

# 複合社会システムシミュレーションによる危機対応システムの設計・評価

システム創成学専攻

認知システム工学研究室

菅野太郎



Copyright(C) 2006- Taro KANNO  
All Rights Reserved

1

2/20

## 本日の内容

- 問題意識と捉え方
  - レジリエントな社会の実現
  - 認知システム工学アプローチ
- これまで・on-goingの取組み
  - 複合的相互依存性モデリングと災害復旧シミュレーション
  - 仮想データ、実データによるシミュレーション
- これから・on-going
  - 政策—シミュレーションカップリング
  - Resource-centric BCP

Copyright(C) 2006- Taro KANNO  
All Rights Reserved

Cognitive Systems Eng. Lab.  
Dept. Systems Innovation  
The University of Tokyo



## 問題意識と捉え方

---

- 災害レジリエントな社会の実現のために
  - より強く、より柔軟な社会、高継続性、早期回復
  - 対応・継続計画の評価、最適設計が必要
  - 計算機シミュレーションの活用
  
- 対応・継続・復旧問題の複合性
  - マルチハザード(自然災害、大事故、テロ、感染症、etc.)
  - マルチプレイヤー(行政機関、公共機関、一般企業、市民、etc.)
  - マルチ目標(人命、経済、迅速性、コスト、etc.)
  - マルチ構成システム(行政、生活、産業、経済、ライフライン、etc.)
  - マルチ法制(基本法、災害種別、組織別、予防・応急・復興、etc.)
  
- 人間中心の全体的アプローチが必要
  - ヒト(行動主体) × 実体世界(人工物・環境等) × 虚体世界(政策、文化等)



---

これまでの取り組み例

## 複合社会システムモデリングと 災害復旧シミュレーション



# 災害復旧・レジリエンスと相互依存性

## □ 相互依存性

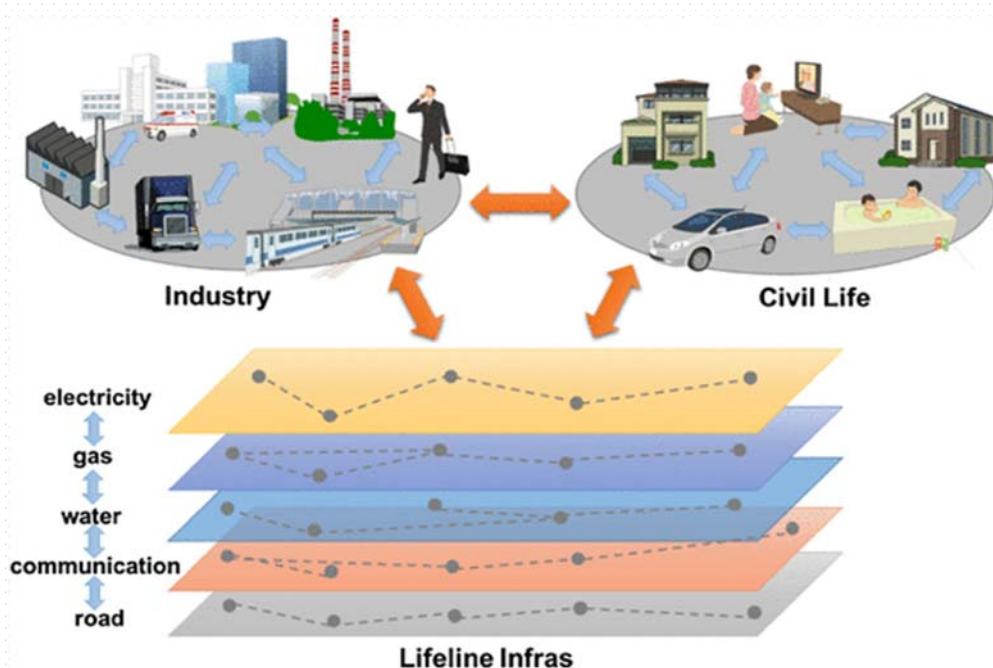
- 多くのシステムは他のシステムとの間に(相互)依存性がある
- あるシステムに機能不全(被害)が生じると、他のシステムにその影響が波及する
- どう波及するか、何が起こるかは予測が難しい
- これまで主に、ライフラインの相互依存性解析が中心的課題

