

# 南海トラフ地震防災PJ サブ2a連鎖複合災害リスク評価手法の構築

## 概要説明

防災科学技術研究所  
東京大学

防災科学技術研究所  
中村 洋光

# 2a 連鎖複合災害リスク評価手法の構築

## 目的

- ・巨大地震災害は、地震が起きた瞬間だけで終わるものではなく、揺れ、津波、ライフライン被害、復旧の遅れ、生活再建の困難・地域社会の変容などが、**時間と空間を変えながら連続的に進行する過程**
- ・通常であれば個別に対応可能な災害が**連鎖・複合的に拡大し社会機能の停止や生活の持続困難を引き起こす現象**を「連鎖複合災害」と捉える。

その構造の解明と対策検討に資する連鎖複合災害リスク評価手法を開発する。



## サブ課題2a 連鎖複合災害リスク評価手法の構築

### 連鎖複合災害の構造解明と事前対策の検討

- ・地域毎（都市部、ゼロメートル地帯、軟弱地盤地域、山間地）の災害連鎖の因果構造のモデル化
- ・社会機能への影響が破局的に拡大するクリティカルコンディションの特定
- ・連鎖を断ち切るための対策介入ポイントの抽出
- ・地域社会の回復・継続能力を評価するレジリエンス指標の構築

### 災害連鎖のリアルタイム把握・制御技術の開発

- ・災害連鎖構造の即時把握手法の検討
- ・実災害データと連携し、近い将来に必要な災害対応を数理的に予測する方法論の構築と検証
- ・提案手法の南海トラフ地震への適用

