

# 『企業と市場のシミュレーション』

## 第9回：成長するネットワークモデル

いば たかし

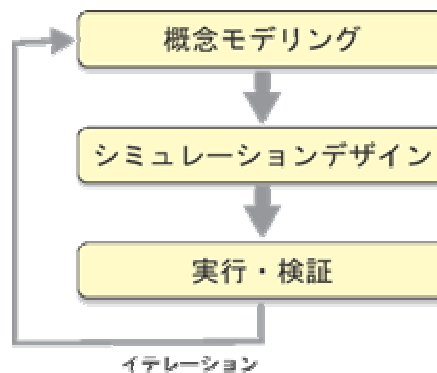
**井庭 崇**

慶應義塾大学総合政策学部 専任講師

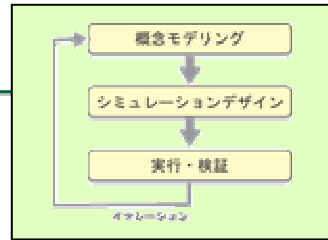
iba@sfc.keio.ac.jp

<http://www.sfc.keio.ac.jp/~iba/lecture/>

## シミュレーション作成プロセス



# シミュレーション作成プロセス



## ■ 概念モデリング フェーズ

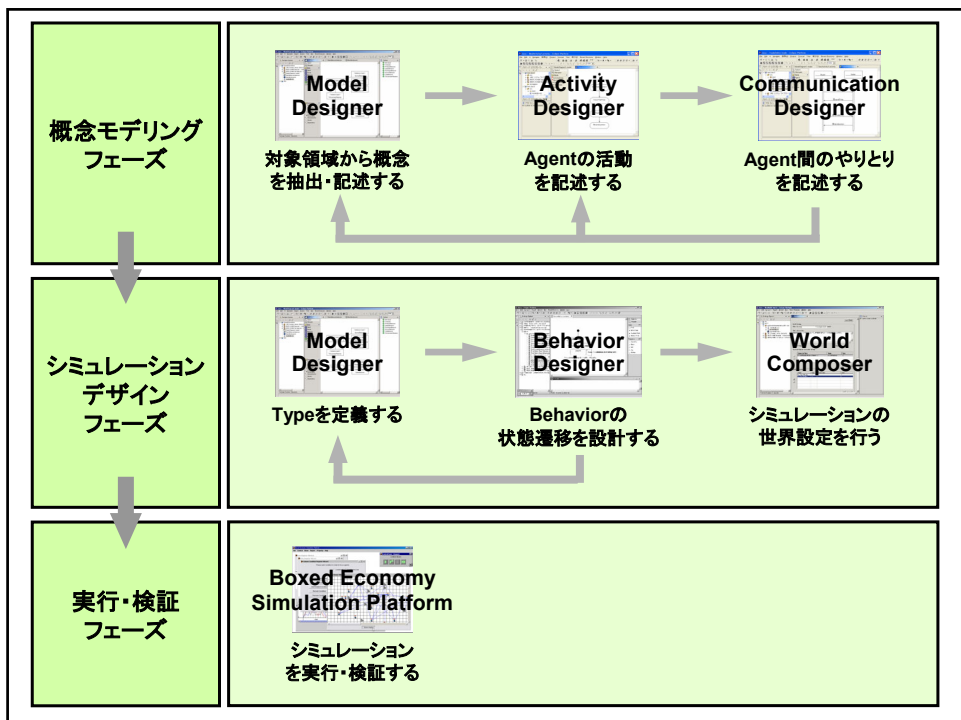
- どのような問題領域のシミュレーションを行うのかを明らかにするフェーズ

## ■ シミュレーションデザイン フェーズ

- 作成された概念モデルをもとに、コンピュータ上で実行できるシミュレーションを作成するフェーズ

## ■ 実行・検証 フェーズ

- 作成したシミュレーションモデルを、BESPを使って実行するフェーズです。また、意図した通りに動作するかを検証します。



## スケジュール

- 第1回 (4/ 9 金) インTRODクシヨン
- 第2回 (4/16 金) 複雑系と進化の社会システム論
  
- 第3回 (4/30 金) シミュレーションによる分析
- 第4回 (5/ 7 金) シミュレーション作成プロセスとUML
- 第5回 (5/14 金) 概念モデリングとシミュレーションデザイン
- 第6回 (5/21 金) シミュレーション作成演習①
