

令和 3 年 5 月 12 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01729

研究課題名(和文)レジリエントな自己組織化・自己修復ネットワークの設計・拡張と資源配分

研究課題名(英文) Design-Extension of resilient self-organizing and self-healing networks in resource allocation

研究代表者

林 幸雄 (Hayashi, Yukio)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：70293397

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,200,000円

研究成果の概要(和文)：現状の場当たりのな対策や単なる復元から脱却して根本的な設計原理を改め、レジリエントな(しなやかな復活力を持つ)自己修復やシステム拡張を促す自律分散・自己組織化の本質的なメカニズムをネットワーク科学の観点から解明した。情報伝搬の要となるインフルエンサーへの攻撃が長いループを重点的に破壊することを逆手に取ったループ強化に基づき、但し、これはNP困難な組合せ問題に帰着する為、統計物理における近似計算であるメッセージ伝搬法等を活用して、頑健性(結合耐性)強化及び通信効率を損なわない自己組織化成長、リンク張替え、資源配分も考慮した自己修復が実現できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、理論的に導かれるインフルエンサー攻撃の威力を逆に利用したループ強化という新たな着眼点から、被害箇所の治癒修復や復活力を持つネットワーク成長の本質的なメカニズムを探り、メッセージ伝搬等でそれらのリンク結合の摂動に対する部分計算を効率的な近似アルゴリズムにより実行することで、自律的な情報ネットワークシステム上の局所分散処理として実現可能な方法を提示している。しかも、数理モデルの研究に留まらず、提案手法では既存ネットワークの構築部分を捨て去ることなく、その上で修復や張替え改善を行う考え方に基づくことから、実際の情報システムへの適用可能性も期待できる。

研究成果の概要(英文)：We have clarified the essential mechanism of resilient distributed self-organization of network to facilitate self-healing or extension of the system from the viewpoint of Network Science in breaking away from the conventional design principle by ad hoc cope or recovery. Based on the enhancing loops, in taking advantage of the destruction of long loops by influencer attacks, we have shown the realization of self-organized growth, rewiring, and self-healing in resource allocation with increasing robustness (tolerance of connectivity) but without decreasing communication efficiency by applying message-passing methods in statistical physics as approximate calculations, since it is an intractable NP-hard combinatorial problem to find the necessary minimum set of nodes for maintaining loops.

研究分野：ネットワーク科学

キーワード：レジリエンス 頑健性 自己組織化 自己修復 ループ形成 玉葱状構造 リワイヤ 空間成長

1. 研究開始当初の背景

WWW やインターネット等の大規模な実データ分析を契機に、コンピュータ科学とフラクタル統計物理学のアプローチを基に 2000 年前後に誕生した新分野「ネットワーク科学」における研究は、現実の多くの社会的・技術的・生物的ネットワークが共通の繋がり方をなす Scale-Free(SF)構造を持ちながら、悪意のあるハブ攻撃に対しては極端に脆弱であるという驚愕の事実を明らかにし、その利己的な基本生成原理：優先的選択や中心ノードの抽出等に関する優れた理論や分析手法をも導き、更に発展を続けている。近年特にこの新分野の国際研究前線において、悪意のある攻撃に対して最も強い(最適)頑健性：結合耐性を持つネットワーク構造が理論的・数値的に明らかにされた。それは図 1 左のように、同程度の次数(結合リンク数)を持つノードを同心円上に配置すると、それらが互いに結合する傾向から正の次数相関を持つことで可視化される「玉葱状構造」と呼ばれる。但し、既存の繋がりを一旦捨てた全体的張り替えで正の次数相関にする以外の構築法は見出されてなかったが、図 1 右のような部分コピー操作による局所バイパス化に主に、低次数ノード間のショートカットリンクを加えた逐次成長で極めて頑健な玉葱状ネットワークを構築できる方法を世界で初めて研究代表者は実現した。しかも、任意のノード間の経路長が短い等の高い通信効率をも兼ね備えている。ここで、ショートカットリンクの追加は組織論における「遠距離交際」から着想を得て、インターネット AS 実データや種々のネットワークモデルでその効果を確認済であるが、更に次数相関を考慮した確率的リンクに発展させた。

