

ライフサイクルエンジニアリング（略称：LCE）

研究代表者：小澤 守
研究担当者：斎藤 了文・宅間 正則・三上 市蔵・室山 勝彦
和田 安彦・堂垣 正博・八尾 眞太郎

ライフサイクルエンジニアリングのめざすもの

小澤 守*

1. はじめに

昨年刊行されたプロジェクト研究報告概要集においてはライフサイクルエンジニアリング研究グループの目的や全体像についてごく簡単に説明した。今回は本研究グループの最終年度に当たることから、これまで当該グループにおいて行われた研究成果について全体を取りまとめて説明するのが本筋であり、また機関誌編集委員会からの要請でもあったが、今回もあえてリスク関連問題に焦点を絞って、著者の思い入れを中心として記述することをお許し願いたい。またその方が研究グループの個々の研究内容を羅列的に記述するよりかえって筋の通ったものになり、グループが全体としてめざしたものがわかりやすくなるのではないかと考えたからである。

2. 事故・災害規模の確率分布則とリスクマネジメント

さて、事故・災害は多くの場合、発生確率で表現されるが、例えば10⁻⁶といった数字よりもより比喩的に「道を歩いていて隕石があたる程度に低い」などと表現したほうが、一般には感覚的にわかりやすい場合がある。しかし気をつけたいといけなははこの確率の前に、その内容に関する条件がついているのであって、これこれの程度の災害の発生確率は如何ほどであるか、というように、災害の内容についての情報を抜きにして数値を捕らえることはかえって危険である。言い換えれば災害の規模と

その発生確率は同時にあわせて考えるべき重要なパラメータとなる。これを災害規模の確率分布と呼んでいる[石谷・小澤、1983]。

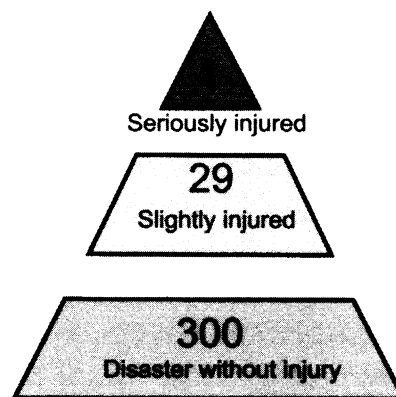


図1 ハイน์リッヒの法則

約70年前の1931年の刊行されたH.W.Heinrichの邦題「産業災害防止論」[Heinrich、1931]においてHeinrichは工場に於ける労働災害に関する綿密な調査に基づいて、図1に端的に示すようないわゆるハイน์リッヒの法則を提唱した。すなわち、同種の仕事における労働災害は、合計330件のうち、重い災害1、軽い災害29、傷害のない災害300の比率となる。これは災害の規模特性に階層構造が存在することを示唆したものである[関根ら、1994]。ハイน์リッヒは同時に「300件の傷害のない災害はかろうじて傷害を発生しなかった事象と解すべきである。最多の傷害のない災害に災害防止の重要な手がかりがある」

* 工学部教授 王博（機械システム工学科）

とも述べている。

さて、災害、事故をその結果からみて平面的に表せば図1に示すようになるが、個々の事故、災害に着目してみると、図1の最下段から上段に向けて、即ち障害のない災害の状態から軽度の障害を伴う災害、重篤な障害を伴う災害へのいわば時間発展をたどる。しかも最終の重篤な障害にいたるシナリオは唯一のものではなく、多数のシナリオがあり、その時々々の環境、状況に応じてその多数のシナリオの中のひとつもしくは少数のシナリオが発現し、重篤な災害に至ると考えられる。したがって事故、災害を防止するには前記のように最下段の“300”をターゲットとしたアプローチのほかに個々の事象ならびに取り巻く環境の時間発展を予測し、事象の時間発展を阻害する方策も極めて重要なアプローチとなりうる。

