「大危機を免れる確率計算と多重安定システム」を考える

確率論の導入によって「偶然」は克服されたというのは、自然の
認識としても、あるいは人間の生き方としても正しくないと思う。
竹内　啓『偶然とは何か〜その積極的意味〜』（岩波新書10.9）

＜母体＞中学校「確率の導入」教材づくりと大学工学部生の数理・統計観の問題点

小島和美・山岸昭則（石川）

０.はじめに

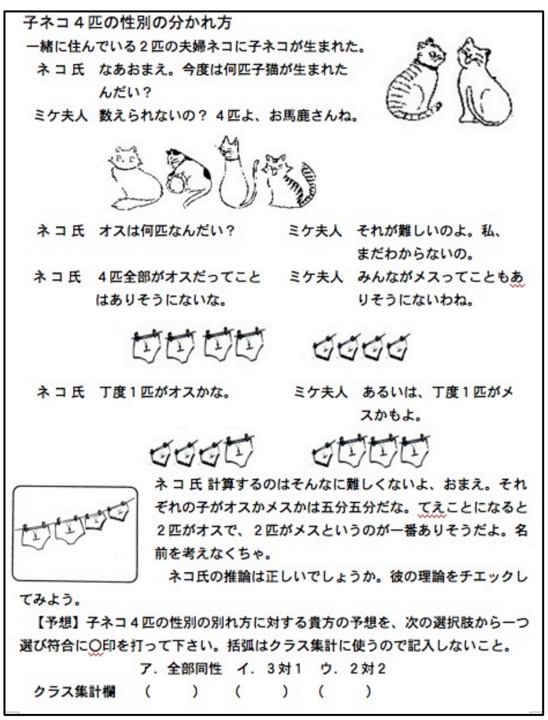
福島原発事故半年前の2010,9「もしそれが発生すれば莫大な損失を発生するような、絶対起こってはならない現象に対しては、大数の法則や期待値にもとづく管理とは別の考え方が必要である。」と事故を予見していたかのように書き続ける竹内　啓『偶然とは何か〜その積極的意味〜』（岩波新書　きわめて稀な現象）は「大数の法則に支配されない偶然と“折り合う”ことが現代の課題」と説く。

本レポの山岸担当分は、この課題を巡るびわ湖大会のレポ『不確実性時代の数学教育』に続く第２弾である。

I. 実践の概要

「偶然」の問題には二つの面がある。一つは、客観的な対象としての「偶然」とは何かという問題。つまり、「偶然現象」とはどういうことを意味するかという問題である。もう一つは、それに対して個人あるいは集団ないし社会が、どのように主体的にかかわるかという問題である。

１)コイン投げで「子猫４匹の性別」の分かれ



子ネコ４匹の性別の分かれ方
一緒に住んでいる２匹の夫婦ネコに子ネコが生まれた。
ネコ氏　なあおまえ。今度は何匹子猫が生まれたんだい？
ミケ夫人　数えられないの？４匹よ、お馬鹿さんね。
ネコ氏　オスは何匹なんだい？
ミケ夫人　それが難しいのよ。私、まだわからないの。
ネコ氏　４匹全部がオスだってことはありそうにないな。
ミケ夫人　みんながメスってこともありそうにないわね。
ネコ氏　丁度１匹がオスかな。
ミケ夫人　あるいは、丁度１匹がメスかもよ。
ネコ氏 計算するのはそんなに難しくないよ、おまえ。それぞれの子がオスかメスかは五分五分だな。てえことになると２匹がオスで、２匹がメスというのが一番ありそうだよ。名前を考えなくちゃ。
ネコ氏の推論は正しいでしょうか。彼の理論をチエックしてみよう。
【予想】子ネコ４匹の性別の別れ方に対する貴方の予想を、次の選択肢から一つ選び符合に○印を打って下さい。括弧はクラス集計に使うので記入しないこと。
ア．全部同性　イ．３対１　ウ．２対２
クラス集計欄　（　　）　（　　）　（　　）

２)サイコロ投げで「びわ湖の求積」
(P３に原理解説と「福井県の求積」有)

＜これを素材の小島実践は雑誌『数学教室』10月号「授業研究〜数学の不思議〜」に詳しい＞

２つの教材の「ねらい」

① 子どもたちが数学の面白さ、不思議さを体験できるように、イメージし易く再生しやすい集団・偶然現象から始め、具体的問題を乱数発生装置（ランドマイザー；コイン・サイコロ・トランプ・コンピュータなど）にモデル化し統計データを採取・作成する。