一方、ネットワークの頑健性の最強化と(ロコミ等による)情報拡散の最大化の問題はある意味で等価と見なせるものの、最大拡散影響度のノード集合(インフルエンサーと呼ばれる)を抽出することは組合せ最適化問題であり解くのは困難であったが、これを近似的に高速計算できる機械学習の手法が国際学術雑誌 Nature Vol.524 にて提案され、しかもインフルエンサーの攻撃はハブ攻撃よりも破壊力が強く新たな脅威となっている。元々脆い通信網や電力網が相互に依存して現代社会を支える中で、地震及び気候激変からの暴風や突然の局的豪雨・豪雪によるインフラ被害やその連鎖(遠隔コンピュータ制御の停止等による電力網・交通網・物流網等への被害拡大)によって人手では制御不可能な瞬時に広がる社会的影響をも考えると、意識 or 無意識に効率重視した利己的な生成原理で出来てしまう現状の SF ネットワークから脱却して、効率性を落とさずに頑健なネットワークを自己組織化できる将来に向けたネットワーク(特に情報通信ネットワークに関わる)設計法が強く求められる。しかも、根本的な設計指針を改め、限界に達すると壊れてしまう従来の強固なシステムではなく、複合的な要因が何であろうと被害箇所を適応的に治癒修復でき、構造的には元に戻らずとも機能復帰できるレジリエンス(しなやかな復活力)を持つネットワークを構築する為のメカニズムを解明する必要がある。幸い、研究代表者は、提案した玉葱状ネットワークの逐次成長中に執拗な連続攻撃を受けても頑健性を復活できることを数値的に示し、その糸口を既に掴んでいる(図 2 参照)。また、搬送蓄積型通信網のシステムティックな設計法も検討してきた。

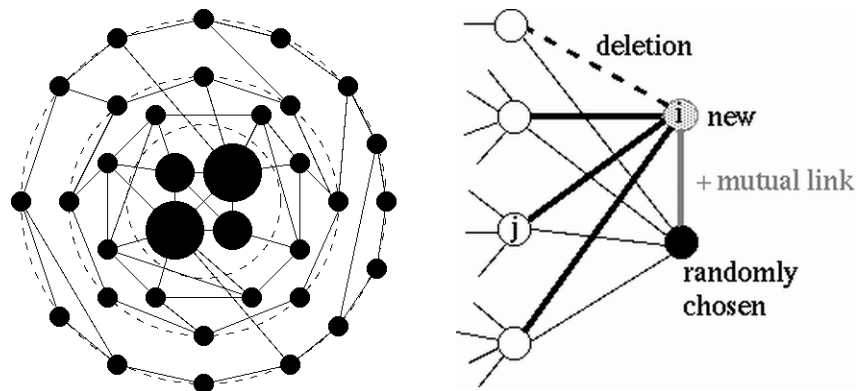


図 1. 左：玉葱状構造(黒丸ノードの大きさは次数に比例、実線はリンクで破線は仮想同心円) 右：毎時刻の新ノードからランダム選択ノードの隣接に確率的にリンクするコピー操作

