

地球防災工学

2010年4月26日

[http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/lectures/
engineering/](http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/lectures/engineering/)

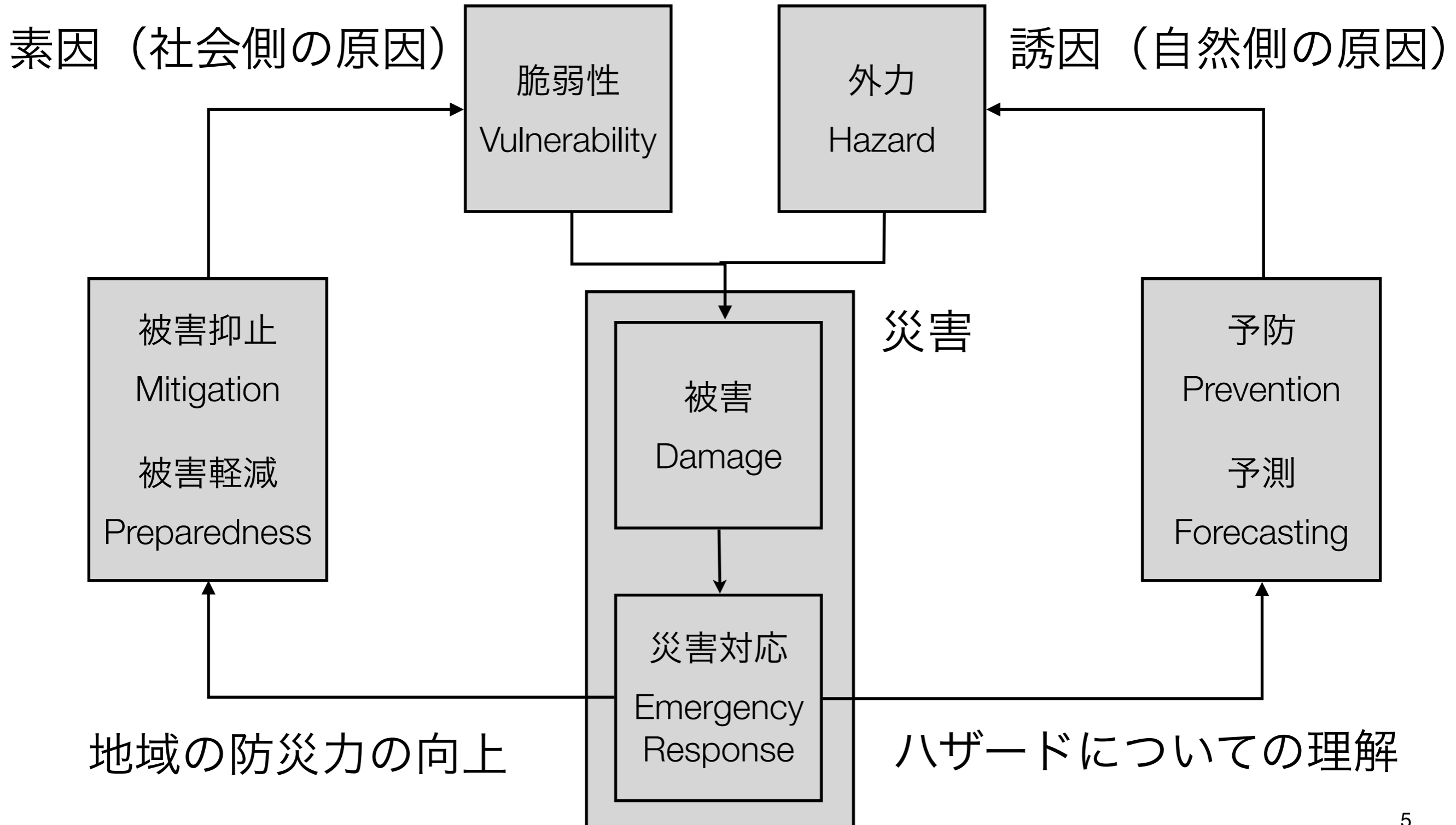
第3回

レジリエンス (Resilience) について

レジリエンス (Resilience)

