東京大学レジリエンス工学センター設立記念講演会

システムズ・レジリエンス
-- レジリエンスのサイエンスを目指して --

丸山 宏
情報・システム研究機構　統計数理研究所
hm2@ism.ac.jp
http://systemsresilience.org

「想定外」?

「想定外」にどう対応するか

Photo: Fukushima No.2 Plant, TEPCO

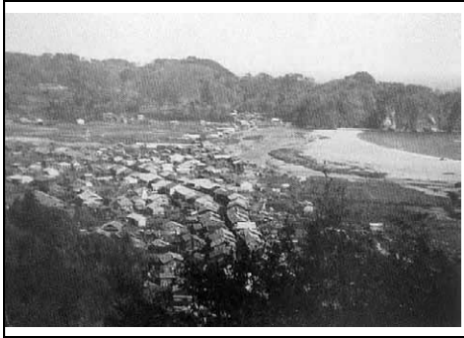
想定された津波高さ:
5.7m

3/11の津波高さ： 14m

防潮堤が14mならばよかったのか？

想定外1：過去に経験があるが極めて稀であるため、工学的に想定外とせざるを得ない

Miyako City, Before 3/3, 1933 *After*



K. Satake, Earthquake Research Institute, University of Tokyo
http://www.bosai.go.jp/koho/event/report311/img/20110417_03.pdf

想定外2：過去にないが、モデルの予測範囲内

想定外3：全くのサプライズ

re･sil･i･ent

adj. 弾力性のある、回復力のある

今回のような震災に立ち向かうためには、災禍の損害から早期の機能回復が可能な技術社会システムを実現するための、レジリアンス工学とも呼ぶべき新分野を確立しなければなりません

東京大学工学系研究科 緊急工学ビジョン・ワーキンググループ「震災後の工学は何をめざすのか」
http://www.t.u-tokyo.ac.jp/epage/topics/pdf/vision.pdf

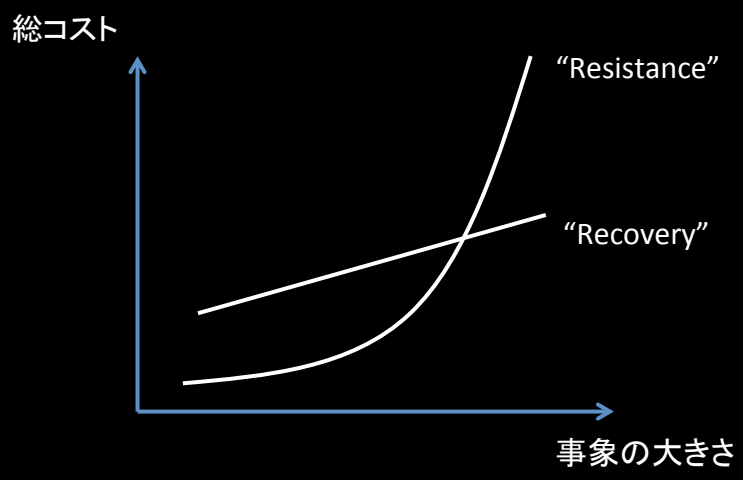
Resilience = Resistance + Recovery

Logstaff et al., "Building Resilient Communities," Homeland Security Affairs, Vol VI, No.3, 2010

+

Taoi-cho, Miyagi Pref.
http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index2.cgi?ac1=B742&ac2=&ac3=1574&Page=hpd2_view
http://fullload.jp/blog/2011/04/post-265.php

Resilience = Resistance + Recovery



情報・システム研究機構での取り組み

国の研究機関

- 経済産業省
  - 産総研
- 総務省
  - NICT
- 文部科学省
  - 自然科学研究機構
  - 高エネルギー加速器研究機構
  - 人間文化研究機構
  - 情報・システム研究機構
- …