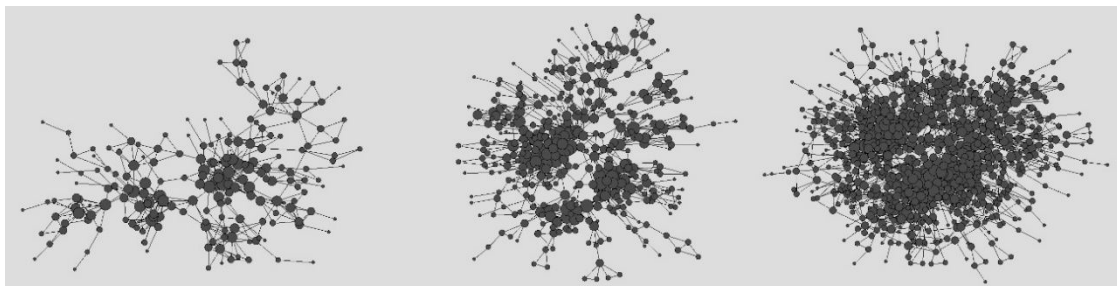


図 2. 左から右に成長しながら、より強い耐性となって構築される玉葱状ネットワーク

2. 研究の目的

経済やコミュニケーションを広く支える重要インフラとして、これまで効率偏重で構築されてきた現実の多くのネットワークは極めて脆弱であるばかりか、昨今の気候激変や国際テロ攻撃等による大規模被害（通信機能不全や他システムを含めた連鎖故障）の脅威がますます現実味を帯びてきている。こうした不可避な脅威に対して根本的な設計原理を改め、復元でないレジリエントな（しなやかな復活力を持つ）情報ネットワークの自己修復やシステム拡張を実現する為の自律分散・自己組織化の本質的なメカニズムの解明を目指して研究を行った。特に、ネットワーク科学の最新研究成果を活かした理論的裏付けのある手法を提案し、ネットワークシステム上の分散処理としての実現法や、現実的な制約を考慮した資源配分の影響について明らかにすることを主目的とした。

3. 研究の方法

情報伝搬の要となるインフルエンサーへの攻撃が長いループを重点的に破壊することを逆手に取った、ネットワークの逐次成長や治癒修復による適応選択的な頑健性の強化手法を導き、最悪ケースの攻撃に対する（互いに通信可能な）連結成分の大きさを数値的に調べ、その有効性を確かめた。現状の場当たりの復元を改められるよう、近似アルゴリズムにおける部分計算の反復でそれを効率良く解き、無線通信を含む実際のシステム上でも実行可能な範囲限定なメッセージ伝搬に基づく自律的な分散処理法を開発した。また、限定あるいは優先的な資源配分の中で提案した治癒修復法がどのような状況でどの程度まで効果があるのかを定量的に調べた。より具体的には、以下の課題について検討した。

(1) 成長するレジリエントなネットワークの設計法

悪意のある攻撃等に対して強い結合耐性を持つネットワークの逐次成長法として、毎時刻に挿入される新ノードからランダム選択したノードへリンク結合しつつ、そのランダム選択ノードからある程度長いループを形成するノードへの選択的なリンク結合を繰り返して頑健性の強化を実現する。また、こうした逐次成長ネットワークが最適な攻撃耐性を持つ玉葱状構造となるのか、次数相関係数を求めて確かめる。さらに、上記のループ形成において、ランダム選択ノードから数ホップ内のノードのみをペアとなる候補として範囲限定した、分散処理として実用的な場合とも数値比較する。

また、送受信フロー制御によるレジリエンス特性として、各ノードの転送許容量に応じた適応的ルーティングで、過負荷故障伝搬を抑えられるかどうか数値的に調べる。さらに、ネットワークの攻撃耐性の強化には、ループ形成に必要不可欠な（但しNP困難な組合せ問題である）フィードバック頂点集合：FVSのサイズを大きくすることが密接に関連すると考えられ、統計物理学的な近似アルゴリズムとしてのメッセージ伝搬法を活用して、ループ強化を考慮したリンク張替え法を探る。また、（現実の電力網や通信網と同様に）地表などの空間の表面上で逐次成長する制約付きの場合でも、玉葱状構造が創発可能かどうかを調べる。

(2) 効果的な治癒修復法と資源配分

治癒修復に利用可能なリンク数やポート数の量の量をパラメータとして、従来法よりも優れた結合耐性や最短経路長に関する通信効率を持つ新たな修復法を上記のループ強化の観点から見出し、代表的な社会インフラである航空網、インターネットAS間接続、電力網などの数種類の実データに対して、頑健性の向上やポート数の抑制が可能となることを数値シミュレーションから明らかにする。

(3) 自律分散アルゴリズムの開発

ネットワーク成長や治癒修正における結合構造の摂動に対する指標値の増分を求める為のメッセージ伝搬による近似アルゴリズムを、実際のシステム上で実行可能な分散処理の観点から検討する。その為、例えば、各ノードが予め2~3ホップ先のノードに関する情報を保持するなど、自律的に動作する為に必要不可欠な情報についても考慮する。また、リンク結合先のノードを探索する際に範囲限定することで、そうした範囲内の仲介だけで迅速に実行可能なプロトコルを含め現実的な処理法を導く。通信網として有線あるいは無線のどちらでも適用可として本研究では区別しないが、頑健性を余り低下させずかつ現実的に実行可能な有効範囲はどの程度か、数値シミュレーションを通じて明らかにする。

