	0	0	0	
16	階段足滑らせる	0	0	0	2	0	2	0	
17	落下石に当たりそう	0	0	2	0	2	0	0	
18	小梁用型枠材外れ荷落下	3	0	0	4	3	0	0	
19	パネルコート剥落	0	2	0	0	0	0	0	
20	足場転倒、転落	3	0	2	2	0	0	0	

Ⅲ. 解析結果

1. 小分類カテゴリにおける単純集計の結果

表3. 『倒壊、墜落』の63件の事故が関係した小分類における単純集計結果

小分類	合計	小分類	合計	小分類	合計
F1無知	58	D1定常操作	27	R1機能不全	5
F2不注意	47	D2非定常	20	R2不良現象	2
F3手順の不遵守	45	D3定常動作	81	R3破損	109
F4誤判断	33	D4非定常	8	R4二次災害	2
F5調査・検討不足	41	D5誤対応	6	R5身体的被害	121
F6環境変化対応不良	6	D6不良行為	48	R6精神的被害	5
F7企画不良	12	D7非定常行為	9	R7組織損失	31
F8価値観不良	104	D8計画設計	6	R8社会被害	10
F9組織運営不良	91	D9製作	8	R9未来被害	0
F10未知	3	D10使用	78	R10起こり得る被害	3

表3は『倒壊、墜落』の63件の事故が関係した小分類の該当言葉における集計結果の表である。現象結果としては、「身体的被害」とモノが壊れる「破損」が圧倒的に多いことがわかる。行動では、通常時の人自身の物理的動作をした時の「定常動作」であり、機械の運転や、何かを使ったときの「使用」状態で、規則の違反や、正しくない間違っただけの行為を行った「不良行為」が多いことがわかる。そして、原因は、価値観が周りとは違っていた「価値観不良」、本人のみが知らなかった「無知」、その背景にある組織自体がきちんと物事を進めるようになっていないために起こった「組織運営不良」、また失敗の予防策や解決法が広く知られているはずにもかかわらず、注意や用心の不足である「不注意」、決められている約束ごとや、広く知られている習慣や規則を守らなかった「手順の不遵守」、また誤った理解・間違っただけの認知・状況に対する「誤判断」と仮想演習の不足・事前検討の不足・周囲の状況調査不足の「調査・検討不足」などの原因にまで及んでいる。これら事故に至るまでのメカニズムの関係を著者なりに簡易なモデル図に示したのが図3である。

次に、これらの関係を数値的な裏づけで確認するために、カテゴリの該当頻度の計数値を程度の大きさを示す定量値と置き換えて、 n 事例(サンプル)数、 p 観測変数(カテゴリー数に相当)の $n \times p$ のデータ行列を X とおき、その構造を特異値分解にて探ることとした。

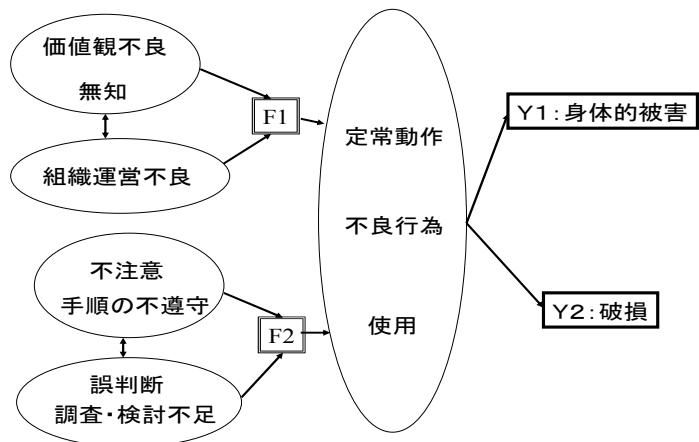


図3. 小分類の集計から読み取れる事故発生メカニズムの概要図

2. データ行列 \mathbf{X} の特異値分解による構造因子の考察

$$\text{データ行列 } \mathbf{X} \text{ は} \quad \mathbf{X} = \underset{n \times p}{U} \underset{n \times r}{D} \underset{r \times p}{Q}^T \quad (1)$$