	モデル化	数値化	
偶然事象の問題 ⇔	コイン・サイコロ ⇔	統計・確率	＊

そののち

② 集団・偶然現象（指導要領では不確定な現象）の中にある相対頻度（比率、相対度数）ｒ/Nの安定性という一つの規則性を表す概念、相対頻度の安定していく値の変動の範囲（さらに抽象的には一つの値）を表す数値として確率を導入する。

$$\frac{\text{琵琶湖の面積S}}{\text{正方形の面積（n×n）}}=\frac{\text{琵琶湖のチェック回数r}}{\text{正方形内のチェック回数N}}\quad =\text{相対度数}$$

（続き小島報告）

③ ダイアグラム（＊）を実現しつつ、指導要領の持つ問題点と覚しき幾つかの解決を図る。乏しい偶然事象、統計的確率と数学的確率の間の間違った刷り込み（例えば、前者は後者に必ず収束する、そのことから「全ての事象は必然である」という決定論的世界観の醸成）、様々の偶然事象を乱数発生装置（ランダマイザー）で代替し問題解決に繋げることに十分でないなど。「これまで，学校数学の問題は解答の便宜のため簡単な数で解答できるように工夫されたものが多かった」（高校新指導要領解説）が現実の問題解決との違い明かし、現代科学における進展についても知らせる。

３）中学校「確率の導入」をなぜこのような教材で実践したか

（1）今までの私（小島）の確率の授業を振り返えると

① サイコロを多数回振って、１の目の出る回数を求め、そこから相対度数を計算し、その値がある値に近づく→多数回試行の相対度数→大数の法則（言葉では言わない）→事象の起こりやすさの程度を表すのに確率を使うというように授業を進めた。

② 実際に多数回試行を行うよりも場合の数に基づいて考える方が時間も労力も節約出来る→サイコロを1回振ると６通りの出方があるからそのうち１が出るのは１回だから確率は１/６と考える。

③ 何かが欠けていて、何か面白くなく、確率の学習をしたが、これが社会でどのように活かされるのか分からないと言う子どもたちの声→これに応える私の考えがなかった。

（２）中学校指導要領・解説と教科書展開との乖離

不確定な事象についての具体的なものが、サイコロを多数回振ってその相対度数がある値に近づくという実験に止まっているが、日常生活や社会における不確定な事象（不確実性）の具体的な例が乏しい。また、指導要領解説中学校編（Ｐ102　不確定な事象をとらえ説明すること）と書かれているが、実際の授業では、サイコロ投げやコイン投げやトランプを使っていても不確実な事象の問題解決にはつながっていないと感じた。

４）工学部各科4年生と集団現象のシミュレーションをサイコロ振りやコイン投げ、そしてパソコンシミュレーションで行ううち私（山岸）は奇妙なことに気づいた。彼（女）らが「統計的確率は数学的確率に必

ず収束する」とか「統計的実験で試行回数を大きくすればするほど真値に近づく」と刷り込まれ、大数法則を鵜呑みにしているようだ、と。

例えば

*工学部４年生に刷り込まれていた大数の法則<１>

自分自身、確率を考える上で大数の法則というのは当たり前に成り立つ法則だと思っていたので今日大数の法則が成り立たない事象もあるということを知って驚いたし、同時にとても不思議に思った。

そこで大数の法則が成り立たないのはどういう場合かを調べてみた。大数の法則は期待値が存在することを前提としているので、つまり期待値が存在しない事象を扱う場合は大数の法則が成り立たない。たとえば、安定分布（正規分布やコーシー分布）において特性指数αが$\alpha \leqq 1$の場合は期待値が存在しないので大数の法則は成立しない。

***工学部４年生に刷り込まれていた大数の法則<２>**

学生が６×６は粗すぎ、サイコロ転がしの１００回は少なく、公称値4190 km²とのズレが大き過ぎると、48×48でCプログラムを作成しシミュレーション10万回行い面積を測定した。そして

「1万回ぐらいまでは値が変動しているが、その後はほぼ変化していないことが分かった。 従って、10万回シミュレーションした結果、収束したと考えられ、福井県の面積Sは4800 km²である。しかし、福井県の面積の公称値は4190 km²であり、これは測定結果の約85%の値である。今回の測定の平均値は4775 km²であり、標準偏差σは58であることから、公称値と測定値は10σの値の違いがあることが分かる。

平均値から3σの値の領域では99%収束するのに対し、10σもの値の違いが出たならば、これは信頼に足る数字ではないと言える。しかし、1億回シミュレーションしてもSは約4800 km²の値に収束した。10万回から1億回にシミュレーションを増やした場合精度は100倍に上がるはずであるのに対し、ファクターが4800と10万回と変わらない値を出したため、この値で収束するのは間違いないだろう。従って、公称値との値のズレの原因として、48×48では精度が低い、元となった福井県の地図の精度が低い、などの理由が考えられる。」（８月４日の終講で確認したところ大数の法則を信じて疑わなかったとのこと）