さて羽原 [2002] は経営リスクに関連して、リスク要因即ちハザードを静態的ハザードと動態的ハザードに大別して論じている。静態的とは相互に関連するあるいは関連しないあらゆる要因でそれぞれ一つ一つとカウントできる、いわば要因空間とでも位置づけられるものであり、羽原の分類を踏襲すれば、人的要因と物的要因の2次元空間として記述できる。これに対しては場合によってはあい矛盾する方策もあるかもしれないが、一応対応が取れるものと解される。なかでももっとも面倒なのがヒューマンファクターではあるが、これもある一定の確率を与えれば評価できないわけではない。ハインリッヒの法則にみる前者の“300”をターゲットにしたアプローチはこれに当たるだろう。一方、動態的ハザードに分類されるものは後者の時間発展にかかわる問題である。事故が起こった際に従来の知見とは大きくかけ離れた事象が顕在化し、最終的に大事故に至るという例は多数ある。先ごろ釧路沖地震に際して原油タンクの全面火災が発生したが、その原因は長周期地震動（地下の岩盤がすり鉢状にくぼんだ部分に地震波が入射すると岩盤部分で反射が繰り返されかなり長周期の振動がゆっくりと現れる）によるスロッシングであるといわれている [NHK、2004]。これなどは物理現象としての時間発展問題の典型であろう。また昨年発生したSARS問題に関しての中国政府の対応などは時間発展を見誤った典型的な問題として例示できる。1918年に世界的に大流行した新型インフルエンザ（スペインかぜ）では世界中で4000万人の死者を出した。このときには世界中に蔓延するのに7-10ヶ月を要したが、現在では4日と試算されている [岡田、田代2003]。このように動態的な問題は多くの場合、大なり小なりの警鐘が出されていたとしてもリスクマネージャの認識不足から取り返しのつかないような状態にまで事象をあっというまに拡大させてしまう可能性がある。その意味で羽原の指摘する「予測が困難」というのは妥当

な表現であり、これを称して武田は「未知との遭遇」 [2003] と表現した。

3. リスクアセスメント

一般に事故、災害の原因（遠因も含めて）は多種多様であり、すべてにわたって対策を立てることはもとより不可能であるし、また危害要因を根本から排除してしまうことももとより不可能に近い。即ち事故、災害の当事者にとれば白か黒の2つしかないが、少し遠めに見て、全体を眺めたとき、要因の大部分がグレーゾーンに含まれる。そのグレーゾーンを可能な限り定量化し、危険度の高いものからプライオリティをつけて対策を立てようとするのがリスクマネジメントであり、そのためのアセスメントとしてリスクアセスメントが位置づけられている。またそのようなグレーゾーンの定量化した指標がリスクという概念でもある。そしてこのようなリスクを一貫した指標としてライフサイクル全体を通じて分析し、方策を決定し、レビューするなどの一連の総体を著者はリスクベース・ライフサイクルエンジニアリングと呼んでいる。

ところで、ではリスクをどのように定義し、同定するのか、定量化の普遍性をいかにして確保するのが、実は大きな問題である。かつて環境リスクに関連して中西 [1995] も述べているように、絶対的なリスク評価など存在せず、その時代ごと、地域ごと、環境ごとにアンサンブルの重み付けが変化しうる。では個々のアセスメントにおいて実施者が勝手気ままにアンサンブルをしいかというとは実はそうではない。アンサンブルのとり方には社会の合意が必要であり、逆の言い方をすれば、実は社会の合意形成そのものがより根源的な問題となっている。すなわち合意形成メカニズムあるいは合意形成のための社会制度設計が実はもっとも根幹の問題であるともいえる。このようなアセスメントを行った例として、供用段階にある一般道路を対象としてさまざまな環境負荷、例えば、エネルギー枯渇、地球温暖化、酸性雨、大気汚染、騒音、振動、保全作業などさまざまな要因を経済価値つまり金額として統合的に評価した詳細な検討が、当該研究グループの研究の一環として三上ら [2004] によって行われている。三上らの議論ではアセスメントエンドポイントを経済価値と置いたが、これを健康リスクと置き換えても同様なアセスメントが可能であるし、エンドポイントをCO₂とすることも可能である [松橋・石谷、2001]。いずれにしても個々のアンサンブルのとり方には任意性が残るのは当然であり、同時にアンサンブルの取り方に社会の合意が必要なのは論を待たないが、規制強化などの政策決定や経費の重点配分、研究開発の方向性の決定にはこのような手法が透明性や説明責任を確

