

## 書籍紹介

### 『新ネットワーク思考』

アルバート・ラスロー・バラバシ著

平本出版、2002年

盛田 常夫

今、アメリカでベストセラーの一つ。二 二年に出版され、現在も各国語の翻訳が企画され、すでに二カ国を超える言語で出版が予定されている。邦訳は各国語版に先立って、二 二年暮れに出版された。ハンガリー語版は二 三年夏に刊行。

著者のバラバシはルーマニア出身のハンガリー人物理学者で、大学教育をルーマニアで、大学院はブダペストの ELTE (物理学) で学んだ。現在、ノートルダム大学の物理学教

授で、ブダペスト高等研究所の研究員を兼ねており、年に一カ月をブダペストで過ごしている。

アメリカのノートルダム大学はハンガリーと縁が深く、放浪の天才数学者エルドウーシュ・パールがしばしば滞在し、教授招聘を受けたが、エルドウーシュは放浪の身を選んだと言われている。現在もハンガリーからの大学院留学生が多い。バラバシはコロジユバール(クルージュナポカ)出身で、彼の地からハンガリー人の優秀な人材を大学院生としてノートルダム大学に呼び、研究チームを作っている。

*Linked: New Science of Networks*

さて、本書の主題はネットワークだ。このテーマ自体はとくに目新しいものではないが、数学のネットワーク(グラフ)理論が  $www$  (World Wide Web) の急激な発展によって、新たな理論的挑戦を受けるようになった。はたして、 $www$  のネットワークは旧来のネ

ットワーク理論で説明がつくものなのか、それとも新たな理論的な発展を要請しているものなのか。もしそうであれば、新しいネットワーク理論はどのような特性をもつのか、そしてこの新しい理論は  $www$  の構造説明だけでなく、他の自然・社会現象の構造説明に適用できるのだろうか。これが本書を貫く主題である。

原題は *Linked* である。あらゆるものは連結されている。原子、分子、細胞から始まり、人間関係や現代の  $www$  まで、あらゆるものが「リンク」という視点から新たな解明の視点をを得る。

$www$  のネットワークは平均的に分布し、連結されているネットワークではない。リンクが集結する重要なハブ(多数のリンクの結節点)がこのネットワークの中心を担っている。だから、もしネットワークを攻撃するのであれば、このハブを狙えば良い。逆に、ネットワークを防御したければ、ハブを中心に守るか、ハブが崩れた場合の

防御措置を講ずることが必要になる。同じことは、アルカイダのネットワークにも、エイズ拡散のネットワークについても言えるはずだ。ここでもハブを押さえることが重要になる。ところが、ハブを持ったネットワークは従来 of グラフ（ネットワーク）理論では扱えない。

新しいネットワーク理論を求めて、テーマは数学の伝統的ネットワーク理論の吟味から、*MEMO* のネットワーク理論の構築、さらに社会的領域や分子生物学、遺伝子工学や経済学への理論の適用にまで広がっていく。著者のバラバシはそのうまい語り口で全米テレビ放送に出演し、さながら現代ネットワーク理論の先導師の役割を果たしている。

### 六次元の関係

本書ではハンガリーの人脈がうまく活かされている。ハンガリーを代表する短編小説家カリンティ・フリジエ

シュに『鎖』（一九二九年）という小説がある。その中に次のような興味深い記述が見られる。

「地球上の人々はかつてないほど接近し合っている。そのことを証明するために、仲間の一人がある方法を提案した。その男は、地球上にいる十五億の人の中から一人の名前を挙げてみたまえと言った。彼はたった五人の知人を介して、名前の挙がった人物にまで鎖をつないでみせると言うのである」。

この短編の出版からほぼ三一年を経た一九六七年に、ハンガリー出身でハーバード大学の社会学教授スタンレイ・ミルグラムは、アメリカ国内に住むランダムに選ばれた二人の人物の距離（介在ステップ数）を測った実証論文を発表し、人の輪の連結（リンク）数は平均で五・五ステップだと記したのである。