と特異値分解できることが知られている⁵⁾。ここで D は \mathbf{X} がもつ行列の階数 r における特異値、

すなわち r 個の固有値 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_r > 0, (r \leq p)$ を対角要素にもつ対角行列である。いま構造因子を q 因子まで有効と仮定すると、(1)式は、次の(2)式のように近似して表せる。

$$\mathbf{X} \cong \underset{n \times p}{\mathbf{X}_{(q)}} = \underset{n \times q}{U_{(q)}} \underset{q \times q}{D_{\lambda(q)}} \underset{q \times p}{V_{(q)}}^T \quad (2)$$

但し、 $V_{(q)}$ は $V_{(q)} V_{(q)}^T = I_{(q)p}$ と基準化したウエイトである。この $V_{(q)}$ (2a)は、各 q 因子にお

ける観測変数とその因子間との余弦方向を示し、 q 因子の因子特徴を探る指標となる。また

$U_{(q)} D_{\lambda(q)}$ (2b)は、各 q 因子における事例(サンプル)のその因子得点となる。この分解を利用

してデータ行列がもつ構造因子を探ることにした。なお構造因子は、原因と行動と結果とを別々にして、探ることにした。

①原因の構造因子の探索

原因データ行列から(2a)式を用いて求めた各因子別の固有ベクトルの結果が表4の左側の表である。右側は D である固有値を示している。左側の結果から、因子1として、+側の固有ベク

トル(因子と元の原因変数との位置関係を示す方向余弦値)の高い原因変数を取り上げると、組織文化不良(自社都合のみで社会のルールをなおざりにした悪しき組織文化)、組織構成不良(組織の仕組みがずさん)、運営の硬直化(組織での責任と権限が不明確である問題)などの原因変数が高い、因子1の得点が高い事例は、安全に対する企業の組織・仕組みができていないことに関する原因で事故が発生している。即ち、因子1は安全に対する組織仕組みの因子軸となる。因子2は、伝承無視(先輩から引き継がれていることを本人が知らない)、知識不足(技術情報として確立しているにもかかわらず、本人が知らない)、理解不足(本人が本質を理解できていない)や成員不良(勉強する意欲がない)など原因変数の固有ベクトル値が高い。因子2の得点が高い事例は、本人の問題に起因する因子軸となる。因子3は、一側ほど、安全意識を欠き、手順を守らなかったことが起因する因子軸といえる。そこで、これら原因の因子と事故結果の大きさとの関係を見た。

表4. 原因データ行列における各構造因子別の固有ベクトル(左側)と固有値(右側)の表

変数名	因子1	因子2	因子3
f1知識不足	0.156	0.393	0.149
f2伝承無視	0.078	0.454	0.032
f3理解不足	0.233	0.330	-0.050
f4用心不足	-0.209	-0.038	-0.256
f6連絡不足	0.128	-0.166	0.200
f7手順無視	0.143	-0.019	-0.359
f9誤理解	0.282	0.060	0.148
f10誤認知	0.118	-0.015	0.367
f11誤判断	0.105	-0.045	0.244
f12演習不足	0.198	0.185	0.267
f13事前検不	0.110	-0.264	0.193
f14環調不足	0.155	-0.184	0.063
f15使環変化	-0.039	-0.116	0.026
f17権構不良	0.237	-0.205	-0.190
f18組織構不	0.370	-0.182	-0.112
f19企画不良	0.291	0.034	0.190
f20現教育不	0.129	0.213	-0.256
f22組織文不	0.414	-0.052	-0.036
f23安全識不	0.080	0.069	-0.335
f24運営硬直	0.339	-0.177	-0.107
f25管理不良	0.211	-0.234	-0.273
f26成員不良	0.146	0.359	-0.247