情報・システム研究機構

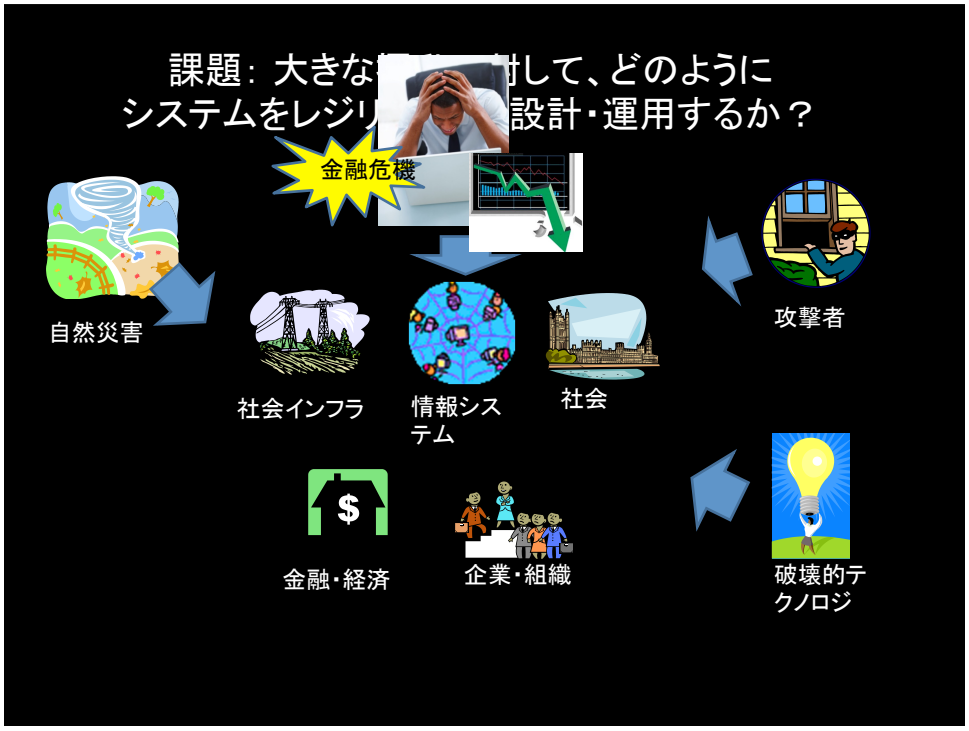
国立遺伝学研究所

国立情報学研究所

統計数理研究所

国立極地研究所

SYSTEMS RESILIENCE
新領域融合プロジェクト システムズ・レジリエンス
Systemsresilience.org
English
ホーム
研究概要
メンバー
研究業績
リソース
関連プロジェクト
想定外を科学する
SYSTEMS RESILIENCE
TRANSDISCIPLINARY RESEARCH INTEGRATION CENTER
ニュース
2012/7/26 -- 27
本プロジェクトのワークショップを軽井沢国際高等セミナーハウスで開催し、16名（外部からの招待者4名）が参加しました。
最近の論文
1. 丸山宏, レジリエントな社会に向けて, 日本ソフトウェア科学会第29回大会, 2012.
2. 丸山宏, 井上克巳, 椿広計, 明石裕, 岡田仁志, 南和宏, システムズ・レジリエンス, 第11回情報科学技術フォーラム, ２０１２年９月.
お問い合わせ
〒190-8562
東京都立川市緑町10-3
統計数理研究所
丸山宏研究室
TEL: 050-5533-8536
Eメール: hm2 at ism.ac.jp
統計数理研究所
国立情報学研究所
国立遺伝学研究所
国立極地研究所
国立環境研究所
東京工業大学
公立はこだて未来大学


課題：大きな
システムをレジリ
設計・運用するか？
金融危機
自然災害
社会インフラ
情報システム
社会
攻撃者
金融・経済
企業・組織
破壊的テクノロジ

仮説1：分野を超えた共通のレジリエンス戦略がある

目標：レジリエントなシステムを設計・運用するための知識体系

金融システム

社会インフラ

情報システム

社会システム

企業・組織s

システムズ・レジリエンス知識体系(BOK)