4. 研究成果

現状の場当たりの対策や単なる復元から脱却して根本的な設計原理を改め、レジリエントな（しなやかな復活力を持つ）自己修復やシステム拡張を促す自律分散・自己組織化の本質的なメカニズムをネットワーク科学の観点からいくつか解明した。特に、情報伝搬の要となるインフルエンサーへの攻撃が長いループを重点的に破壊することを逆手に取った、ネットワークの自己組織化や自己修復による適応選択的な頑健性の強化法を導き、最悪ケースの攻撃に対する（互いに通信可能な）連結成分の大きさを数値的に調べ、以下を確かめた。ここで、[番号.]は、雑誌論文、研究発表、図書の各掲載順に対応した引用を表す。

(1) 成長するレジリエントなネットワークの設計法

毎時刻に新ノードからランダム選択ノードへのリンク結合と、その選択ノードから仲介してループを形成するノードへの選択的なリンク結合を繰り返し、悪意のある攻撃等に対して頑健性を強化できる新たな自己組織化法を提案した。図 3 左に示すこの逐次成長ネットワークは最適な攻撃耐性を持つ玉葱状構造となること、及び、上記のループ形成を数ホップ内の仲介に範囲限定した分散処理に適した場合でもほぼ最適な耐性を持つネットワーク構造が得られることが判明した[雑誌論文 12.]。この成果を含め、ネットワーク科学の国際的な最前線の研究動向を研究会にて紹介した[研究発表 23.]。

特に、提案した逐次成長によって自己組織化される、正の次数相関を持つ玉葱状ネットワークが(現実の多くのネットワークを凌駕して)悪意のある攻撃等に対しても強固な頑健性を持つことは、(NP 困難な組合せ問題であるが)ループ形成の要となる FVS のサイズ自体を大きくすることに本質的に関連することを、いくつかの数値実験から裏付けた[研究発表 18.19.24.]。一方、その次数相関の時間発展を近似する反復式を導出した[研究発表 16.]が、これに関連した議論では活路が見い出せず、迅速に方向修正を行った。

そこで、ループ強化を促す協調的な仲介に基づくネットワークの自己組織化法[図書 1.]を拡張し、(現実の電力網や通信網と同様に)図 3 右に示す地表などの空間表面上で逐次成長する制約付きの場合でも、強固な結合耐性を持つ玉葱状構造が創発可能なことをシミュレーション実験から示した[雑誌論文 7.]。但し、この表面成長では高次数ノードが中心に集まって弱点が分かかってしまう問題点も見つかり、細胞分裂的な空間成長を新たに考えることで、最適な攻撃耐性を持つ玉葱状構造が空間上に埋め込まれたネットワークでも創発できることを実験的に示した[研究発表 2.]。

また、統計物理における確率伝搬法による近似計算を適用して NP 困難な組合せ問題である FVS の抽出を行い、情報伝搬や頑健性にとって重要な核部分:k-core に FVS が多く含まれる互いの関連性を数値的に調べる[雑誌論文 9.、研究発表 8.10.13.]と共に、現実のネットワーク成長の基本原則と考えられる利己的な優先的選択から協調的な仲介に基づく自己組織化に、どうすれば頑健な玉葱状構造に移行できるのかについてもシミュレーション分析を行った[研究発表 11.14.]。

さらに、自己組織化による結合耐性の強化のみならず、送受信フロー制御による(過剰圧力をバイパス的に逃がして衝撃吸収するのに似た)レジリエンス機能についても、各ノードの転送許容量に応じた適応的ルーティングで過負荷故障伝搬を抑えられること[雑誌論文 11.、研究発表 20.22.25.]、及び、現実のネットワークと比較して上記の玉葱状ネットワークはより抑制効果があることを明らかにした[雑誌論文 10.13.、研究発表 15.]。許容量にほとんど余裕がない厳しい場合ですら、ルーティングの探索順序を制御すれば過負荷故障の伝搬を抑えられることも見出した[研究発表 17.]。