一方、サイコロ・シミュレーションによる求積の結果は4,060km²。この方が学生が行ったコンピュータによる多数回シミュレーションの公称値との値のズレが

附：サイコロで福井県の求積

図は公称面積4,188.99 km²の縮尺1/1000000の福井県地図を15cm×15cm の正方形に収め縦横(m, k)6等分し、賽投げ100回行ったところ地図上のデータ（✓）数は18個でその割合18/100。地図の縮尺を用い県の面積が地図上で何km²にあたるかを換算すると

15 cm×1000000＝150000m＝150 km

から（150×150）km²。

福井県地図面積比 $S/150^2$と18/100とが近似し、

$S/150^2 \fallingdotseq 18/100$　これより

$S \fallingdotseq (18/100) \times 150^2 \fallingdotseq 4,062.5$ km²

備考：地図上のデータ（✓）数の他班の値

16, 16, 18, 18, 18, 19, 20

小さく　適正である　といえよう。

お気づきでしょうが、学生たちは、

粗すぎー>細かくすれば良い

サイコロ転がし回数少ないー>コンピュータで回数多くすれば良い

というように、大数法則が染み付いている発想から

48×48は細か過ぎー>もう少し粗くする

１０万回、一億回というシミュレーション回数は多過ぎー>もっと少ない数千回で行う

ということは思いもよらないのである。

II. 統計的確率は数学的確率に収束するとは限らない

(1)モンテカルロ法（統計的実験法）

「数学の不思議」を感じさせる決定問題「びわ湖の求積」の近似解をえるのに用いた、少数回のサイコロ振りにより生成した乱数と簡単な算数計算を併用した統計的実験法は、モンテカルロ法と呼ばれている手法を教育的に工夫したもの。

この方法のあまりの簡単さは（学者間で）すぐには理解されなかったが、今や統計学のみならずすべての科学において、複雑な数値的諸問題を解くための標準的な方法となってきている。

その基本原理は、与えられ正方形の面積に対して、そのなかに描かれた図形（びわ湖や福井県）の面積の割合を知りたい。この図形は複雑で、器具を用いてその面積を測る簡単な方法はない。いま正方形の隣り合う2つの辺をx軸、y軸にとり、サイコロで生成した乱数の組（x，y）を座標（x，y）として正方形のなかにプロットする。ここでx、yは、ともに区間（０，b）からとられたものであり、bは正方形の一辺の長さより大きいとする。この操作を何回も繰り返したとき、ある段階でその図形のなかに落ちた点の数がa_m、正方形のなかに落ちた点の数がmであったとしよう。

数学者コロモゴルフが与えた大数の強法則によれば、もしとられた点の組が本当にランダムであれば、mを大きくするにつれて、比a_m/mの値は、正方形の面積に対するその図形の面積の真の比の値に近づく。

冒頭、小島の授業シート「びわ湖の求積」や山岸の授業シート「福井県の求積」の両実践ともこの原理に則ったもの。

公称の答えの分かっているびわ湖（あるいは福井県）の求積をモンテカルロ法で解かせたのは、この方法の有効性を検証したに過ぎない。モンテカルロ法の本来の意義、魅力はつぎのところにある。

働く場、生活の場での答えの分かっていない、はじめてもしくは難しい（計算が不可能あるいは前もって収束値を求められない“未知と遭遇”した確率的あるいは解析的な）問題にぶつかったときに、コインやサイコロ、カード、コンピュータなどの乱数発生装置（ランダマイザー）でシミュレーションのボード（n×n）のｎを変化させたり、回数を増減したりして 答えを推測できる。

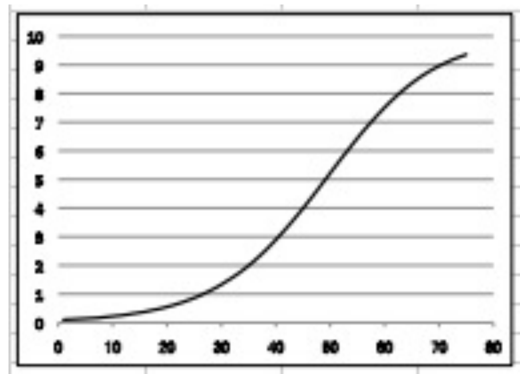
推測できても正答（びわ湖・福井県の面積の公称値のような真値）がわからないのが普通だから、各種乱数発生装置を使ったモンテカルロ法で求めた幾つもの（生徒ペアの）数の近似値を使って「真値」の精度・評価する推定・検定の統計手法が必要になるわけである。

III. 偶然と必然を結ぶカオス

＜生物現象のシミュレーション＞

統計データが増えても安定しない例をあげる。

ある生物現象を表す微分方程式を解くために（高校で習った）差分化し差分方程式をサイコロシミュレーション（ランダム現象）で再現、この一部データ数値を高め多数回のサイコロシミュレーションの代わりにコンピュータシミュレーションするとカオス現象が出現する。