# 連鎖複合災害の構造解明と事前対策の検討

複雑な自然災害現象を、社会や地域を構成する要素の関係性と、それらの状態の変化という二つの側面から捉える。

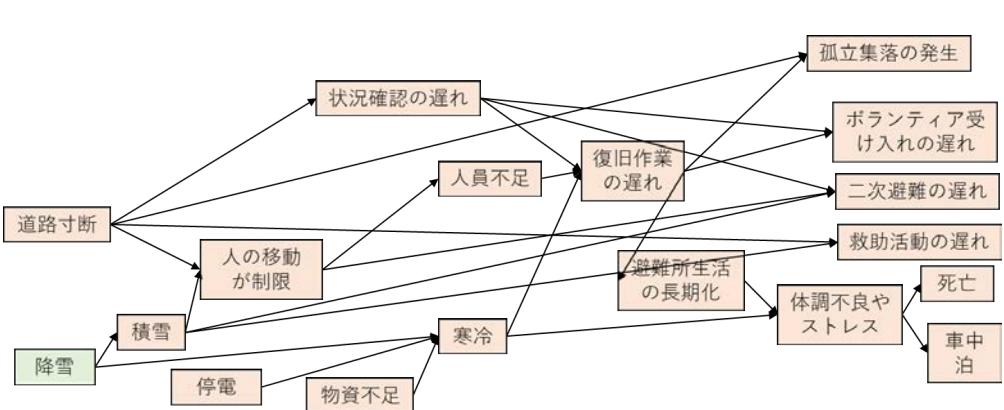
これまで、

- 災害による被害の連鎖構造（関係性）
- 各ハザードによる被害の程度や分布（状態）

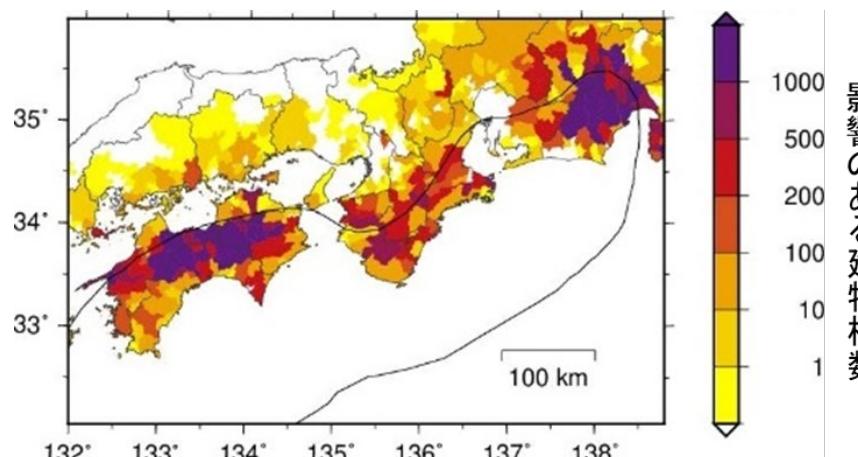
が主に個別に検討されてきた。

本研究では、これらの成果を統合し、関係性と状態を同時に扱う評価枠組みを構築する。

→ 被害の発生から回復に至る過程を、連続的・構造的に捉えることを目指す。



災害による被害の連鎖構造

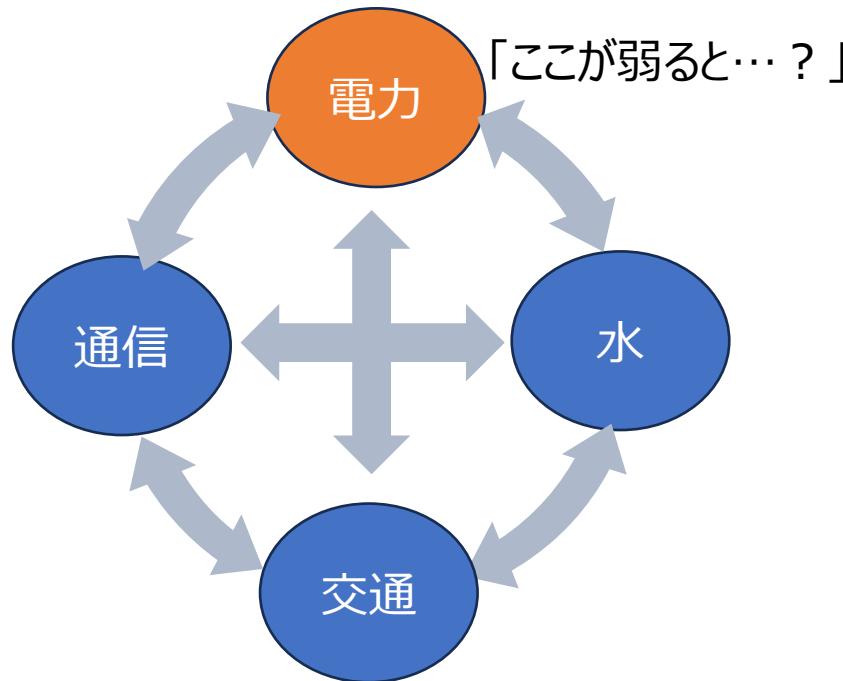


各ハザードによる被害の程度や分布

# 連鎖複合災害の構造解明と事前対策の検討

## ①社会機能の「つながり」と「使える度合い」を整理する

【概要】災害時には、電力・水道・交通・通信などの社会機能の使える度合い（状態）が変化する。これらは平時から互いに支え合う関係（関係性）にあり、どこが弱るとどこに影響が及ぶかは地域ごとに異なる。

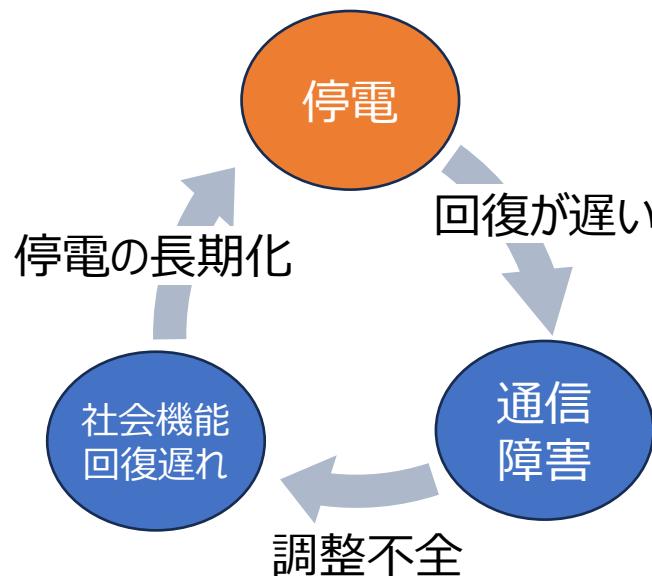


- 社会機能は独立して動いているわけではなく、相互に依存している。
- 災害により、一部の機能が使いにくくなることは珍しくない。
- 影響の広がり方は、地域の条件や構造（エスカレーションファクター）によって異なる。
- まずは、「関係性」と「状態」を整理する。

# 連鎖複合災害の構造解明と事前対策の検討

## ②なぜ被害が「止まらなくなる」のかを見極める

【概要】被害が生じることや、被害が連鎖すること自体は特別ではない。問題となるのは、ハザードの強さにかかわらず、回復が十分に進まない状態が続くことで、被害の影響が次の被害を呼び、さらに元の被害を長引かせる循環（ループ）が成立すること。