タクソノミ、用語、理論、方法論、ツール、ベスト・プラクティス…

多分野に渡る知見

仮説：レジリエンスは「システム的性質」

システム全体として
捉えることで初めて
現れる性質

企業の場合

構成的（還元的）
性質

システム的性質

- 売上げ
- 資産総額
- ：

- ブランド
- 株価
- ：

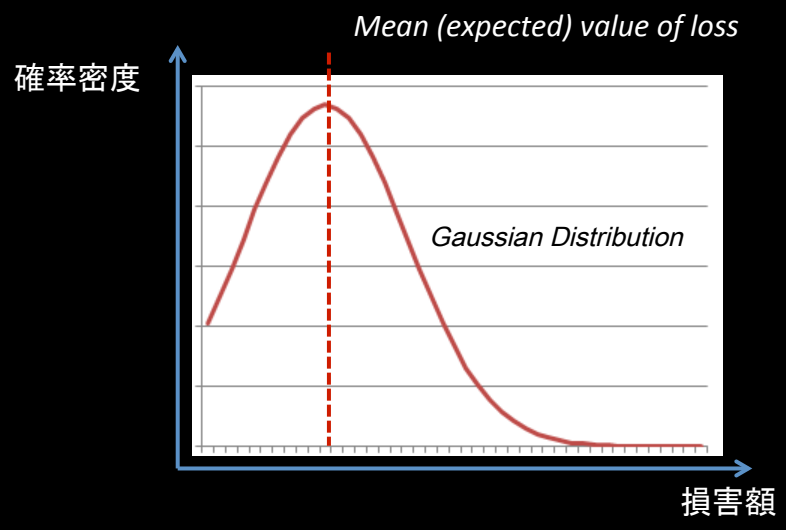
保険によるリスク低減

事象の生起確率

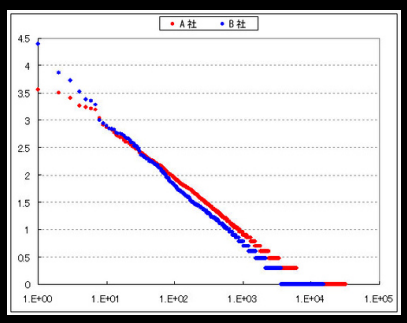
期待ロス = $p * V$

損害の大きさ

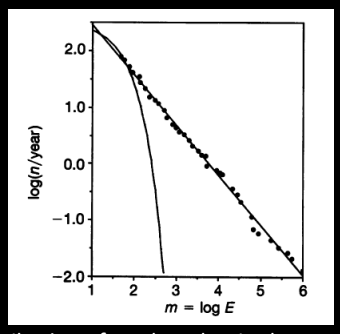
期待値はガウス分布には良いが…



複雑な系では、べき分布が多く見られる

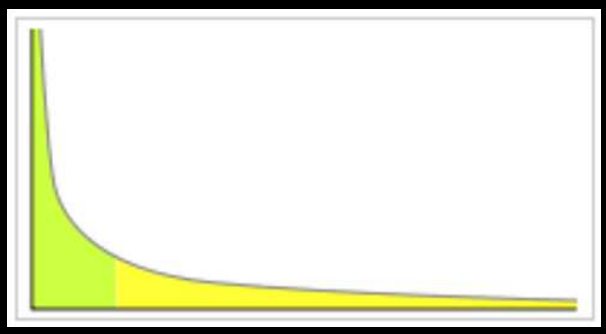


Web site traffic vs Search Keywords http://gitanez.seesaa.net/article/22472562.html



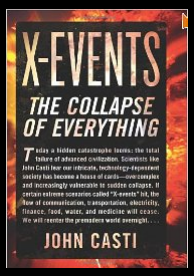
Distribution of earthquakes in the New Madrid zone in the southeastern United States during the period 1974-1983,collected by Johnson and Nava. P. Bak and M. Paczuski, Proc. Natl. Acad. Sci, USA, Vol 92, 1995.

べき分布においては、ファット・テール



$$\int x^{-1}\,dx = \infty$$

X-Events – The Collapse of Everything by John Casti



稀な巨大事象

- ガウス分布
- 時間給のビジネス
- 平均値が支配的

“Mediocrestan”

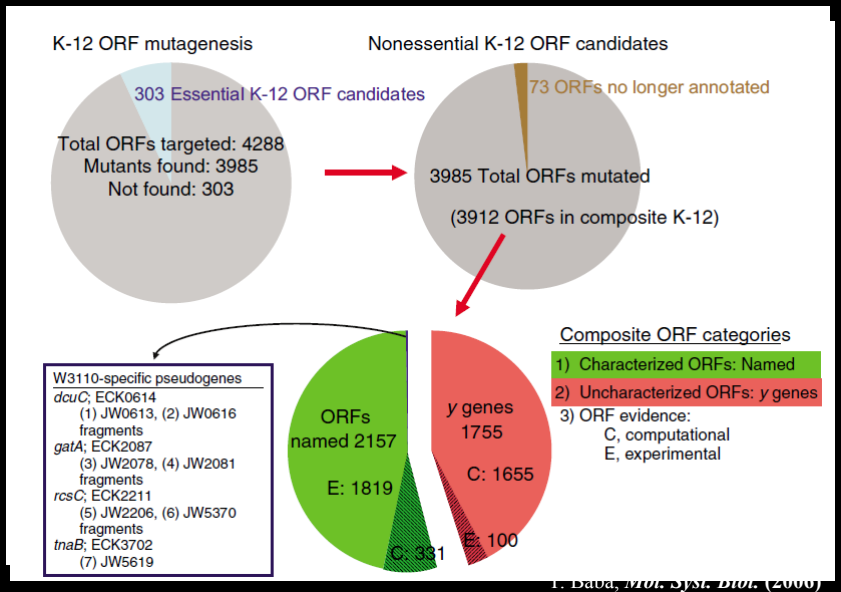
- べき分布
- スケールするビジネス(出版、投資、…)
- 極値が支配的

“Extremistan”

レジリエンスの共通戦略

A) 冗長性
B) 多様性
C) 適応性
D) 能動的レジリエンス

冗長性1：大腸菌の場合



T. Baba, *Mol. Syst. Biol.* (2006)

冗長性2：ワシントン湖のイトヨの場合

Threat of Trout Predation

J. Kitano, et al., "Reverse Evolution of Armor Plates in the Threespine Stickleback," *Current Biology 18*, 2008.

冗長性3：日本の電力の場合

非常に大きい冗長性!!

冗長性4: 9.11における通信の相互運用性

相互運用性は冗長性の一形態

多様性1: 生物はなぜ絶滅を免れてきたか

Sepp Hasslberger, "What Really Killed the Dinosaurs?
http://www.newmediaexplorer.org/sepp/2007/12/13/what_really_killed_the_dinosaurs.htm

多様性2：森林の小さな再生

“小さな擾乱を積極的に受け入れ、小さな再生やイノベーションを許すことによって、巨大な災害を軽減することができるかもしれない.”

