

ネットワークが社会を支える

林 幸雄

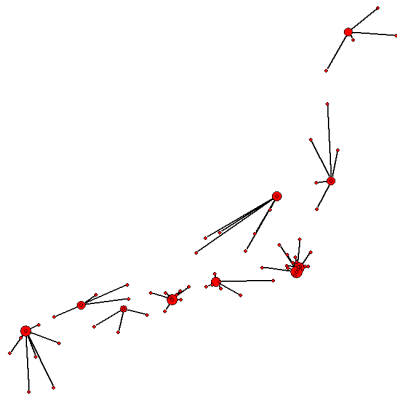
北陸先端科学技術大学院大学

微修正版 2026

1. 現代社会に不可欠なネットワーク



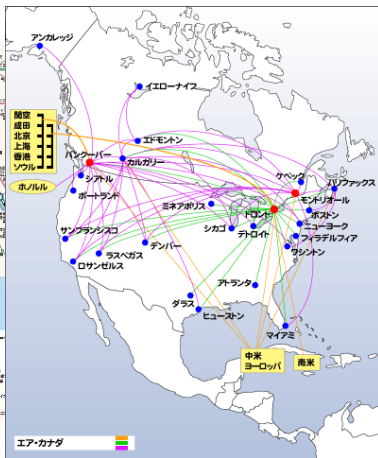
電力網



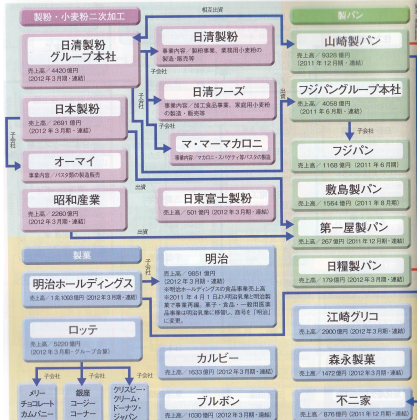
宅配便の輸送網



首都圏の地下鉄網

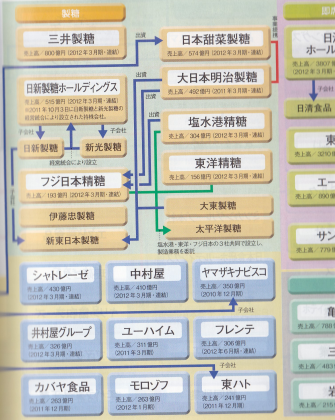


航空路線網



2011年の食品業界は、震災の影響もあり、買い控えや流通経路で消費が減退。また小麦や大豆等の原材料が値上げされたため、多くのメーカーが値上げを余儀なくされた。

2012年は、その極限まで需要増の動き。しかし、天候不具合による

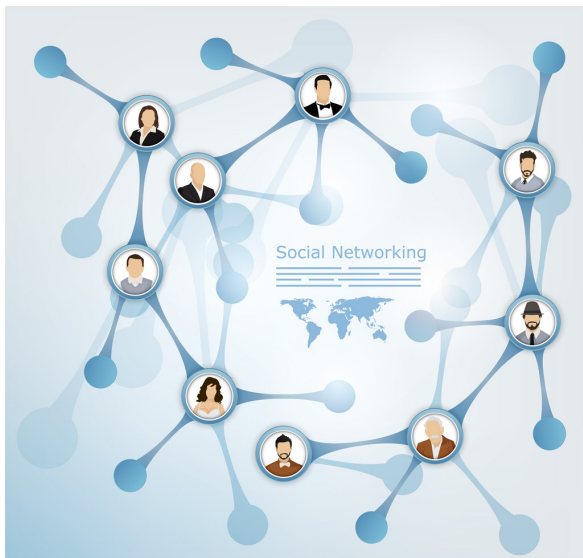


洋菓子の本場で洋菓子で

2011年4月に事業再編を果たした明治も、今後は、すでに拠点を構えている中国・東南アジア・アメリカを中心に海外事業の拡大を図る。輸出だけでなく、現地生産も本格化して、世界50カ国以上

かつて、外食チェーンの「餃子の王将」が、中国産餃子の大量輸入を断念し、国内産の餃子に切り替えたことが話題となったが、今度は、最大手「シャトレーゼ」が、ヨーロッパで毎月100万個に達する餃子の輸入を断念し、国内産の餃子に切り替えたことが話題となった。

ソーシャルネット



<https://creativecommons.jp/>

ネットワークとは?

ネットワークは, ノードと呼ばれる「点」と, リンクと呼ばれる「線」で定義され, いくつかの点同士が線で繋がった構成物をさす.