- 第7回 (5/22 土) シミュレーション作成演習② ※補講日(土曜)
- 第8回 (5/22 土) シミュレーション作成演習③ ※補講日(土曜)  
※5/29の授業は休講
- 第9回 (6/ 4 金) 成長するネットワークモデル
- 第10回 (6/11 金) 繰り返し囚人のジレンマモデル
- 第11回 (6/18 金) 遺伝的アルゴリズムによる進化のモデル
- 第12回 (6/25 金) 企業競争の進化的シミュレーションモデル①
- 第13回 (7/ 2 金) 企業競争の進化的シミュレーションモデル②

Keio University SFC 2004

## 『企業と市場のシミュレーション』

第9回：成長するネットワークモデル

いば たかし

**井庭 崇**

慶應義塾大学総合政策学部 専任講師

iba@sfc.keio.ac.jp

<http://www.sfc.keio.ac.jp/~iba/lecture/>

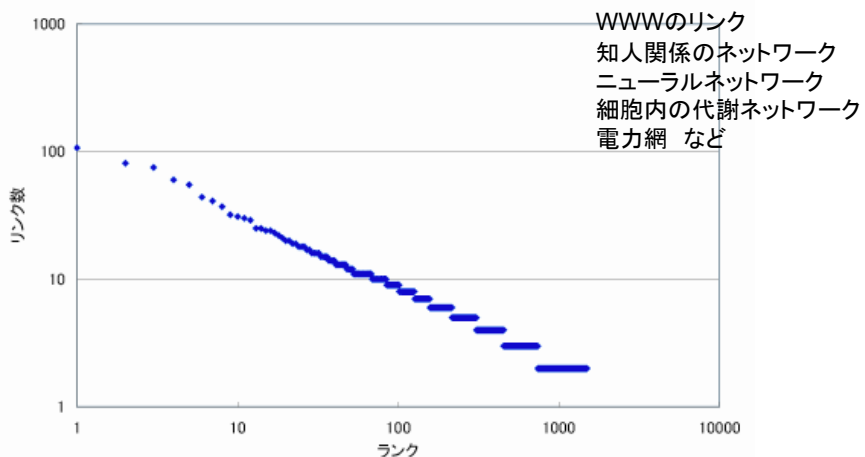
## 配布資料

### ■ 『新ネットワーク思考—世界のしくみを読み解く』（アルバート・ラズロ・バラバシ, NHK出版, 2002）

- P.98～p.107
  - ベキ法則にぴたりと合う
  - スケールフリーという発想
  - 新しい秩序が現れた
  - 水が氷になる瞬間
  
- P.120～p.135
  - ネットワークは成長する
  - 多くのリンクをもつには
  - 優先的に選択されるもの
  - スケールフリー・ネットワークの発見
  - 金持ちはもっと金持ちに
  - スケールフリー・モデルの発展
  - 進化するネットワーク理論