これより小さな集団ではステップ数はもつと小さくなる。リンクの輪が

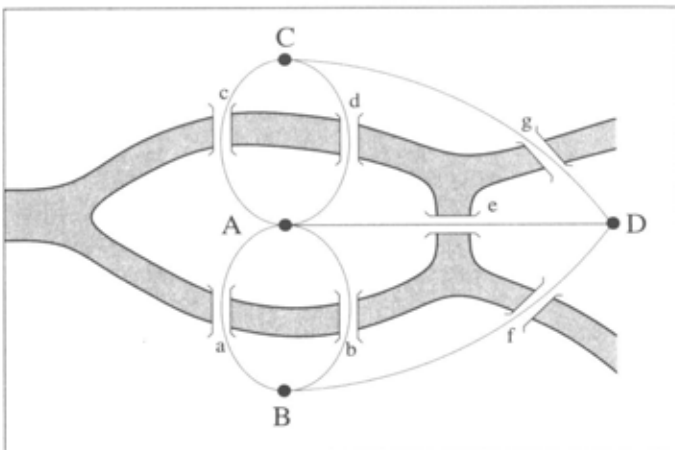
一つの小集団を構成しているようなものはクラスターと呼ばれる。

たとえば、ハンガリーの日本人社会は一つのクラスターだ。このクラスターの任意の二人の人物を挙げて、この二人が何人の知人を経由してリンクされるか見ると良い。ほとんどの場合、五ステップも辿らないうちにリンクされるはずだ。本書の著者バラバシとも、リンクのステップ数は五ステップも要らないだろう。というのは、ハンガリー立山研究所の株主であるチュルガイ教授はノートルダム大学の客員教授であり、バラバシの同僚でもあるから、評者の私は二ステップでバラバシと連結されている。私と「大吉」店主の飯尾さんとは一ステップで連結されているから、飯尾さんと一ステップあるいは数ステップでリンクされている人は、バラバシと五ステップ以内でリンクされていることになる。この場合、評者の私や飯尾さんはリンクを集めているハブになっている。ハ

ブを経由すると、リンク（ステップ）数を大幅に減らすことができる。

### ネットワーク（グラフ）理論

現代のグラフ理論の出発点はオイラーによるケーニヒスベルグ橋の難問の解明にある。図のようなケーニヒスベルグのプレーゲル川にかかる七つの橋を、一度だけ通るような経路があるかどうか。これが「ケーニヒスベルグ橋の問題」である。オイラーは一七三六年に、四つの陸地を頂点（結節点「ノード」とし、七本の橋を一本の線（リンク）で現わすことで、この問題を「四つのノードと七つのリンクをもつグラフ問題」に帰着させた。これは一筆書きと同じ問題になり、出発点と終着点は奇数のリンクをもつことが必要条件になる。奇数のリンクをもつノードが二つ以上存在すれば、一筆書きはできない。ケーニヒスベルグの場合、奇数のリンクをもつノードが四つあるので、解は存在しない。こ



うして、オイラーによって「ケーニヒスベルグの橋には一度だけ通るような経路がない」ことが証明されただけでなく、数学理論上初めて、グラフ理論が考案された。任意の事象がノードとリンク

から構成されるネットワークとして観察できれば、それはグラフ理論（ネットワーク理論）の対象になる。

### 正規グラフとランダム・ネットワーク

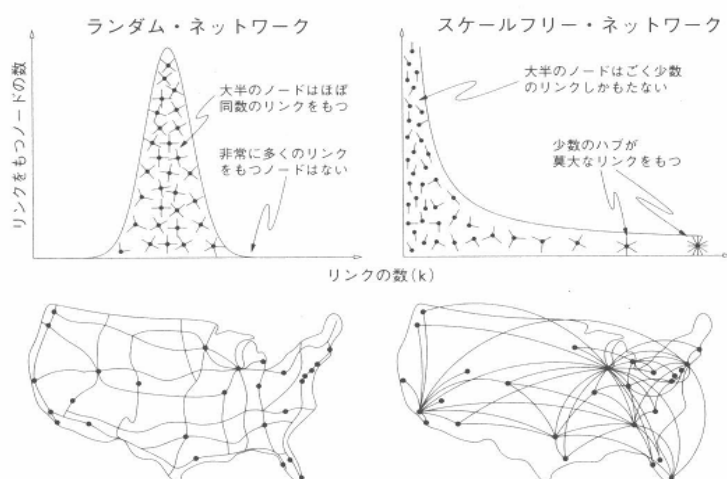
蜂の巣や鉱物の結晶のように、同じ形ものがリンクされているグラフ（ネットワーク）は正規グラフと呼ばれる。自然界、とくに無機物の世界にはこのような形のグラフ（ネットワーク）が数多く観察され、この図形の解明は正規グラフ理論の対象になる。