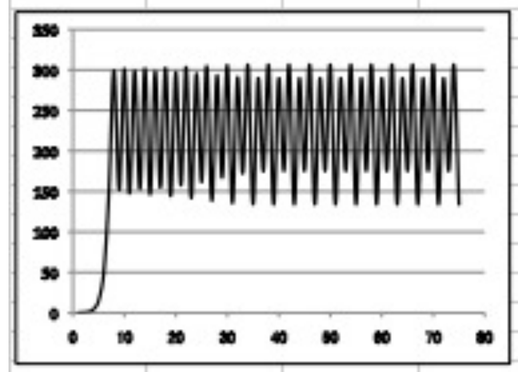


右グラフ（上）は、

微分方程式　$dP/dt = AP-BP^2$

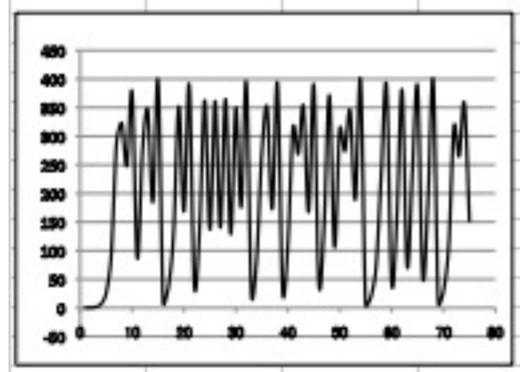
を差分方程式にしたサイコロシミュレーションで得られた成長（S字）曲線のグラフを表す。

ここで P はある生物の数、Aは生物の繁殖の程度に比例する量10、Bは餌不足、環境悪化（魚なら排泄物によって）などの量1、時間刻み幅$\Delta t=0.01$、初期値 $P_0= 0.1$で差分化。



グラフ（中）、生物の繁殖によってA=250に変化したとき、綺麗な周期運動を示している。この解析はまだ可能。

A＝300に変化させたグラフ（下）は、法則性が読み取れないカオス状態。



カオスは短い時間の変化は比較的単純な微分方程式（あるいは差分方程式）によって表現できるという点で完全に決定論的であるが、長期の変動は初期条件の微細な変化によって大きく変わるという点で偶然的である。それはある意味で必然と偶然とを結びつけるものであり、きわめて多彩な様相を示すが、現実の物理的、生物的、社会的システムをそのモデルによって理解することは今後の研究課題である。（竹内前掲書）

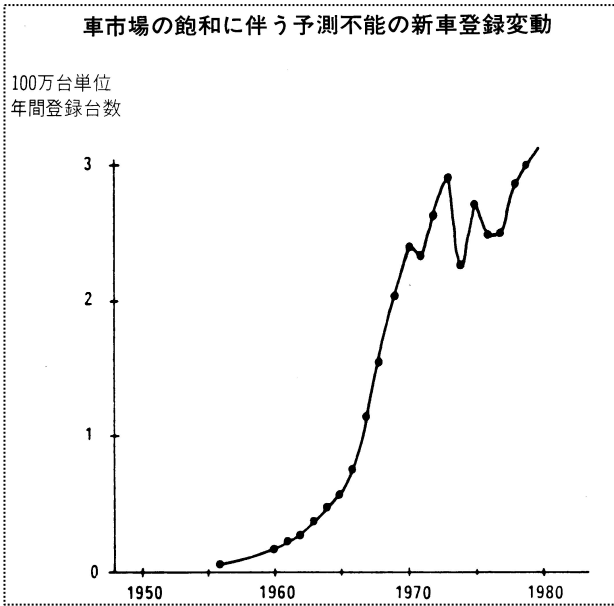
＜社会事象に現れるカオス現象＞

生物界で例示したが、そもそもカオス現象を最初に体験したのは、ワットの蒸気機関の発明が鉱山のポンプや巻き上げ機の能力を増大させたところから、蒸気機関の大きさを改造してさらなる増産を目論んだ産業革命黎明期の製造業者が、増産体制を整えたある時期からいたる所の鉱山で故障するカオス状態が出現したと言われている。

現代社会でも飽和に伴うカオス状態は観ることができる。

次図は日本における自動車産業の新車登録年間台数の例である。

新車登録年間台数はあるところまでは成長（S字）曲線にかなり沿って上昇を続けている。しかし、第二次のカーブに入ってから変動が始まっている。この変動はすでにかなり増え続けたところで起きているので全体の使用台数にはさほど影響を与えていない。日本もたいていの西洋諸国のように自動車のニッチは飽和に達しているのである。新車登録は主に買い換えである。不況や困難な時代には人々はいまのクルマで我慢する。