保する上では極めて有効であろう。

4. 合意形成のメカニズム

社会の合意形成に関連した具体的な身近な問題として最近米国で発生したBSE問題について述べておこう。昨年12月に米国初のBSE感染牛が発見された。米国産牛肉は世界の輸出入の2割を占め、わが国もいち早く輸入禁止措置をとったが、米国は感染牛はカナダ産であり、わが国が主張しているような食肉牛の全頭検査は科学的でない、米国産の牛肉は安全であるとして、輸入禁止措置の早期解除を主張している。米国においては、いわゆるへたり牛(downer cow、自ら立て歩けない牛)の食用禁止、抽出検査結果判明前の販売禁止、家畜ID導入など安全対策、トレーサビリティ確保施策決定など対応策は講じられているかに見えるが、一方で米国では年間3500万頭の牛が食肉化され、そのうち25万頭にもおよぶがへたり牛が存在する。すでにわが国においても米国産牛に依存していた食品分野では影響が出始めているが、先のSARSや今注目が集まっている鳥インフルエンザのようにBSE牛の食品化が健康リスクにどのようにインパクトを与えるのか、現状では蓋然性はあっても科学的には検証されていない状況の中での合意形成は極めて難しい問題といえるだろう。わが国政府と米国の交渉の行く末に注目したいところである。かつての原発安全論争のように絶対安全、不安全といった白黒の議論ではどうてい合意形成が不可能なのは目に見えており、如何に透明性を確保し、一旦決定した方策を絶えずレビューし、方策決定にフィードバックするか、またそのような制度を如何に構築するかが問題である。わが国においてはそのような役割を担う中心が食品安全委員会であり、国際的にはCodex委員会である。食品文化、安全文化の違いを超えて、食品の安全システム構築はこれらに委員会に課せられた重要な課題である。

新山 [2004] は食品由来の健康リスクを制御するための社会制度として①リスクアナリシスの導入、②HACCP、ISO9000sの導入、③トレーサビリティシステムの導入、④表示制度の整備、⑤製品回収制度の整備、⑥コンプライアンスマネジメントシステムをあげている。これらは部分的であるにせよすでに自動車や航空機などでは導入されているもので、我々は一定のリスクを覚悟して、場合によっては損害保険制度を活用しながら利用しており、その意味で社会の合意形成にはある程度まで成功しているといえるが、上記の原子力分野や食品分野ではまだその限りではない。先のもんじゅ行政訴訟に対する名古屋高裁金沢支部の判決[2003]、O157食中毒事件をめぐっての厚生労働省のカイワレ原因説に対する大阪高裁の判決 [朝日新聞、2004] に端的に見るように、我々は「不完

全情報下での意思決定」[松本、1998]を迫られているのである。リスクの定量化、さらにはそれに続くリスクアセスメントなどは基本的には科学技術分野の課題とされるが、社会科学的手法なしには解決しそうにない。これら両分野を包含する形で、松本 [1998] は「科学技術社会学」の構築を試みている。今後の展開に期待したい。

5. リスクの構造

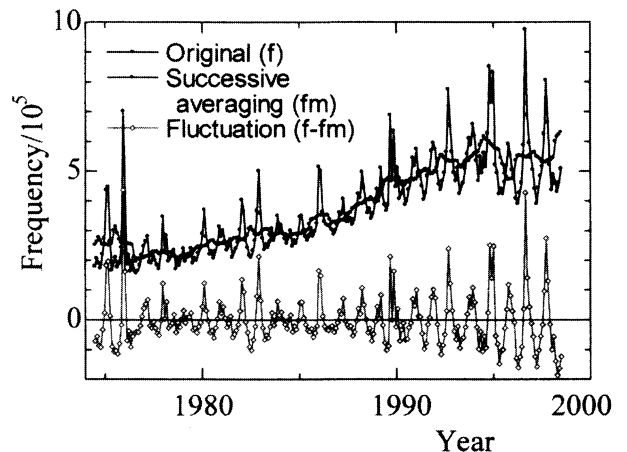


図2 人口10万人当たりインフルエンザ・肺炎による死者数の推移 ([岡田、田代、2003] に基づいて作成)