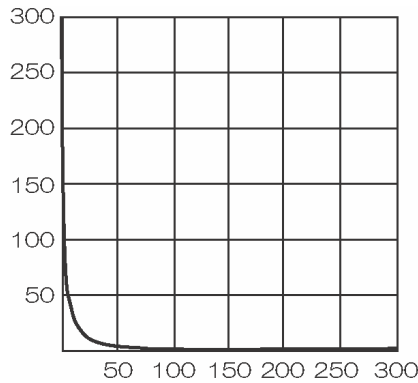
## ネットワークの成長と、スケールフリー

- 自然・社会に存在するネットワークは、ハブをもつスケールフリー・ネットワークだということが知られている。

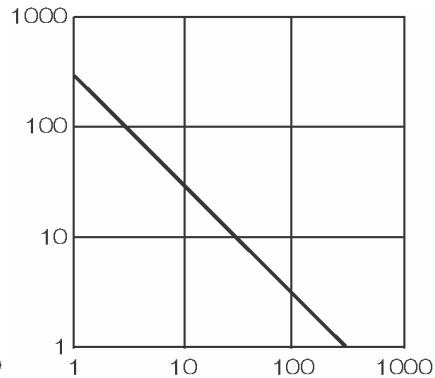


## 両対数グラフ

線形グラフ



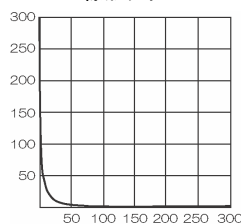
対数グラフ



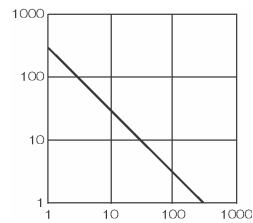
## べき乗則(べき法則: Power Law)

- 重要な点は、「小さな度数をもつたくさんの事象」と「大きな度数をもつ少数の事象」が共存
- 釣鐘型(正規分布)では存在しないハブ(稀有な事象)が、べき乗則の分布では、存在が許される。
- 平均的なノードは存在しない。

線形グラフ



対数グラフ



## スケールフリーネットワーク

- 「ベキ法則は、系に特徴的なスケールとか、系の代表的ノードとかいう考えを捨てるようわれわれに迫る。
- ヒエラルキーがなめらかに移行する以上、平均的ノードを指定することも、系に特徴的なスケールを決めることもできないからだ。
- われわれの研究グループが、ベキ法則に従うネットワークを“スケールフリー(尺度のない)”と呼ぶことにしたのはこのためである。」

p.104

『新ネットワーク思考—世界のしくみを読み解く』(アルバート・ラズロ・バラバシ, NHK出版, 2002)

## ランダムネットワークの分布は...

- ランダムネットワークの分布では、大多数のノードが同数のリンクをもち、平均から大きくはずれるノードは少ない。
- ノードがもつリンク数に「スケール(尺度)」が存在する

『新ネットワーク思考—世界のしくみを読み解く』(アルバート・ラズロ・バラバシ, NHK出版, 2002)

## ネットワークの理解のために

- 「ベキ法則に従うスケールフリー・ネットワークには、少数のハブが存在すると予測されるのである。
- そしてそのハブが、ネットワークのトポロジーを基本的に決定している。……
- ウェブから細胞内のネットワークまで、概念上の重要なネットワークはたいていスケールフリーであることが明らかになった。……
- 現実のネットワークの構造的安定性や、ダイナミックな振るまい、頑健性、故障や攻撃に対する耐性などはすべて、ハブによって決定されている。ハブの存在は、ネットワークの進化を支配する重要な組織原理の現れだったのだ。」

p.105

『新ネットワーク思考—世界のしくみを読み解く』（アルバート・ラズロ・バラバシ, NHK出版, 2002）

## ネットワークの理解のために

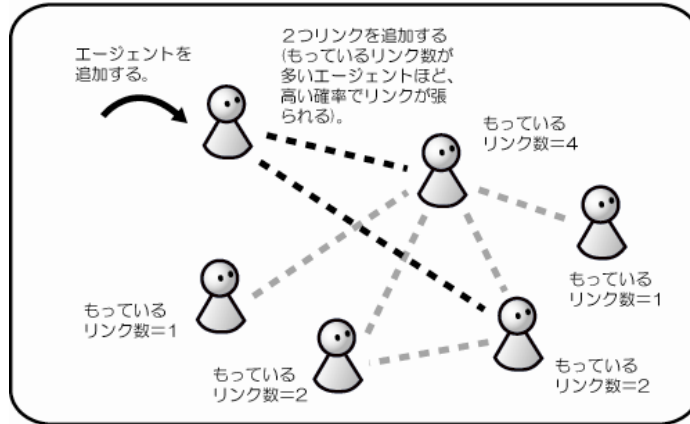
- 「スケールフリー・モデルは、…幅広い系を探るためのよい出発点を与えてくれたのである。
- まず第一に、ベキ法則によってハブの存在に正当性が与えられた。
- 次に、スケールフリー・モデルによって、現実のネットワークに見られるベキ法則が、数学的基礎をもつ概念上の進歩に格上げされた。
- さらに、進化するネットワークという洗練された理論に支えられて、スケーリング指数やネットワークのダイナミクスが精密に予測できるようになった。
- こうしてわれわれは、複雑に絡み合ったこの世界を新たな視点から見るようになり、複雑性を理解するという目標にかつてないほど近づいたのである。」