- 1. 〔病気や不幸などからの〕回復力, 立ち直る力 ; 快活さ.
- 2. 〔元の形に戻る〕弾力, 弾性, 復元力.
- 1. the ability of people or things to feel better quickly after something unpleasant, such as shock, injury, etc.
- 2. the ability of a substance to return to its original shape after it has been bent, stretched or pressed
- しなやかさ

防災のモデル



産業社会の変化と災害の姿

国家

- 小国の形成、群雄割拠
- 国家の統一、植民地支配、中央集権国家の誕生
- 分離独立（民族の自立と国家の独立）、地方分権への移行

産業

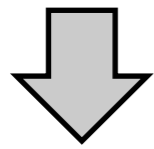
- 農耕の開始（農業を中心とした社会）
 - 定住化、水路に始まるインフラの形成
- 産業革命（工業を中心とした社会）
 - 集中化・規格化・分業化等に支えられた大量生産・大量消費
 - 化石燃料を中心としたエネルギーインフラの形成
- 脱産業社会（脱工業社会）
 - 多品種・少量生産、地方分権、価値観の多様化
 - 情報・知識の重要性が増す中で、情報通信インフラの形成

（Alvin Toffler 『第三の波』）

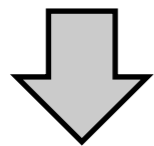
社会の変化と災害の変化

• 社会の変化

- 農業を中心とした社会



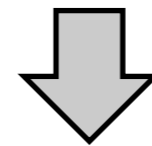
- 工業を中心とした社会



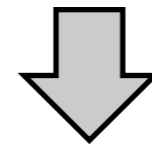
- 脱産業社会

• 災害の変化

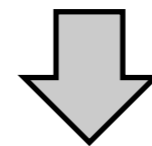
- 田園災害



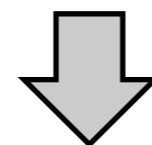
- 都市化災害



- 都市型災害



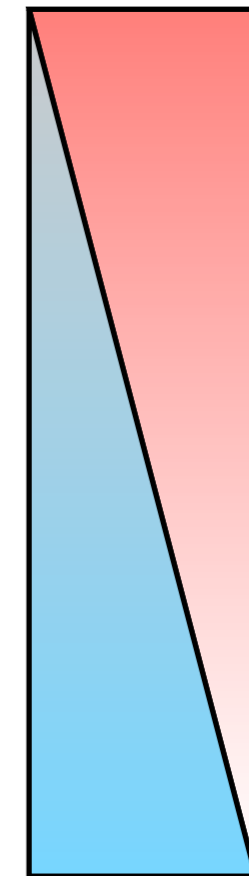
- 都市災害



- 今後の災害

主な被害の発生要因

外力主導



素因主導

田園災害

- 農業中心の社会
- 被害の大きさは外力によって決まる

都市化災害

- 産業社会への変化・経済発展
- 農村から都市への人口集中
- 都市人口の急激な増加
- インフラ整備が不十分
- 危険なところへの居住
- 脆弱なところでの被害拡大

都市型災害

- 産業社会の成熟
- インフラの整備終了
- インフラの安全性不十分・老朽化
- インフラの大規模な被害発生
- インフラに依存していた社会・経済活動の停止

都市災害

- 脱産業社会への変化
- 空間利用の高度化、複雑化により、外力と被害の因果関係が複雑化
- 防災投資がなされない巨大外力の発生時に災害が発生
- 高度な人口・資本の集中による、膨大な被害の発生