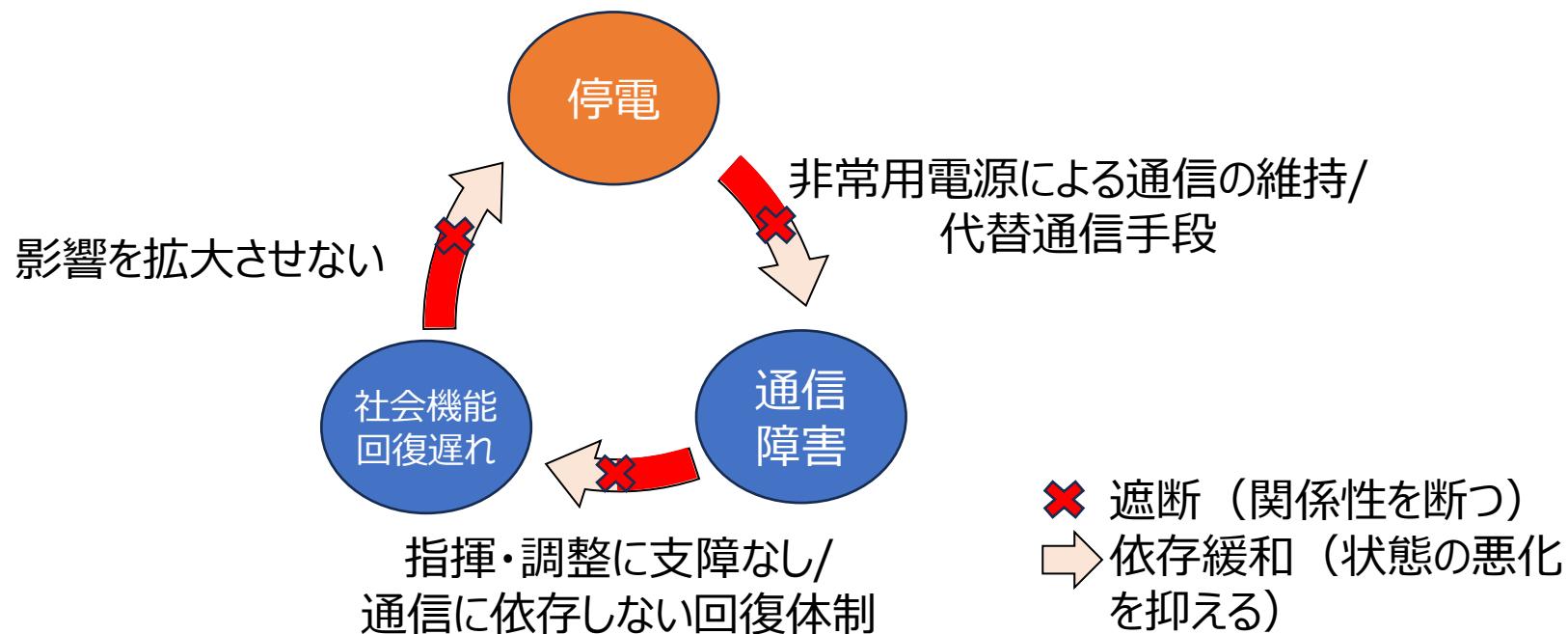


- ・社会機能の被害は、短時間で回復すれば次の被害を生まない。
- ・回復が遅れ、被害が一定時間以上続くと、他の機能に影響が及ぶ。
- ・その影響が回復を遅らせ、元の被害をさらに長引かせると、悪循環が起こる。
- ・そのまま進むと破綻が避けられない状態に入る境目を臨界条件（クリティカルコンディション）と捉える。

# 連鎖複合災害の構造解明と事前対策の検討

## ③悪循環に入らないための「事前の備え」を考える

【概要】災害による被害は避けられない場合がある。しかしながら、被害が次の被害を呼び、回復が追いつかない悪循環に入るかどうかは事前にコントロールできる。



- 被害が次の被害に進まなければ連鎖は起きない。
- 被害が生じても、回復や調整が止まらなければ悪循環にはならない。
- 回復が多少遅れても、影響が拡大・長期化しなければ深刻化しない。
- 事前の備えによって、連鎖に入るかどうかを変えることができる。