図2には1974年以降1998年ころまでの人口10万人当たりインフルエンザ・肺炎による死者数の推移を示している。これら感染症は毎年のように大流行を繰り返しつつ、全体的には増加の傾向を示している。データ処理にも依存するが、これをもう少し明確に表示するために、1年ごとの移動平均を求め、平均値からの偏差として変動分を表示したのも合わせて示している。流行の周期はほぼ1年で固定しているが、振幅はかなり大きく変化しており、このような変動がどのような構造を持つものか、興味深いところである。その議論は後述するとしてまずこのような災害がどのような確率分布に従うのかについて検討してみよう。

図3は地震による死者数、風水害による損壊家屋数、

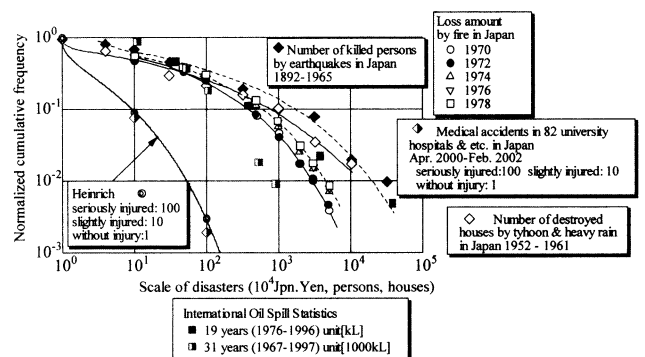


図3 災害規模の累積度数分布

火災による損害額などの日本における災害のデータの累積規模分布を示している。累積規模とはある特定の規模以上の災害が総計何件あったかを表すものである。ただしここではそれぞれの総計によって無次元化して示している。つまり死者数でいうと1人以上の災害は全てのデータを含むので、規模1に対して累積度数は1となる。いずれのデータも当然ながら右下がりとなり、大規模の災害ほど発生頻度はすくない。図中に引かれた曲線はおおよその傾向を表したものである。図中には油の海洋への流出についてのデータを、報告のあった7882件(1978-1996の19年間)に対してプロットした場合と1967-1997の30年間の石油流出事故のうち5000kL以上のもの(109件)についてのデータを比較してみると、両者で分布の形が異なっている。つまり基本的には同じような、今の場合、後者は前者の一部とも考えられるにも関わらず、集計のとり方によって異なった結果を示すことになる。災害も物理現象のひとつと考えればこれは当然の結果で、適切なスケリング則が必要である。

さて、ハインリッヒの法則においては労働災害の重症度を尺度に用い、重、軽、無といった抽象的な表現が与えられており、図3におけるような定量化表現ができない。そこで乱暴ではあるが、重症度を災害の規模に置き換え、重篤な傷害を100、軽微な傷害に対して10、傷害のない災害に対して1を与えることにする。我々の感覚がおおよそ対数的であることを踏まえている。そのようにして得られた累積度数分布が図3中に示されている。

最近の医療現場における事故に関する報道が多くなされている。最も先進的であると思われる大学病院も例外ではない。最近の統計によれば、全国82の特定機能病院で2000年4月から2002年2月までの間に、186,529件の傷害に至らなかった事故があり、何らかの傷害があった事故が15,003件、そして重大な事故が387件発生した[朝日新聞、2002]。医療事故についてハインリッヒの法則と同じように定量化表現してみた結果は図2中にプロットされているように、殆んどハインリッヒの法則に一致する。ハインリッヒの法則と同じような表現をすれば、重大な医療事故1件に対して軽微な事故39件、災害に至らなかった事故が480件となる。若干の差異はあるものの基本的にはハインリッヒの法則とほぼ一致する結果になっている。労働災害以外に対してもこの法則がほぼ貫徹するのは興味深い。ハインリッヒが対象とした労働災害は労働者自らあるいは周囲の何らかの不安全行動によりこうむる災害であるのに対して、医療事故のほとんど全ては災害をこうむるのは患者に限定され、原因の殆んどは医師や看護士側にある。このように内部要因は異なっても、災害の機構あるいはその結果発現する確率分布則は殆んど同じである。