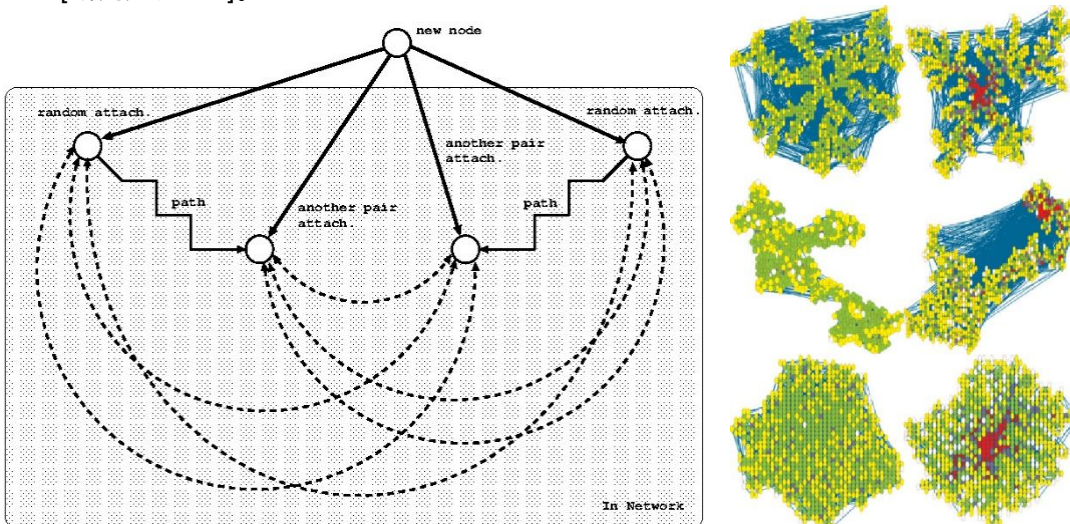


図 3. 仲介に基づく自己組織化法 左:新ノードからランダム選択ノードへのリンクと、そこから数個の仲介先へのリンクによる多数のループ強化[雑誌論文 10.]。右:上から下に樹状、空隙浸透、団子状の空間成長、左右は仲介先の最小次数選択とランダム選択の比較、黄-緑-赤ほど次数は大[雑誌論文 7.]。

(2) 効果的な治癒修復法と資源配分

まず、自己修復に関する実験環境の整備として、現実のネットワークの Web 公開データから分析対象となる連結成分を抽出し、大規模な可視化ツールも試用して使い勝手を把握した[雑誌論

文 14.、研究発表 21.]。

次に、資源に相当するノード数やリンク数を保ったままのリワイヤ(リンク張替え)によって頑健な玉葱状ネットワークを構築することを考え、従来の次数相関の強化から脱却してループ強化に着目した新たな手法を提案し、ループ形成の要となる FVS のサイズ拡大が頑健性の向上に密接に関与する、想定以上の重要な知見が得られた[研究発表 7.9.12.]。すなわち、従来の次数相関ではなく、ループ強化に基づくリワイヤリング法を考えることで、FVS のサイズ拡大が頑健性の向上と連動すること、及び、負の次数相関でも頑健性が高くなるのが新たな現象として見つかった[雑誌論文 2.4.8.、研究発表 5.6.]。

上記を踏まえて、図 4 左のように、攻撃や故障で機能不全となった箇所を検知した隣接ノード間を、尤も少数のリンクで形成されるループとしての輪で繋いだ後に、再利用あるいは投資援助できるリンク数やポート数の資源割合に応じて、(NP 困難な組合せ問題である為に、統計物理の確率伝搬法で近似的に FVS を求めて)ループ強化する自己修復法を提案し、現実のネットワークデータ：航空網、インターネット AS、電力網に対して従来の修復法より優れた頑健性や通信効率となることを数値シミュレーションから明らかにした[雑誌論文 1.3.5.、研究発表 3.]。

(3) 自律分散アルゴリズムの開発

攻撃や故障で機能不全となった箇所をそれらと隣接するノードが検知した後に自律分散的に修復処理を開始して、3 ホップ以上離れたノードに関する情報を中継により順次収集して、各検知ノードが属する連結成分の大きさ順に輪形成を行う、メッセージ送受信に基づく分散アルゴリズムを考案した[雑誌論文 6.、研究発表 1.]。さらに、FVS の推定計算から得られる、ループに関与しないノード間を輪上で繋いで強化するには、図 4 右のようなメッセージ伝搬による分散処理が可能なることを見出した[研究発表 4.]。