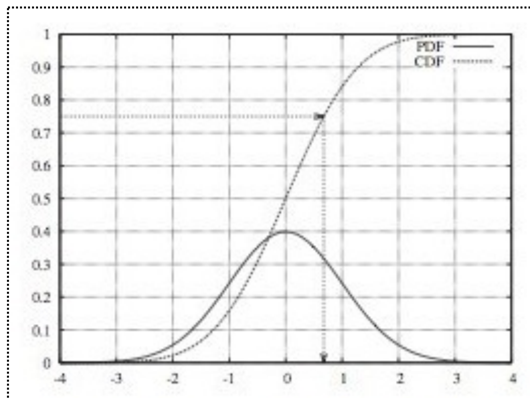


第二次大戦の時アメリカでも新車登録台数は激減したが、必需品である現在、使っているクルマの数はそれほど減らなかったという。

　新車登録の変動にもかかわらず、クルマの寿命は普通の環境では安定しており、元のS字型曲線にしっかりとリンクしており、この成長（S字）曲線に沿って最初にクルマのニッチが一杯になる。この事実は経済的条件を考慮に入れなくともクルマの需要予測を出すやり方を示唆している。クルマの寿命が一定なのだから、新車登録台数を最初の保有台数が減った分だけ買い換えとして計算できる。

　日本の場合このように計算したところ、限界区域での変動を除けば図のようなデータ・パターンがうまく出たのである。

　成長（S字）曲線は下図、正規分布曲線を累積度数分布にしたもの。したがって、生物現象のグラフ（下）や車市場のカオス状態の出現は正規分布が成り立たないことでもある。



確率密度関数 (PDF) と累積確率密度関数 (CDF)

　「大数の法則と平均の時代」はもはや終わり、「大数の法則に支配されない偶然と“折り合う”ことが現代の課題」という竹内の視点を欠く指導要領が、大数の法則を必然とする観念を刷り込んできたのではないだろうか。

IV.不確実性の下における統計的意思決定

(1)大危機を免れる確率計算と多重安定システム

竹内前掲書は言う、

　大きな危険が人間の行動によって引き起こされる可能性がある場合には、その確率がきわめて小さく、実際には起こりえないといえるようにしなければならない。原子力発電所のメルト・ダウン事故や、全面核戦争などは典型的な例である、と。

　原子力発電所のメルト・ダウン事故の発生する確率は一年間に百万分の一程度であり、したがって「一年あたり期待死者数」は一であるから、他のいろいろなリスク（自動車事故など）と比べてはるかに小さい」というような議論がなされることがあるが、それはナンセンスである。

　そのような事故がもし起こったら、いわば「おしまい」である。こんなことが起こる確率は小さかったはずだなどといっても、何の慰めにもならない。

　なすべきことはこのような事故が「絶対起こらないよう（一億分の一、あるいは百億分の一というような小ささ）にする」ことであり、そのうえでこのようなことが起こる可能性は無視することである。

　このようにいうと、小さい確率であってもまったくゼロではない限り、それを無視するのは正しくない。したがって、巨大事故の確率がゼロであるといいきれない限り、原子力発電所は建設すべきではないという議論が出されるかもしれない。

しかし、個人でも人々の集団でも、あるいは一つの社会、国、さらに人類全体でも、その生存を脅かすような危険性はいろいろ存在するのであって、それらの確率は決してゼロではない。それらが人間の行動によって起こされる場合、あるいは逆に人間の行動によって防止できる場合、その確率をできるだけ小さくするように努力しなければならないことはいうまでもない。しかし、その確率を完全にゼロにすることは不可能であるかもしれない。

そこである事象がおこる確率がきわめて小さくなるようにするには、いくつかの事象が同時に起こらなければその事象が起こりえないようにしたうえで、それぞれの個別事象の起こる確率を検証可能な小さい水準に抑えるようにすればよい。それは多重安全システムの基本的な考え方である。

しかし、実際に一億分の一あるいは百億分の一という確率を検証することは不可能である。そこで重要なのは

互いに無関係な二つの因果関係によって起こる二つの事象が同時に起こったときにのみ起こる事象の確率は、最初の二つの事象がおこる確率の積（掛け算）である

という法則（確率の乗法法則）である。

このことは

互いに無関係な因果関係によって生じる事象は、確率的に独立である

ということを意味している。もちろんこのことが正しいという論理的保証はないが、しかし二つ以上の因果関連を別々に考えることができるということは、実はその生み出す結果が独立であるという仮定を含んでいると考えられるので、現実的な行動原理としては妥当というよりも、むしろ必要である。