因子	固有値	寄与率	累積寄与率
1	4.322	0.196	0.196
2	2.915	0.133	0.329
3	2.361	0.107	0.436
4	1.833	0.083	0.520
5	1.548	0.070	0.590
6	1.284	0.058	0.648
7	1.033	0.047	0.695
8	0.958	0.044	0.739
9	0.822	0.037	0.776
10	0.774	0.035	0.811

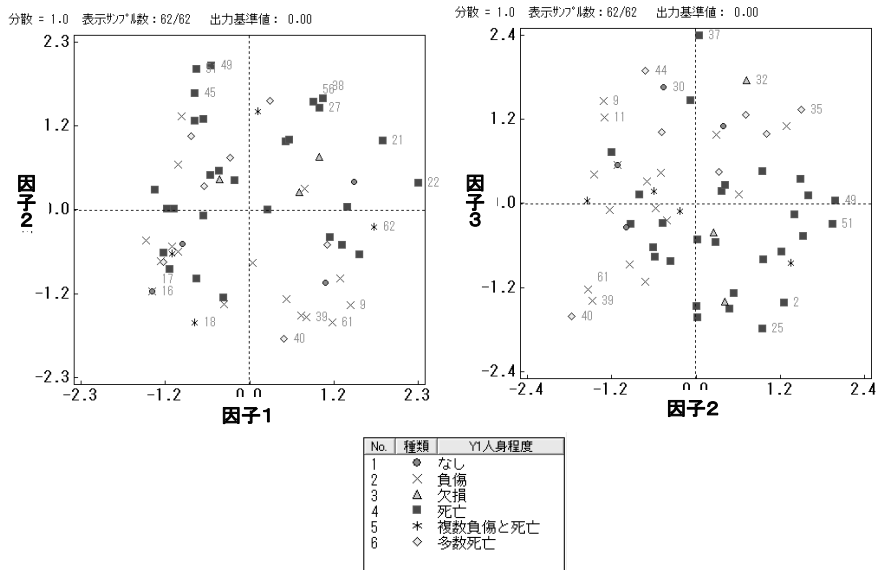


図4. 原因の因子1×因子2、因子2×因子3における、人身事故の程度の大きさとの関係を示す図

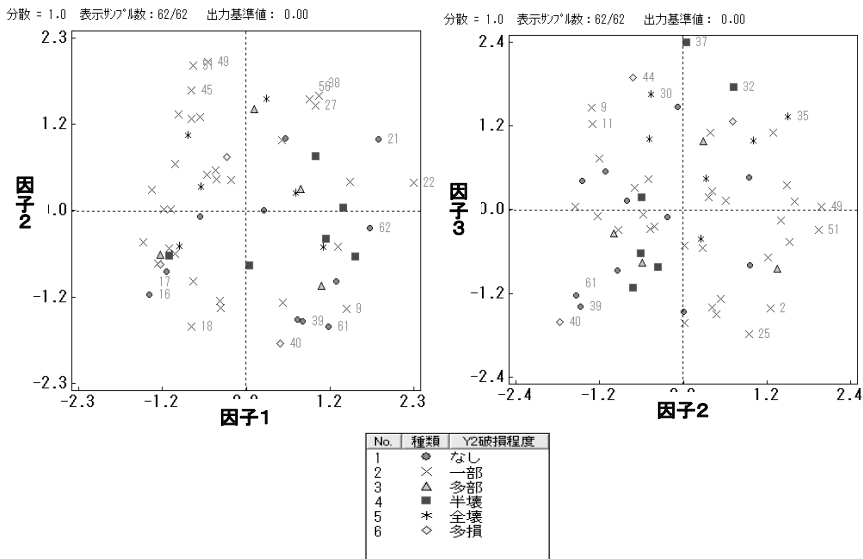


図5. 原因の因子1×因子2、因子2×因子3における、破損程度の大きさとの関係を示す図

図4と図5は、各失敗事例における(2b)式から求めた各因子得点を因子1×因子2、因子2×因子3において布置したものであり、図4は人身事故の大きさとの関係をみており、図5は破損程度との関係をみている。原因の因子1×因子2、因子2×因子3のいずれにおいても、各因子と人身事故の大きさや破損程度の大きさとの関係は見出せず、大きな事故も小さな事故も同じような原因によって引き起こされるといえる。