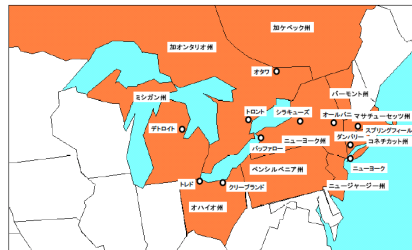
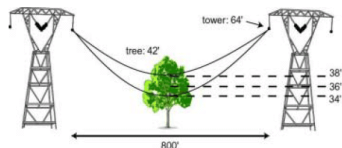
グラフ理論では, 頂点集合 $V = \{1, 2, \dots, i, j, \dots, n\}$ とノード i - j 間の辺集合 $E = \{e_{ij}\}$ を用いて (V, E) と表記される.

それらがコンクリートで出来ているのか, 金属なのかアスファルトなのか, といった構成要素の物質的な性質には拘らずに, 「それらの要素がどのように (何処と何処が) 繋がっているか」に着目する

2. 連鎖故障のシステム障害

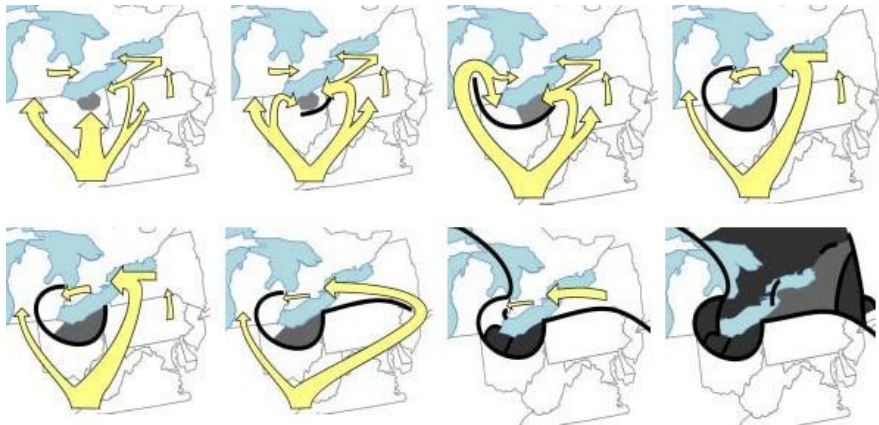
許容量を越えた被害伝搬

- 電力崩壊: 初期断線からの広域停電
- 道路やパケットの渋滞
- 不況で資金繰りが付かない企業の倒産連鎖
- :



2003 年 8 月 14 日北米北東部停電事故に関する調査報告書, 2004 年 3 月北米北東部停電調査団 (NERC "August 14 2003 Blackout"), 及び, 北米東部大停電について, IEEJ 2003 年 8 月

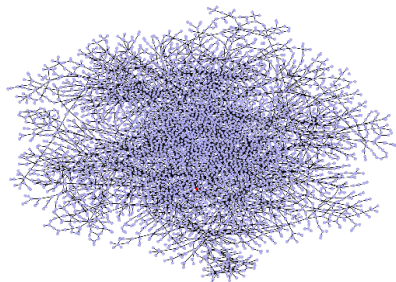
Blackout in US 2003



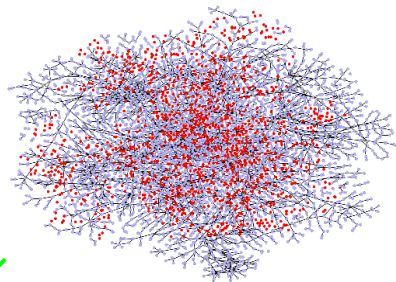
五大湖周辺の北米東部大停電の推移。上段の右から左に時刻 16:06, 16:08:57, 16:10:37, 16:10:38, 下段の右から左に時刻 16:10:39, 16:10:44, 16:10:45, 16:13 における黒の停電領域の広がりを表す

Avalanche Dynamics in Internet(AS)

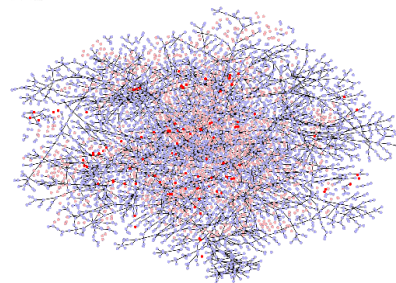
スケーラビリティ (0.00000)



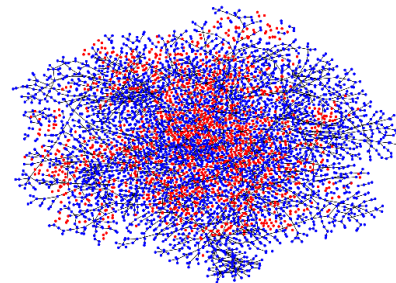
スケーラビリティ (0.00000)