そうして一つの安全システムが失敗する確率が千分の一の互いに独立なシステムを四重に設けておけば、全部が失敗して大災害が現実化する確率は

$$\left(\frac{1}{1000}\right)\left(\frac{1}{1000}\right)\left(\frac{1}{1000}\right)\left(\frac{1}{1000}\right)=\frac{1}{1000000000000}$$

$$=0.000000000001$$

となって、これは十分小さくて事実上ゼロといえるであろう。

しかし、数値0.000000000001より重要なのは、互いに独立なシステムを四重に設けること。

この観点から福島原発事故を巡る統計データ（地震・津波・電源喪失・防波堤）を検討して見よう、

＊Ｍ９.０の大地震；（参考）宮城県の防災ホームページには地震調査委貞会の発表を受けて，宮城県沖地震発生確率が掲載されていて、宮城県沖で発生するM7.5〜8.0クラスの地震が99％の確率で30年以内に発生するとある（2005年1月1日〜）

＊１４mの大津波；（参考）４０年前に建設された東電の福島第１原発施設は

■電源喪失後の原子炉のできごと

米国のシミュレーション		福島第一原発１号機	
運転停止 8時間後	燃料露出、水素が発生開始	12日午前10時ごろ？	燃料露出
10時間後	燃料が溶け始める	同日正午ごろ	注水も水位低下
11時間半後	燃料棒が崩壊	同日午後３時36分	原子炉建屋で水素爆発
12時間後	圧力容器中の水が干上がる	同日 午後６時半	水位が下がって計れなくなる
12時間 15分後	圧力容器が損傷	圧力容器がすでに損傷している可能性を東電が認める（３月28日）	
13時間半後	格納容器が損傷		

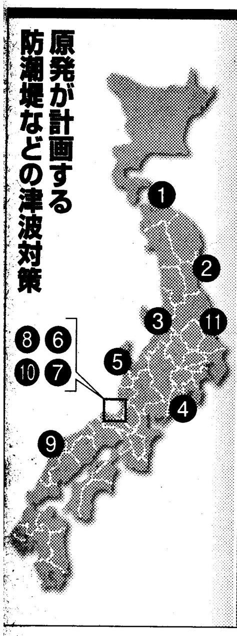
太平洋に面した地震地帯
に立地しており、その地域は過去４００年に4回（１８９６年、１７９３年、１６７７年、１６１１年）、マグニチュード８あるいはそれ以上と思われる巨大地震にさらされている。こうした歴史的なデータも踏まえて、東電の原発専門家チームが今後５０年以内に起こりうる事象を分析し、４年前国際会議にて報告、

１３メートル以上の大津波は0.1パーセントかそれ以下の確率で起こりうる。そして、高さ１５メートルを超す大津波が発生する可能性も示唆。さらにリポートでは「津波の高さが設計の想定を超える可能性が依然としてありうる」と指摘。

＊電源損失 ； 前頁表「電源喪失後の原子炉のできごと」は、全電源喪失のシミュレーションを米国が３０年前に行っていて、福島原発事故がシミュレーション通りの経緯を辿ったことを示す。送電線早期復旧と考えた日本は想定しなかった。

＊防波堤 ； 福島第一原発の津波防波堤は想定の２倍を超える津波に襲われ、被害が拡大した。日本原電東海第二は０４年のスマトラ沖地震を受け昨年１０月までに改修完了した部分は今回被害を免れた。

原発が計画する防潮堤などの津波対策



The Asahi Shimbun

電力会社	原発名	内容	従来の津波想定
東北	①東通	防潮壁を3年程度で	6.5m
	②女川	防潮堤と防潮壁を12年4月までに	9.1m
東京	③柏崎刈羽	防潮堤を13年度上期に	3.3m
中部	④浜岡	高さ18mの防波壁を12年末までに	8.0m
北陸	⑤志賀	標高15mの防潮堤を2年程度で	5.0m
関西	⑥美浜	防潮堤を12年3月ごろ	1.57m
	⑦大飯	防波堤かさ上げを14年3月ごろ	1.86m
	⑧高浜	防潮堤を12年3月ごろ	1.34m
中国	⑨島根	防波壁の強化を2年程度で	5.7m
日本原電	⑩敦賀	防潮堤を3年程度で	2.8m
	⑪東海第二	防潮堤を3年程度で	5.7m

これから、福島原発は尽く無防備であったと言って差し支えない。その上、仮にそれぞれが1/1000 であったとしても、予想だにしていなかった最初のＭ９.０の大地震が起こりそれが他の３つに波及し連鎖反応的に機能しなくなってしまったのであった。つまり、独立ではなかった。

また、現実にきわめて高度の安全性が保証されていたシステムが大事故を起こしてしまった場合には、実は何重にも設けられていた安全システム（多重安全システム）が実際には互いに独立でなく、共通の一つの要因によって同時に機能しなくなってしまっていた場合が多い（その最も明白な例は、そこで働いている人々が安全ルールを守らなかった場合である）。このような意味から、福島原発事故は人災の何ものでもない。

