

イントロ:相互に関連する社会技術

○林 幸雄 (JAIST)

Introductory Issue: Interdependent Complex Socio-technological Infrastructures

*Y. Hayashi (JAIST)

Abstract— Today, our societies and technologies are mutually related in economic, transport, communication, and ecological systems. We introduce an issue of the interdependency of such complex network systems in real worlds, and point out the vulnerability of connections involved in cascading failures. New trends of "sociophysiology" and "network science" will give the key approaches for solving these problems.

Index terms— Complex systems, interdependency, disaster, terrorism, huge blackout, mega-city

1 はじめに

企画セッション「社会的問題解決に挑戦する科学の新潮流-複雑ネットワーク科学と社会物理学からの提言-」の導入的な話題提供として、我々を取り巻く現実の社会システムに関するここ数年の国際的な研究動向に触れたい。

十年ほど前、インターネット、電力網、航空網、企業や人間のつながり、食物連鎖、(癌の発病など) 遺伝子を含む生化学反応系等における多くのネットワークに共通する性質:スモールワールド性とスケールフリー構造が発見され、「複雑ネットワーク科学」という研究分野が誕生した¹⁾²⁾。世紀末前後の研究ラッシュを経て、数百万から数億個のノードからなる大規模なネットワークが高々数十程度のノードを経由して効率的に互いに繋がっている事や、不慮の故障には強い結合耐性を持つが悪意のある弱点(ハブ)への集中攻撃には極めて脆弱である事などが、理論とシミュレーション実験の双方から次々と明らかとなり、経済-軍事-輸送-通信-生命を支える現代社会のネットワークインフラが抱える深刻な問題を提示した。しかも、「金持ちはより金持ちになる原理」に従い、誰もが自分にとって有利な状況になるよう振る舞うと、こうしたネットワークが基本的に出来てしまうのである¹⁾。

これらは、'90年代以前の「複雑系」現象論とは分析手法も根本思想も異なり、統計物理的な理論解析と計算機による大規模データ分析を主な武器として、自律分散的なネットワークの創発原理とより良いネットワークの設計法に関する科学的解明を目指している。

2 相互依存問題

今日、経済取引、人の移動や物資の輸送、電気-ガス-水の供給、携帯電話やPCでの情報通信、それらを制御するコンピュータ網は、お互い密接に関わっている。社会生活と技術インフラはもはや切り放して議論できない。例えば、地震や落雷あるいは(テロなどによる)意図的な攻撃等によって停電が起こると連鎖的系統遮断を伴いながら、株や証券の取引はストップ、鉄道や飛行機は機能停止、信号も消え道路が混乱渋滞、物資供給が途絶えて生産活動や生活も困窮、今何が起きているかを知るための通信も出来ず、さらに別の場所にある発電

¹⁾より多く早く情報や物資をやり取り出来るよう、沢山のリンクを持つノードに結合が集中しやすくなる結果、スケールフリー構造が自然に出来上がる。

所や変電所の制御システムがダウンすることで、被害はさらに拡大していく。このような連鎖的被害はカスケード故障と呼ばれ、ノードやリンクの処理量が許容範囲を超える事が次々と引金となるのが問題の本質にあるが、しきい値動作である為に理論解析が困難となる。しかも、電力やインターネットだけの単一のネットワークの問題ではなく、相互に影響して被害が拡大する点でより深刻な問題をはらんでいる。

今年、こうしたネットワークの相互依存問題を議論する国際研究集会が開催され、経済、情報工学、物理など異なる分野の研究者が協調して取り組むべき課題であることが認識された³⁾。一昨年も著名な学術雑誌の特集号で、我々を取り巻く複雑なネットワークシステムが抱える深刻な問題とその解決の重要性が提起され、欧州などでは多額の研究投資が名言されている⁴⁾。

こうした背景の1つとして、大規模な被害がもはや絵空ごとではなく、実際にしかも頻繁に起きていることが挙げられる。例えば、2003年8月の北米東部大停電がある。きっかけは樹木接触による送電線の分断と考えられているが、そんな些細な出来事からは想像できない広範囲な被害が発生した。以下の引用⁵⁾からもその様子がうかがえる。

2003年9月14日(日本時間15日早朝)午後4時過ぎ、アメリカ北西部からカナダにかけて東部一帯に大規模(6000万キロワット²⁾)停電が発生した。[中略]停電から29時間後の現地時間15日夜(日本時間16日午後)、ニューヨークの電力はすべて回復したが、停電から36時間、一日460万人が利用するといわれる地下鉄は動かず、道路や交通機関は大混乱となり、ビジネスマンたちの中にはオフィスやタイムズスクエアなど野外で一夜を明かす人もいた。

同2003年9月にはイタリアでも大規模停電が起こり、通信網も巻き込んだ相互依存的な被害が発生した。当然、経済活動も社会生活も麻痺し、金銭的損失だけを考えても莫大となる。そこで、こうした問題を引き起こすメカニズムの本質を探り、効果的な対策を講じる為の研究が、今まさに精力的に行われ始めている⁶⁾⁷⁾。

²⁾6000万キロワットは東京電力のピーク供給力を上回る量。

3 都市化が進むとさらに深刻に

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⁸⁾、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。それらに伴って、建造物破壊、(農業や漁業に不適切な)土地の荒廃、物流停止、停電、(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。センサーや通信網が発達した現代なら、事前の情報入手や迅速な予測と、予め対策を講じておくことで食い止められる部分は少なからずあると考えられる。ただ、そうした応急処置だけでなく、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である。それは、地域ごと細分され独立に機能していた20世紀以前の社会や要素還元科学が直面してない問題である。