## □ 災害復旧・レジリエンス

- 復旧過程においても相互依存性が問題
- 社会システムの背後にある相互依存性の理解と、
- それを考慮した復旧予測(レジリエンス評価)が必要



# 人間中心の社会システム観

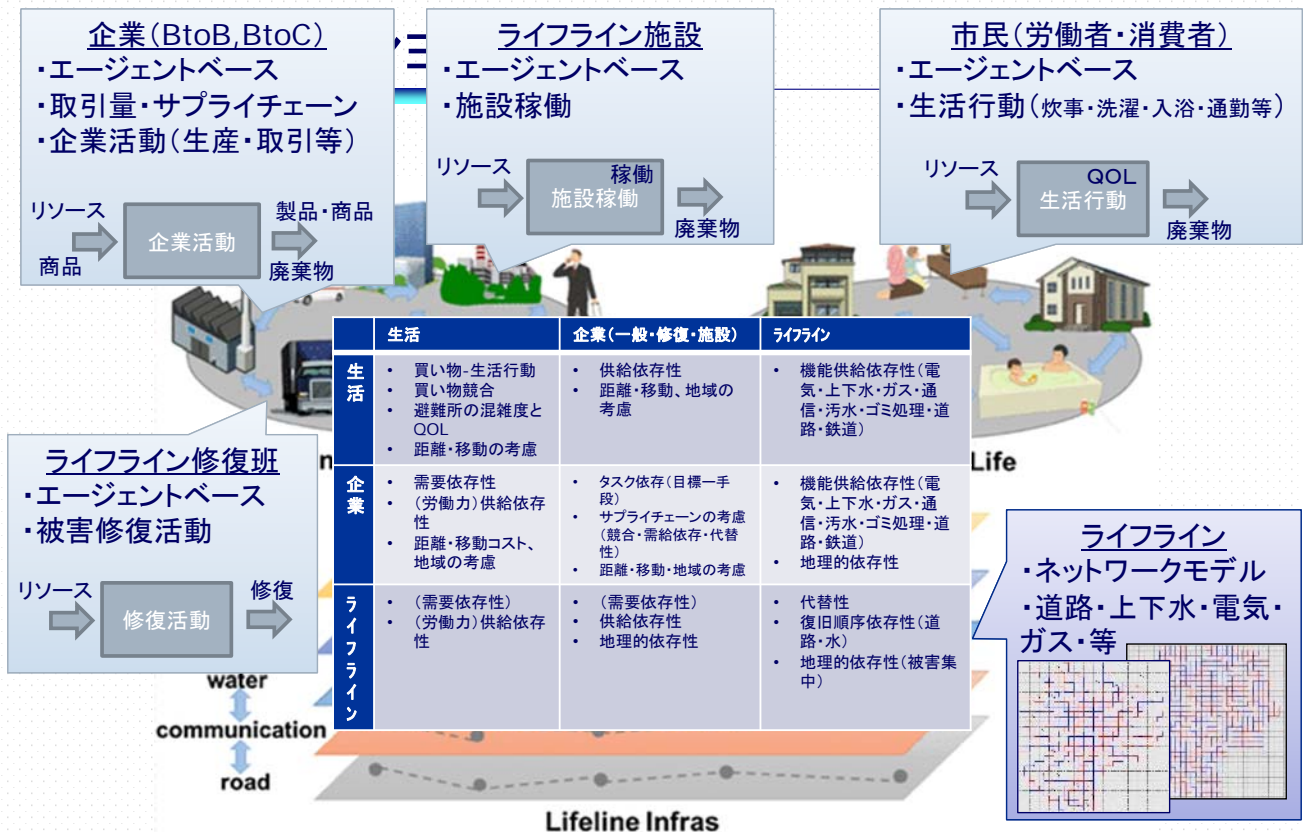


# 相互依存性の再分類(複合的相互依存性)

- 人間の活動を考慮した相互依存性の再整理
- I-(P)-O関係による相互依存性の表現が容易

	生活	企業活動	ライフライン機能
生活	①生活活動内・間の依存性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 目標-手段</li> <li>・ リソース競合/分配</li> <li>・ 地理的依存性</li> </ul>	②生活の企業依存性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 供給依存性</li> <li>・ 地理的依存性</li> </ul>	③生活のライフライン依存性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 供給依存性</li> <li>・ 地理的依存性</li> </ul>
企業活動	④企業の生活依存性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 需要依存性</li> <li>・ (労働力)供給依存性</li> <li>・ 地理的依存性</li> </ul>	⑤企業内・間の依存性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 目標-手段</li> <li>・ リソース競合/分配</li> <li>・ 供給依存性</li> <li>・ 需要依存性</li> <li>・ 代替性</li> <li>・ 地理的依存性</li> </ul>	⑥企業のライフライン依存性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 供給依存性</li> <li>・ 地理的依存性</li> </ul>