②行動の構造因子の探索

表5. 行動データ行列における各構造因子別の固有ベクトル(左側)と固有値(右側)の表

変数名	因子1	因子2	因子3
d1計画不良	0.244	0.332	-0.052
d3ハート不製	-0.020	-0.375	-0.006
d4ソフト不整	0.027	0.387	-0.185
d5無謀運転	0.401	0.017	-0.095
d6保修入	-0.241	-0.237	0.274
d9手順不遵	0.468	-0.210	0.161
d10誤操作	-0.090	-0.023	0.166
d12不注意動	-0.134	-0.229	0.294
d13危険動作	0.219	-0.229	-0.362
d14誤動作	0.300	0.014	-0.309
d15状態誤動	0.097	0.347	0.309
d17連絡不備	-0.067	0.383	0.152
d19倫道違反	0.248	-0.132	0.482
d20規範違反	0.467	-0.061	0.275
d22非定時為	0.173	0.197	0.187
d23無為	0.123	-0.256	-0.225

因子	固有値	寄与率	累積寄与率
1	2.460	0.154	0.154
2	1.849	0.116	0.269
3	1.599	0.100	0.369
4	1.540	0.096	0.466
5	1.302	0.081	0.547
6	1.173	0.073	0.620
7	1.036	0.065	0.685
8	0.863	0.054	0.739
9	0.750	0.047	0.786
10	0.703	0.044	0.830

同様に、行動データ行列からも構造因子を探ってみた。表5が、行動変数と各構造因子との関係を示した固有ベクトルと固有値の表である。表5より、行動の因子1は、手順不遵守(操作時に定められた手順や手続きを守らない)、規範違反(公的なルール、内規などの違反行為)、や無謀運転などの固有ベクトル値が高く、ルール違反の因子軸といえる。因子2は、+側が計画不良(計画を充分練らなかつた)、ソフト不整(状況変化の連絡不備や少し頭を使えばわかることをしていない)など頭を使うソフトの面が強く、-側は、ハード不整(機械自体が誤動作)が高く、ソフト・ハードの因子軸といえる。因子3は+側は倫理違反(近年社会的関心を引いているコンプライアンス・法的遵守の考えと正反対の行為)、不注意(周辺の状況を考えずに、何となく行う動作)が高く、-側は危険動作(十分に安全を確認しないで行う動作)、誤動作(定常状態において思い違い、誤認識などからの間違った動作)の固有ベクトル値が高く、知っていて違反したものと知らずに違反した行為の因子軸といえる。また、これら行動の因子と事故の結果の大きさとの関係を見た。図6と図7は、各事故例における(2b)式から求めた各因子得点を因子1×因子2、因子2×因子3において布置したものであり、図6は人身事故の大きさとの関係を示しており、図7は破損程度との関係を示している。行動の因子1×因子2と因子2×因子3においても、人身事故の大きさとの関係は見出せず、大きな人身事故も小さな人身事故も同じような行動によって引き起こされるといえる。破損程度の大きさについては、行動の因子2×因子3においては、因子2が一侧のハードの不整、因子3で-側の知らずに違反した場合には、破損の程度は少ないといえる。即ち、機械が誤動作をして、それに伴って危険動作や誤動作をした場合には、物損は少ない。しかし、死亡につながることはある。