# 連鎖複合災害の構造解明と事前対策の検討

以上の考え方を、具体化するため、以下の3段階で解析・検討を進める。

## ① 多様な災害連鎖シナリオの構築

地域の構造的脆弱性（エスカレーションファクター）を整理し、ハザードと被害の因果関係をモデル化し、多様な災害連鎖シナリオを生成。

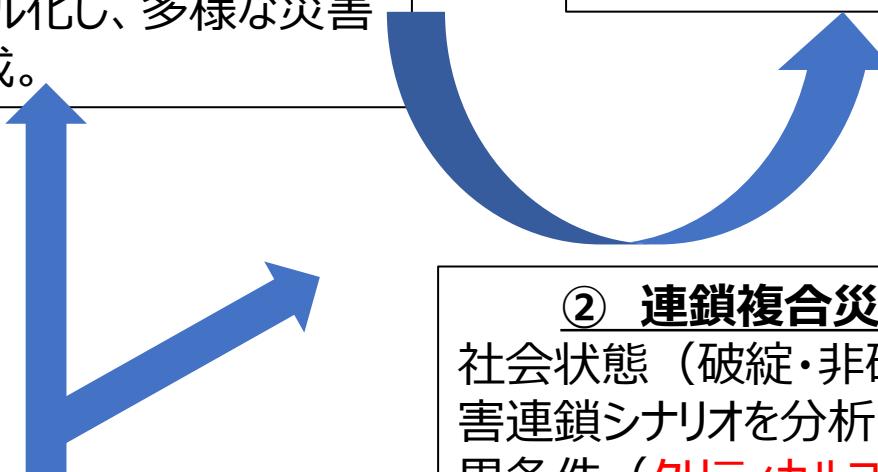
- ハザード・リスク評価高度化
  - 災害レジリエンス指標開発
  - 複合災害データ整理
  - 液状化・地盤沈下評価手法
  - 強震動シミュレーション手法

## ③ 事前対策シナリオの構築

抽出したクリティカルコンディションを基点に、災害連鎖を抑制するための構造的・中長期的対策（エスカレーションファクター改善）を検討。

## ② 連鎖複合災害シナリオの構築

社会状態（破綻・非破綻）を評価軸に、災害連鎖シナリオを分析し、破綻を生じさせる臨界条件（クリティカルコンディション）を特定



# 災害連鎖に関する用語の整理(案)

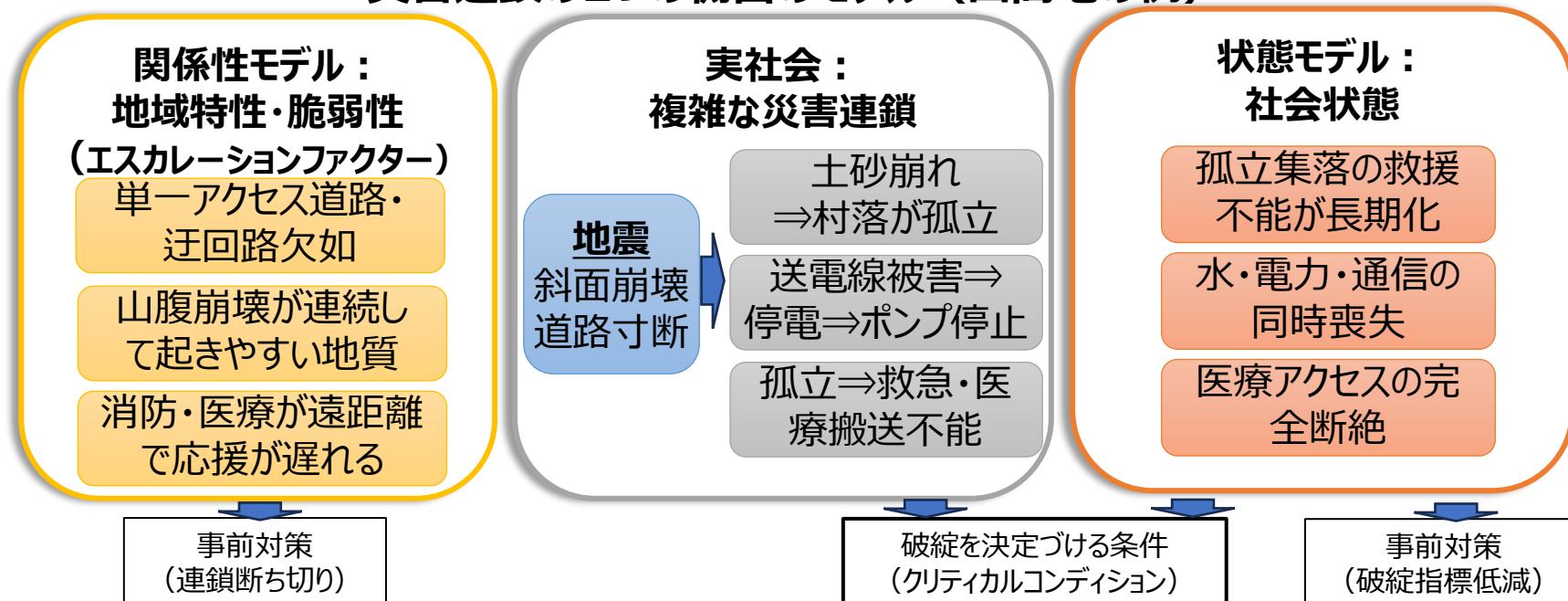
- エスカレーションファクター (Escalation factor)