脱産業社会の構造と災害の姿

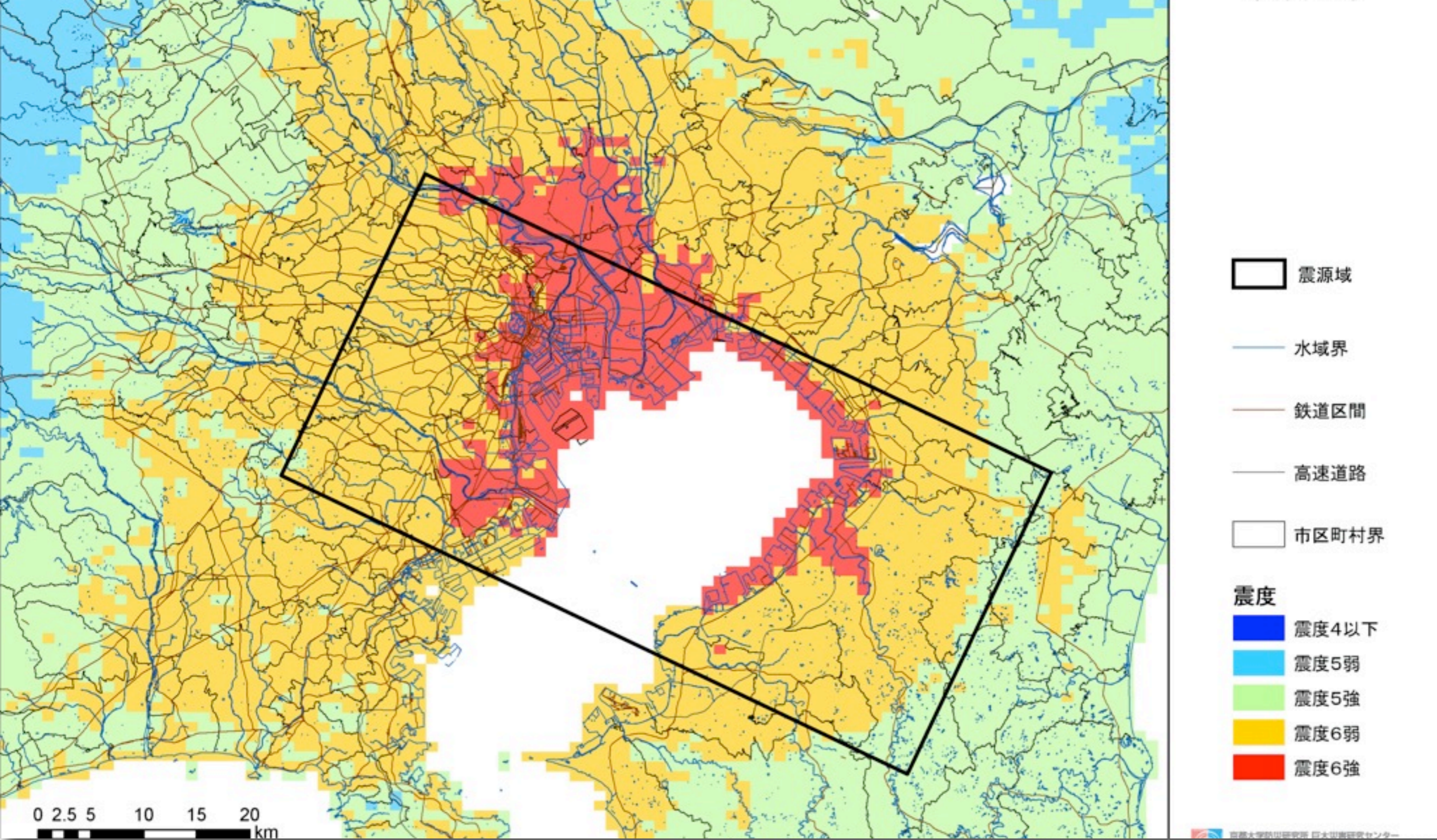
- 我が国における脱産業社会の社会構造
 - 少子高齢化
 - 地方の過疎化
 - 産業の空洞化と職の流動
 - 首都圏一極集中への反省
 - エネルギー問題と環境問題への意識
 - 発達しつづける情報産業とそれに伴う生活の変化
 - 電気・ガス・水道などのインフラに支えられた生活基盤

脱産業社会の構造と災害の姿

- ネットワークを通じて拡大する被害
 - サブプライムによる経済危機
 - アイスランド火山活動による航空路のマヒと産業への影響
- インフラ、特に情報通信への依存、それが絶たれた場合の影響
- 今世紀前半にひかえる巨大地震と地球温暖化に伴う災害の激化

将来の巨大災害・広域巨大災害・複合災害

- 東海・東南海・南海地震
 - マグニチュード8クラスの海溝型巨大地震
 - 今後30年間の発生確率は50～80%
 - 静岡県から高知県にかけての広域にわたる地震と津波による被害
- 首都直下地震
 - マグニチュード7クラスの直下型巨大地震
 - 今後30年間の発生確率は70%
 - 首都機能の被災
- 異常気象や極端な豪雨
 - 地震と台風・洪水・高潮等の複合