無機物の世界は正規グラフで説明がつくとしても、有機物の世界や人間社会は正規グラフの理論では説明がつきそうもない。これらの世界では同型のネットワークが広がるといっては、きわめて希な現象ではないからだ。そこで、この種の非正規グラフ（ネットワーク）を扱う理論として考案されたのが、エルドゥーシユとレーニイのハンガリー人数学者のコンビになるランダム・グラフ（ネットワーク）

理論である。これはネットワークが生  
成されていく原理を扱った最初の試  
みで、この理論に従えば、「ネットワ  
ークが十分に大きく、リンクが完全  
にランダムに付け加えられるとす  
ると、ほとんどすべてのノードは、  
近似的に同数のリンクをもつよう  
になる」。日本人会のような小さな  
集団の中では、各人が保有する友  
人の数はかなりばらつきがあるだ  
ろうが、この集団を大きくしてい  
けば、友人が格段に多い人は非  
常に希で、ほとんどの人が平均  
的な友人数を持つようになる、と  
いうのがこの理論の意味である。

このランダム・ネットワーク理論  
から得られる度数分布がポアソン分  
布（一定の確率で散発的に生じる  
事象の頻度を表わす）に従うこと  
は、エルドーシユの弟子でありハ  
ンガリー人数学者（ケンブリッ  
ッジ大学教授）のポロバシユ・  
ヴェラによって、一九八二年に  
証明された。ポアソン分布は突  
出したピークのある度数分布で、

の左右両側が急減に減少して小  
さくなっていく。つまり、極端に  
少ない、あるいは多い友人をも  
つ人はきわめて少なく、ほとん  
どの人はほぼ同数の友人をもつ  
というのが、ポアソン分布の含  
意である。



スケールフリー・ネットワーク  
バラバシのグループは一九九  
年代半ばから、 $\leqq \leqq$ の広がりのマップ  
を作成し、その広がりを観察し、  
分析していた。このマップのデ  
ータから分かったことは、ほと  
んどのノード（ウェブ・サイト）  
はわずかなリンクしか持たず、  
ごく少数のハブが膨大なリンク  
を持っているという事実だ。  
これは簡単に実感されるところで  
、評者のウェブ・サイトはYahoo  
Japanにリンクされているだけ  
だが、Yahoo Japanは膨大な  
リンクを持っている。  
このようなリンク数の度数分布  
を両対数グラフで記すと、滑らか  
な曲線で描かれる。そこにはピー  
ク（平均的リンク）は存在せず、  
両側の狭い領域に、少数のリン  
クしかもたない多数のノードと、  
膨大なリンクをもつ少数のハブ  
ノードが表現される。このような  
形状をもつ分布は、「べき法則」に  
従うという。分布の裾野が指数関  
数的に減少していくので、この  
ような名称が付

けられる。少し専門的になるが、バラバシの計算によれば、外に向かうリンクを「個持つウェブ・サイトの数は、 $N^2$ （ $N=2.5$ ）と表わされる。

このような「ベキ法則」に従うネットワークとして、 $\infty$ のほかに、航空マップがある。これにたいして、高速道路のようなネットワークは、ランダム・ネットワークである。 $\infty$ が「ベキ法則に従う」ことを発見したのが、バラバシの研究グループである。この法則に従うネットワークには、当該ネットワーク系を特徴づける尺度（スケール）が存在しない。つまり、ピークが現れるような系では、「平均のノード」がその系を特徴づける尺度になるが、「ベキ法則」に従う系には、「系を特徴づける尺度」や「系を代表するノード」が存在しない。

「ここから、「ベキ法則に従うネットワーク」を、バラバシは「スケールフリー・ネットワーク」と呼ぶ。そして、この「スケールフリー・ネット

トワーク」こそ、複雑なネットワークを解明する鍵だというのである。

## 二一世紀科学の課題

これまで、人類の科学は事象や物質を分析（分割）することに力を注いできた。そこから物質の構成物が明らかになった。

科学はもう一つ別の方法も使う。それは総合（統合）である。分析し、かつ総合することで科学は完結する。ところが、この分析と総合という二つの手法は、相互に対称的な手法ではない。たとえば、物質を分割することが簡単でも、それを元通りに復元することは非常に難しい。人間の細胞が蛋白質から形成されていると分かっても、今度は蛋白質から細胞を作っていくのは至難の業だ。