ライフライン機能	⑦ライフラインの生活依存性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 需要依存性</li> <li>・ (労働力)供給依存性</li> <li>・ 地理的依存性</li> </ul>	⑧ライフラインの企業依存性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ (需要依存性)</li> <li>・ 供給依存性</li> <li>・ 地理的依存性</li> </ul>	⑨ライフライン間の依存性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 代替性</li> <li>・ 復旧依存性</li> <li>・ 地理的依存性</li> </ul>

(Kanno et al., 2018; etc.)



# 災害復旧シミュレーション

## □ ライフライン被害からの社会機能が復旧する過程をシミュレーション

ライフラインが修復されていくなか、複合的相互依存性のもと市民生活、企業活動がどのように回復していくかをシミュレーション

## □ シミュレーション(最適化)手順

1. 初期被害を設定(ライフラインネットワークのリンクに被害付与)
2. 初期被害からの復旧過程をシミュレーション
  - 市民:生活・労働を続ける(ようとする)
  - 企業:企業活動を続ける(ようとする)
  - ライフライン施設:稼働を続ける(ようとする)
  - 修復:被害箇所を修復する(しようとする)
3. 遺伝的アルゴリズムを用いた修復優先順序の最適化
  - 染色体:各ライフライン被害箇所の修復優先順序
  - 目的関数:QOL、企業・施設稼働率、修復速度、等

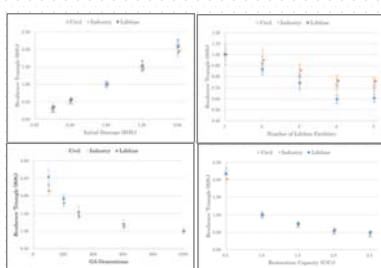


# 仮想データを用いた基礎研究

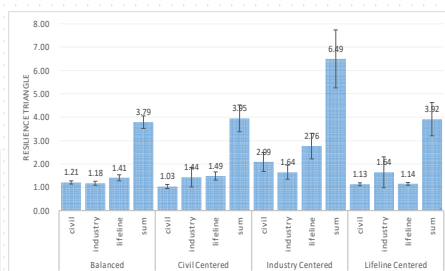
## □ 仮想社会モデルを用いた災害復旧最適化

## □ 最適復旧の比較評価によるモデル検証

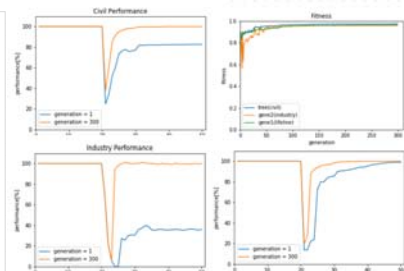
- レジリエンス指標:**R4**(**R**obust, **R**edundant, **R**esourceful, **R**apid)に対する感度分析 = 経験的予測と合致
- 複合的依存性の影響を確認
- 避難判断×サプライチェーン構造×復旧計画の共進化性の確認



