



## 身近なネットワークは複雑?

### アイ・サイ問答教室

大学院生のアイさんが今日も午後から研究室にやって来て、最近集中力が増してきたサイ先輩といつものように挨拶をかわしました。

アイ 「先輩、今日もいい天気ですね。ずっと、研究室で調べものっすか。」

サイ 「スケールフリーってちよくちよく耳にするよね [1,2]。少し気になったから。」

アイ 「インターネットや人のつながりなど、多くのネットワークに共通する性質でしょ。世間は狭く、人々は知り合いを介してお互い6人でつながってるとか、ハブ攻撃が最大の弱点とか、どこかのホームページで読みましたし、知人紹介実験はTVでも見たような。」

サイ 「意外と詳しいじゃん。おお、こんなにヒットした。フムフム、そうらしいね。」

アイ 「参照リンクの多さが検索順位に反映されてるんですけどっけ。でも、数十億頁もあるウェブの世界って、めちゃ複雑そうすね。勝手に更新や削除もされて、無秩序って感じ?」

サイ 「でも、知人や企業間の社会システムや、遺伝子やタンパク質の生化学反応系とも共通したスケールフリー構造がみられるのは、何か根拠があるわけで、自律分散的に制御とかされてない?」

アイ 「誰も意図した訳ではないのに、わりと単純な原理で同じようなネットワークが結果的にできちゃうとか。あっ、そろそろバイトの時間なんで、行きますわ。」

サイ 「今来たばっかじゃない?」  
(翌日)

アイ 「先輩、昨日はどうも。例の複雑だけど共通の性質をもつネットワークができちゃう訳、何かわかりました?」

サイ 「どうも金持ちはより金持ちになりやすいことが基本原理らしいよ。パレートの法則とって、20%程度のやり手社員が利益の80%を生み出すことの説明にもなってるんだ。稼ぎの良い人にはチャンスも多くなる結果だね。」

アイ 「何すか、それ? ネットワークとどこに関係があるんすか?」

サイ 「WWWやルータのネットワークでは、ノードやリンクが日々増えて成長していくだろ。その際、たくさんリンクをもってるノードにより多くのリンクが追加されると、べき乗則の次数分布に従ったスケールフリー構造が自然に創られるんだ。ノードの

リンク数は次数ともよばれ、多数派の低次数ノードと少数派のハブができるってこと。」

アイ 「拠点につながり方がパス長が短く、その次数をお金に対応づければ、お金持ちほどより多くのお金が入ってきて、一部に富が集中した偏った分布になるんすね。でも、次数が多いって、100本か、1000本なのか、いくつで判断するんすかね…」

サイ 「正確には、次数に比例した確率で新たにリンクを獲得するということ。」

アイ 「えと、確率を考えるから複雑になるんすか。金持ちと付き合いたがるってことは、個々のノードが自分にとって有利なつながりをもとうとして、自律分散的にネットワークができちゃう訳っすか?」

サイ 「ちょっと違うよ。確率を考えると、君の頭の中が複雑になるだけだろ。ネットワーク構造の統計的な性質を考えるのさ。それに、確率を求める際、分子は各ノードの次数なんでローカルな量だけど、分母にはネットワーク全体のグローバルな量である総次数が必要で、必ずしも分散的ではないから。」

アイ 「すべて決められた構造ではなくて、多少のたらしめさを許容した現実的なネットワークで最も典型的っていうか、平均的な特徴を考えるということっすか。でも、その原理は自律分散系にはあてはまらないんすか?」

サイ 「そこがミソ。原理と実現手段は別に考えなくちゃ。」

アイ 「たとえば、雪山で曲がれるのは力学原理のおかげだけど、実際は片方に体重かけたり、キャタピラ回したりするとか。」

サイ 「そんな感じかな。でも、もうスキーのこと考えてるの?」

アイ 「まじめな話っすよ。たとえばどうネットワークがつくられるんすか?」

サイ 「ランダムに選んだノードの真似っ子をする。つまり、ネットワークに新たに加わる新しいノードからのリンクを、適当に選んだノードの結合関係と同じようにする。手続き的には、新しいノードは適当に選んだノードのお隣さんにリングすればよい訳だよ。確率的に多少の張り間違えを許すモデルも考えられていて、生物っぽいよね (第1図参照 [3]).」

アイ 「なんか金持ちの話と全く違います?」

サイ 「よく考えてごらん。この作り方だと、次数の大きいハブはお隣さんを沢山持ってるので有利なんだ。結局、次数に比例した結合頻度になるだろ。」

アイ 「なるほど。全体の総リンク数がわからなくても、

原理的に同じことができちゃうんですね。ほかの作り方はないんですか。」

サイ 「あるある。はじめ、適当に小さな次数をもってバラバラに存在してたノードが、ランダムに衝突・融合してネットワーク形成するとか。大きな次数のハブになるには何回も融合する必要があるので、必然的に少数派になって、べき乗分布ができるのさ。」

アイ 「大気中に浮遊した氷の粒がぶつかりながら次第に大きな結晶をつくっていく感じっすね。」

サイ 「そうだけど、やっぱスキー場のこと考えてない？」

アイ 「ばれちゃってますか。実は、今日オープンするナイトスノボに出かけるんすよ。それにしても、ネットワークの生成方法は一見単純そうでも結構複雑なんじゃないですか。」

サイ 「糸屑のような複雑さじゃなくて、ある程度の普遍性をもった生成原理がわかってきたという意味では随分すっきりしたんじゃないかな。でも、基本原理すら唯一とは限らず、ほかにも生成モデルはいろいろ考えられていて、十分に解明された状態ではないともいえる。だからこそ分野的にはおもしろいのかも。」

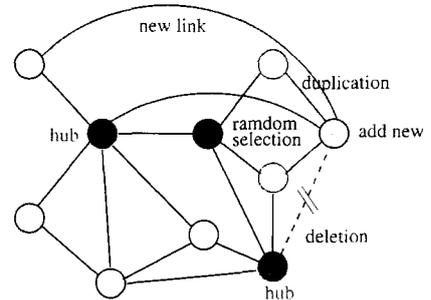
アイ 「先輩、昨日だけでそこまで調べたんすか。」

サイ 「自己組織化を研究テーマのメインにしてるからね。それに現実にはさらに、距離が短い方がコストがかからないとか、友達の紹介を重視するとか、あるいは長い付き合いを維持すべきなんてのもあったりして、リンクする際にさまざまな制約や適切さが加わってくるよね。近い将来、自動車も移動無線基地

局になって、分散したセンサが天候や回りの状況に応じて通信経路を動的に形成できなきゃ。その基盤技術が必要なんだ。」

アイ 「ややこしいですね。ちょっと頭冷やしてきまーす。」

サイ 「帰ったら、ちゃんと研究もしてよ！」



第1図 真似っ子によるネットワーク生成：ランダムに選ばれたノードに隣接するハブにはリンク複写のチャンス大！

#### 参考文献

- [1] A.-L. Barabási (青木 訳)：新ネットワーク思考，NHK出版 (2003)
- [2] 相馬，大久保・田中，林，安田：トレンドキーワード：スケールフリーネットワーク，電子情報通信学会 情報・システムソサエティ誌，第11巻，第1号，pp. 18-19 (2006)
- [3] 林：Scale-free ネットワークの生成メカニズム；応用数理，第14巻，第4号，pp. 360-376 (2004)

\* 北陸先端科学技術大学院大学

(林 幸雄\*)