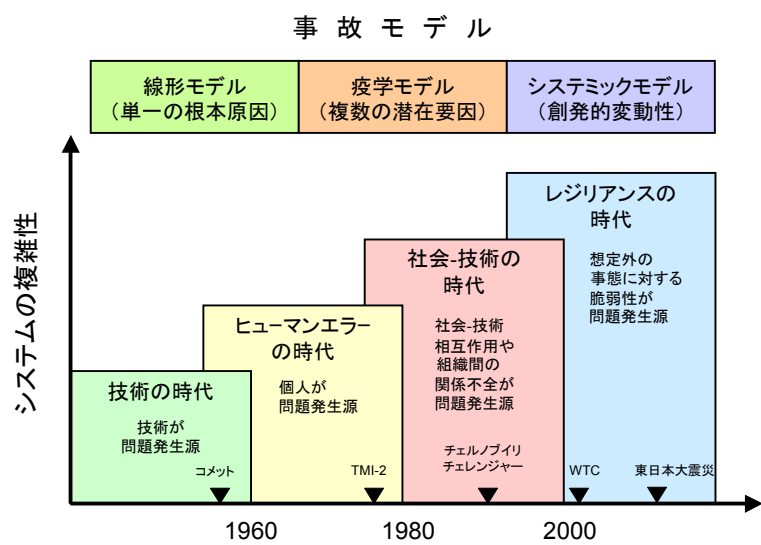


レジリアンス工学とは何か

東京大学 工学部システム創成学科B
古田一雄

安全問題の変遷





線形モデル

- 前提** 特定の事象群や状況群が、特定の順番で発生すると事故になる
- 原因** 限定的なシステム要素(機器、人間)の故障や失敗(根本原因)
- 対策** 根本原因となり得る事象や状況を発見、除去する

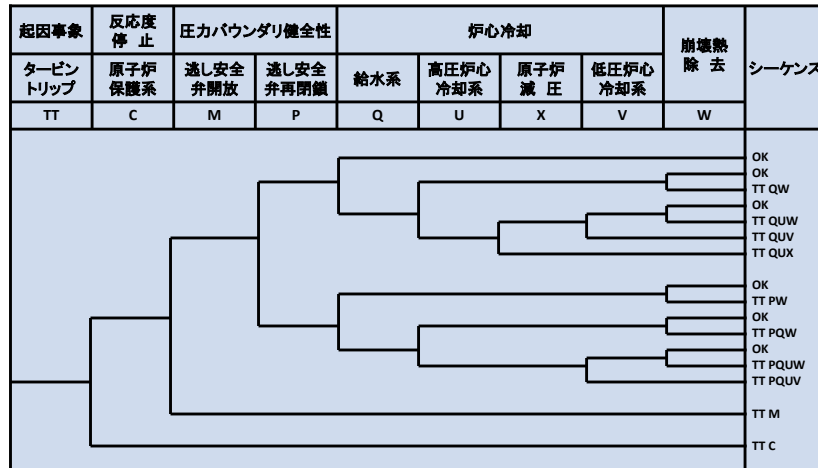


線形モデルの背後にある考え方

- 要素分解原理
 - システムはいくつかの要素から構成され、要素に分解することによって理解可能
- 2値原理
 - 各システム要素の稼動状態は正常(成功)か異常(失敗)かの2状態で記述可能
- 独立(線形)原理
 - システム要素間の相互作用は限定的であり、機能は各々独立と仮定



線形モデルの例(ET)

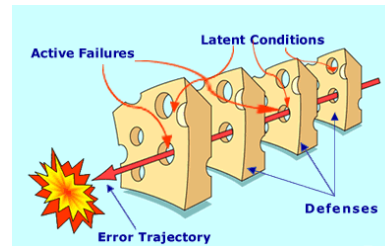


疫学モデル

前提 多数の失敗や潜在的条件の組合せによって事故が発生する

原因 安全防護障壁(物理的、機能的、記号的、概念的)の劣化

対策 安全防護障壁の劣化を発見して組織的に対処する



スイスチーズ・モデル

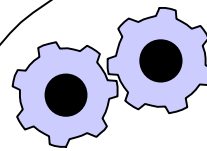


エラーの疫学モデル的な捉え方

個人的要因
環境的要因
社会的要因



状況



認知メカニズム

$$\text{エラー率} = P(\text{不安全行為} \mid \text{EFC}) \times P(\text{EFC})$$

- 過誤強制状況 (EFC)
人にエラーを犯すことを不可避とさせるような状況



正常事故



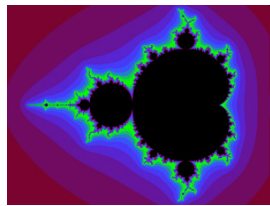
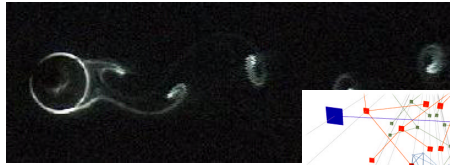
		INTERACTIONS	
		Linear	Complex
COUPLING	Tight	Dams Power grids Rail transport Airways	Nuclear plants DNA Chemical plants Space mission
	Loose	Assembly-line Manufacturing	Mining R&D firms Military adventures Universities