R4に対する感度解析



異なる目的関数によるレジリエンス評価



市民・企業・ライフラインの共進化



## 実データを用いた応用研究

- 地理空間データ(市民・産業・ライフライン)の利用、業務タスクの詳細モデリング
- 実務支援へ
  - 地域別レジリエンス可視化(レジリエンスマップ)
  - 教育訓練支援
  - 高速・説明性のある最適化アルゴリズム開発

Wakayama, K., Kanno, T., Kawase, Y., et al. (2020). Comparison of The Post-Disaster Recovery of Water Supply System by GA Optimization and Heuristics. Proc. 30<sup>th</sup> ESREL and 15<sup>th</sup> PSAM, 3862. 等

Copyright(C) 2006- Taro KANNO  
All Rights Reserved

Cognitive Systems Eng. Lab.  
Dept. Systems Innovation  
The University of Tokyo



## シミュレーションの使い方

- 危機対応システムの設計評価
  - 実効性の可視化
  - 様々なWhat-ifシミュレーション
  - 意思決定、リソース配分の最適化
- リアルタイムの危機対応支援・予測
  - リアルタイムセンシング & 予測シミュレーション
  - リアルタイムの対応最適化
- 教育訓練 +  $\alpha$ 
  - Human-in-the-loopシミュレーションによる様々なシナリオの体験
  - シミュレーションモデルー訓練者の持続的改良・向上

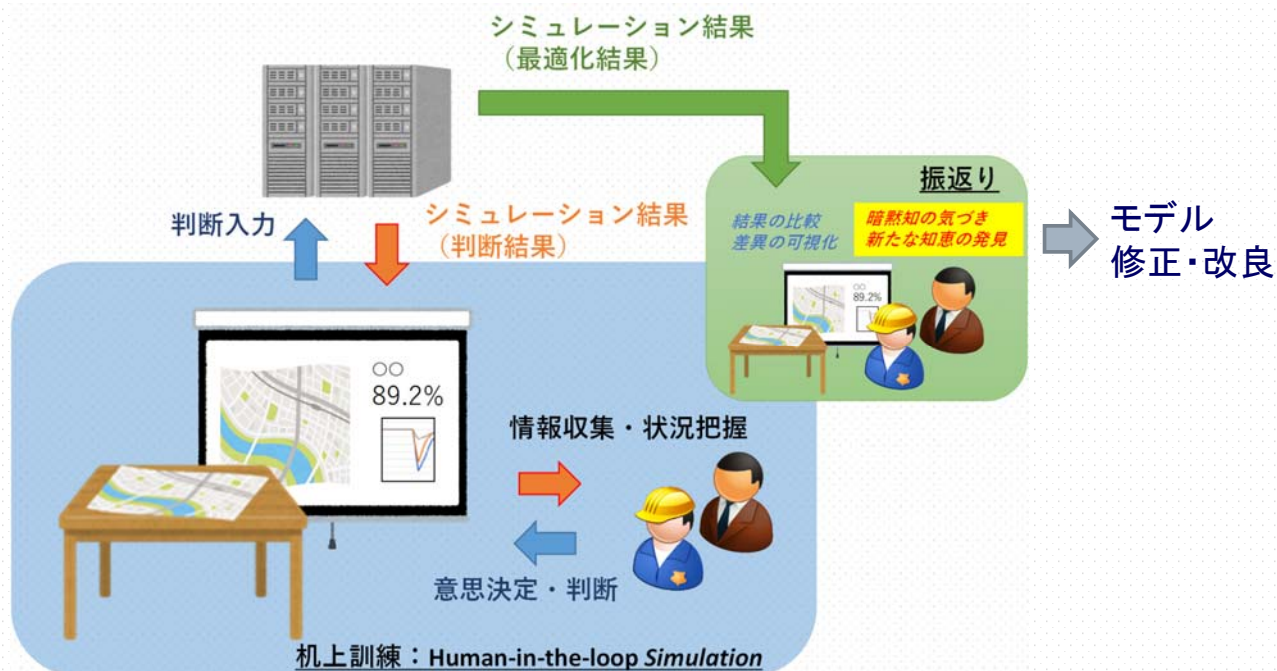
Copyright(C) 2006- Taro KANNO  
All Rights Reserved