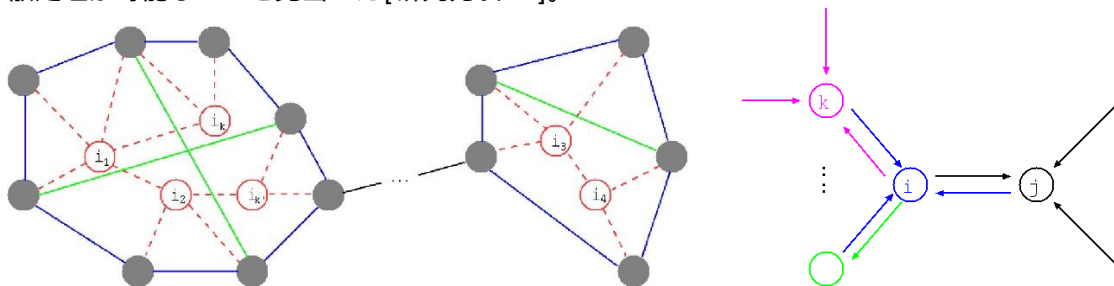


図 4. 提案する自己修復法と FVS の近似計算。左：赤丸と点線で表現された攻撃等による除去部分と、それらを検知した灰色の隣接ノード間の輪形成、及び、緑色線で表現された輪上のループ強化。右：FVS を推定する為のメッセージ伝搬、矢印付各色線が隣接からのメッセージを表す。

引用文献

Réka Albert, Hawoong Jeong, and Albert-László Barabási, Error and attack tolerance of complex networks. *Nature* Vol.406, pp.378-382 (2000).

Toshihiro Tanizawa, Shlomo Havlin, and H. Eugene Stanley, Robustness of onion-like correlated networks against targeted attacks. *Physical Review E*, Vol.85, pp.046109-1-9 (2012).

Yukio Hayashi, Necessary Backbone of Super-highways for Transport on Geographical Complex Networks, *Advances in Complex Systems*, Vol.12, No.1, pp.73-86 (2009).

Yukio Hayashi, Growing Self-Organized Design of Efficient and Robust Complex Networks, *IEEE Xplore Digital Library SASO 2014*, pp.50-59 (2014).

Yukio Hayashi, Spatially self-organized resilient networks by a distributed cooperative mechanism, *Physica A*, Vol.457 pp.255-269 (2016).

Yukio Hayashi, and Yuki Meguro, Self-organized network design by link survivals and shortcuts, *Physica A*, Vol.391, pp.872-879 (2011).

Yukio Hayashi, and Yasumasa Ono, Geographical networks stochastically constructed by a self-similar tiling according to population, *Physical Review E*, Vol.82, pp.016108-1-9 (2010).

Flaviano Morone, and Hernán A. Makse, Influence maximization in complex networks through optimal percolation, *Nature*, Vol.524, pp.65-68 (2015).