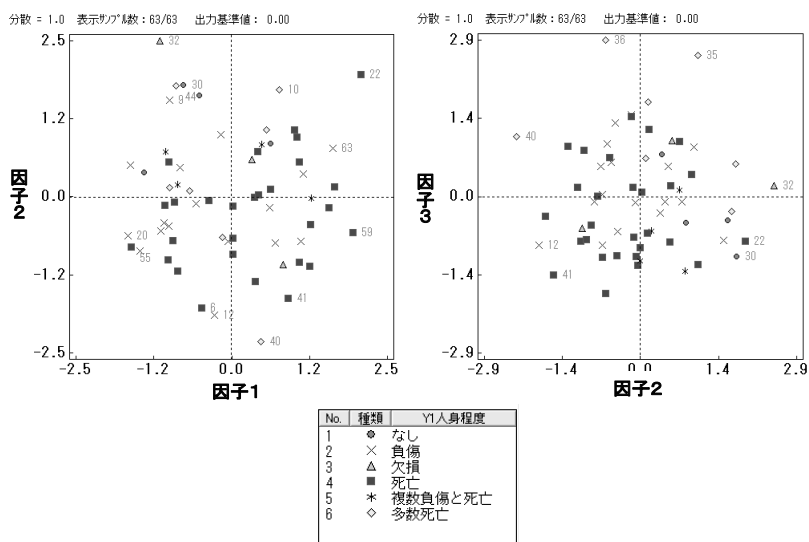


図6. 行動の因子1×因子2、因子2×因子3における、人身事故の程度の大きさとの関係を示す図

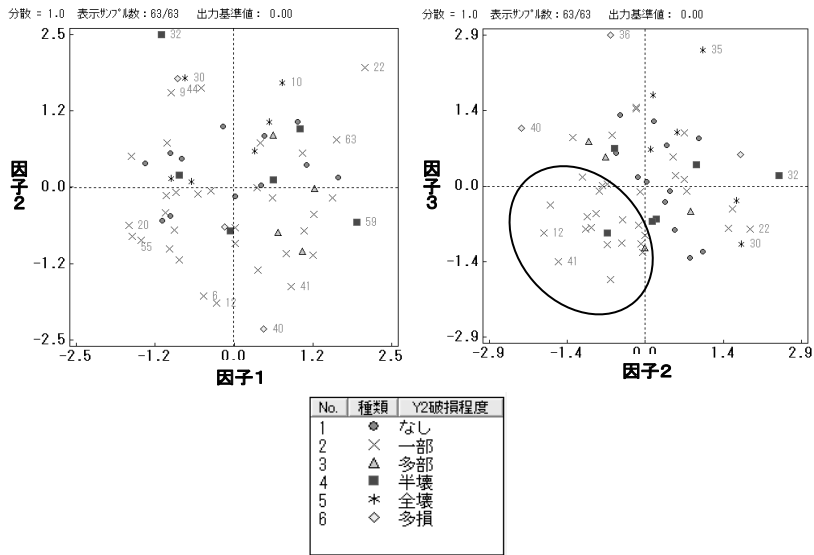


図7. 行動の因子1×因子2、因子2×因子3における、破損程度の大きさとの関係を示す図

③結果の構造の探索

表6. 結果データ行列における各構造因子別の固有ベクトル(左側)と固有値(右側)の表

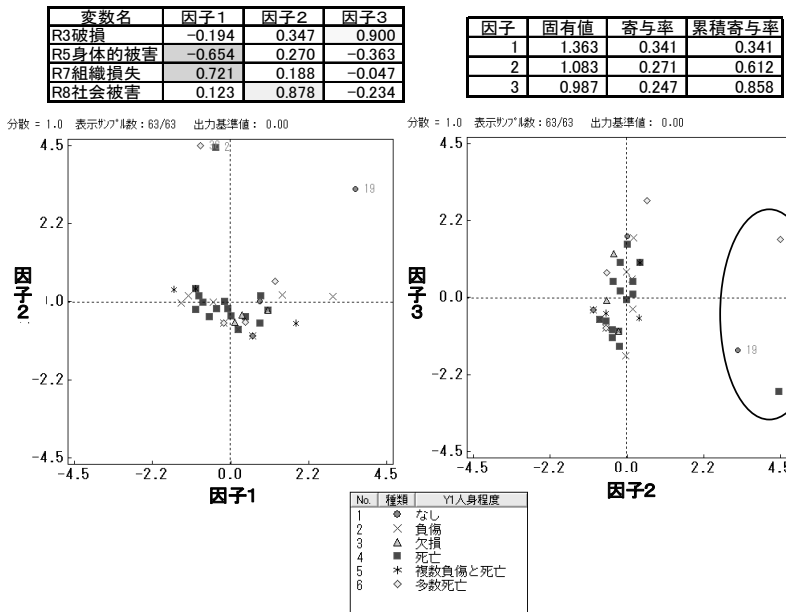


図8. 結果の因子1×因子2、因子2×因子3における、人身事故の程度の大きさとの関係を示す図

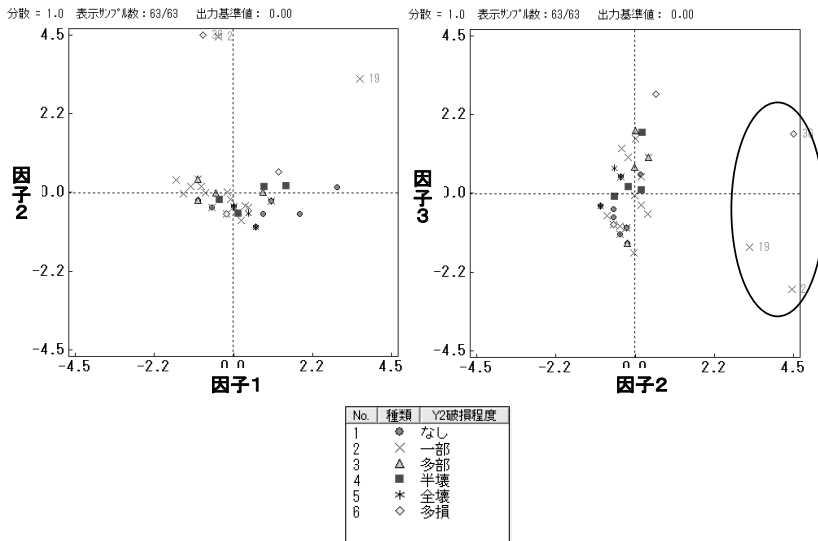


図9. 結果の因子1×因子2、因子2×因子3における、破損程度の大きさとの関係を示す図

表6より、結果については、まず人身事故と組織損失があり、次に社会に与えた影響の大きさがあり、3番目に破損の程度となることがわかる。