

ボンド・サイト同時破壊に対する様々なネットワークモデルの頑健性

赤池祐樹[†] 吉村仁[†] 泰中啓一[†] 守田智[†]

[†]静岡大学工学部システム工学科

1.はじめに

大災害が発生したときの通信網の機能維持は、災害の迅速な対処にとって重要である。しかしながら、ネットワーク網は、災害時において、基地局（サイト）やケーブル（ボンド）が破壊されてしまうことで、その機能を失い、分断されてしまうことがある。

このようなネットワーク網の脆弱性は、サイトやボンドの被害の数だけでなく、ネットワークの性質に大きく依存すると考えられる。

本研究では、様々なネットワーク形態(モデル)におけるサイトとボンドを同時に破壊することで、ボンド・サイト破壊それぞれに対するネットワークの分断化を定量化する[1]。

また、それらを異なるネットワークモデル間で比較することで、破壊に対して頑健なネットワーク形態の案出と現在のネットワーク網の改善案の提案をする。

2.モデル

今回の研究では、4種類の異なるネットワークモデルを生成し、それぞれのネットワークモデルにおいてボンド・サイト破壊を行う。そして、破壊されたネットワークを測定することで、ネットワークの頑健性を調べる。

2.1.ネットワークの生成

今回の研究で使用するネットワークは、格子状ネットワークモデル・ランダムネットワークモデル・スケールフリーネットワークモデル・CNNモデルである。それぞれのネットワークモデルは、破壊を行う前の初期サイト数 $N=10000$ 、初期ボンド数 $M=20000$ とする。

以下に使用するモデルの例を示す(図1)。円はサイトを表し、線はボンドを表す。また、CNNモデルにおける構造の特徴を図1(右)に示す。

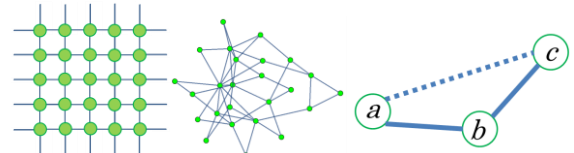


図1:ネットワークモデル 左:格子,中:スケールフリー,右: CNNモデルでのサイト同士の関係性

図1(左)の上下・左右のボンド(線)はそれぞれ繋がっており、どのサイトも必ず4つのサイト(円)と接続されている。

スケールフリーネットワークモデル(図1(中))では、一部のサイトが大きな次数(他のサイトと繋がっている数)を持っている一方で、多くのサイトはごくわずかなサイトとしか繋がっていない。

図1(右)では、サイトaとサイトb、bとcがすでに繋がっている場合(実線)、aとc(点線)が繋がりがやすい傾向を持つ。CNNモデルはこのような傾向を持つモデルである。

また、ランダムネットワークモデルは、サイト同士をランダムにボンドで接続したモデルである。

2.2.ネットワークの破壊

生成した4種類のネットワークそれぞれにおいて、ボンドをボンド全体からの割合 F_{bond} でランダムに破壊し、サイトをサイト全体からの割合 F_{site} でランダムに破壊する。全体からの割合で破壊するため、 $0 \leq F_{\text{bond}} < 1$ 、 $0 \leq F_{\text{site}} < 1$ となる。

2.3.ネットワークの測定

破壊されたネットワークにおける最大クラスターサイズ(S)と、分離したクラスターの平均サイズ(s)を測定する。ネットワークが破壊される過程を図2に示す。

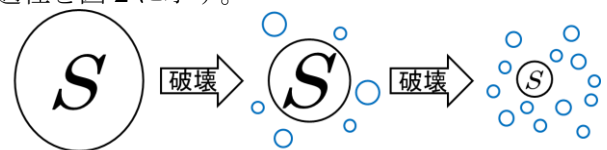


図2: ネットワークが破壊される過程

「Robustness of various networks against simultaneous site and bond destructions」

Y. Akaike[†], J. Yoshimura[†], K. Tainaka[†] and S. Morita[†]

[†]Department of Systems Engineering, Shizuoka University, Hamamatsu Shizuoka 432-8561, Japan.

図 2 において、左端がネットワークの初期状態であり、右に進むにつれて破壊が進んでいく。円はクラスターを表し、サイトやボンドの塊を表である。円の大きさが大きいほど、その中に含まれているサイトの数が多くなっている。