Yukio Hayashi, Recoverable DTN Routing based on a Relay of Cyclic Message-Ferries on a MSQ Network, *IEEE Xplore Digital Library FoCAS 2015*, pp.37-42 (2015).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Yukio Hayashi, Atsushi Tanaka, and Jun Matsukubo	4. 巻 23(102)
2. 論文標題 More Tolerant Reconstructed Networks by Self-Healing against Attacks in Saving Resource	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Entropy, Special Issue: Critical Phenomena and Optimization in Complex Networks	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e23010102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Masaki Chujyo, and Yukio Hayashi	4. 巻 6(3)
2. 論文標題 A loop enhancement strategy for network robustness	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Network Science	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41109-020-00343-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yukio Hayashi, Atsushi Tanaka, and Jun Matsukubo	4. 巻 ADAPTIVE2020
2. 論文標題 Effective Self-Healing Networks against Attacks or Disasters in Resource Allocation Control	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ThinkMind Digital Library	6. 最初と最後の頁 85-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 中条雅貴, 林 幸雄	4. 巻 IBISML2020-31
2. 論文標題 Feedback Vertex Setを用いたネットワーク頑健性の向上	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 信学技法	6. 最初と最後の頁 55 - 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 林 幸雄	4. 巻 BI-6-4
2. 論文標題 ネットワークインフラにおける連鎖被害, 相互依存性, レジリエンス, 自己修復に対する諸課題	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 2021年総合大会予稿集	6. 最初と最後の頁 pp. SS-47-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jaeho Kim, and Yukio Hayashi	4. 巻 CCS2020
2. 論文標題 Self-Healing Strategy for Improving Robustness in Limited Resource	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Book of Abstracts of the Conference on Complex Systems 2020	6. 最初と最後の頁 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5281/zenodo.4419178	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yukio Hayashi, and Yuki Tanaka	4. 巻 E102-A(10)
2. 論文標題 Emergence of an Onion-like Network in Surface Growth and Its Strong Robustness	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Trans. on Fundamentals	6. 最初と最後の頁 1393-1396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E102.A.1393	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masaki Chujyo, and Yukio Hayashi	4. 巻 BookOfAbstracts
2. 論文標題 Significant improvement of network robustness by enhancing loops through rewiring	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Book of Abstracts, The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications	6. 最初と最後の頁 569-571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liao Fuxuan, and Yukio Hayashi	4. 巻 BookOfAbstracts
2. 論文標題 Identifying a crucial role for robustness and spreading in complex networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Book of Abstracts, The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications	6. 最初と最後の頁 572-574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yukio Hayashi, and Naoya Uchiyama	4. 巻 8(11241)
2. 論文標題 Onion-like networks are both robust and resilient	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-29626-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 林 幸雄 訳 (A.E.Motter, and Y.Yang 原著)	4. 巻 33(10)
2. 論文標題 ネットワークの連鎖の解きほぐしと制御	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 パリティ	6. 最初と最後の頁 42-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yukio Hayashi	4. 巻 6
2. 論文標題 A new design principle of robust onion-like networks self-organized in growth	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Network Science	6. 最初と最後の頁 54 ~ 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/nws.2017.25	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yukio Hayashi, Naoya Uchiyama	4. 巻 book of abstract
2. 論文標題 Resilient Networks with Adaptive Capacity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BIFI International Conference 2018 COMPLEXITY, NETWORKS AND COLLECTIVE BEHAVIOUR	6. 最初と最後の頁 73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Atsushi Tanaka, Seungil Cho, Muneki Yasuda, Tomochika Harada and Michio Yokoyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis of Social Networks and its Evaluation using Big Data Analyzing Technique	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications	6. 最初と最後の頁 54-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計25件(うち招待講演 2件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Jaeho Kim, and Yukio Hayashi
2. 発表標題 Self-Healing Strategy for Improving Robustness in Limited Resource
3. 学会等名 International Conference on Complex Systems(CCS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaki Okada, and Yukio Hayashi
