

1

社会は多様な複雑ネットワークの上に成り立っている

物理的なものとして：飛行機網・高速道路網・鉄道・船舶網・送電網・水道網・世界的経済網・電話網・インターネット

生物学的なもの：遺伝子ネットワーク・代謝ネットワーク・私たち自身の体・蟻の群生・群れ・食物網・川の流域・生態系

社会的なもの：政府・ビジネス・大学・社交クラブ・教会・公衆・私立学校システム・軍隊

軍の目的はネットワークの集中管理である

2：社会のネットワークに対しての依存は大きい、基礎知識は乏しい。物理ネットワークは技術的な実現をかなり進めたが、それらの振る舞いを予想することはできない。生物学的なネットワークでは、どのように作用するかは研究されてきたが、どのようなものかの研究はされていない。

滑らかな運用をするための基礎知識と現実との差は大きい。

アプローチ

3：ネットワーク科学が上記のギャップを埋められるかどうかの調査が開始された。

4：データ収集をアンケートと電話取材+軍におけるネットワーク使用に対して行った（ネットワーク科学の定義と内容） 2章4章で報告

5：ネットワークにおいての重要な知識を決定するために調査対象をアカデミックにした。AppendixCにて報告 対応は6章とAppendixD

6：ネットワーク科学の重要性と内容を特徴付けた後、陸軍がこれらの研究に投資することによって得られそうなものに興味を向いた。

7：研究の過程はAppendixFに書かれている。2章から7章とAppendixCからEは発見を含みかかっている。8章は委員会の結論を書いている。

Box ES1

質問

1 ネットワークサイエンスはどのように定義されるべきか（仮：現象の予想モデルに通じる物理的で生物学的で社会的な 現象のネットワーク表現の研究）

2 ネットワーク科学を包括する分野を特定する（主要な研究はなにであるか？）6章に7つ

の主要研究が書いてある

3 理論上・実験的で実際的な挑戦を特定（必要としている施設や設備）

4 投資すると関連研究が進むものを特定しなさい

8：まず、物理的・生物学的・社会的なネットワークが普及していることの影響を記録することが、世界救済・軍事的脅威及びテロから合衆国を防御するのに不可欠であると結論を出した。

9：通信網の上に情報網が作られるようにネットワークは互いに依存しあいながら成長していく。

10. 11：次に大きなネットワークやネットワーク上での特性を予測するのに必要である基礎知識をもたらす科学が今のところない。なぜなら、特定のネットワーク上を走るアプリケーションに焦点が当てられて、きたためネットワークに関して焦点をあてた基礎知識が蓄積されていないからである。

現状としては研究は断片化されている

結論

異なった研究共同体のどこがネットワークサイエンスの共通項として

1. ネットワーク科学はネットワーク技術とも既存のネットワーク研究とも異なっている。  
（工学の発明というより科学の発見である）
2. ネットワーク科学の範囲は広い（物理的・生物学的・社会的）

要するに、物理的・生物学的・社会的ネットワークの表現の研究から先見的な予想を可能にする基礎知識を作成し、現象の予想モデルに通じていく

19：様々な話題のすばらしい研究は互いに依存しあっている。

20：ネットワーク科学の限界はあいまいであるが、調査されるべき研究挑戦に一般的な共通項を7つ見つけた。

1. ネットワークにおける情報伝播
2. 非常に大きいネットワークのモデルと分析
3. ネットワークのデザインと統合

4. 厳密な数学的構造
5. 異分野間を通じた共通概念
6. ネットワーク構造のより良い実験と測定
7. ネットワークの頑健性

21：最終的に ネットワークが確実にスケーラブル（計測可能？）で信頼でき、頑健で、安全になるようにするための方法論が今のところない。よって高い国際性を持ち設計されたネットワークのデザイン、スケーリング、及び操作を国家的優先課題にすると結論を下した。

22：しかし、これらの設計されたネットワークから得られる究極の益は、使う人に依存する。（良い例：軍におけるより良い戦闘 悪い例：テロ・犯罪集団による悪用）したがって、社会的で設計されたネットワークの相互作用の研究が国家優先課題である。