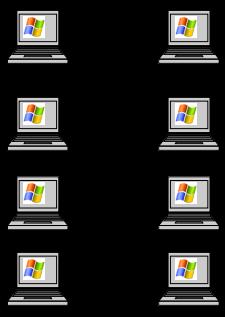
“すべての擾乱を一律に排除するのは、おそらく最も危険な戦略”

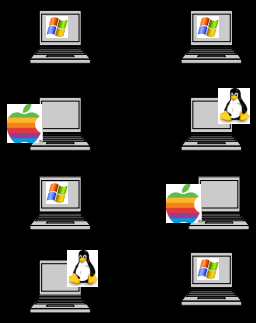
多様性3：コンピュータ・ネットワーク

“Redundancy and Diversity in Security” by Bev Littlewood and Lorenzo Strigini

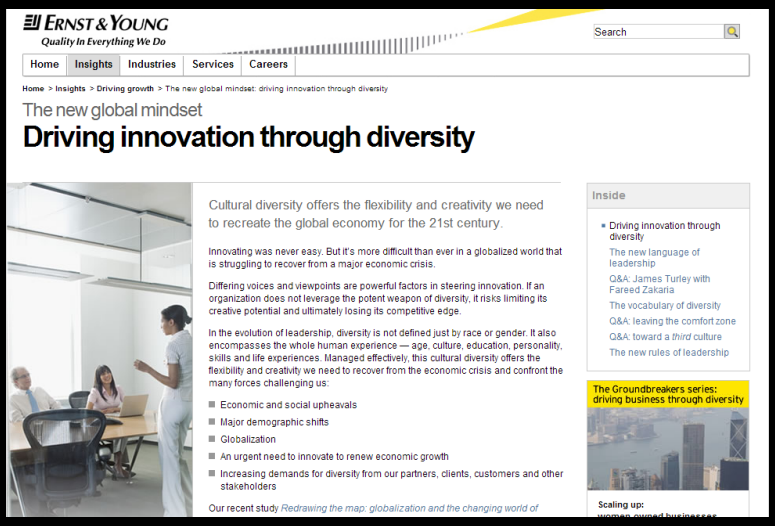
一様なネットワーク(高効率)

多様なネットワーク(resilient)





多様性4：ビジネス戦略としての多様性 (not as CSR)



多様性をどのように測るか- 1: ばらつき

$$\sigma = \sum_{i=1}^{m} \frac{(x_i - \mu)^2}{m}$$

多様性をどのように測るか- 2: 種の多様性

$p\downarrow 1$ $p\downarrow 2$ $p\downarrow 3$ ... $p\downarrow N$

Generalized Entropy: $G_N^{\alpha}(p_1, p_2, \ldots, p_N) = (\sum_{i=1}^{N} \frac{p_i^{\alpha}}{N})^{\frac{1}{1-\alpha}}$

Number of Types (α=0): $G_N^0(p_1, p_2, \ldots, p_N) = N$

Diversity Index (α=2): $G_N^2(p_1, p_2, \ldots, p_N) = (\sum_{i=1}^{N} \frac{p_i^2}{N})^{-1}$

準備

- Replicator Equations

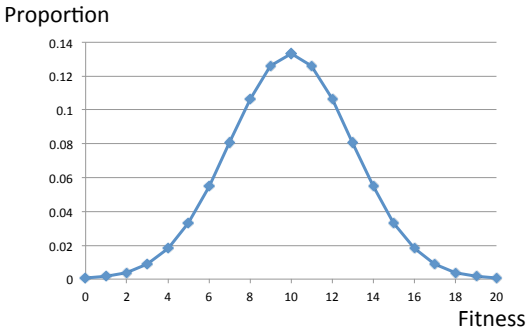
$$p_i^{t+1} = p_i^t \frac{\pi_i}{\pi^t}$$

より環境に適した種の個体数が世代とともに大きくなる

Where

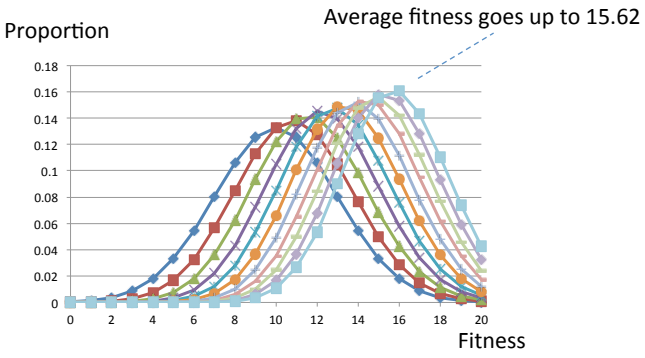
p_i^t : 種i の時刻 t における個体数
π_i : 種 i の環境に対する適応度
π^t : 時刻 t における適応度の平均