首都直下地震

東京湾北部地震(M7.3) 震度分布

首都直下地震の被害想定

	建物被害(棟)	死者数		
揺れ	約 150,000	約 3,100	瓦礫発生量	約 8,300万トン～ 約 9,600万トン
液状化	約 33,000	—	負傷者数 (重傷者含む)	約 200,000人
急傾斜地崩壊	約 12,000	約 900	重傷者数	約 36,000人
火災	約 650,000	約 6,200	自力脱出困難者数	約 43,000人
ブロック塀・ 屋外落下物等	—	約 800	帰宅困難者数	約 6,500,000人
合計	約 850,000	約 11,000	経済被害額	約112兆円

東京湾北部地震M7.3

被害最大（夕方18時、風速15m/s）のケース ※帰宅困難者数は夕方15時

中央防災会議首都直下地震対策専門調査会¹⁴

首都直下地震

- 政治・行政・経済の中枢に被害が発生
 - 被害発生過程の複雑化
 - 高層建物・大深度地下など空間利用の高度化
 - ネットワーク化された産業
 - 特有の課題
 - 帰宅困難者の発生
 - 地域住民の欠如と防災・応急対応
 - 中枢機能の支障による全国・海外への被害波及
- 膨大な被害規模
 - 我が国の人口の3分の1、大企業の本社・情報関連企業の3分の2が集中
 - 対応能力を超える被害・被災者の量

首都直下地震の曝露量 (Exposure)

- Exposure :