#### 推薦文

1・ 23：軍事・政治・経済的アプリケーションのために複雑なグローバルネットワークのデザインと操作の科学的進歩が不可欠である。

2・ 24：現在利用可能な知識とネットワーク（グローバル）の特徴を調査し、それらを支えるための方法が必要である。（問題点はハッカー・テロリスト等の行動によって明らか）

43：現状として、ネットワークアーキテクチャーの下位層は熟してきている。ネットワーク科学からの影響を即座に受けそうなものは、ネットワークアーキテクチャーの上位層と高いレベルで築かれている社会的ネットワークに関連している研究から出てきそうである。

軍事的側面：基礎研究は情報交換能力の改良が戦闘に対して有効であったかの貴重な洞察を提供した。

3・ 45：情報網とそれらを利用する社会ネットワークとの相互作用を研究すべきである。

## 1 章

48：ネットワーク効果はコミュニケーションや通信網など多様な分野、多様な階層で見受けられる。

しかし、テロリストの社会的ネットワークについての研究 (Arquilla and Ronfelt,2001)をきっかけにここ数年間で特別な意味をもって認識され始めた。

49：軍隊ではネットワーク効果がコミュニケーションシステムとして利用される。それは動的なネットワークであるが、我々は動的なネットワークについてまだ理解できていない部分が多い。

50：また、ビジネスアプリケーションネットワークはコミュニケーションネットワークに依存し、さらにコミュニケーションネットワークは物理的な通信網のネットワークに依存するというように、ネットワークは複数の層 (レイヤー)で互いに影響しあって成り立っている。

51：自然、物理、社会などさまざまな分野にネットワークが存在するにもかかわらず、その基礎となる共通規則について、科学的な理解がされている部分はまだわずかである。

52：ネットワークの科学は存在するのか？この問いについて意見は異なる。しかし存在するならば、我々は有用性を示さねばならない。このレポートの目的はアメリカ軍にとってネットワークの科学が価値があるかどうかを調べることを目的としている。

53：鉄道や電話の例によって、メトカーフは連結性の利益を明らかにしたが、(ラインゴールド,2002) 今後十年以内に世界人口の大部分が情報網に接続されるであろうと考えられている。ネットワーク科学の追及は今後の社会に科学的な回答を示せるであろう。

54：米国軍は技術や社会の変化の波にさらされているが、ネットワークの科学はこれら新しい世界においての戦闘の可能性を見出すことに貢献できるであろう。

55：米国軍の新しい戦闘システム開発 (FCS)は予算、スケジュールを超過している。ネットワーク科学がまだ未完成であるために、有効な発見事項が見つけられずに居るためである。

56：FCSのように複雑な物理ネットワークは予測は、科学的な根拠が未熟であるため難しい。これを特徴付けたのは物理的通信網によって成り立つ犯罪者やテロリストのコミュニケーションネットワークのケースである。(Arquilla and Ronfelt,2001)

したがってネットワーク科学の基礎を押さえるのは、経済とアメリカ軍にとって緊急の課題である。

### SCOPE OF THE STUDY

57：この状況を認識し BAST 上の NRC は将来の米軍に応用するため、ネットワーク科学委員会を組織した。この委員会へ提示された研究主題は以下の4つ (BOX 1-2) である。

## STUDY APPROACH AND CONSTRAINTS

58 : この委員会の最初のグループのメンバーは物理学、工学、生物学、社会科学の分野から選出された。委員会は Duncan Watts, Albert-Laszlo Barabasi, Thomas Malone, Stan Davis, Rechar M Murruy など、さまざまな分野で活動する代表的人物が従事していた。

59 : 二番目のグループは海軍研究計画庁 Ronald J Brachman, 国防大学 Robert E. Armstrong や現オラクルの社長などを含み、軍の権威と研究開発部によって構成されていた。

60 : 三番目のグループは学究および産業界の代表者を含んでいる。

カリフォルニア工科大学の Richard Murray, ヒューレット・パッカートの最高技術責任者 Demillo 博士などがメンバーであり、委員会議長は 22 年間ゼロックスの R&D マネージャーを務めた Charles Duke であった。

61 : 選定には、活発な研究者をプログラムするマネージャーが必要とされ。また、技能的・経験的にネットワーク科学の内容を評価できる人も必要とした。次に、工学的・社会的・生物学的な技術のみとおしを立てるられ、アメリカ軍と陸軍に対しての可能性を考えられた。