さて著者らはすでに災害規模の累積確率分布がワイブル分布に従うことを報告している[石谷・小澤、1983]。ワイブル分布は

$$R(T) = \exp\{-(T - T_p)/T_0\}^m \quad (1)$$

ここで $R(T)$ は正規化された累積頻度を表し、 T は事象の規模、 T_p を位置パラメータ、 T_0 を尺度パラメータという。また m は形状パラメータである。なお T_0^m を位置パラメータという場合もあるが、ここでは規模を無次元表示する都合から式(1)のように定義している。図3に示したデータにさらにSIGMA [1970-1995]による爆発、地震を除く自然災害、伝染病(いずれも死者数基準)のデータも追加し、横軸の規模をワイブルプロットによって求めた位置パラメータ、尺度パラメータを用いて正規化した無次元の規模に対してプロットした結果を図4に示す。なおプロットに際して必要な各パラメータはワイブル確率紙を用いて容易に決定できる。ハインリッヒの法則および医療事故に対する形状パラメータは $m=0.38$ であり、地震は $m=0.28$ である。この m の値が小さいということは災害が大きく拡大しやすいことを意味している。SIGMAによるデータは図3に示したデータに比べて m の値が大きい傾向にあるが、これはデータの収録条件が異なるためであろう。若干の幅はあるが、図3で示した多くの場合がほぼ一本の曲線の周りに分布している。この点から、事故や災害の規模や実際の分布は事象ごとの特殊性を有するが、本質的には事故や災害はハインリッヒの法則と同質の構造を有することが確認された。

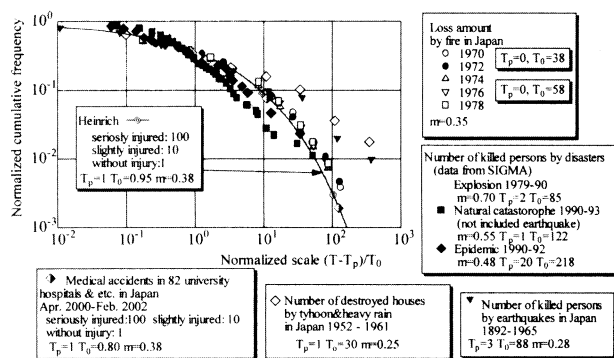


図4 災害規模の確率分布則

6. 支配パラメータ

次の問題は、上記のような分布形状を特徴付ける位置パラメータ、尺度パラメータ、形状パラメータがどのようにして決定されるのかである。これに応えるためには結局のところ、それぞれの事象について個々に検討するしか方法がない。表1にSIGMAに記載されたデータの一部を抜粋して示している。例えば火災の欄の左の数値は死者数で、規模を表す。右の数値は累積度数で、11人以上の死者を生じた災害が1979-1990の間に37件あったと読む。非常に少ないと奇異に思われるかも知れないが、

表1 災害規模の度数分布

火災 79-90	累積 度数	海難 79-90	累積 度数	航空 79-90	累積 度数	気象 90-92	累積 度数	伝染病 90-92	累積 度数
11	37	23	27	21	63	82	60	40	34
21	34	30	22	44	55	144	39	60	25
30	25	40	18	70	48	250	24	94	22
40	20	50	16	80	45	320	20	143	18
50	13	70	14	90	44	400	15	200	15
64	10	113	13	107	40	523	10	290	11
76	9	193	12	140	23	700	8	500	10
95	6	227	11	163	13	950	6	623	9
100	5	300	9	181	7	1000	5	800	6
121	4	400	5	257	5	1729	4	1075	5
170	3	500	3	301	2	6304	2	2829	2
200	1	1500	1	329	1	140000	1	7289	1

SIGMA Natural catastrophes and major loss in 1979-90 (Swiss Reinsurance Co., Zurich, Switzerland)