最大クラスターサイズ S は、一番大きなクラスターに含まれるサイトの数である。

分離したクラスターの平均サイズ $\langle s \rangle$ は、最大クラスター(一番大きなクラスター)以外のクラスターの平均の大きさである。

3. 結果

3.1 格子状ネットワークにおける結果

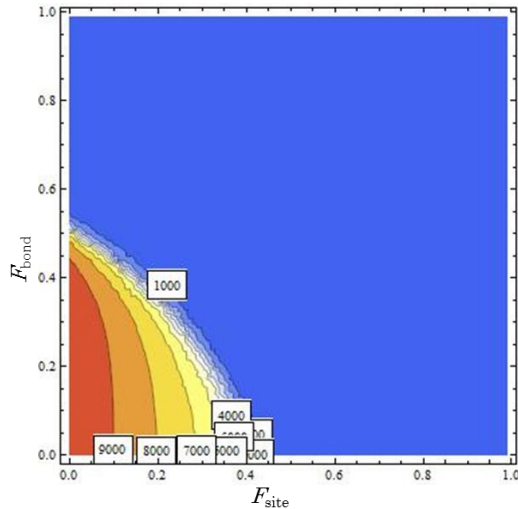


図 3: 格子状ネットワークにおける、最大クラスターサイズ S の結果 ($N=10000, M=20000$)

図 3 の横軸は F_{site} であり、縦軸は F_{bond} である。最大クラスターサイズ 1000 ごとに線を引いている。

図の左下では、 $F_{\text{site}}=0, F_{\text{bond}}=0$ であり、破壊が行われていないため、 S は初期のサイトの数と同じ 10000 となっている。 $F_{\text{site}}, F_{\text{bond}}$ の増加にともない、 S が小さくなっている。

次に、サイト・ボンド破壊がそれぞれどのような効果があるか述べるために、 $F_{\text{site}}, F_{\text{bond}}$ のどちらか一方を固定した場合における、最大クラスターサイズ S と分離したクラスターの平均サイズ $\langle s \rangle$ の測定結果を示す。(図 4.a, b)

F_{site} のみを変化させた場合(図 4.a)は、最初は破壊にともない最大クラスターサイズも減少していくが、 $F_{\text{site}}=0.4$ 付近で急激に分断化されている。 F_{bond} のみを変化させた場合(図 4.b)は、 $F_{\text{bond}}=0.4$ まで最大クラスターサイズは 9000 以上だが、その後急激に分断化されている。

$\langle s \rangle$ は、 F_{site} のみを変化させた場合(図 4.a)、 $F_{\text{site}}=0.43$ で最大であり、 F_{bond} のみを変化させた

場合(図 4.b)、 $F_{\text{bond}}=0.57$ で最大となっている。 $\langle s \rangle$ が最大となる点は、ネットワークが同じような大きさのクラスターになるまで分断化され、そのクラスターがさらに破壊される点である。

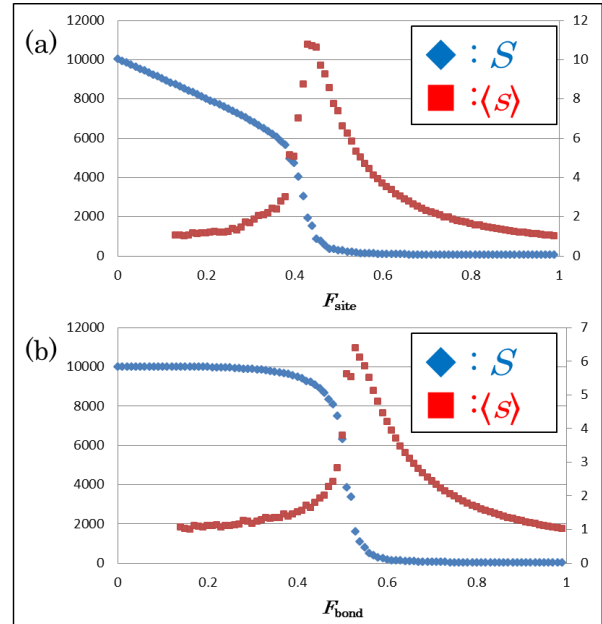


図 4.a: F_{site} の値を変化させた結果 ($F_{\text{bond}}=0$), 図 4.b: F_{bond} の値を変化させた結果 ($F_{\text{site}}=0$) a, b どちらにおいても ◆ は S であり、左側縦軸である。■ は $\langle s \rangle$ であり、右側縦軸である。

4. 結論

格子状ネットワークは、サイト、ボンドのどちらか一方のみを破壊した場合において、サイト破壊の方がより早く分断化されている。しかし、どちらも破壊の割合が 50% を超えたときに、急激に破壊が進み、ネットワークが分断化されている。つまり、格子状ネットワークは、小規模の破壊に対しては、ネットワークの大きさを保ち、ネットワーク機能を維持することができる。しかし、大規模な破壊に対しては、ボンド・サイト破壊のどちらであっても、急激に分断化され、ネットワークとしての機能を失う性質があるといえる。

本講演では、格子状ネットワークだけでなく、ランダムネットワークモデル・スケールフリーネットワークモデル・CNN モデルの結果を示す。そして、それぞれのモデルにおいて、サイト・ボンド破壊に対する性質を検証し、比較する。

参考文献

- [1] F. Kato, et.al. Scientific Reports, vol. 1 No. 10 (2011).