62 : 委員会は 3 つのグループに分けられた。それは、過去のネットワークを分析評価するグループ、ネットワーク科学の範囲を定義しながら焦点を合わせるグループ、現在のネットワーク科学を推し進めるグループである。

### レポート構成

2~7 章が委員会の結果報告（発見） 8 章が委員会の結論

2 章 : 21 世紀のネットワークとネットワーク研究の普及のインパクト

3 章 : 一般に対して（特に軍と陸軍に対して）のネットワークの意味

4 章 : ネットワーク科学の暫定的定義

5 章 : ネットワーク科学の潜在的範囲と内容について

6 章 : ネットワーク科学の現在状況と関連研究の挑戦的分野

7 章 : 発見

ネットワーク構造

ネットワーク例	成熟度	ノード数	構造の複雑さ	大きさ	技術的強度	ネットワーク範囲	社会的影響や効果	故障による被害の社会的影響	大故障の種類
US電力網	高	高	低	N	中	国	電気照明 電化製品 電子工学	高	大陸に広がる停電
航空網	高	中	中	N~2	高	地方/国/国際	迅速な貨物や人の輸送 ユビキタスコン	低	主に天気による遅れ
集積回路(チップ)	中	中	中	N~2	高	局所的	ピューター・その他の電化	低	電子製品の故障・リコール
携帯電話網と一般回線電話網	高	高	低	N	高	国・国際	移動可能な国際的コミュニケーションの例	高	災害時等で集中によって故障が起される
性ネットワーク(HIV)		低	低	N		多くは局所的・しかし現代の交通網により地域的・国・国際	多くの発展途上国等の人をAIDS等で苦しめている	高	世界的流行の始まり
インターネットのデータリンク技	高	中	高	N~2	高	国際	WEBの成功要因・電子取引	低	サービス拒否による攻撃
インターネット応用層の構造	中	中	中	2~N	高	国際	ネットワークの成長形成にたいする支え	低	コンピュターウィルス・スパイウェア
アメリカファイナンスのネットワーク	中	中	低	N~2	高	国・国際	貨幣なし小売・電子為替	高	国際的に電子為替が崩壊する
ウォールマーケットの供給の鎖	低	低	中	2~N	中	国・国際	ピッタリの供給と在庫管理	低	お店に在庫がなくなる
小さな町の行政(50000人以下)	高	低	中	2~N	中	地域	道・水。下水、都市計画、警察	低(個々の行政による)	地方の要求が失われる

1000以下  
低  
1000~1000000  
00000  
10000000  
以上高

生物ネットワーク	
ネットワークのタイプ	世界的影響
病気の感染ネットワーク (HIV、インフルエンザ、結核、マラリア、コレラ)	病気の広がり、伝染病
生態学（環境的な）ネットワーク (食物、web、川、盆地、川、森)	生存により選択された種、世界的気候、地形
新陳代謝ネットワーク	与えられた生活実態に対する生活の営み
共同体ネットワーク (昆虫社会、動物の群れ、鳥の群れ、魚の群れ)	生存競争
遺伝子発現ネットワーク	世代間の伝達と発展

物理ネットワーク	
ネットワークのタイプ	世界的影響
分配網（電気、水、仕事の調達連鎖）	生活必需品や物品の分配効果
テレビンフラ (携帯、電話網、ケーブルTV、インターネット)	瞬間的な 世界的情報分配
国防省大域情報網 (センサー、交信、武器)	ネットワーク中心の戦争とネットワークが操作を可能にする。
交通網（空港、高速、鉄道、船）	業者から市場への迅速な物品移動、現代の旅行
電氣的金融伝達ネットワーク (銀行、クレジットカード、ATM)	電子金融の伝達

