

P46

8 Conclusions and Recommendations

1

この章では、発見に対する包括的な結論付けを行う。

2 OVERARCHING CONCLUSIONS 包括的な結論

Conclusion 1

ネットワークは、生活の全ての局面に広がってきており、グローバル経済を動かすにも、旧来の軍事的脅威や新しいテロへの脅威に対応するにも、不可欠のものとなっている。

2-1, 2-2, 3-1

3

Conclusion 2

複雑ネットワークの性質の予測に関する基本的な知識は、まだ初期段階である。

ネットワークについては、多くのことが分かっているという仮定の下、ネットワークというものに対して、拡大と重要性が与えられてきた。しかし、これは事実と異なる。物理ネットワークの構成と運営技術は洗練されているが、頑健性 (robustness)、安定性 (stability)、スケーリング (scaling)、性能 (performance) などの重要な質問に対して、大規模なシミュレーションやテスト無しに確信を持って答えることはできない。巨大なネットワークに対するシミュレーションは、不十分であることが多い。ネットワーク構成 (コンピュータ、ルータ) のデザインと運用は、物理、化学、材料科学の基礎知識がベースになっている。しかし、ネットワークに組み込まれた複雑な集合と比較可能な基礎知識は存在しない。事実、そのようなネットワークは創発現象 (構成部品から予測ができないような挙動をする現象) を起こす。社会ネットワークや生物ネットワークの場合、構成部品の特性すらよく分かっていない。ネットワークに関する知識の要求と入手可能性には、大きなギャップが存在する。

4

委員会は、巨大で複雑なネットワークの予測モデルを開発することが難しいことを学んだ。サイズが大きくなるにつれて、厳密な結果が得られなくなる。これは、インターネットや社会、生物ネットワーク全てにいえる。

分析ではなくシミュレーションが研究ツールとして選ばれた。社会ネットワークの場合、ネットワークのノード (人やグループ) の複雑性から、シミュレーションは非常に複雑になる。特定の現象を数理的にモデル化するには、それら多くの特性のうち、どのような特性が適切であろうか？

5

最後に、生物学にネットワークモデルを使うという考えは、比較的新しい。まだ多少の混乱はあるが、この分野の進歩は、社会や軍事の将来に結びつくだろう。

6

Conclusion 3.

現在の金融政策における優先事項は、巨大な複雑ネットワークに関する基本的な知識を反映していない。

7

BOX B-1 Summary of Responses to the Statement of Task

陸軍次官補は National Research Council(NRC)にネットワーク科学分野の研究を依頼した。

1, ネットワーク科学と呼ばれる新しい分野の研究を開始すべきかどうか？もし Yes なら、どのように定義すればいいか？

ネットワーク科学は、物理、生物、社会現象などのネットワーク描写の研究と定義できる(Chapter 4).

2, ネットワーク科学を進展させるために、何がキーとなる課題か？

様々なアプリケーション分野のネットワーク研究者の間に一般的な合意が存在する(Chapter 5)。7つの主要な課題がある(Chapter 6)。

8

3, ネットワーク科学を進展させるための理論的、経験的、実用的課題を識別する施設や設備に対する投資の優先順位を決める場合について考える。

現在の軍の“ネット中心性”の概念は、ネットワーク科学からの知見ではなく、コンピュータと IT のアプリケーションをベースにしている(Chapter 3)。

現在の資金拠出政策と優先順位は、巨大で複雑なネットワークについての基本的知識に合致しないように思われる(Chapter 2-4)。

ネットワーク科学の原理は 技術、生物、社会ネットワークなど様々なコミュニティで異なる方法によって明らかにされている。これらの基礎研究は、全体として一貫していない(Chapters 5, 6)。

4, 資源に制限があるとき、軍のネットワーク戦闘能力を進展させるための適切な研究分野を提言する。

提言 1 から 3 は適切なメニューを提供する。軍はこれらを選択し、実装することで、ネットワーク科学を望ましい方向に進展できる(Chapter 8)。

9 (6→9)

基礎知識は、大学などの専門機関で創造され蓄積されてきた。この基礎知識は、経験的な知識とは異なる。この知識を経験的なものに転用していかなければならない。

10

この理論は、アメリカが世界を支配し、産業が垂直に統合した半世紀以上にわたって、見事に働いた。しかしながら、グローバル経済の始まりである 1990 年代から、いくつかの理

由により状況が劇的に変わってきている。1つ目、知識、投資資本、技術、技術労働者はグローバルに入手可能な消耗品となっている。2つ目、経済活動、研究開発 R&D は、グローバルなスケールになっている。3つ目、これら2つの傾向が、より大きく複雑で影響を受けやすいネットワークを作っている。