通常の火災で11人も死者が出ることは既にかなり大変な火災である。先ごろニューヨークで勃発したテロは別として、いわゆる火災ではこの表のように大きくても200人程度が限界となる。つまり影響を受ける人間の数にはある一定の限界があり、海難では旅客数を超えないし、航空機でもこれは同様である。このデータには1985年の日航ジャンボ機墜落による520名の死者数は含まれていないが、おおよそこの数が限界を与える。ところが気象災害になればいきなり14万人と急増する。我国でも1949年の洞爺丸台風(死不明者1761、船舶5581隻)があるし、1958年の伊勢湾台風(死不明者5698、船舶7576隻)などがその代表である。これと同じように容易に規模が拡大するものに伝染病がある。1990-1992年の3年間に40人以上の死者のでた伝染病が34件も発生し、最大で7200人を越す死者がでたことに驚きを覚えるかもしれない。しかし最近の我国の感染症の規模の大きさを考えてみるとぞろぞろしい気がする。先に述べたかつてのスペインかぜは例外的としても、岡山・大阪を中心としたO157食中毒(1996年)では患者数1万人、黄色ブドウ球菌毒素による食中毒者(2000年)では1.5万人[新山、2003]、また先ごろのSARSでは中国を中心として患者総数8440人、うち死者総数は812に達した。このように事象ごとに危害要因に対する暴露範囲が都市の構造や時代背景、対象とした事象そのもの、時間発展の構造などに依存して大きくことなる。規模パラメータはこのような暴露範囲を代表するパラメータである。

リスクマネジメントに際しては特に事象の時空間発展の様式や速度、境界条件などについて注意を払う必要がある。このような時空間発展の問題は工学・工業上の現象に限定すれば大きな仮定をおいたとしても、なんとかモデル化できたりまた計算できたりする。原子炉の安全解析コードなどがこれを代表するものである。しかしこれが社会システムとなると容易ではない。渋谷[2003]のように複雑系のシミュレーションに用いられるセルラーオートマトンなどの手法が有効かもしれない。このよ

うな時空間発展は関根 [2003] も指摘しているようにワイブル分布という形状パラメータに直接関係していると考えられる。はこの時間発展メカニズムに大きく依存していると思われる。なお残る位置パラメータは災害の最小規模、統計の取り方やデータの範囲に依存したものである。

7. 複雑系

事故や災害の規模にある一定の確率分布則があることは、個々の特殊性を抜きにして規模と頻度だけ取り出したときに認められる構造である。一方、個々の災害がどのような空間的拡大と時間発展をするかは、個々の災害事象の特殊性による。つまり災害にはこのような2面性があり、井出 [1999] は「従来から考えられてきた誤差の範囲からはるかに逸脱し、それゆえに無視されてきた大きな出来事は、実は思いのほかシステムティックに起こっている……もしかするとそれらを包含できるフレームワークがあるかもしれない」として、個々の災害の特殊性をも包含するものとして複雑系としてのアプローチの可能性を提案している。事故・災害をある種の非線形力学系とみなしたとき、どのような構造が見えてくるか、非常に興味深い。時空間発展を支配する方程式は非常に単純で、全て決定論的であるにも関わらず、その背後にストレンジアトラクターが存在するカオスのように、災害に至る分岐過程が明らかになれば、従来とは異なった危機管理のあり方が見えてくるかもしれない。ひとつの試みとして関根ら [1994] はハインリッヒの法則の本質はフラクタル事象で特徴的なスケーリング則にあると指摘し、フラクタル次元が安全性の指標として利用できることを明らかにした。この次元は各種の災害の安全性のアセスメントの指標として有望である。

しかし一方で、関根 [2003] 自らも述べているように事故災害の時空間発展そのものを対象とした検討も重要である。その好例として渋谷 [2003] は、ヒューマンエラーにより時空間発展して重篤な災害に至る場合を想定し、セルラーオートマトン法を用いてシミュレーションを行ない、ハインリッヒの法則と殆んど同じ存在確率に至ることを明らかにした。さらに災害の時空間発展には、ある一個人の挙動によってダイナミクスが決定される「局所性」と、その個人の周囲との相互作用により時空間発展する「非局所性」が想定されるが、これを周囲のセルとの相互作用とおき、時空間発展に及ぼす相互作用の効果についても調べた結果、事象の時空間発展抑止には周囲との相互作用が効果的であることを示した。渋谷が用いた時空間発展のルールは非常に単純で、特定の災害事象を想定したものではない。それにも関わらずハインリッヒの法則と同じ構造が複雑系としての扱いから得