災害の連鎖が拡大しやすい状態を作り出す要因。複数の脆弱性や依存関係が相互作用することで、被害が次の段階へ波及しやすくなる要素。

- クリティカルコンディション (Critical condition)

災害連鎖の累積により社会の復元力が低下し、不可逆的な被害拡大に至ることが避けられなくなる状態。（小さな）追加的要因が、被害を飛躍的に増大させる臨界的条件。

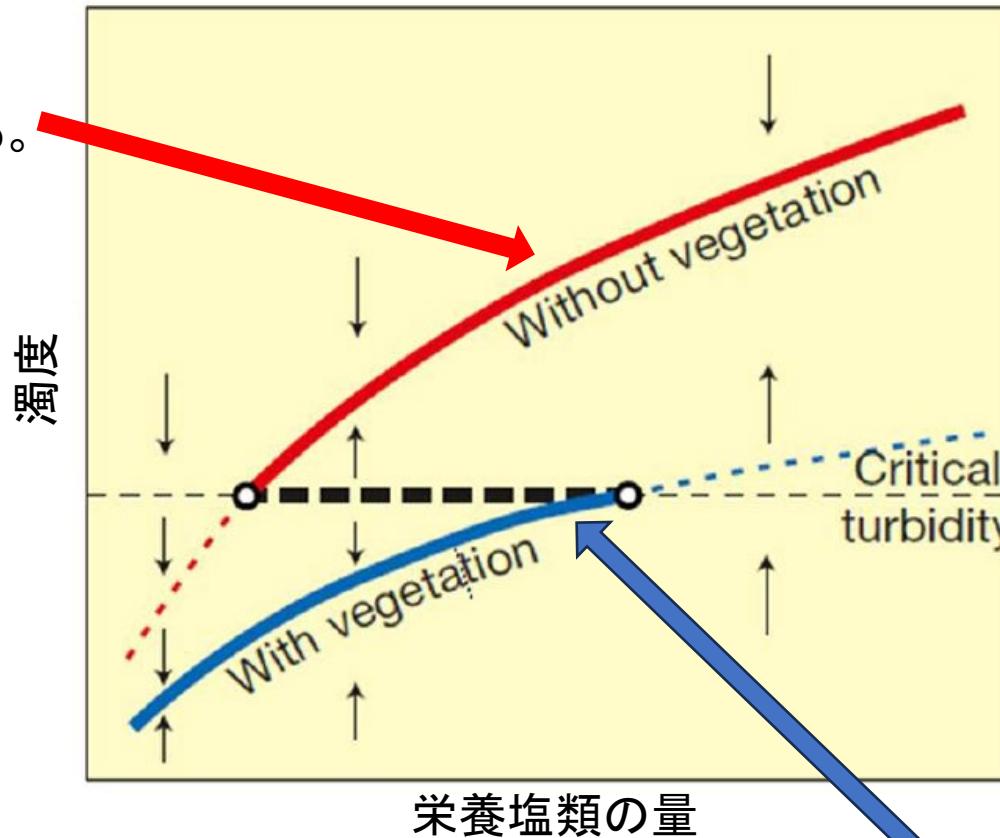
## 災害連鎖の2つの側面のモデル（山間地の例）



# 自然界ではこういうことがあるそうです

ある湖における栄養塩類の量と濁度の関係(Scheffer et al., 2001)