p.135

『新ネットワーク思考—世界のしくみを読み解く』（アルバート・ラズロ・バラバシ, NHK出版, 2002）

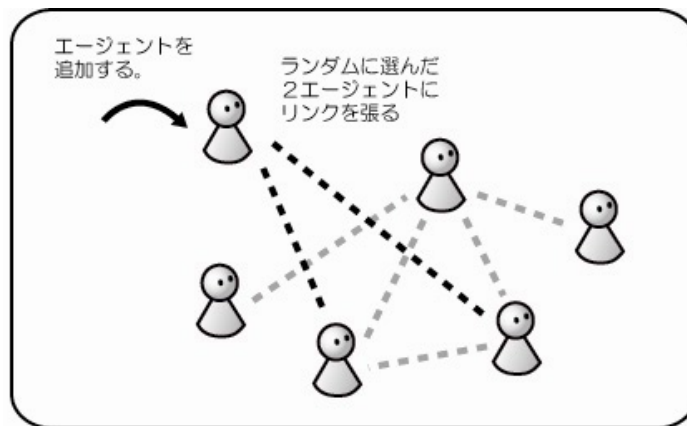
## 優先的選択モデル(Preferential Attachment)

Preferential Attachment 方式によってべき乗則に従うネットワークを作成できる



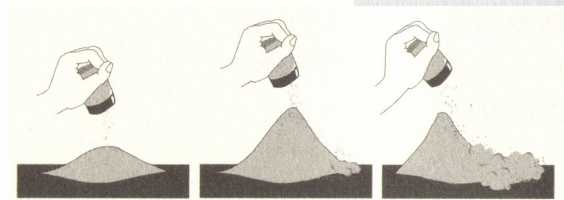
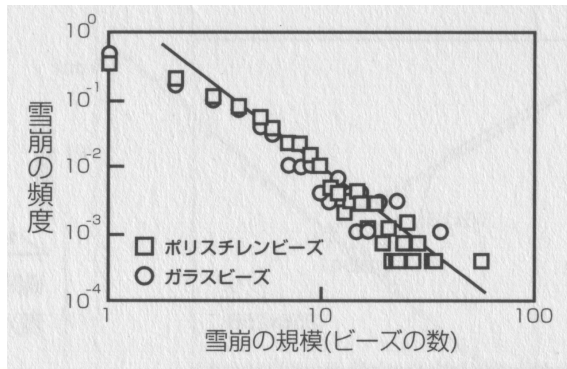
## ランダム選択モデル(Random Attachment)