1 1

この伝統的な理論は、グローバルネットワークについての知識創造に関しては機能しない。

1 2

全体として、委員会は近代社会に広がるネットワークの一覧を導いた。しかし、軍の認知、社会分野の研究は、情報分野の技術的進歩に見合う進展がない。同時に、学問界でのネットワーク描写の努力は、断片的でバラバラである。

1 3

要するに、近代社会におけるネットワークの重要性と軍の業務、研究開発活動の間には、大きな断絶がある。軍単独でこの状況を転換することはできないが、それは始まっている。

1 4

SPECIFIC CONCLUSIONS 具体的な結論

ネットワーク科学は工学、生物学、社会科学で異なる分野で創発されてきている。

1 5

民間や軍の投資先として様々なものがあるが、ネットワーク科学がコアのコンテンツになるということに対する一時的なコンセンサスは得られる。

1 6

Conclusion 4

ネットワーク科学は、重要な社会問題や軍のネットワーク中枢運用能力をサポートする、新しい研究分野である。

しかしながら、ネットワーク科学の境界は曖昧で、ツールの開発から挑戦すべき研究領域まで鍵となるトピックが膨大にある。これらの記述は Chapter 3,4

1 7

Conclusion 5

物理、生物、社会、情報アプリケーションなど、ネットワーク科学を研究する学者間には、ある意見の一致がある。

委員会への参加者に対するアンケートで、「鍵となる研究課題はネットワーク科学にある」という意見の一致があった。

1 8

Conclusion 6

ネットワーク科学の進展により乗り越えられるであろう、7つの主要な研究課題。

- ・ ネットワークのダイナミクス、空間位置、情報伝達。ネットワーク構造と機能の関係についてのより進んだ理解が必要である。

- ・ 巨大なネットワークのモデリングと分析. ツール, 抽象化, 近似が必要である.
- ・ ネットワークのデザインと統合. ネットワークの望ましい特性を得るためのデザインと修正のテクニックが必要である.
- ・ 精度と数学的根拠のレベルの向上. 現在までのネットワーク科学は, 数学的厳密性をもっていない.
- ・ 分野間を横断する一般概念の抽象化.
- ・ ネットワーク構造についてのよりよい実験と測定. 巨大なネットワークの現在のデータはわずかで, それらを調査するツールにも限界がある.
- ・ ネットワークの頑健性と安全性. 最後に, 局部故障や悪意のある攻撃に頑健なネットワークシステムについてのより進んだ理解とデザインが必要である.

これらの課題は, 理論, 実験, 実用性など研究に関する様々な投資シナリオがあり, 複雑である(Chapter 7, Appendix E). シナリオは, Item 3 に対応する.

19

全ての軍は, 基本任務を遂行するコミュニケーションネットワークの将来の展望を持っているが, ネットワークの計測性, 信頼性, 頑健性, 安全性を保証する方法論はない. ネットワークがどのような振る舞いをするか予測できるようなデザインをする能力が, 重要である. なぜなら, グローバル経済のネットワークは, 犯罪やテロリストの社会ネットワークにも利用されるからである.

Conclusion 7

グローバルネットワークの効果と故障自動制御についてのデザイン, スケーリング, 操作の国際的な優先度は高い.

20

RECOMMENDATIONS 提言

委員会からの投資提言.

21

Recommendation 1. 連邦政府は, 現在手に入る知識と必要な知識のギャップを埋める研究と開発を始めるべきである.

22

この提言は, 犯罪やテロによる社会ネットワークの崩壊といった証拠に支持される. テロリズムによるグローバルな戦争などは, 現在のネットワーク研究の枠を超える.

23

広大な文脈の中で, **Recommendation 1a, 1b, 1c** は3つの選択肢を提供する.

Recommendation 1a. 軍が他の連邦機関と協調する際, ネットワーク研究のイニシアチブをとるべきである.

24

軍は大きなネットワークのサポートができる.