また、地球規模の世界各地でメガシティ化が進む一方、以下の点から、都市開発による災害危険度の増加が指摘されている⁹⁾。それらは便利さを追求する現代社会への警告と捉えられると同時に、その解決に向けて科学技術が果たすべき課題の選択にも関わる。しかも、問題ありきな訳ではなく、時事刻々と変りうる状況にいかに対応して対処できるかが極めて重要となるので、劣悪な環境でも人々が協調しようとする自律分散的なネットワークや社会コミュニティの構築が鍵を握る。

- 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
- 人工環境は時と共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

1.	自然災害、産業技術災害、社会的災害の複合的災害が、ますます多くなっている
2.	リスク(災害発生による危機の可能性)は、ゆっくり変化しつつある
3.	災害の発生位置は、顕著に変化しつつある
4.	被災しやすい脆弱集団は二極化し、かつ分離しつつある
5.	災害管理対策に対する社会的支持は、弱まりつつある
6.	災害問題と都市化問題との間の重複部分の存在は、災害と都市化の管理対策の相互介入の機会をもたらす

Table 1: メガシティ災害の特徴と傾向⁹⁾

4 おわりに

本稿では、大規模災害を想定した対策を例に、社会的問題解決に挑戦する科学的方法論として、ネットワーク科学(広い意味での複雑なシステムの研究)の重要性を紹介した。もちろん、災害だけに限った話ではなく、通常時に使えるシステムでないと意味がない。冷戦時代に空爆に耐え機能するよう設計されたインターネットですら半世紀以上を経て、当初想定できない程の利用形態の複雑さに遭遇し、無線通信の急速な拡大も伴い、根本的な見直しが必要と考えられる。

ここで改めて認識すべきことは、我々は(世界のいかなる場所でも)いかに脆弱なシステムの上に身を委ねてしまっているかである。経済や日々の生活、国際紛争やテロ、感染症の蔓延や生物資源などにおいて、また、そうしたシステムを脆弱にしているのは、我々自身の利己的な価値観に起因することも肝に命じるべきだろう。「金持ちはより金持ちになる原理」を思い出して欲しい。経済-軍事-輸送-通信-生命を取り巻く社会システムが互いに支え合っているのを別の意味でも見習って、これまでの学問領域を超えた協業を模索するのは有意義かも知れない¹⁰⁾。

一方、我が国ではあいかわらず、流行り言葉でないと理解されず、箱物と組織存続への投資が横行し、本質的に重要な課題への挑戦が損なわれ続けているのを嘆かわしく感じる。しかも、これまでの学術的知見を産業経済に役立てることに固執する傾向が強くなり、将来に向けたビジョンやデザインに欠けると感じるのは著者だけではないだろう。もちろん、産業経済は重要であるが、個々の利益に目を奪われ、旧態依然の物ベースの工業社会に囚われすぎていないだろうか。ネットワークは目に見えないが、驚くべき速さと広さで影響が伝播していく。効率ばかりを優先して、リスクに向き合わないのでは、計り知れない被害や莫大な損失が今後も発生し続ける。今のところ、我々はそういう脆いシステムに頼るしかないのだから。こうした事態を打破する為にも、新たな可能性について松下貢先生と今野紀雄先生にご講演をお願いした。参加者を含めた有意義な議論を期待したい。

参考文献

- 1) マークブ・キャナン著、阪本芳久訳、複雑な世界、単純な法則 - ネットワーク科学の最前線 -, 草思社 (M. Buchanan, "Nexus: Small Worlds and the Groundbreaking Science of Networks," W.W. Norton & Company, Inc., 2002)
- 2) アルバート=ラスロ・バラバシ著、青木薫訳、新ネットワーク思考 - 世界のしくみを読み解く -, (A.-L. Barabasi, "LINKED -The New Science of Networks-, " Perseus Publishing, 2002)
- 3) Satellite event in Netsci2011: Networks of Networks - Systemic Risk and Infrastructural Interdependencies - <https://sites.google.com/site/netonets2011/Home> <https://sites.google.com/site/netonets2011/Presentations>
- 4) Special Issue: Complex Systems and Networks, Science, Vol 325, Issue 5939, pp.357-504 (2009). <http://www.sciencemag.org/content/325/5939.toc>
- 5) ニューヨーク・カナダ大停電 (2003年8月14日) <http://www.bo-sai.co.jp/newyorkteiden.htm>
- 6) C.M. Schneider, N.A.M. Araújo, S. Havlin, and H.J. Harmann, "Towards designing robust coupled networks," arXiv:1106.323 (2011).
- 7) S.V. Buldyrev, R. Parshani, G. Paul, H.E. Stanley, and S. Havlin, "Catastrophic cascade of failures in interdependent networks," Nature, Vol.464, pp.1025-1028 (2010).
- 8) 20世紀以降の世界の自然災害年表 http://www.ifinance.ne.jp/bousai/disaster/saigai_world.html
- 9) ジェイムス K. ミッチェル編、中林一樹監訳、巨大都市と変貌する災害-メガシティは災害を生み出すルツボである-, 古今書院 (K.Mitchell ed. "CRUCIBLES OF HAZARD" United Nations University Press, 1999).
- 10) 有本卓著、数学は工学の期待に応えられるのか、岩波書店 (2004).