一定の濁度を超えると、植物の生育が困難となる。その結果として、濁度が急激に上昇する。

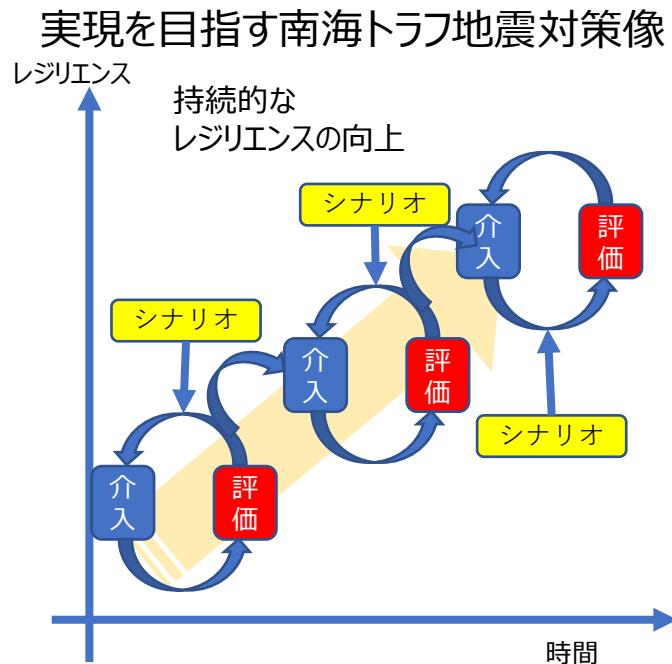


栄養塩が増加すると、プランクトンが増加するために濁度が増加する傾向がある。一定の栄養塩量までは、植物が自らの生育環境を改善するために、水を透明化することにより濁度の上昇が抑えられる。

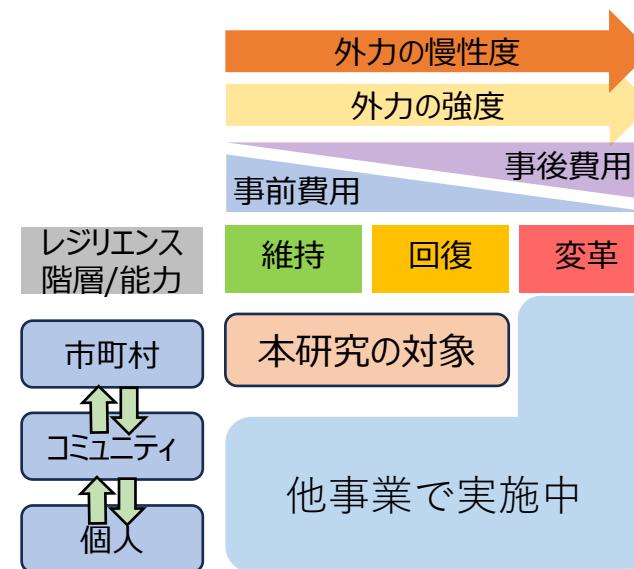
# 災害レジリエンス指標の開発

【概要】地域社会が災害を生き延び、より良い状態へと復興を遂げる能力としての「災害レジリエンス指標」を、市町村レベルの「維持・回復」に焦点を当てて開発し、南海トラフ地震対策の効果を評価できる技術を構築する。

- 国際的に広く用いられているコミュニティのレジリエンスベースライン指標（BRIC）を参考に、市町村レベルにおける「維持」と「回復」に着目した災害レジリエンス指標を構築する。
- 災害連鎖シナリオ（外的要件）と自らの地域のレジリエンス（内的条件）を踏まえて適切な地域介入（対策）の戦略を構築可能にする。
- 過去の被災データなどに基づいた実証的な検証と、関係機関へのヒアリング調査などを通じて妥当性と適用可能性を評価する。