Cognitive Systems Eng. Lab.  
Dept. Systems Innovation  
The University of Tokyo





# シミュレーションの発見的活用



Copyright(C) 2006- Taro KANNO  
All Rights Reserved

Cognitive Systems Eng. Lab.  
Dept. Systems Innovation  
The University of Tokyo



## これから、ON-GOINGの取組み

Copyright(C) 2006- Taro KANNO  
All Rights Reserved

Cognitive Systems Eng. Lab.  
Dept. Systems Innovation  
The University of Tokyo

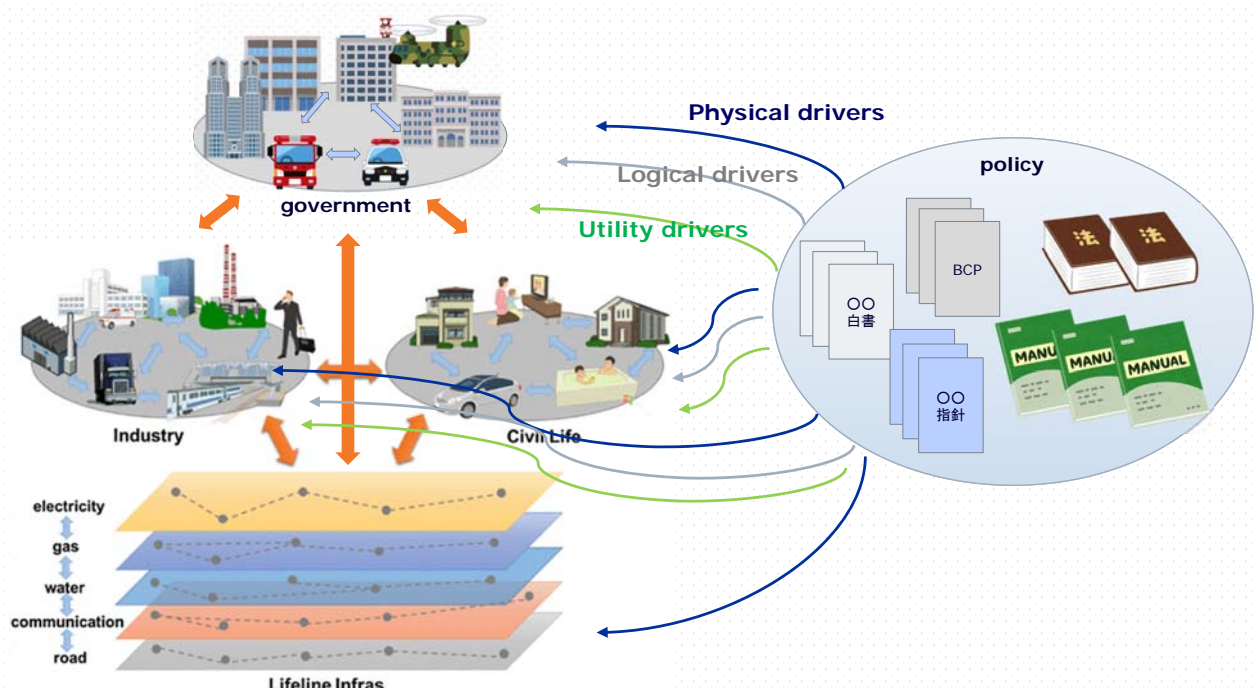


## 政策—シミュレーションモデル連結

- 政策(応急計画・BCP、等) ⇨ ヒト・社会を動かす仕掛け
  - 物理的仕掛け: ハードの備え・設置、数量、量的基準、等
  - 論理的仕掛け: 行動方針・ルール、判断基準、体制、等
  - 効用的仕掛け: 罰則、金銭的インセンティブ、など
- 物理パラメータ
  - 数・量、時間、それらの時空間分布、etc.
  - 例) 被害量・分布、備蓄量、人口分布、対策の有無・程度、避難所の数・場所、価格、ライフライン構造、など
- 論理パラメータ
  - ルール、規範、etc.
  - 制限・制約、指針、判断基準、連絡網、権限配分、など
- 報酬パラメータ
  - 罰則、報奨金、etc.
  - 効用、効用に基づく判断基準、など
- その他
  - 政策パラメータからモデルパラメータに変換しにくいもの
  - モデルパラメータから政策パラメータに変換しにくいもの



## Policy—Simulation Coupling



Kanno, T., Koike, S., Suzuki, T., & Furuta, K. (2018). Human-centered modeling framework of multiple interdependency in urban systems for simulation of post-disaster recovery processes. *Cognition, Technology & Work*, 1-16. より改編