どうしてだろう。分割（分析）は関係性を断ち切る手法だが、総合（統合）は関係性を再構築する手法だからだ。前者の行為は関係性のすべてを知ら

なくても実行できるのに、後者の行為は関係性のすべてを知らなければ実行できない。だから、たとえば遺伝子が数万の塩基配列から構成されることが分かった段階（ゲノムマップの作成）でも、その逆の解明、つまり特定の遺伝子を構成する塩基配列から具体的な病気の発生を解明する作業は、ほんの始まったばかりである。

分子レベルから細胞、組織、器官へと統合していく過程には、気の遠くなるような膨大なネットワークが働いている。自然が何億年かけて形成してきたプロセスである。それを人間が再現しようとしているのである。たとえば、 $N$ 個の同じ遺伝子をもつ二つの細胞があると、この細胞がとりうる行動（ $N$ 個の遺伝子がそれぞれオン／オフになる状態）は、 $2^N$ 通りある。遺伝子が百個としても途方もない数になるが、人間の遺伝子の数はおよそ三万である。もちろん、遺伝子が活性化する状況を限定することで、可能な関

係性を限定することは可能になるが、それでもかなり膨大な関係性を前提しないと、遺伝子の活性化を説明できないだろう。

まさに人類は二一世紀に入って、個別の遺伝子の活性化を説明する時代に入った。二一世紀が物理学の世紀だったとすれば、二一世紀は生物学の世紀だと言われる所以である。分子生物学から人間病状を説明することが期待される世紀になるはずである。その解明の一つの有力な手法が、固有の系に存在するスケールフリー・ネットワークを明らかにするだというのが、バラシ・グループの主張である。

### 最後に

本書に事例として採用されている経済学からのテーマは、きわめてナイーブに処理されている。一般受けを狙って、あまりに世俗的なテーマにまで下りすぎたという感を捨てきれない。とくにマイクロソフトの独占状態が、

「ボーズ・アインシュタイン凝縮」と同じ量子力学の法則に従っているという観察だ。この量子力学の法則は、気体の温度を下げていき、絶対零度の近くまでと到達すると、原子が最低のエネルギー状態になるという事実という。競争がなく、独占状態にある市場が、これと同じだといっているのである。しかし、これは形式的な類似現象に、物理学の法則を無理矢理当てはめただけだ。既存のネットワークが萎縮していくという現象が観察されるのならば、最初から一人勝ちの完全独占に等しい市場を物理学の法則と同視する観察はいただけない。ノートルダム大学の社会科学系の同僚からも、ネットワーク理論の社会現象への適用に批判が寄せられているようだ。幸い、バラシは社会問題や経済問題に深入りすることなく、医学や生物学への道を進んでいるようだから、才能が無駄にされることはないと思う。今後の活躍に期待したい。

### 補遺…経済学とネットワーク理論

バラシの記述の中に、経済学は経済現象を構成する個別の対象を扱っているだけで、その関係性を説明していないという批判がある。この批判はたいへん興味深い。まさに、マルクス経済学と非マルクス経済学との基本的な分析視角の違いであるからだ。

上述したように、分析と総合という科学の基本的手法の適用において、マルクス経済学と非マルクス経済学は根本的に対立する手法を展開してきた。マルクスの客観的価値論は、価値が社会的分業にもとづく商品生産関係において創出され規定されるものと見なす。明らかに、社会的関係性（ネットワーク）の存在を前提にして、経済的価値が規定される。これにたいして、非マルクス経済学の主観的価値論は、価値とは相互に分離された個人と財との一対一の関係で規定されると見なす。明らかに、ここにはネットワークで経済活動を説明するという視

点が欠けており、価値を社会的に捉えることに失敗している。

自然現象であれ、社会現象であれ、その現象の背後に存在するネットワーク（関係性）を捨象したのでは、そのものの本質を捉えることができないばかりか、現象を統合的に理解することが不可能になる。関係性を捨象した学問が現象学に陥る所以である。

他方、マルクス経済学の弱点は、分析が本質的な社会的関係性の場から抜け出ることができず、現象の理解にまで統合的分析を展開できなかったところにある。本質的な関係性を、現象の各層に上向するに従い、より具体的な関係性で統合していくという作業が欠如していた。この点はマルクス経済学に限らず、現代の科学が抱える基本的な問題でもある。

ネットワーク理論の視点から、経済学の手法や経済学の現状を分析することも意味があろう。