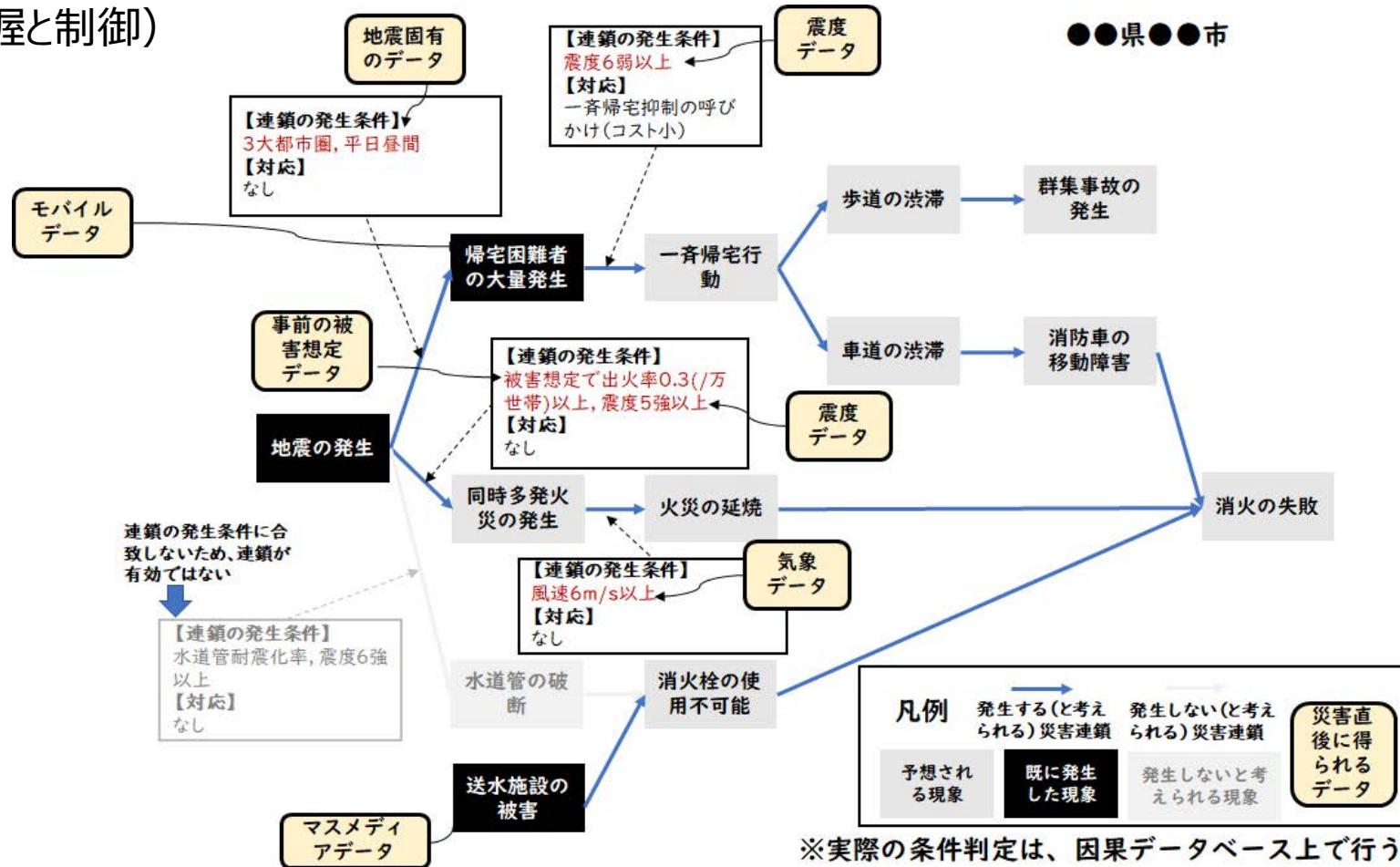
災害レジリエンスの構造と研究開発対象



# 災害連鎖のリアルタイム把握・制御技術の開発

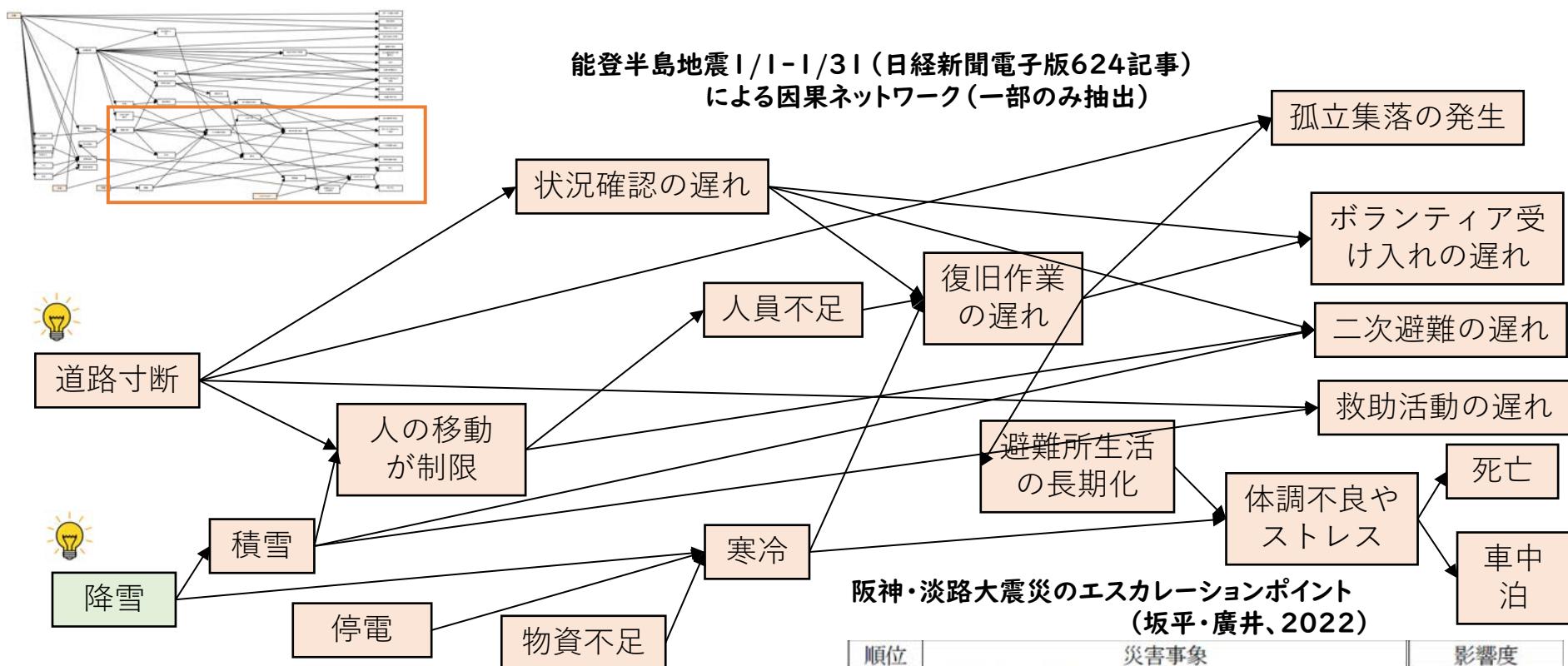
【概要】必要とされる技術：①事前に地域別に作成した連鎖複合災害構造をもとに、  
②リアルタイムで災害現象や条件を抽出し、③データ同化しつつ近い将来を予測して、  
④効果的な災害対応策を提示するシステム