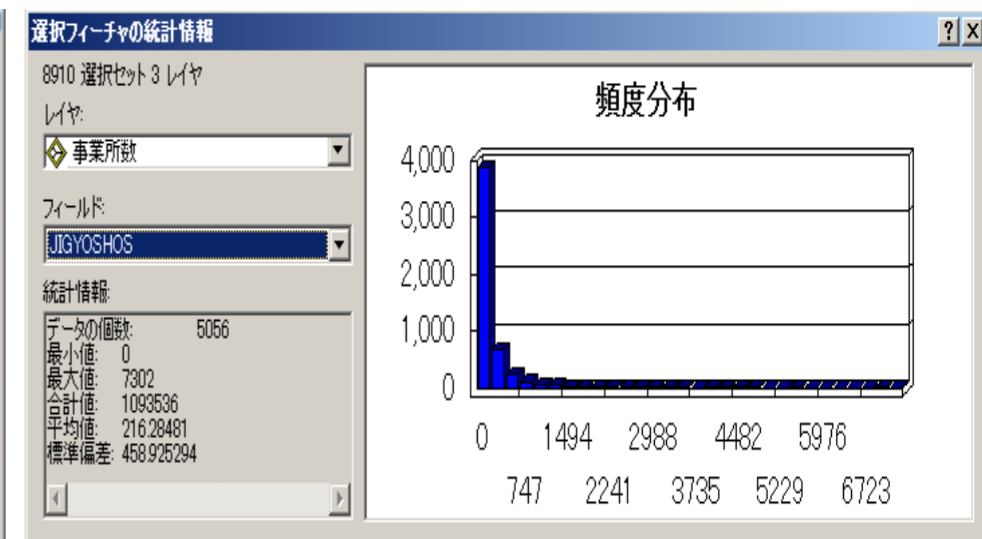
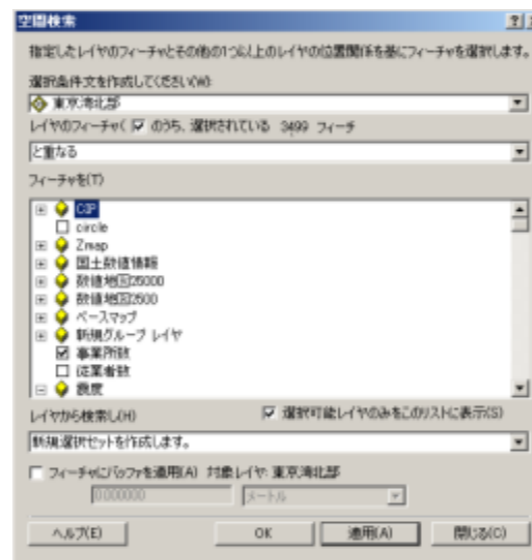
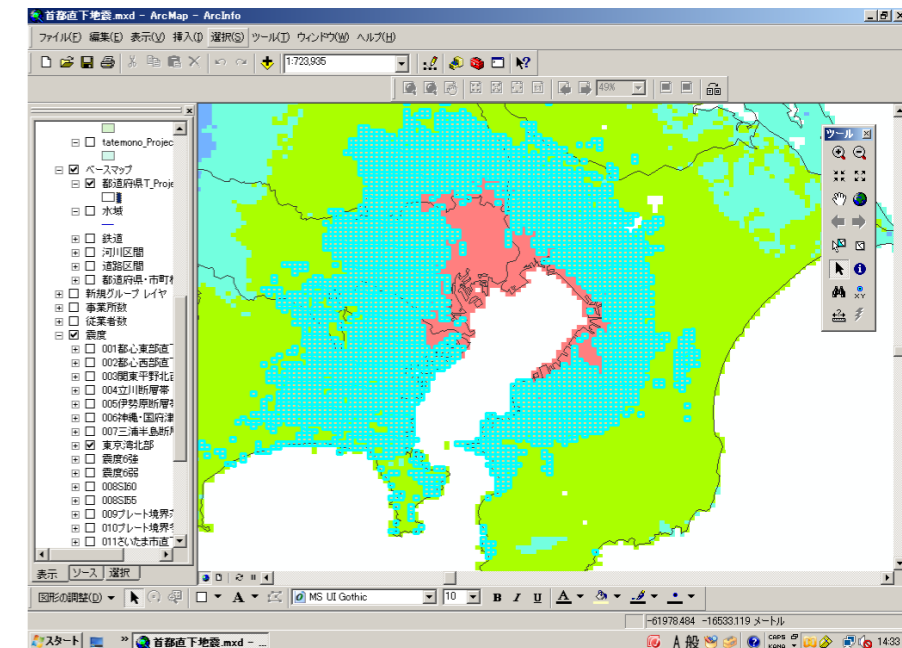
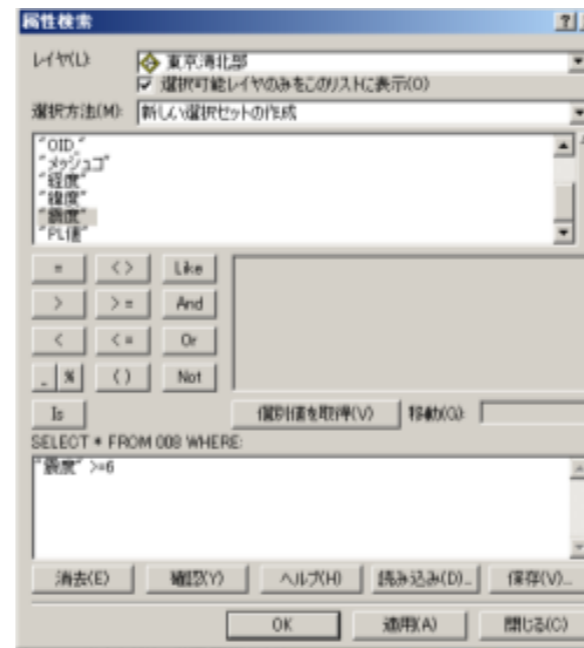
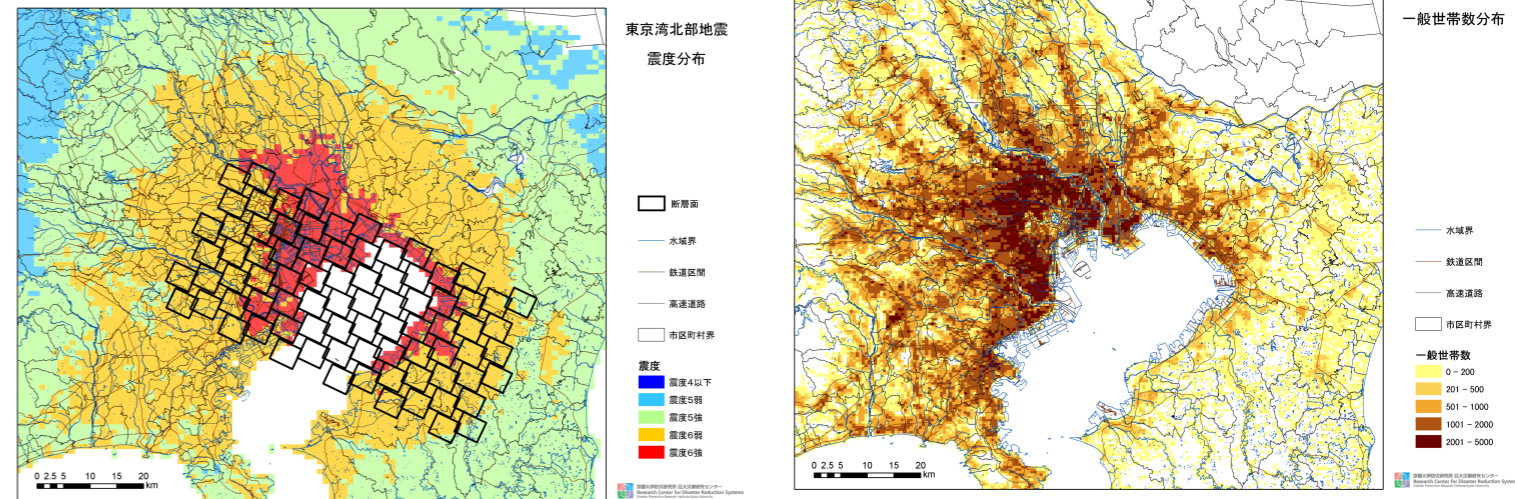
所定の地震動や津波、浸水などの自然条件にさらされる地域に存在する人命や資産などの社会的条件の量