- Charles Perrow (1984)
- 大規模複雑システムにおける事故は不可避である
 - 離れた要素間の予見できない強結合
 - システムの振舞いが非線形
 - 複雑さが人間の理解を超える
 - 安全装置を付ければそれが故障
- 技術の社会的受容はリスクではなく潜在的危険の大きさに決めるべきである



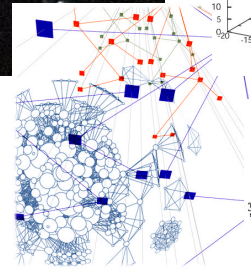
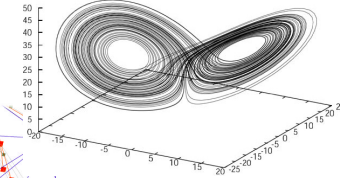
複雑系

創発

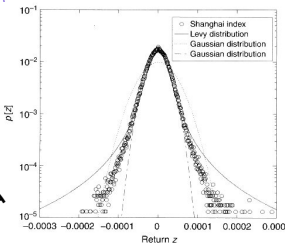


フラクタル

カオス



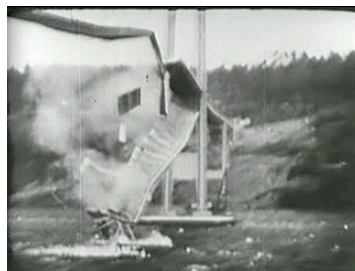
ネットワーク・システム



スタイライズド・ファクト



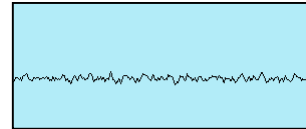
非線形系と共鳴現象



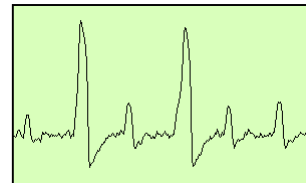
Tacoma Narrows, 1940



+



||



確率共鳴

- 微弱な信号を含む非線形系に適度なノイズを加えると、周期信号が顕在化する現象



システミックモデル

前提 システムの機能パフォーマンスは絶えず変動

原因 要素機能の変動の共鳴による創発的なシステム機能の破綻

対策 機能変動を常にモニターし、共鳴の危険があれば変動を直ちに抑制



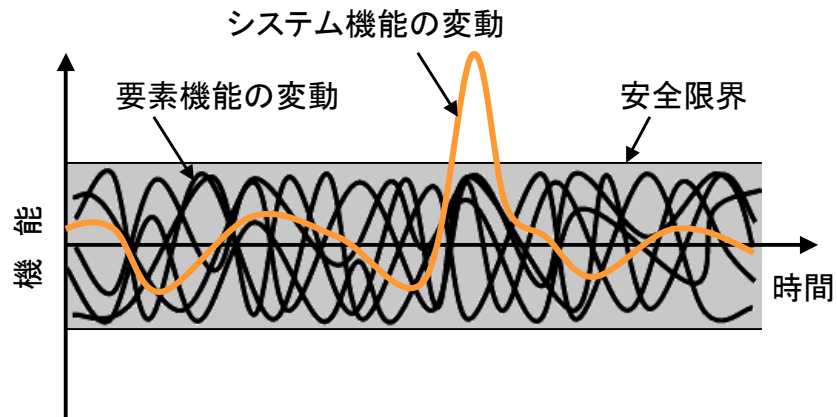
FRAM4原則

Functional Resonance Accident Model (FRAM)

- 成功と失敗の等価性
 - 成功・失敗はシステム機能の変動に由来しており、両者に本質的差異はない
- 調整の不完全性
 - 資源制約のためにシステム機能の変動を抑えるための調整は不完全(近似)にならざるを得ない
- 創発性
 - 非線形系における多数のシステム機能の変動がシステムの創発的振舞いを形成する
- 機能共鳴
 - 多数のシステム機能の変動が共鳴して安全限界を超えると事故になる