図8と図9は、各事事故例における(2b)式から求めた各因子得点を結果の因子1×因子2、因子2×因子3において布置したものであり、図8は人身事故の大きさとの関係のみをみており、図9は破損程度との関係のみをみている。因子2において+側にある3つの事故は、2. 公共施設の建築現場での安全帯不適事故で一般庶民が巻き添えをくい死亡した事故、19. 鉄道のトンネルでのコンクリート剥離事故で死亡事故にはならなかったが列車不通になり社会生活へ影響を与えた事故、36. 御巢鷹山のジャンボ機墜落という事故の大きさだけでなく社会的不安を与えた事故であり、いずれも社会へ与えた影響が大きいものが因子2の+側に突出している。社会への影響の与え方は、この3つの事事故例だけでも、事情が相当に異なっている。今後事故発生メカニズムを探索するに当たり、この社会への影響をとりあげれば、それぞれの原因や行動との関係を体系的に捉えるには難しいと思われるので、事故メカニズムの構造モデルの探索は、人身事故の大きささと破損程度の大きさの2つとした。

特異値分解により、原因の因子や行動の因子、結果の捉え方がほぼ探索できたので、今後仮定する事故メカニズムの構造モデルを、特異値分解の結果を活かして図10のように仮定した。今後は、このモデルを分散共分散構造分析にて検証する。