- 連鎖複合災害構造を用い、リアルタイム災害制御シミュレーションの構築（時中のボトルネック把握と制御）



# 参考 前PJにおける研究の準備状況

能登半島地震1/1-31(日経新聞電子版624記事)で  
因果ネットワークを作り、エスカレーションファクター(ボトルネック)を探索



**道路寸断**と**降雪**が、その後の因果ネットワークに与えた影響が大きかった。つまり、半島地形や冬季かつ積雪地帯という特徴(+対策の不備)が今回の大きな問題であった、という仮説があげられる。

# 2a 連鎖複合災害リスク評価手法の構築

【目的】南海トラフ巨大地震を対象に、都市部、ゼロメートル地帯、軟弱地盤地域、山間地といった特徴的な地域において地震動・津波・土砂崩れ・液状化等の災害が同時または時系列的に発生した場合に、通常であれば個別に対応可能な災害が連鎖・複合的に拡大し社会機能の停止や生活の持続困難を引き起こす現象を「連鎖複合災害」と捉え、その構造の解明と対策の設計に資する連鎖複合災害リスク評価手法を開発する。

## 概要

- 災害が連鎖的に拡大する構造と社会機能への影響を因果モデルとして明らかにし、地域社会の回復・継続能力を定量的に評価するレジリエンス指標を構築するとともに、連鎖拡大のクリティカルコンディションを特定し、連鎖を未然に断ち切るための事前対策シナリオを策定する。
- 災害連鎖の進行状況をリアルタイムで把握・予測し、必要とされる対応を数理的に導出する制御技術を開発する。

連鎖複合災害を断ち切るための事前対策と災害対応に資する科学的基盤を確立

## サブ課題2b 地域継続計画への貢献を見据えた地域防災力向上研究

## サブ課題2a 連鎖複合災害リスク評価手法の構築

### 連鎖複合災害の構造解明と事前対策の検討

- 地域毎（都市部、ゼロメートル地帯、軟弱地盤地域、山間地）の災害連鎖の因果構造のモデル化
- 社会機能への影響が破局的に拡大するクリティカルコンディションの特定
- 連鎖を断ち切るための対策介入ポイントの抽出
- 地域社会の回復・継続能力を評価するレジリエンス指標の構築・検証
- ハザードと被害の設定レベルの妥当性確認のためのハザード評価の高精度化とサブ課題1の成果に基づく検証



### 災害連鎖のリアルタイム把握・制御技術の開発

- 災害連鎖構造の即時把握手法の検討と検証
- 実災害データと連携し、近い将来に必要な災害対応を数理的に予測する方法論の構築と検証
- 提案手法の南海トラフ地震への適用



### サブ課題1：南海トラフ地震の評価手法高度化と他地域への展開研究

地震調査研究推進本部の成果、防災科研の地震ハザード・リスク関連のシステム（J-SHIS、J-THIS、J-RISQ）

### 南海トラフ地震防災基盤シミュレータ

（防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト）

### 期待される成果（アウトプット）

- 連鎖複合災害シナリオと、それに基づいた連鎖を断ち切る事前対策の具体的な事例は、サブ課題2bを通して地域の持続計画に活かされる。

### アウトカム

- ◆ 南海トラフ地震を起点とした連鎖複合災害の因果構造を整理し、その理解に基づくリスク評価手法を提示することで、国や地域の複合災害対応の策定に資する。