2. 発表標題 Spatial Hiding of High Degree Nodes as Easy to be Targets by the Decentralization in a Growing Robust Network
3. 学会等名 International Symposium on Automation, Information and Computing(ISAIC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yukio Hayashi, Atsushi Tanaka, and Jun Matsukubo
2. 発表標題 Effective Self-Healing Networks against Attacks or Disasters in Resource Allocation Control
3. 学会等名 Proc. of 12th International Conference on Adaptive and Self-Adaptive Systems and Applications(ADAPTIVE) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 幸雄
2. 発表標題 ネットワークインフラにおける連鎖被害, 相互依存性, レジリエンス, 自己修復に対する諸課題
3. 学会等名 電子情報通信学会 2021年総合大会, 依頼シンポジウムセッション BI-6大規模災害・パンデミック時に役立つ情報伝搬・情報ネットワーク技術とその課題 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中条雅貴, 林 幸雄
2. 発表標題 Closely Relation Between Improvement of Network Robustness and Enhancement of Loops
3. 学会等名 情報処理学会 第16回ネットワーク生態学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中条雅貴, 林 幸雄
2. 発表標題 Feedback Vertex Setを用いたネットワーク頑健性の向上
3. 学会等名 電子情報通信学会 IBIS研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaki Chujyo, and Yukio Hayashi
2. 発表標題 Significant improvement of network robustness by enhancing loops through rewiring
3. 学会等名 The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Liao Fuxuan, and Yukio Hayashi
2. 発表標題 Identifying a crucial role for robustness and spreading in complex networks
3. 学会等名 The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Chujyo, and Yukio Hayashi
2. 発表標題 Rewirings by enhancing loops improve network robustness
3. 学会等名 International School and Conference on Network Science(NetSci-X), 2020, Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Liao Fuxuan, and Yukio Hayashi
2. 発表標題 A new relation of k-shell and feedback vertex set
3. 学会等名 International School and Conference on Network Science(NetSci-X), 2020, Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hirotooshi Kanda and Yukio Hayashi
2. 発表標題 How to change the generation rule from selfish preferential attachment to cooperative intermediation attachment
3. 学会等名 International School and Conference on Network Science(NetSci-X), 2020, Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中条雅貴, 林 幸雄
2. 発表標題 ループに着目したネットワーク頑健性の強化
3. 学会等名 電子情報通信学会 2020年総合大会, N-2-3 複雑コミュニケーションサイエンス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廖 福軒, 林 幸雄
2. 発表標題 頑健性と拡散性に影響を与えるネットワーク指標の分析
3. 学会等名 電子情報通信学会 2020年総合大会, N-2-3 複雑コミュニケーションサイエンス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神田浩利, 林 幸雄
2. 発表標題 協調的なネットワーク成長法への移行
3. 学会等名 電子情報通信学会 2020年総合大会, B-7-20 情報ネットワーク
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yukio Hayashi
2. 発表標題 Self-organized robust and resilient onion-like networks in growth
3. 学会等名 International Conference on Complex Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Astushi Tanaka, and Yukio Hayashi
2. 発表標題 Averaged dynamics of joint degree-degree in complex networks
3. 学会等名 International Conference on Complex Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 見雪雄哉, 林 幸雄
2. 発表標題 ネットワークのカスケード故障を抑制する迂回ルーチングの制御
3. 学会等名 電子情報通信学会 2019年総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 幸雄
2. 発表標題 頑健でしなやかなネットワークの自己組織化原理について
3. 学会等名 第9回水戸MIセミナー (第9回水戸数学・情報数理セミナー)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林 幸雄
2. 発表標題 頑健かつレジリエントな玉葱状ネットワークの自己組織化原理
3. 学会等名 情報処理学会 第15回ネットワーク生態学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukio Hayashi, Naoya Uchiyama
2. 発表標題 Resilient Networks with Adaptive Capacity
3. 学会等名 BIFI International Conference 2018 COMPLEXITY, NETWORKS AND COLLECTIVE BEHAVIOUR (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Tanaka, Seungil Cho, Muneki Yasuda, Tomochika Harada and Michio Yokoyama
2. 発表標題 Analysis of Social Networks and its Evaluation using Big Data Analyzing Technique
3. 学会等名 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications(NOLTA2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内山 直弥, 林 幸雄
2. 発表標題 カスケード故障に対するルーティング戦略
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林 幸雄
2. 発表標題 ネットワーク科学最前線2017 -インフルエンサーと機械学習からの接近-
3. 学会等名 情報処理学会 第14回ネットワーク生態学シンポジウム, チュートリアル講演(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松久保 潤, 林 幸雄, 田中 敦
2. 発表標題 経路長に基づく不通リンク再接続による局所的なリンク構造修復法
3. 学会等名 情報処理学会 第14回ネットワーク生態学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内山 直弥, 林 幸雄
2. 発表標題 ノード負荷を考慮した迂回ルーティングによるカスケード故障の抑制
3. 学会等名 情報処理学会 第14回ネットワーク生態学シンポジウム
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 林幸雄、谷澤俊弘、鬼頭朋美、岡本洋	4. 発行年 2019年
2. 出版社 近代科学社	5. 総ページ数 192
3. 書名 Pythonと複雑ネットワーク分析	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田中 敦 (Tanaka Atsushi) (30236567)	山形大学・大学院理工学研究科・准教授 (11501)	
研究分担者	松久保 潤 (Matsukubo Jun) (90413872)	北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・准教授 (57103)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関