時刻 *t=0* でのPopulation

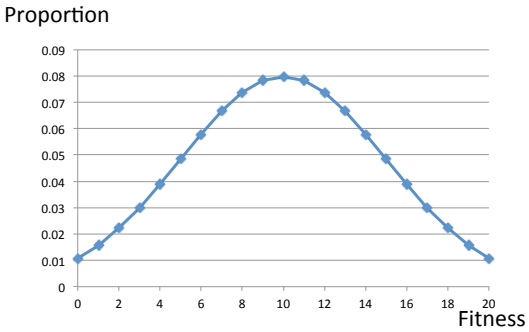


Average fitness=10, σ＝3

10世代後

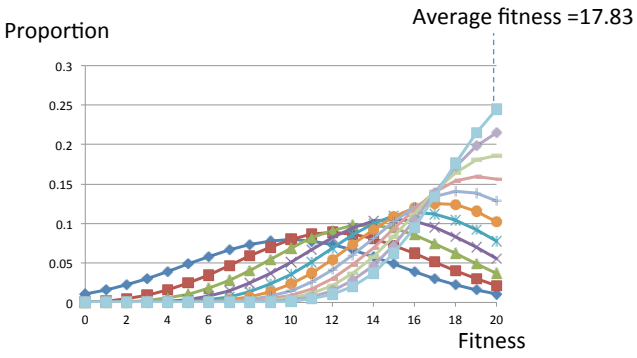


時刻 *t=0* でより大きなばらつきがあれば…



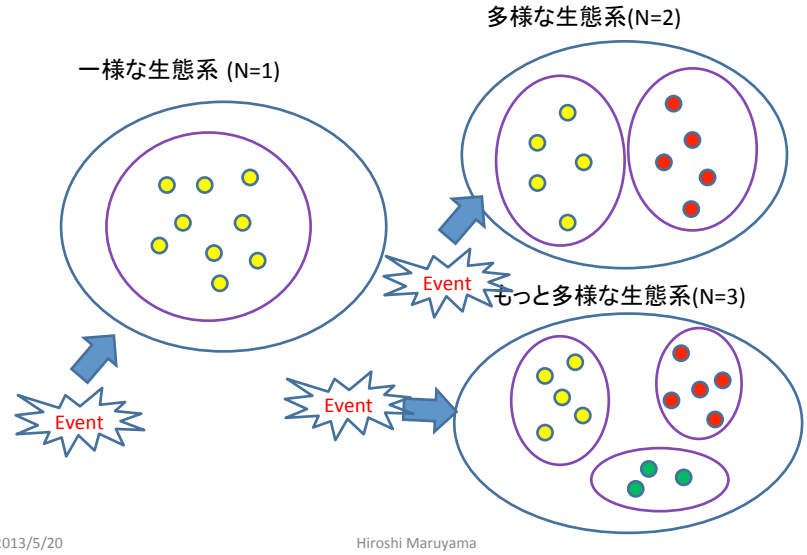
Average fitness=10, σ＝5

10世代後…

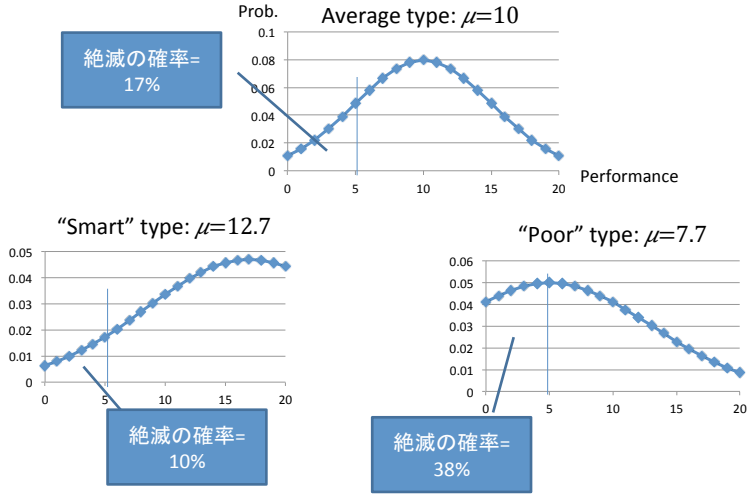


ばらつきの大きさは速い進化を可能にする

平均化



一様な生態系の場合(N=1)



絶滅確率は、環境に適した種であってもかなり高い

中心極限定理

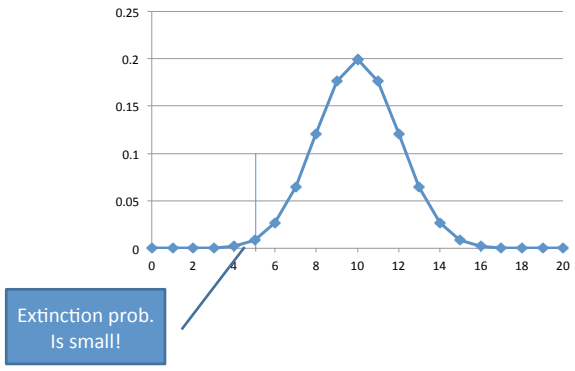
$X_1, X_2, \cdots, X_N$: 独立な確率変数、 平均値 μ 、標準偏差σ

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^{N} \frac{X_i}{N}$$

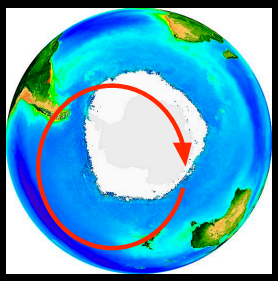
X has mean μ and standard deviation $\sigma/\sqrt{N}$