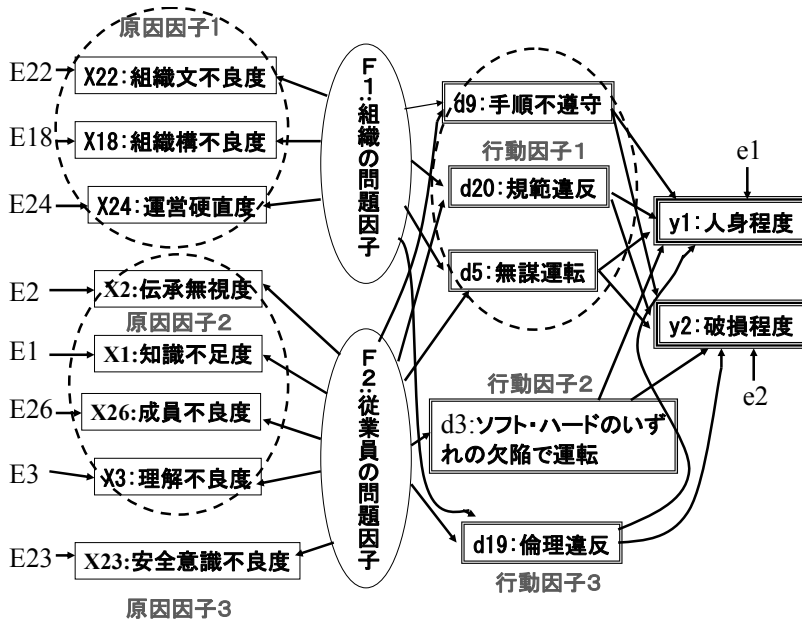


図 10. 特異値分解からの『倒壊・墜落』の事故メカニズムの構造モデル仮定図

IV. まとめ

現場労働安全管理のあり方を探るために『倒壊・墜落』における失敗知識データベースからデータを収集して統計的解析からその発生メカニズムを探ることを進めた。失敗知識データベースは、失敗が生じた原因・行動・結果のつながりを「シナリオ」と呼び、1つのストーリーに仕上げながら各場面でどのようなことに遭遇したか、あらかじめ用意されたカテゴリーにより、その該当有無から該当したのを1、該当しないのを0とおけるようなデータ配列になっている。我々は、この1、0の計数データを利用して事故内容別のパターン化を試みた。まず、単純集計データから全貌を探り、その後に、原因、行動、結果別に内在するデータの構造について、特異値分解を利用して探索した。その結果、それぞれの内在する構造をほぼ捉えることができた。そして、その構造は事故結果である人身事故の大きさや破損程度の大きさとは直接関係しないことも判った。以上より、『倒壊・墜落』の事故発生メカニズムの構造を図10のように想定することができた。

狩野によると共分散構造分析を行う前に、想定するモデルについて十分な探索を行っていないとモデルと実データとの間で有意差のない結果を導くことができないと述べている⁶⁾。また、Churchillもモデル想定のみにより構造が存在していたのに、それが発見できなかったとしている⁷⁾。そのような意味においても今回特異値分解により想定モデルを探索して図10に表現できたことは、共分散構造分析による検証を次に行うのに十分な準備となった。

今後は、現存のデータをさらに定量化する工夫を行い、想定モデルの微調整を進めて、事故発

生モデルの検証を進める。次回の本論集においては、「共分散構造分析を用いた事故発生メカニズムのモデル」と題して検証を終えた結果を報告したい。

V. 今後の分析法について

探索した事故発生メカニズムの構造式について、定量的な関係方程式を用い、今後、この構造モデルを検証する方法について、その考え方を示しておく。

Ⅲの2から求めた構造因子をインターフェース因子として、観測変数 \mathbf{x} の Input と、生じた事故結果 \mathbf{y} の Output とを結ぶ潜在変数 \mathbf{f} をおく、今ここに、事故発生メカニズムの構造モデルとして次のような式を想定する。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{ff} & \mathbf{A}_{fx} \\ \mathbf{A}_{xf} & \mathbf{A}_{xx} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{潜在変数にまつわる外生因子} \\ \text{観測変数にまつわる外生因子} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで \mathbf{A} の行列はパラメータ行列である。ここで $\mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{f} & \mathbf{x} \end{bmatrix}^T$ とおくと、(3)式は数式モデル式の(4)式になる。