社会ネットワーク	
ネットワークのタイプ	世界的影響
友人・知人ネットワーク（テロリスト、共同体、仕事、宗教、同好会）	協力の影響、協力の活性
放送ネットワーク（ラジオ、テレビ・NBC・CNS・CNN）	大規模グループに対して同一情報の普及
情報交換ネットワーク（U・Sメール、ローカルまたは長距離電話）	安く、便利で長距での交流
集団の生成ネットワーク（eBay、企業イントラネット）	簡単に、便利に今まであったこのない似た考えの人同士のグループの生成
供給の鎖と仕事のネットワーク	共通の目標、グローバルなコスト削減を達成する多重プレイヤーのコーディネート
ソーシャルサービスネットワーク （ソーシャルセキュリティー、家族サービス、医療保険、医療扶助）	公共サービスが広く、分断された選挙区で実施した効果



ネットワーク構造

ネットワーク例	成熟度	ノード数	構造の複雑さ	大きさ	技術的強度	ネットワーク範囲	社会的影響や効果	故障による被害の社会的影響	大故障の種類
US電力網	高	高	低	N	中	国	電気照明 電化製品 電子工学	高	大陸に広がる停電
航空網	高	中	中	N~2	高	地方/国/国際	迅速な貨物や人の輸送 ユビキタスコン	低	主に天気による遅れ
集積回路(チップ)	中	中	中	N~2	高	局所的	ピューター・その他の電化	低	電子製品の故障・リコール
携帯電話網と一般回線電話網	高	高	低	N	高	国・国際	移動可能な国際的コミュニケーションの例	高	災害時等で集中によって故障が起される
性ネットワーク(HIV)		低	低	N		多くは局所的・しかし現代の交通網により地域的・国・国際	多くの発展途上国等の人をAIDS等で苦しめている	高	世界的流行の始まり
インターネットのデータリンク技	高	中	高	N~2	高	国際	WEBの成功要因・電子取引	低	サービス拒否による攻撃
インターネット応用層の構造	中	中	中	2~N	高	国際	ネットワークの成長形成にたいする支え	低	コンピュターウィルス・スパイウェア
アメリカファイナンスのネットワーク	中	中	低	N~2	高	国・国際	貨幣なし小売・電子為替	高	国際的に電子為替が崩壊する
ウォールマーケットの供給の鎖	低	低	中	2~N	中	国・国際	ピッタリの供給と在庫管理	低	お店に在庫がなくなる
小さな町の行政(50000人以下)	高	低	中	2~N	中	地域	道・水。下水、都市計画、警察	低(個々の行政による)	地方の要求が失われる

1000以下  
低  
1000~1000000  
00000  
10000000  
以上高

## 2章

### 21世紀のネットワークとネットワーク研究

67:

21世紀前半の社会について説明する単語として「connected」が使われる。

なぜなら、我々は、電気・水・ガス・及びケーブルテレビが各家庭にまで届き、世界中で電話・電子メール及び他のコミュニケーションネットワークを当然と思いながら成長してきた。インターネットは特に根深く根付いた。

そこで、コミュニケーション・指揮統制・協力的な意思決定・機密情報収集・他の批判的機能において、電子ネットワークにずっしりと依存している。

68:

どんなに明らかでないネットワークでも、他に接続されたシステムが極めて重要な働きをする。病気が蔓延するのも人々の接触に依存している。

また、人々の組織はしばしばグラフィカルに得られるネットワークである。

また、日常生活では例として介護ネットワークを使用し、代金を金融ネットワークを通じて支払う。

また、我々の脳は、神経細胞の膨大なネットワークであり、それらを使い、見て・聞いて決定をし、覚えて・学んで・行動する。

69:

これらを、委員会は物理的な、生物学的な・社会的なものとして分類した。

TABLE 2-1

70

そして、ネットワークが普及していることだけではなく、驚くべきことに多様である。そこで、ネットワークが「大きさ」「複雑さ」「頑健さ」「重要さ」で特徴づけることができる。TABLE 2-2

71:

このテーブル2-1と2-2が委員会での最初の発見を導く

72:

発見 2-1 人生においての重要なネットワークがどのようなものであるかを例証する。また、これらからネットワークが日常生活における重要なインフラのほとんどの基礎になっているのを見た。