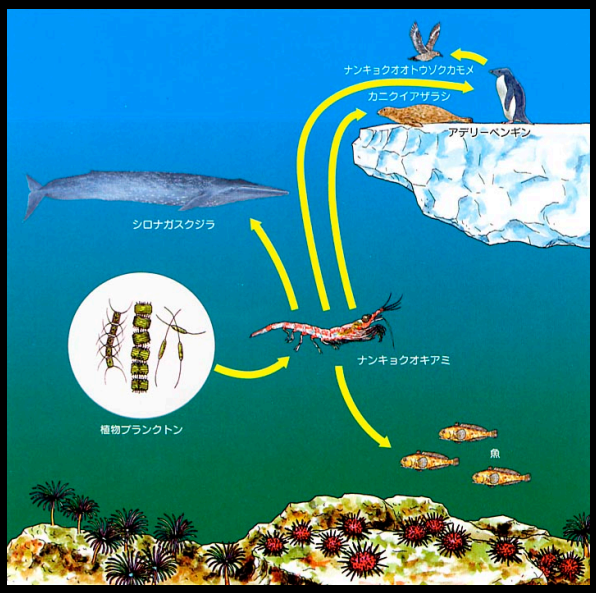
大きなNに対して、ばらつきは小さくなる

多様な生態系においては… (N is large)



多様性5: 南極の生態系





適応性1: 3/17/2000, Philipsアルバカーキ半導体工場の火事

Philips plant

- Got a small fire, which was extinguished soon
- Notice both companies of a possible one-week delay of shipment
- Found later that many of the machines in cleanrooms were contaminated

NOKIA Connecting People

シェア12% → 15%

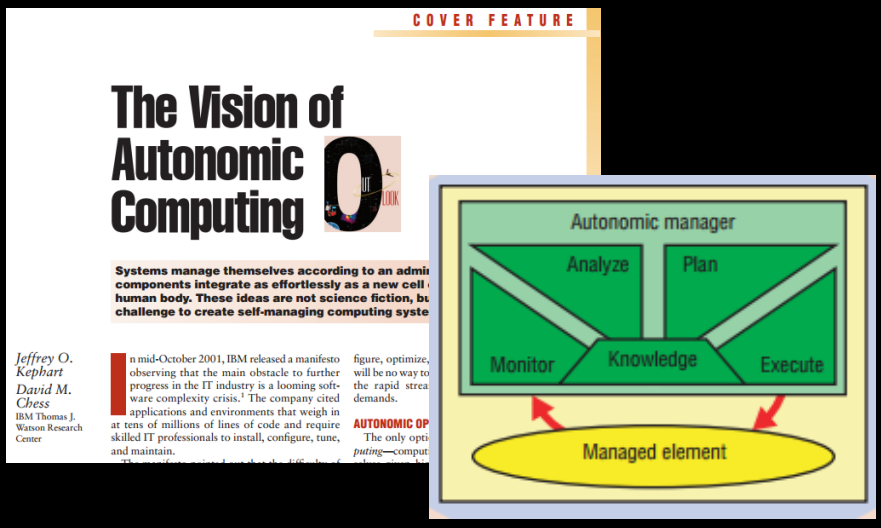
- Raise the issue of a potential disruption to the top management immediately
- Ascertain the availability of alternate sources for the parts
- Dig into the capacity of all Philips factories

ERICSSON

$2.34Bの損害、ビジネス撤退

- Just wait for parts
- When Ericsson realized the problem, it's too late

適応性2：コンピュータ・システムの場合


COVER FEATURE

The Vision of Autonomic Computing

Systems manage themselves according to an admi components integrate as effortlessly as a new cell human body. These ideas are not science fiction, bu challenge to create self-managing computing syste

Jeffrey O. Kephart
David M. Chess
IBM Thomas J. Watson Research Center

In mid-October 2001, IBM released a manifesto observing that the main obstacle to further progress in the IT industry is a looming software complexity crisis.[1] The company cited applications and environments that weigh in at tens of millions of lines of code and require skilled IT professionals to install, configure, tune, and maintain.

figure, optimize, will be no way to the rapid strea demands.

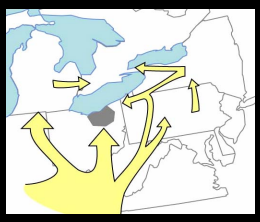
AUTONOMIC OP
The only opti
puting—comput

Kephart and Chess, “The Vision of Autonomic Computing,” IEEE Computer, 2003.

適応性3：2003年 米国東北部大停電

- 5,500万人に影響
- オハイオの送電線の障害が、連鎖的障害を引き起こした
- 不十分な情報の共有・分析

16:05:57

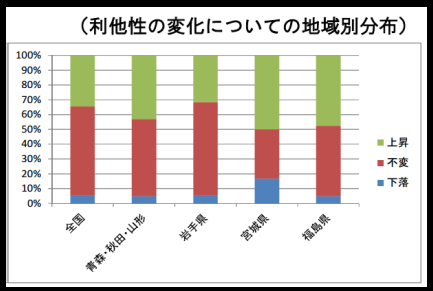

16:05:57

16:10:37

能動的(Active)レジリエンス

- Oct. 2002, *How Resilience Works* by Diane L. Coutu
- Sept. 2003, *The Quest for Resilience* by Gary Hamel and Liisa Välikangas
- Dec. 2012, Spotlight on *How to Manage Disruption*
  - "Surviving Disruption" by Maxwell Wessel and Clayton M. Christensen
  - "Two Routes to Resilience" by Clark Gilbert, Matthew Eyring, and Richard N. Foster
  - "Kiva the Disrupter" by Mick Mountz