事故の機能共鳴モデル



レジリアンス

- 生態系のレジリアンス
 - システムの持続性の程度の指標であり、変化や擾乱を吸収し、状態変数間の関係を維持するシステムの能力を表す (Holling, 1973)
- (防災)工学におけるレジリアンス
 - 外乱に対して機能を維持しながら効率的に回復できるシステムの弾力的な性質 (弾力性、回復力、しなやかさ)
 - ✓ 損害を避ける・損害を軽減する (robust)
 - ✓ 想定外の外乱に対応する (responsive)
 - ✓ 回復する (recovery)



レジリアンス工学

- FRAMに基づくレジリアンス
 - 変化や擾乱に対してシステムの機能を調整することにより、状況が予見可能か否かにかかわらず必要な機能を継続するシステム固有の能力
 - レジリアンス工学： レジリアンスの設計法
 - リスクマネジメントの目的はリスクの低減ではなく、変化、擾乱、不確かさがある中でシステムパフォーマンスの変動を抑制する能力を高めること
- Proactive Risk Management



高信頼性組織(HRO)

- 過酷な条件下にもかかわらず、事故発生件数を標準以下に抑えている組織
 - 航空母艦、航空管制システム、送電所、原子力発電所、救急医療センター
- UCバークレーで1990年頃に研究
- HROに共通に見られる特徴
 - 高い「マインド」
 - 不測の事態をマネジメントする能力

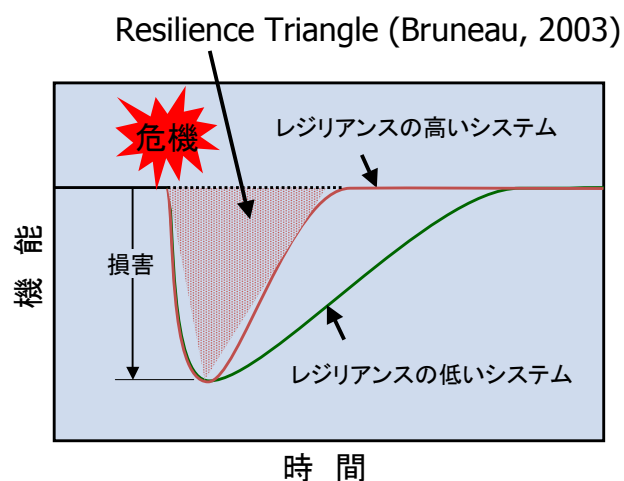


レジリアンス工学の実践

- 学 習 (learning)
 - 悪い結果だけでなく良い結果からも学ぶこと
- 反 応 (responsiveness)
 - 何かが起きた時に直ちに反応すること
- 監 視 (monitoring)
 - 状況をモニターして何が重要か理解すること
- 予 期 (anticipation)
 - 長期の脅威と状況変化を予測して備えること



レジリアンスの評価基準(1)





東日本大震災後の回復の評価

- レジリアンスの評価指標をどうすべきか？
 - インフラのRTの総合的評価はどうすればよいか
 - ⇒ マズローの欲求段階説
 - 個人ごとに異なる状況をどう反映するか
 - ⇒ ペルソナ手法
- 東日本大震災に関する公開情報だけを使って、インフラサービスの回復がどの程度迅速に行われたかを総合的に評価



マズローの欲求段階説

- 生理的欲求
 - 飢餓・渇き・疲労・睡眠不足・痛みなどからの解放
- 安全の欲求
 - 安全、安定、保護、秩序、不安・恐怖・混乱からの解放
- 社会的欲求
 - 愛情、集団への所属、孤独・追放・拒否からの解放
- 承認の欲求
 - 自己に対する高い評価・尊敬・威信、出世、自尊心
- 自己実現欲求
 - 自己の確立、目標達成、本性への忠実



評価指標の階層分解

階層	項目	対象
生理的	飲料水	水道、給水車
	食料	商店、配給
	睡眠環境	自宅、避難所
	医療環境	病院、救護所
安全	電気	電力
	水	水道
	ガス	都市ガス
	情報	インターネット、TV
	移動手段	自動車、公共交通
	燃料	ガソリンスタンド
	食料	商店、配給
	日用品	商店、配給
	気温	天気

階層	項目	対象
社会的	プライバシー	自宅or避難所
	仕事	勤務先
	親族	親族
	固定資産	自宅、自動車など

基本データまで分解した後、
上位階層項目の重要度を被災者の体験談に基づいて重み付け



個々の被災者ごとの評価

- ペルソナ
 - 具体的で詳細な特性を持つ架空のユーザモデル
 - 平均像、典型例ではない
- 特徴的な被災者のペルソナを作成
 - 今回は被災者の手記等を参考に