物理的：電気・水・輸送

社会的：サービス・インターネット・健康管理・銀行業・買い物・教育・政府

74 : 我々の、体や心は巨大なネットワークをあらわしたものである。  
また、我々の住んでいる自然界は巨大な生態系ネットワークが現れたものである。

ネットワークは日常生活で偏在している。そして、世界的経済基盤の中核を担っている。  
そして、これらのネットワークのどれかの失敗は社会に影響を及ぼす。

#### 発見 2-2

##### 75 :

設計されたネットワークは世界的な経済の主要要素である。  
現代の主要要素としては、コミュニケーションと輸送網が主軸である。

#### 発見 2-3

社会的・生物学的なネットワークは設計された（物理的な）ネットワークと共通性を持っている。重要な点 : Barabasi, 2002; Bower and Bolouri, 2001; Dorogovtsev and Mendes, 2003; Newman, 2003; Watts, 2003 らのモデルがすべての種類のネットワークに適切であることである。(物理的・社会的・生物学的)

#### 発見 2-4

コンピューターに基づく科学技術とテレコミュニケーションは、グループ連携を容易にする社会的ネットワークを可能としている。

#### 発見 2-5

共通の設計によってできたネットワークの操作が国家的優先課題

失敗や故意に起された失敗の脅威は、振る舞いが予測できる頑健なネットワークの設計・配備・運営の緊急性を高めている。

しかし、これをどのように行うかといった基本的知識は非常に原始的であり、16 世紀の錬金術の知識の事情に類似している。

一般的にネットワーク研究を推し進めるにあたり、基本的なネットワーク科学（コンピューターネットワークの方）を推し進めるのを思いつくかもしれないが、ネットワークアプリケーションにおける基本的な科学的調査不足がある。

#### 発見 2-6

ネットワーク科学への関心は過去 5 年で爆発的になっている。

新規分野の出現に伴う多くの測定がこの高められた関心を記録している。

これらは、通信系（インターネット・WEB）生物系（新陳代謝・たんぱく質の相互作用）・社会システム（共同作業・電子メール）らの関心が同時にこの分野を刺激している。

図2-1に示すようにこの間の「複雑ネットワーク」に関する本の発行部数は飽和せず4倍のペースで増加し続けている。

他のサインとしては、ネットワーク科学を行うための共同体の出現である。20以上の国際会議、ワークショップ、サマースクールがネットワーク研究に焦点をあて、400人以上の関係者がいる。

特に、物理学と生物学は多くの焦点セッションをささげている。

2004年：サイエンスホールはネットワーク科学の魅力を伝えるために、Connections: Seeing the World in a Different Way.と題して展覧会を開いた。

最終的に

5章とAppendixCで議論する様に、アメリカ国内の主要な大学ではネットワークサイエンスコースを設けた。

これらは、電気工学・物理学・コンピューターサイエンス・生物学・経済学・社会学を含む様々な部で提供されている。

次にネットワークの利益を考えると代表的なものがgoogleである。10数年で何十億ドルもの会社に成長した。この起因要因としては、webの格付けをするにあたりwebトポロジーを使用したアルゴリズムがある。

今、急速に発展している産業は社会的ネットワークの周りで発展している。今では、新しい製品は、社会的リンクで収集される情報に基づいて開発され、ビジネスでは、取引相手を容易にするデータサービスを提供するまでに発展している。

もう一方、ネットワーク研究への関心の高さは、多くのネットワーク解析ツールを生み出した。これらの多くのものがネットワークの可視化に重点を置いている。

中間的なタイムフレームでは生物学がネットワーク研究から利益を得ようである。

(Barabasi and Oltvai, 2004)特に遺伝子研究に適用され、ゲノム革命の動力となった。たとえば、サンディエゴを拠点とする会社がゲノマティカを開発したことなどが記憶に新しい。

結局委員会は、ネットワークに関する研究が、コミュニケーションネットワーク・輸送・パワーインフラの可能性・信頼性の基礎になるだけでなく、新しい産業と、経済成長の源にもなりえることがわかった。

#### 2-7、発見事項

最近のネットワーク研究は新しいビジネスやビジネスの成長を導いている。

サマリーは、ネットワークに関する我々の知識は21世紀に重大な役割を果たす可能性がある  
あると述べた。

頑健な情報ネットワークを設計し、運営することは非常に大きな需要である。

しかし次の章では委員会がネットワークの基礎的な科学的知識が欠乏していることを論  
じている。

第三章では委員会はネットワークの軍利用についてのべ、特にネットワークを中心とし  
た戦闘について

着目している。