Random Attachment 方式では、べき乗則に従うネットワークは作成できない





## ベキ乗分布:砂山と雪崩



井庭崇, 福原義久, 『複雑系入門』. NTT出版, 1998

## ベキ乗分布:砂山のシミュレーション

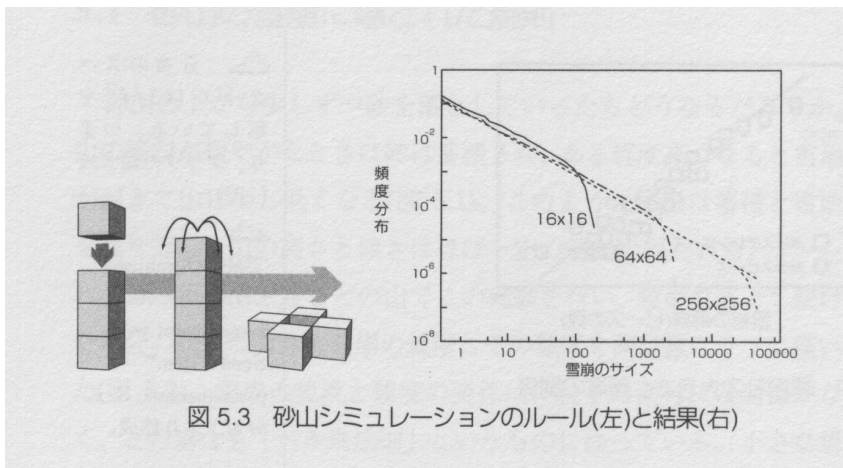
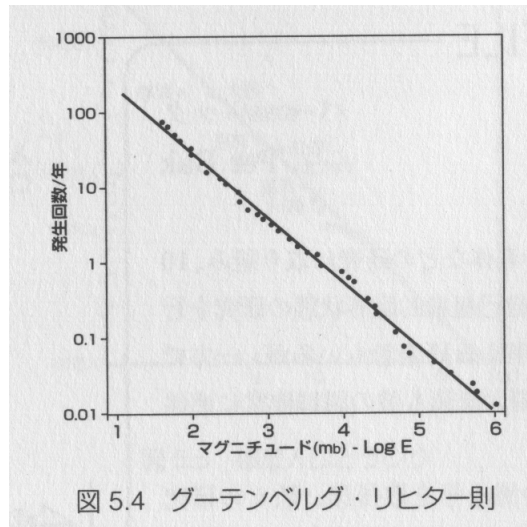


図 5.3 砂山シミュレーションのルール(左)と結果(右)