られたことは、今後の研究のひとつの方向性を示したものと、注目に値する。

渋谷 [2003] のような複雑系のシミュレーション結果と、先に図2に示したような実際の時間変化挙動などの間に相似性が認められるならば我々はさらに有力なリスクアセスメントの手段を手に入れることになる。また時間発展の具体的なデータが存在すれば、本グループ研究の一環として行われた複合材料の疲労損傷挙動というそれこそ複雑な事象に対しての宅間 [2004] の研究のように、ウェーブレット変換を用いてフラクタル次元を求めることも可能となる。追加的に、先の図2のデータを用いて、その変動の極大値のリターンマップを2次元平面状の描いたものを図5に示しておく。ここでは極大値のうち全体の標準偏差よりも小さなものについてはノイズとして無視している。極大値のアトラクターは円軌道をベースとしながらもそれから大きく離れた軌道も存在する可能性を示しており、興味をそそられるが、現状のデータではこれ以上の分析はあまり意味がない。より長期にわたるデータがほしいところである。

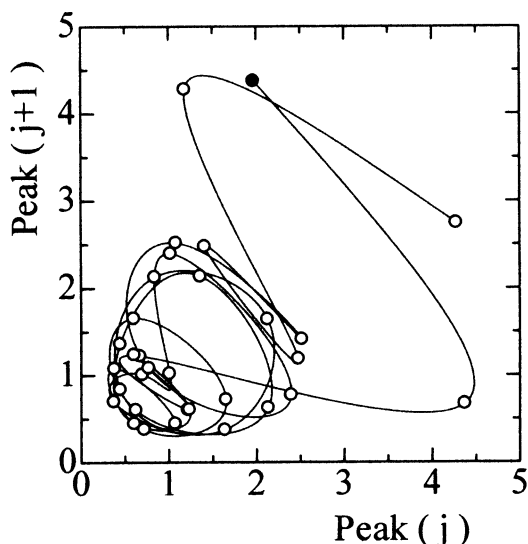


図5 インフルエンザ・肺炎の流行ピーク値のリターンマップ

8. おわりに

かつて戦後のわが国の船用タービン開発をリードし、相似設計法を構築した非凡な技術者、武田康生をして「われわれの設計した機械には、案外われわれがわかっていないところが多いのである」[石谷、1972]とさせている。それこそ蒸気原動機が初めて市場に登場した当時のニューコメンエンジンから格段に複雑化した最新鋭の発電所では、構成要素数において、また自由度において桁違いに大きい。このような系の挙動の全てを設計した本人といえども把握できないのは当然であろう。技術分野に所属するもののみならず等しくこのことを理解しておく必要がある。

ハインリッヒの法則に基づいたリスクマネジメントや時空間発展問題についてはすでに述べたとおりであるが、いまひとつ、最もシビアな事象である“1”を対象とした検討も必要である。航空機の専門家によれば、飛行機の墜落直後には半数の乗客乗員が生存しているという話もある[遠藤、1999]。問題はこの半数を如何に早く救出するかである。JALの御巣鷹山事故では4名が救出されている。この4名の救出が重要で、この数をいかにして大きな数字に持っていかかが問われている。このような対策、方策をクライシスマネジメントと呼び、上記のリスクマネジメントとは異なった方策が必要になる[小澤、2002、2003]。現時点ではその方法論を論じることは難しく、結局、個々の災害についていちいち調査し、事故の特性を学ぶ[赤川、1999、2001]以外に方法はない。まさしくLearning from Accidents [Kletz、2001]である。先ごろこれもNHKの報道番組で、WHOのSARS対策の活動の一端をみた。映画「踊る大捜査線」の中で、主人公の刑事が「事件は会議室で起こっているんじゃない。事件は現場で起こっているんだ」と叫んだ、その現場の経験を何とかして共有する方法はないものか。かつて御厨 [1997] は「オーラルヒストリー」を提唱し、政策研究に役立たせようという試みについて語っている。同様のことを事故調査の重要項目としてやっておくことが、クライシスマネジメントにおいても大きな意味を持つのではないだろうか。