利他性はレジリエンスを高めるか？



慶応義塾大学「東日本大震災に関する特別調査」の概況（第１回）より

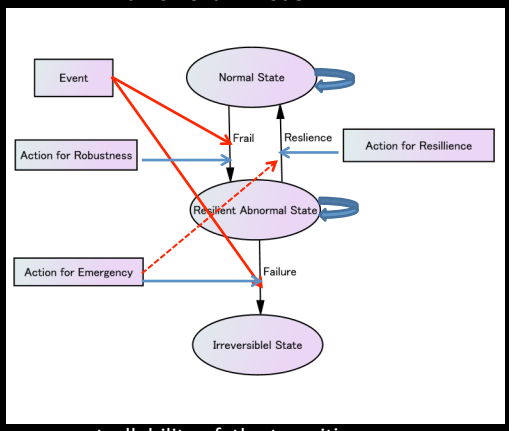
「利他的な遺伝子」

July–August 2011 Harvard Business Review

Definition of “Crisis” and its Management

- Significant risk caused by a rare and uncontrollable event.
- The event could change states of different stakeholders.
- Types of the States of a stakeholder
  - Normal state
  - Resilient abnormal state
  - Irreversible abnormal state
    - Fatal risk

Markov Chain Model



controllability of the transition probabilities by possible counter measures

“General Quarters” (総員配置)

➡ *全乗組員が一斉に行動ルールを切り替える*

緊急対応のベスト･プラクティス

「実施の判断は、最も下位のレベルでなされるよう」

「調整と支援は、最も上位のレベルから提供されるよう」

ISO/TC 223/WG 3 N 210

Date: 2011-02-04

ISO/FDIS 22320:2011(E)

ISO/TC 223/SC /WG 3

Secretariat: SIS

irements for

as d'incident

Secretariat's note:

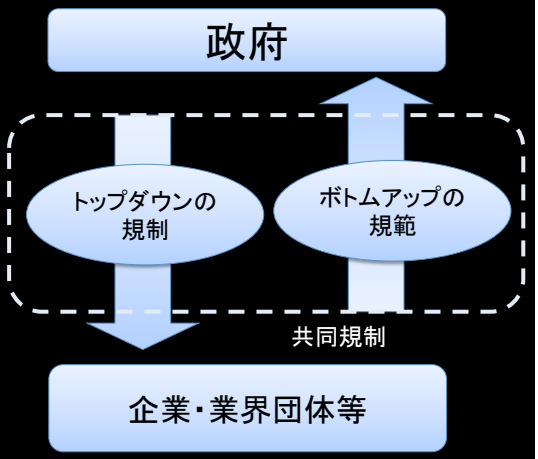
This document shows the results of the discussion at the 14th meeting of WG 3 held in December 2010 in Bangkok and the editorial check in accordance with the resolution:

Resolution 01/2010/ISO/TC 223/WG 3 – 2010-11-02
WG 3 has discussed all comments on DIS enquiry on ISO/DIS 22320 and changes were incorporated in the revised document.
The Document will be editorially checked by editorial group. The revised version will be circulated to WG 3 members for approval for submission to TC secretariat for formal vote as ISO/FDIS 22320.
Target date: end of February 2011 to TC Secretariat

In accordance with this resolution we kindly ask you for approval. No answers will taken as approval.

ANSWER (please return before 2011-02-23)

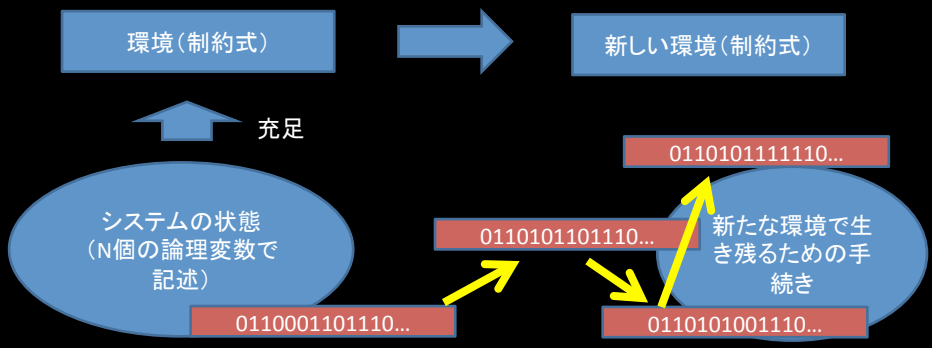
秩序形成の方略



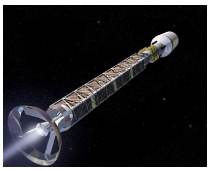
巨大な擾乱に強い秩序形成の方略は？

レジリエンスの数理モデル

(動的)制約充足問題としてのモデル化



Example 1: Resilient Spacecraft RS-1



N個の部品: $X_1, X_2, \ldots, X_N$
部品の状態: {Green, Red}
Fitness: すべての部品が *Green*

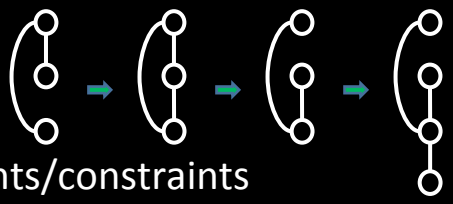
外部イベントの前提:
1. 1回の事故は、高々 *k*個の部品に影響
2. 次の *k* 日間は事故は起きない