## BCP(業務・事業継続計画)

- 災害などの緊急時に事業・業務への影響を最低限に止め、事業・業務をできるかぎり継続し、できるだけ速やかに回復させるための計画

- ISO220301ベースの策定指針は難解
  - 策定内容、フォーマットの未整備、再利用性が低い
  - 実行可能性は評価されていない(できない)
  - 他企業・組織との連結性も評価されていない(できない)

(策定手順)

1. 業務・事業継続ポリシーと目標の設定
2. リスク評価の実施
3. 業務・事業影響度評価の実施
4. 復旧対策と具体的プランの策定



## リソース中心のBCPフレームワーク

- 災害対応 ≡ 不足リソースの最適配分
- リソース=ヒト、モノ、カネ、情報
- BCP = リソースの、確保×やりくり×再調達

確保	やりくり	再調達
把握、備蓄、防護	優先順位付け、 代替、節約・使い回し、あきらめ	手配、探索

- BCP策定におけるメリット
  - 策定項目の整理
  - フォーマット、策定手順、チェックリストの提供
- シミュレーションモデリングにおけるメリット
  - リソースの使用ルール、リソース量(入力、消費等)によるモデリング
  - 策定からモデリング→シミュレーション・評価の連続性



## まとめ

- レジリエントな社会を実現するためには、危機対応・継続・復旧の高度な計算機シミュレーションが必要
  - 社会の複合性(ヒト×実世界×虚世界)の考慮、モデリングが重要
  - 特に、政策とシミュレーションを連結する技術開発が課題
  - 実データを用いれば実問題の解決策(政策評価、意思決定支援、教育訓練、等)を産み出す高いポテンシャルがある
  - シミュレーションによって知識を産み出す仕組みに期待
  
- 政策(P)ーシミュレーション(S)カップリング
  - 物理、論理、効用パラメーターの抽出と形式化、連結の方法論が必要
- リソース中心のBCPフレームワークの提案
  - わかりやすい策定手順の提供
  - 共通フォーマット(確保×やりくり×再調達)による再利用性の向上
  - シミュレーションモデルとの親和性有→P-S couplingへ



**Thank you!**

[kanno@sys.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:kanno@sys.t.u-tokyo.ac.jp)