スケーラビリティ (0.00000)

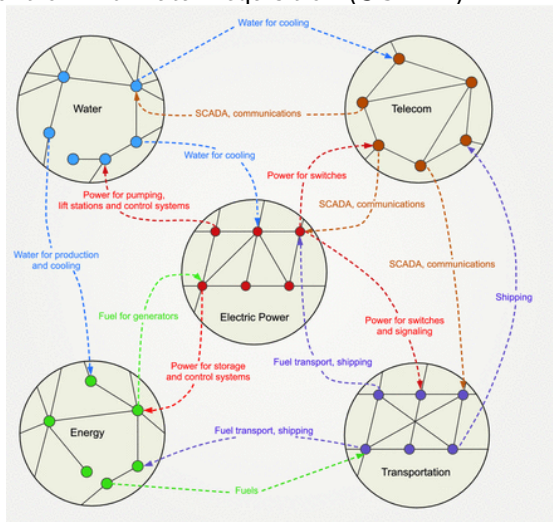


スケーラビリティ (0.00000)



3. 相互依存：社会を支える情報通信

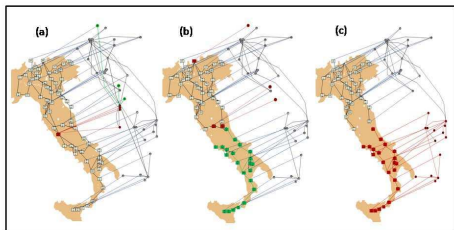
Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)



J.Gao, D.Li, and S.Havlin, *National Science Review* 1, Special Topic: Network Science, 2014.

大規模な被害拡大が潜在的に起こりうる

欧米では国際重点研究領域:複雑ネットワーク科学
経済, 軍事, 社会や環境の持続, 技術インフラの相互依存



- Science 325,2009
 - ▶ Special Issue: Complex Systems and Networks
 - NetONets2011 in Int.Conf. NetSci2011
- System Risk and
Infrastructural
Interdependencies

⇒ 深刻な相互依存問題に対して、通信網は要だが、複雑に絡み合った大規模システムを中央統制するのは不可能

メガシティ災害の特徴と傾向

よりいっそう都市に人々が集まると...

- 市街地は海岸や氾濫原など自然条件として危険な地域に溢れ出す
- 都市開発の最前線は自然地形を突き崩して進むので、自然災害は発生頻度を低下させない
- 人口と経済投資の集中によって損失額は莫大となる
- 人工環境は時と伴に必ず老朽化して都市更新に荒廃が追い付かず、地区ごとの災害危険度が複雑な分布となる
- 移民や貧民は伝統的な相互支援ネットワークから切り離される

J.K.Mitchell(中林 一樹 監訳), 巨大都市と変貌する災害, 古今書院, 2006.

4. 本質的な問題は何か？

地震, 津波, 大雨洪水, 台風などの自然災害は世界中で頻繁に発生し, 近年の地球温暖化の影響から益々巨大化する傾向にある. ゲリラ豪雨やゲリラ雪が日本全国どこで発生しても不思議ではない. そうした災害に伴って, 建造物破壊, (農業や漁業に不適切な) 土地への荒廃, 物流停止, 停電, (人手では対処不能な速度で広がるシステム障害等にもよる) 交通や通信の障害などが発生し, 大きな被害をもたらしている.

応急処置すら対策が明らかでないが, 複雑に絡み合った大規模なシステムに対して, どのように対処すべきかに関する科学的指針すらないのが最も大きな問題

⇒ テロの脅威も加わりますますます深刻化!

自助 + 共助 + 公助せよとは言うけれど...



▶ 「釜石の出来事」について ⇒ 自律分散！

5. システムの自律分散と自己組織化が鍵

システムとは複数の要素が影響を及ぼし合っている機能を有する構成物を指す。ネットワークシステム(系)とは

- ネットワークの成長や故障・攻撃などによる構造変化自体を(何らかの規則や原理に従った)系と捉える
- 情報伝搬や合意形成のように、構築されたネットワーク上に流れる媒体の相互作用や空間的分布などを形成するメカニズムを、通信や経済社会における系と捉える

被害と回復の状況が時間と伴に変る中、司令塔が全てを掌握して制御することは困難であり、各地域が自律分散的に対策を講じながら、人や情報の連携が自然に出来ていく、そうした自己組織化が求められる。