【ペルソナの例】

年齢: 40代

性別: 男性

住所: 仙台市太白区のマンション

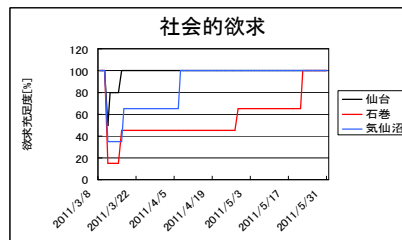
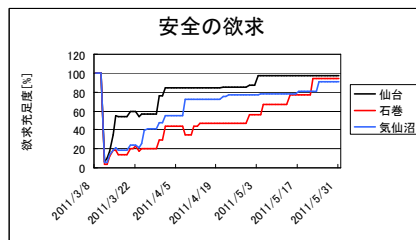
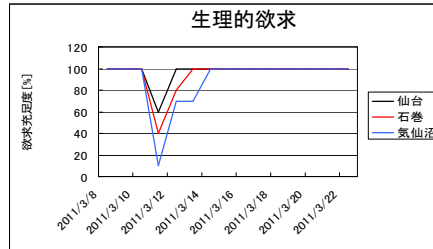
家族構成: 妻と二人暮らし

健康状態: 良好(血圧が少し高く常備薬を服用、数日間は服用しなくても特に影響なし)

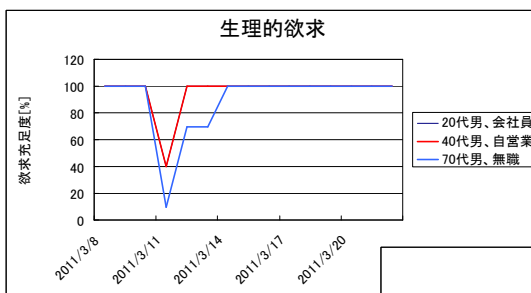
職業: 自営業



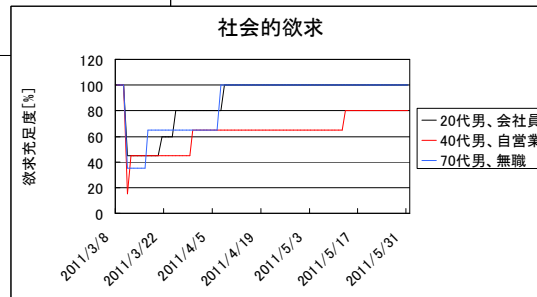
評価結果(1)



評価結果(2)

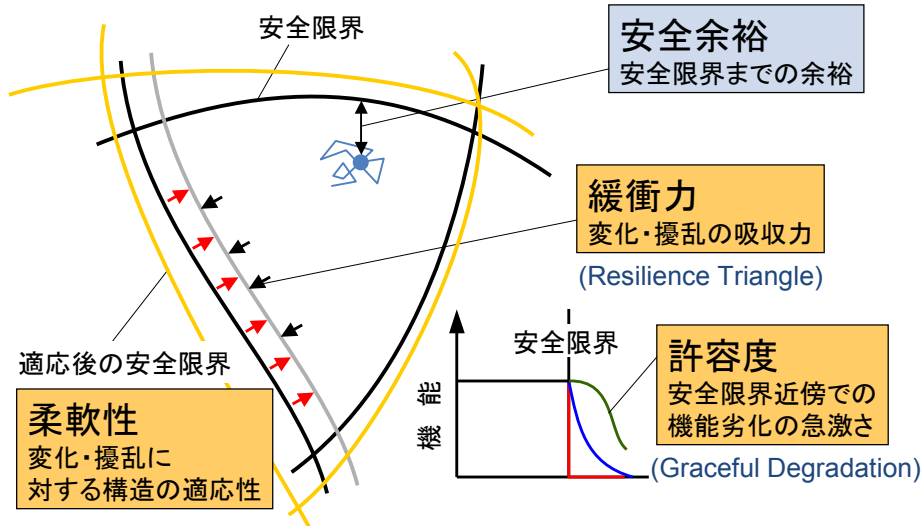


同町内(気仙沼市)に
在住の3人





レジリアンスの評価基準(2)



従来の工学設計の前提

- 特定の**設計基準**を事前に設け、それを満足するようにシステムを設計する。
- 設計基準を超える状況は**想定しない**こととし、そこでのシステムの機能は**保証しない**。
- 設計基準を超える状況が起る確率の推定は、**経験的**に可能である。
- どこに設計基準を設けるかは、本来、工学の問題ではなく、**政治と経済**で決る。



まとめ

- 従来のリスクマネジメントの考え方では現実に対処できなくなりつつあり、システミックモデルに基づく新しいアプローチが求められる。
- 複雑系における事故のシステミックモデルやレジリアンス工学の発想は、これを解決するための有力な手がかりになり得る。