25

Recommendation 1b. もし軍が軍の情報分野を適時に手ごろな価格で利用したいなら、認識を視覚化する能力に高い優先度を与えるべきである。

26

最後に、もし軍が委員会の提供する見識を選ぶなら、ネットワーク科学研究のリーダーシップを執れるだろう。

P50

TABLE 8-1 Network Research Areas

研究分野	鍵となる目標	時間的枠組	経済的興味	投資の優先度
モデル化, シミュレーション, テスト, 大規模ネットワークの試作	実用的な配置ツール	中	高	高
共同/連合ネットワーク戦の指揮統制	異質なシステムをつなげた際のネットワークの特性	中	中	高
組織的行動によるネットワーク構造への影響	ネットワーク化された組織行動のダイナミクス	中	中	高
ネットワークのセキュリティと情報保証	生存率を高めるネットワークの特性	短	高	高
ネットワーク構造のスケラビリティと信頼度の関係	強固もしくはは主要なネットワークの特性	中	中	中
ネットワークの複雑性の管理	単純性と接続性を促すネットワークの特性	短	高	高
ネットワーク要素の状況認識の共有の改良	ネットワークの自己同期化	中	中	高
機能強化されたネットワーク中心任務の有効性	個と組織のトレーニングデザイン	長	中	中
先進的なネットワークベースのセンサー機能	システム管理理論の影響	中	高	中
捕食関係	敵対行動のアルゴリズムとモデル	中	低	高
浮遊行動	自己組織化 UAV/UGV 自己治療	中	低	中
代謝と遺伝表現のネットワーク	兵士のパフォーマンス強化	短	中	中

27

Recommendation 1c. 軍はNCO能力を向上させるために、基礎、応用研究両方を積極的

にサポートすべきである

28

軍が興味を持つ特定の分野は table 8-1 に示されている。このテーブルは、これらの分野についての、委員会の相対的優先度の評価を表している。特定の研究問題とサンプルプロジェクトは、Appendix E に示されている。委員会は、これらの分野に熟練者と将来有望な研究の問題が存在することに注目している。

29

まだ達成可能な望みのある Recommendations 1a から 1c の選択肢を通して、軍はネットワーク科学から広がる基礎知識を創造できる。これらの選択肢を導入するかどうかに関わらず、軍主導のネットワーク科学は、基礎研究を土台にすべきである。

30

Recommendation 1d. 1c から c までの提言は、理論的な研究だけでなく新しいアイデアを検証と反証する実用的なテストも含むべきである。

1a,b,c については、7章の2、3節と Appendix E に書かれてある。それらは、軍の研究開発に対してどのように投資すべきか、について実質的な変化を含んでいる。

31

軍はネットワーク科学（7章のシナリオ1）と結びつく機会ももっている。この比較的小さい投資は知識の基礎を創造し、NCO の能力を活かす人事管理を推進するだろう。

32

ネットワーク科学の基礎研究(6.1)への投資は重要な価値を生み出す；しかしながら、それらの投資は、NCO の能力を高めるようなデザイン、テスト、比較といったものに即時にインパクトを与える公算があるわけではない。それらはネットワーク科学のコアとなるような更なる知識を生み出すだろう。もし、軍がシナリオ1を選ぶなら、委員会はさらに2つの提言を提供する

33

Recommendation 2. 軍は、ネットワーク研究に少なくとも1000万\$の投資をするべきである。これは国立科学財団(NSF)、エネルギー省(DOE)、国立健康研究所(NIH)などの連邦政府機関とは明らかに異なる。

この適度なレベルの投資は、軍の研究開発ポートフォリオと互換性がある。将来有望な研究トピックと有能な研究者の供給は、この投資を生産的なものにする。さらに、それは現在の軍の研究開発プロセスを満たしうる。しかし、7章と Appendix E の注釈の増大は、投資に対する利益を改善するだろう。

34

NCO に大きな価値をもたらす基礎ネットワーク科学研究を認識するために、委員会はレイヤーで構成されるコンピュータネットワークのためのオープンシステムアーキテクチャーを思い起こす。低層レイヤー（物理、転送）と構想レイヤー（アプリケーション）を区別

することは有用である。

35

低層レイヤーの研究は比較的成熟している。このレベルのサービスの改善は、技術的な問題よりも基本的なことが多い。ネットワーク科学からの当面の利益は、より高いレベルでのネットワークアーキテクチャーと社会ネットワークの結びつきである。委員会は、軍の投資が最大の価値を生むと考える。

36

組織構造と命令、制御に関する研究への投資は、現在少ないか無いに等しい。軍は進んだ情報交換能力をどのように効果的に使えるのかという問題に対し、基礎研究は価値ある見識をもたらす。たとえば、戦闘においてこれらの能力はよりよい意思決定を導く。さらに、ネットワーク科学のコアとなる内容は、軍における情報インフラの生産効率を最も高めるための意思決定を助けるだろう。

37

Recommendation 3. 軍は情報ネットワークと社会ネットワークの相互作用についての基礎研究問題に取り組むべきである。

軍は現在の政策や手続きの中で、提言2と3を実行することができる。それらは本質的な再計画も、軍/大学/産業研究計画の統合も必要としない。

38

委員会の提言1,1aから1d,2と3は、軍に実行可能なメニューを与える。このメニューから適切な項目の選択と実行をすることによって、軍は頑健なネットワーク科学“ネットワーク中心戦闘能力”を発展させることができる。