Self-Organization

自己組織化システムとは、その各サブシステムは他との厳格な調整を必要とせずに自ら動作するにもかかわらず、全てのサブシステムが（相互作用で創発される）ある共通の目的に向かって協働するような完全分散システムをさす。

システムのミクロな要素レベルの相互作用だけで、要素における比較的単純な処理からは容易に想定できないような、全体レベルのマクロな現象（パターン）や機能が出現する

⇒ 中央制御の不在、構造の創発、結果的な複雑性、（サブシステムの追加で性能が低下しない）高い拡張性

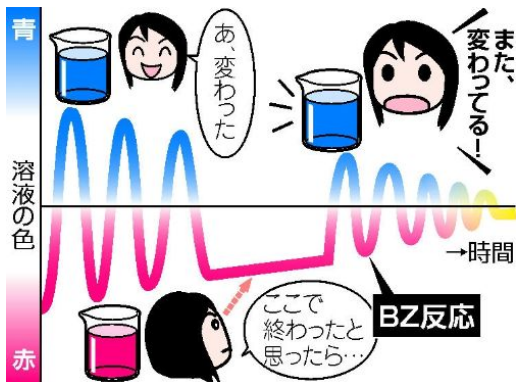
F.Dressler, Self-Organization in Sensor and Actor Networks, John Wiley & Sons. 2007

Micro-Macro Interaction

例

現象名	ミクロ	マクロ
BZ 反応	反応拡散	渦巻き模様
バクテリアや粘菌	表面成長	樹状突起パターン
雷	大気中の電荷蓄積	稲妻の形状
雲	水蒸気と気圧	モコモコ形状
WWW	ページの更新・追加・削除	ネットワーク構造
都市伝説や流行	知人との会話や口コミ	広がっては消えるパターン

Belousov-Zhabotinsky 反応



<http://news.livedoor.com/article/detail/6052570/>

<http://www.goinkyo.jp/isaoa/clip/?i=2011/11/17-165806>

バクテリアの増殖

【樹状パターンの形成過程】



【樹状パターンの形成過程】



滑らかな樹状パターン

【樹状パターンの形成過程】



【樹状パターンの形成過程】



乱れた樹状パターン

http://www.brh.co.jp/seimeishi/journal/054/research_11_2.html

プロセス（処理過程）としての自己組織化

- autonomous behavior control: 互いの自律的動作が局所的に作用
- loose coupling subsystems: 局所情報で働く各サブシステムは緩やかに結合して、他への影響度が小さい
- no global state maintenance: システム全体で状態維持しなくて良い
- no global synchronization: システム全体を同期して制御しなくて良い
- strong dependence on the environment: システム外の環境変化に適応できる
- possibly cluster-based collaboration: いくつかのサブシステムの塊ごとに協調できる

分散システム

システム全体を統括する司令塔が存在せず、いくつかのノードや媒体が分散したある範囲内で自律的に互いに作用

負荷分散

大きな仕事量を複数で分担する。一部に負荷を集中させずシステム全体として性能向上。

処理分散

仕事の発生やサービスを必要とする場所で分ける。輸送コストや応答時間を小さく出来る。

機能分散

メールやウェブなどの機能ごとに分ける。応答時間や信頼性などの点で有利。

他にも、リスクに対する**危険分散**，組織ごとの**管理分散**，機能や規模の強化の為の**拡散分散**

分散システムの要求項目：Resource access, Transparency, Scalability

分権型組織

- ① サークル： 共通する文化や伝統， 独自の習慣や規範などを持つ少人数のグループ
- ② 触媒： 模範を示して導くが， 他者の役に立ちたい欲求が強く， 組織を軌道に乗せるとその権限を譲る人
- ③ イデオロギー： 独自の信念と信念を貫く覚悟
- ④ 既存のネットワーク： 既にある組織を土台にする
- ⑤ 推進者： 新しい概念を推し進める実行者

O.Brafman, and R.A. Beckstrom (糸井恵 訳)，ヒトデはクモよりなぜ強い 21 世紀はリーダーなき組織が勝つ, 2007, 日経 BP 出版

ヒトデとクモ



<http://www.seibutsushi.net/blog/2008/03/414.html>

<http://blogs.yahoo.co.jp/taka3829origin/6339213.html>

中央集権型と分権型の組織の違い

特徴	中央集権型 スペイン軍	分権型 ▶ アバッチ 族
責任者がいない	×	○
本部がない	×	○
頭を切っても死なない	×	○
明確な役割分担がない	×	○
一部の破壊が全体被害を被らない	×	○
知識と権限が分散	×	○
形が定まらず流動的な組織	×	○
各部門が独立して資金を調達	×	○
参加者数が不明	×	×
各部門が直接連絡し合う	○	○