$$\mathbf{w} = \mathbf{A}\mathbf{w} + \mathbf{u} \quad (4)$$

想定した構造モデルには観測変数や潜在変数を含んでおり、このすべてのデータ行列 \mathbf{X} に、この(4)式ができるだけ近づくようなパラメータを考えていくことが次回の課題となる。このようなパラメータを用いて想定した構造モデルの統計的検証をしていくには分散共分散構造分析法が適切である。以下に分散共分散構造分析の基本を簡単な式を用いて判りやすく示す。(4)式より

$\mathbf{w} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{u}$ となるので、数式モデルの分散共分散を求めると(5)式になる。

$$\Sigma = \frac{1}{n} \mathbf{w}\mathbf{w}^T = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{u}\mathbf{u}^T [(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}]^T / n \quad (5)$$

外生変数の分散共分散行列を $\Sigma_{\mathbf{u}} = \frac{1}{n} \mathbf{u}\mathbf{u}^T$ とすると(5)式は(6)式になる。

$$\Sigma = E[\mathbf{w}\mathbf{w}^T] = E\left[\begin{pmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{x} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{f}^T & \mathbf{x}^T \end{pmatrix}\right] = E\begin{bmatrix} \mathbf{ff}^T & \mathbf{fx}^T \\ \mathbf{xf}^T & \mathbf{xx}^T \end{bmatrix} = E\begin{bmatrix} \Sigma_{ff} & \Sigma_{fx} \\ \Sigma_{xf} & \Sigma_{xx} \end{bmatrix} \quad (6)$$

すなわち、データ行列 \mathbf{X} の分散共分散行列 \mathbf{S} が(7)式のように、できるだけ Σ_{xx} に近づくようにパラメータの推定や潜在因子 \mathbf{f} 内の因子の取捨選択を考えていくことになる。

$$\Sigma_{xx} \Leftrightarrow \mathbf{S} = \frac{1}{n} \mathbf{X}\mathbf{X}^T \quad (7)$$

次の報告の機会には「分散共分散構造式による検証結果」を示す。

今後の社会科学の問題において、固有技術におけるモデルが想定しにくく、また原因系の観測データから直接結果との関係が導けない場合には、今回用いたような因果関係を総括的に探索していく特異値分解が有効であり、その探索結果から分散共分散構造モデルでの検証作業へ入ることが有効といえる⁸⁾。

引用文献

- 1) ハインリッヒ研究会編訳：『ハインリッヒの事故防止』（ハインリッヒ研究会，1956）。
- 2) <http://shippai.jst.go.jp>，『失敗知識データベース』（2007年バージョン）。
- 3) 豊田秀樹：「共分散構造分析〔入門編〕－構造方程式モデリング－」，朝倉書店，(1998)。
- 4) 豊田秀樹：「共分散構造分析〔応用編〕－構造方程式モデリング－」，朝倉書店，(2000)。
- 5) 磯貝恭史，野口博司：「特異値分解とその応用」，『大阪大学教養部研究集録(人文・社会科学)』，Vol. 40，No. 3(1992)，pp. 63-101。
- 6) 狩野裕：「共分散構造分析」，『東京大学経済学研究科セミナー資料』，(1999)。
- 7) Churchill Jr., Gilbert A, and Surprenant, C.: "An Investigation into the determinants of customer satisfaction", *Journal of Marketing Research*, Nov., Vol. 19, (1982) pp. 491-504.
- 8) 朝野，鈴木，小島：「入門 共分散構造分析の実際」，講談社サイエンスティフィク，(2005)。