(2) 原発再開２段階ストレス・テストは多重安全システムの要件を満たしているか？

したがって、２段階ストレステスト（「定期点検中の原発には簡易版のストレステストを適用してそれにパスしたものの再稼働は許可する。ただし、その後本格的なストレステストを稼働中の原発すべてに適用し、必要に応じて停止命令を出す」'11.7.11政府統一見解）が、
稀な、しかし起こつてしまったらきわめて重大な結果をもたらすような事故を防ぐ意思決定を有効であるためには

＊事象の起こる確率の乗法法則が成り立つ条件を確保してあるか？

＊それぞれが起こったときに被る損失（多重安全システムが実際に互いには独立でなく、共通の一つの要因によって同時に機能しなくなってしまう）恐れの評価という二要素が考慮され、さらに、その上、そこで働いている人々が安全ルールを遵守すること。

そこで、報道されている　ストレス・テスト例を見てみてみると。

建物の地震に対する安全性の余裕度は、

(1) 設計上耐えられる変形の量　　　　(2) それを超えるが問題ない量

この (1),(2)まで調べるのが1次、

(3) 建物が倒れる限界の量を調べる

この(3)までが2次、1次は停止中の原発の再稼働の条件で、首相や関係大臣が判断する。

■原子力施設への軍事攻撃を巡る動き

1981年６月
イスラエル空軍がイラクの原子炉を爆撃、破壊

82年６月
鈴木善幸首相が国連軍縮特別総会で原子力施設の安全確保を訴える

84年２月
外務省委託の「原発攻撃シナリオ」の報告書まとまる

85年９月
国際原子力機関（ＩＡＥＡ）総会で原子力施設への軍事攻撃禁止決議

87年11月
イラクがイランで建設中の原発を攻撃

88年６月
四国電力伊方原発近くに米軍ヘリが墜落

91年１月
米軍が湾岸戦争で「イラクの原子炉に決定的損傷を与えた」と発表

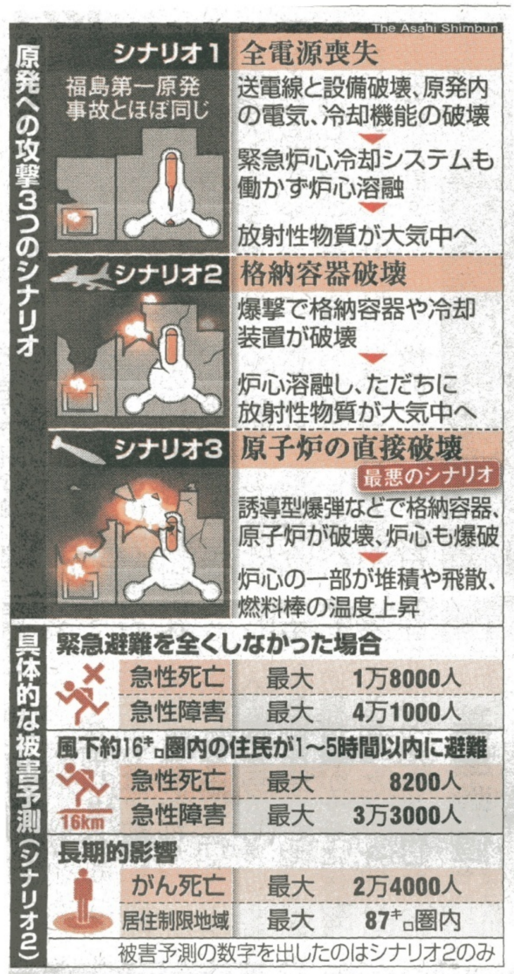
2001年９月
米同時多発テロ

11年２月
ＩＡＥＡが原発を狙ったテロへの核セキュリティー対策強化を勧告

３月
東京電力福島第一原発で事故

５月
欧州連合（ＥＵ）が原発のストレステストでテロ攻撃を対象に

６月
原子力委員会が原発テロ対策強化のワーキンググループ設置を決定



左表は、原子力施設への軍事攻撃を巡る動き。右表は、1981年のイスラエル軍の空爆を契機に1984年外務省が行った原発攻撃の極秘予測。

報道されているストレステストは地震対策。ストレステストは最低でも１カ月以上かかり、２次はＥＵのテストを参考にすれば、国の評価まで約7ケ月かかる。

この期間中に８８年６月の伊方原発近辺ヘリ墜落の事態や２００９年４月テポドン失速墜落があったように原発への墜落命中という事態もなきにしもあらず。

日本における地震はドイツでは飛行機墜落事故を想定し、「もし旅客機が原子力発電所に落ちたらどうするのか」というドイツの方々の数理・統計的視点が、「われわれは原子力を捨て、再生可能エネルギーあるいは他のエネルギー源へシフトで