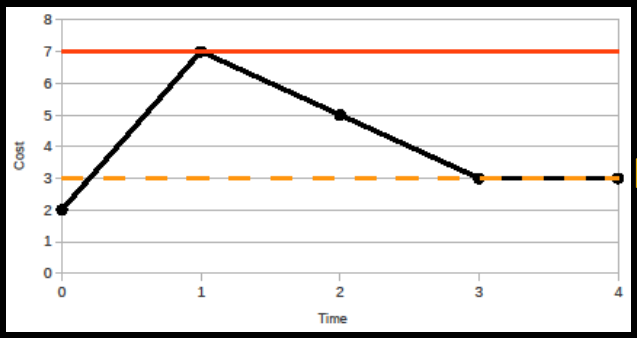
適合戦略:
- エンジニアは、1日に1つの部品を直す

⇒ RS-1 is *k*-Resilient

SR-model

1. Dynamic system
2. Multi-agent
3. Constraint-based
4. Flexible, can +/- agents/constraints





Resistance
+
Recoverability
=
Resilience

61

レジリエンスの難しさ

Restore … ?

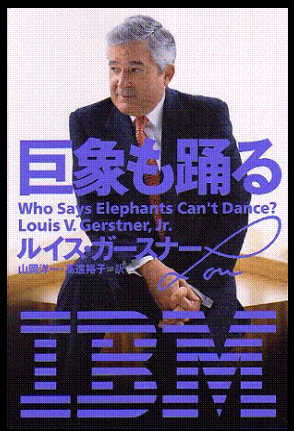
… Or Rebuild

同一性の問題

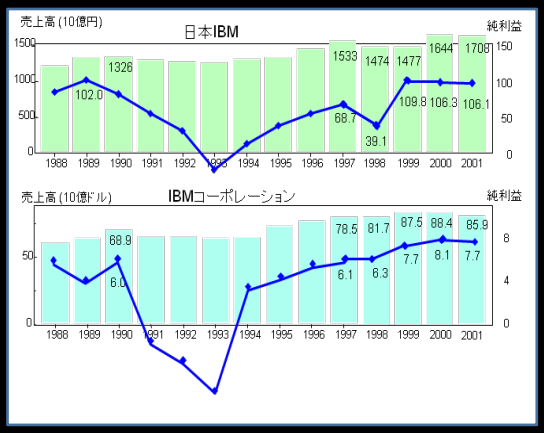
和田香苗画伯制作＝衆参事務局『国会議会開設１１０年記念』

同じシステムか？

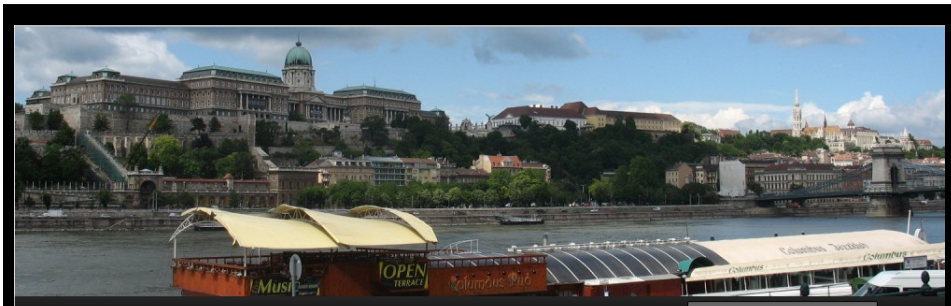
同一性の問題



「巨象も踊る」ルイス・ガースナー著
日本経済新聞社



同一性の問題



DSN 2013 Tourist Info Search

- DSN 2013
  - Call for Contributions
    - DCCS CfP
    - PDS CfP
    - Workshop CfPs
      - DCDV 2013
      - RSDA 2013
      - WORCS 2013
      - WSR 2013

Call for Papers — WSR 2013

Workshop on Systems Resilience

PURPOSE AND SCOPE

A resilient system is a system that can, in the face of unknown, large-scale events, recover from the failures and maintain its functions. It is known that many systems, such as biological systems, human mind, social systems, and dependable engineering systems exhibit this property. However, it is not clear how we should identify general "resilience" properties or strategies applicable to systems in many different domains. The purpose of this workshop is to bring the insights from various fields of resilient systems and explore common research challenges and design principles in the new discipline of "systems resilience."

TOPICS OF INTEREST

Thank You