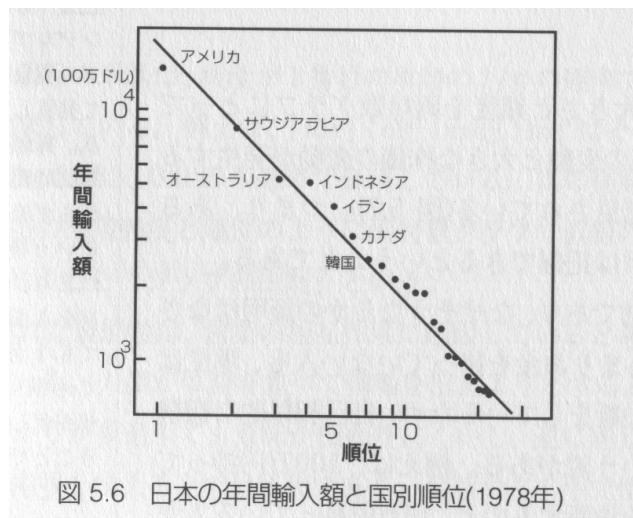
井庭崇, 福原義久, 『複雑系入門』. NTT出版, 1998

## ベキ乗分布:地震



井庭崇, 福原義久, 『複雑系入門』. NTT出版, 1998

## ベキ乗分布:年間輸入額



井庭崇, 福原義久, 『複雑系入門』. NTT出版, 1998

## ベキ乗分布:都市人口

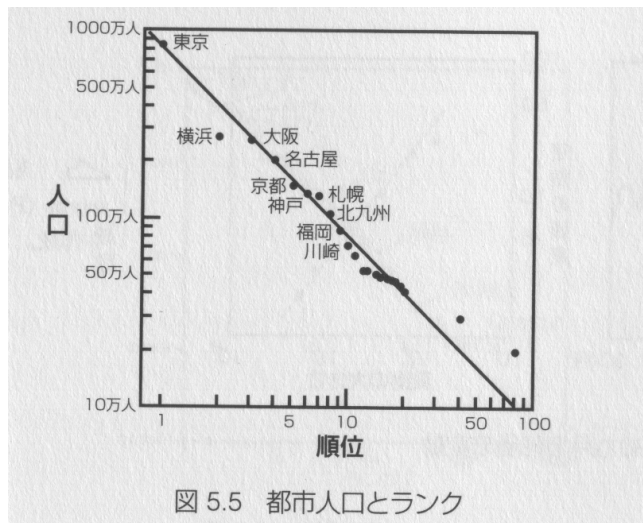


図 5.5 都市人口とランク

井庭崇, 福原義久, 『複雑系入門』. NTT出版, 1998

## ベキ乗分布:価格の変動

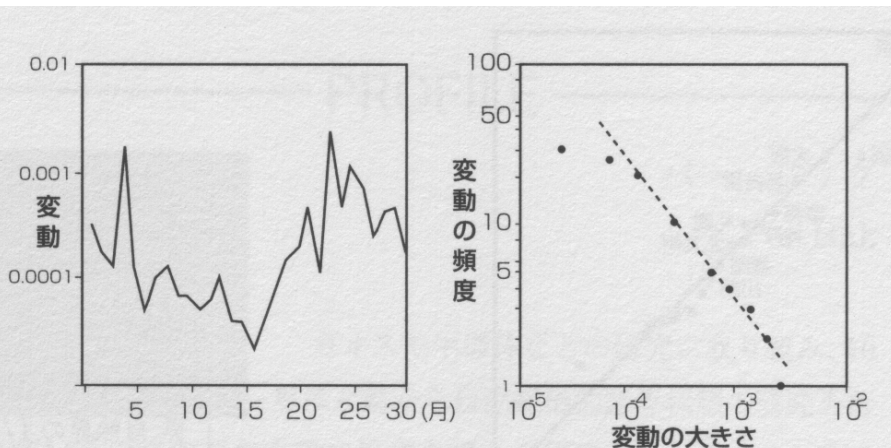
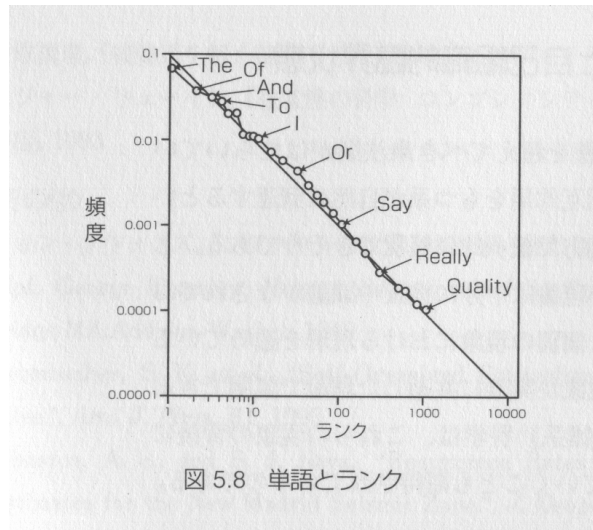


図 5.7 30カ月の綿価の変動

井庭崇, 福原義久, 『複雑系入門』. NTT出版, 1998

## ベキ乗分布: 単語の出現頻度



井庭崇, 福原義久, 『複雑系入門』. NTT出版, 1998

Keio University SFC 2004

## 『企業と市場のシミュレーション』

第9回: 成長するネットワークモデル

いば たかし

**井庭 崇**

慶應義塾大学総合政策学部 専任講師

iba@sfc.keio.ac.jp

<http://www.sfc.keio.ac.jp/~iba/lecture/>

## スケジュール

- 第1回 (4/ 9 金) インTRODクシヨン
- 第2回 (4/16 金) 複雑系と進化の社会システム論
  
- 第3回 (4/30 金) シミュレーションによる分析
- 第4回 (5/ 7 金) シミュレーション作成プロセスとUML
- 第5回 (5/14 金) 概念モデリングとシミュレーションデザイン
- 第6回 (5/21 金) シミュレーション作成演習①
- 第7回 (5/22 土) シミュレーション作成演習② ※補講日(土曜)
- 第8回 (5/22 土) シミュレーション作成演習③ ※補講日(土曜)  
※5/29の授業は休講
- 第9回 (6/ 4 金) 成長するネットワークモデル
- 第10回 (6/11 金) 繰り返し囚人のジレンマモデル
- 第11回 (6/18 金) 遺伝的アルゴリズムによる進化のモデル
- 第12回 (6/25 金) 企業競争の進化的シミュレーションモデル①
- 第13回 (7/ 2 金) 企業競争の進化的シミュレーションモデル②