きるかどうかが問われている」と政策変更したのであった。
次に、大地震と大津波と福島原発事故の一つ一つが生ずる確率が少なかったとしても、大地震一つから大津波が起き、原発を機能不全に陥らせたように、それぞれが互いに独立ではなかった。ドイツが考えるように、飛行機墜落事故と原発事故も互いに独立ではない。

３つ目に、結果は信頼できるか？　というと、計算結果は最初に打ち込むデータ次第。データを間違えないように点検するのは当然だが、これまでのデータ隠蔽、データ捏造.「やらせ」質問、チェック機関としての保安院が推進していたなどの経緯を見れば、それに携わっている人々が安全ルールを守らないで都合のよいデータだけを使うことは十分にある。
（2025．9追記：２０２２年以降のウクライナ侵攻したロシアの原子力施設への軍事攻撃と、２０２４年以降のイスラエルのガザ侵攻とそれを支援するアメリカのイランの原子力施設への公然とした軍事攻撃は別次元に悪化している。列島各所に原発をシフトし、その上空を得体の知れない飛来物が飛んでいる日本という国、多重安定システムという視点から見ると明らかにドイツの思慮深さを欠いている。）

Ⅴ.“不確実性”時代の数学教育の構築を
〜決定論偏重教育を改めよう〜

斬新なマンデルブロの複数ランダム論

フラクタル数学のマンデルブロは、ランダムさには複数の「状態」もしくは型—古くから知られている物理学の基本的な物質の三態（固体、液体、気体）になぞらえて似たようなランダムさの三状態（マイルド、スロー、ワイルド）があるとし、この三つのタイプが金融市場で作用すると、価格はそれぞれまったく違う動き方をすること、そして１００年に一度の金融恐慌をもたらしたのは従来の正規分布盲信のマインド型では金融市場を解析してきた金融理論であったことを予測していた。「金融工学の基礎となっているのは、コインを投げて、表が出たら相場が上がり、裏が出たら下がるという最も単純なマイルド型のランダムさの変動をモデル化した概念であった」と。この従来のランダムとは別に、複数のランダムの提起である。ここではベル曲線（釣鐘型曲線）、つまり正規分布にしたがうことも批判している。
きわめて不規則に大きく変化し、予想が困難な「理不尽な動き」をする実際の相場には、従来の単純なマイルド型ランダムによる金融モデルに代えて、ワイルド型のランダムさに基づいて動いている市場の動きを説明しモデル化できるのは、「洪水」や「大気の乱流(タービュランス)」などを説明できるマルチフラクタル・モデルを適用すれば、いっそう信頼性の高い新しい体系の金融理論を打ち立てることが可能とした（『禁断の市場〜フラクタルでみるリスクとリターン〜』2004）。

一言で言うと、困難さの状況・条件に応じてランダム「レベル」の使い分けを教える確率・統計教育が大切なのであって、単純なランダム一辺倒の指導要領・教科書流は大学４年生にまで悪しき固定観念を与えているのである。

ランダムさに複数あるという説そのものが斬新ですし、従来の統計的世界観をより豊かにできると思うと共に、正規分布を前提にした従来の確率手法の教育も構築し直す必要があると考える。

ところで、この「フラクタル観点は、理解すれば巨額の富を手にすることができる、というようなものではありません。しかし、高い確率で起こる相場の暴落により、巨額の損失を被ることを避けるためには、市場をフラクタルの観点から見るのが最も良い方法であると信じています」

それを計算で対応できない、つまり「予知不可能」な事態として浮上していたのが、複雑多岐な株価チャートで「予知不可能＝破綻」が金融恐慌をもたらした。

マンデルブロは、従来のランダム概念では「予知できない」新しいランダム概念を提起したわけです。そこでは正規分布は前提できないと。竹内「偶然論」もそこにでてきたわけです。

この「金融恐慌と福島原発事故の不気味な類似性を観る」という分析をしているWeb記事原発事故と金融危機に共通するギャンブル性　を紹介した。

しかし、マンデルブロたちは「予知不可能＝想定外」は許さないわけです。

コインを投げ、表が出たら相場が上がり、裏が出たら下がるというように確率的なものだと考え、コンピュータで乱数を作り出して相場取引を行うモンテカルロ法を指弾する（吉本佳生『金融工学マネーゲームの魔術』）声もある。

参考・引用文献

竹内 啓『偶然とは何か〜その積極的意味〜』（岩波新書2910）

マンデルブロ『禁断の市場〜フラクタルでみるリスクとリターン〜』(東洋経済2004)

モーディス『予測学入門』（産能大 1994）

スティグリッツ『原発事故と金融危機に共通するギャンブル性』(ダイアモンド・オンライン2011)

朝日新聞