参考文献

- 朝日新聞、2002.4. 23夕刊、43304号。
朝日新聞、2004.2. 19夕刊、43952号。
赤川浩爾 [1999]、事故鑑定から見たリスクマネジメント 私観、機械学会関西支部、リスクマネジメントに関する研究懇話会資料；および[2001]、事故・災害の解明と対策のあり方—技術的事故鑑定の経験からの私見、機械学会関西支部、フィロソフィ懇話会資料。
石谷清幹 [1972]、工学概論、コロナ社、東京、pp.173-174。
石谷清幹、小澤守 [1983]、安全関連事象確率分布則から見た我が国の海難統計、日本船用機関学会誌、Vol.18、No.3、pp.231-238。
井出正介 [1999]、リスクを積極的に管理する、ゑれきてる、72、pp.15-19。
遠藤浩 [1999]、安全な旅客機への限りない挑戦、ゑれきてる、72、pp.20-23。
岡田春恵、田代真人[2003]、感染症とたたかう—インフルエンザとSARS—、岩波新書、p.8。
小澤守 [2003]、リスクベース・ライフサイクルアセスメントの構築(1)&(2)、機械の研究、Vol.55、No.4、pp.423-430、Vol.55、No.5、pp.546-553。
小澤守 [2002]、現在社会におけるリスクとリスクマネージ

- メント、農業と経済、Vol.68、No.14、pp.36-46。
- 関根和喜、泉太一郎、斉藤玄人、吉川郷生[1994]、災害事象生起のフラクタル的特性とその事故統計分析への応用、圧力技術、Vol.32、No.5、pp.240-248。
- 関根和喜 [2003]、古くて新しいものー安全問題のハインリッヒの法則ー、安全工学、Vol.42、No.4、p.215。
- 渋谷陽二 [2003]、複雑系から見たハインリッヒの法則、科研費「食品安全確保システムと関連学際研究領域の組織化に関する企画調査（代表：新山陽子）」研究会資料。
- 宅間正則[2004]、構造部材の疲労損傷評価、第8回関西大学先端科学技術シンポジウム講演集、関西大学先端科学技術推進機構、pp.143-148。
- 武田徹、「未知との遭遇と社会工学」、朝日新聞、2003.7.8.夕刊。
- 中西準子 [1995]、環境リスク論、岩波書店、東京。
- 新山陽子 [2003]、食品由来の健康に対するリスク管理ー食品安全確保の社会システム、システム/制御/情報、Vol.47、No.8、pp.399-405。 および[2004]、同上タイトル、第8回関西大学先端科学技術シンポジウム講演集、関西大学先端科学技術推進機構、pp.129-136。
- 羽原敬二[2002]、リスクマネジメントと組織管理、航空技術、No.569、pp.1-12。
- 松橋隆治、石谷久[2001]、設備製造を考慮した太陽光発電システムの普及戦略に関する研究、電気学会論文集、B、Vol.121、No.7、pp.899-906。
- 松本三和夫 [1998]、科学技術社会学の理論、木鐸社、東京。
- 三上市蔵、窪田諭、奥裕子[2004]、一般道路の供用段階における環境負荷の統合評価、第8回関西大学先端科学技術シンポジウム講演集、関西大学先端科学技術推進機構、pp.137-142。
- 御厨貴 [1997]、オーラルヒストリーと政策研究、学会報、No.816、pp.21-25。
- もんじゅ行政訴訟差戻後第二審判決 [2003]、判例タイムズ、No.1117、pp.89-97。
- Heinrich, H.W.[1931], *Industrial Accident Prevention*, McGraw-Hill, New York, (第5版はHeinrich, H. W., Petersen, D. and Roos, N., 1980刊行、邦訳：産業災害防止論、井上威恭監修、海文堂出版、(1982)、pp.18-64。
- NHKスペシャル「地震波が巨大構造物を襲う」ー未知の揺れが高層ビルを直撃、東京湾で大火災ー、2004.1.18放送、(京大防災研、入倉孝次郎教授の指摘)。
- Kletz, T. [2001], *Learning from Accidents*, Gulf Professional Pub., Oxford.
- SIGMA [1970-1995], *Natural Catastrophes and Major Losses*, Swiss Reinsurance Co., Zurich.