- 被害が発生する可能性のあるもの（災害の巨大化のポテンシャル）はいったいどれくらいあるのか
- 災害直後の被害・ニーズ把握等の災害対応業務の量はどれくらいあるか
- 対応可能な資源はどれくらいあるか
- 過去の災害等との比較から当該の災害の規模を相対的に位置づける

GISを用いた 曝露量の分析

- GIS：地理情報システム
Geographic Information System

- 位置情報を持つデータベース
- ハザードの想定情報、被害想定情報、人口、社会基盤施設、公共施設等の様々なデータを位置情報をもとに重ね合わせ、それらの統合、管理、検索、分析、地図の出力を行う

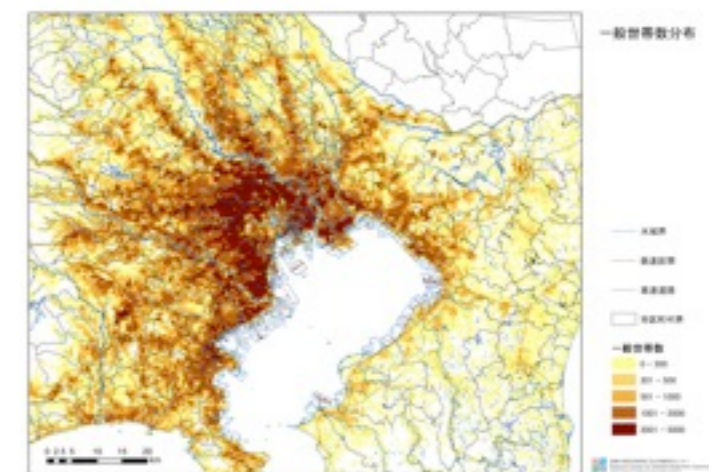
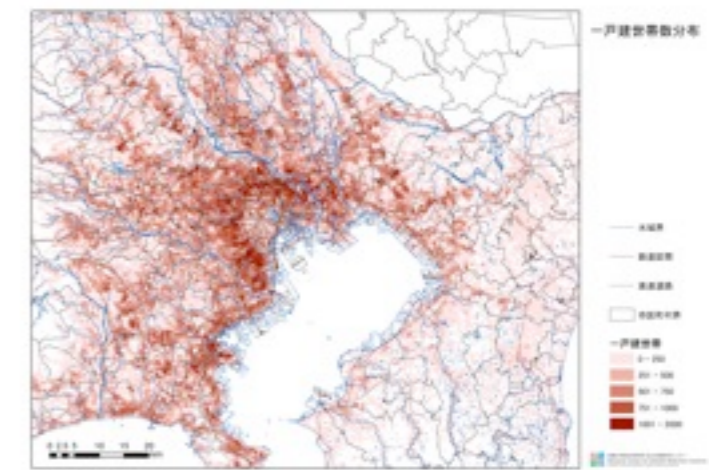
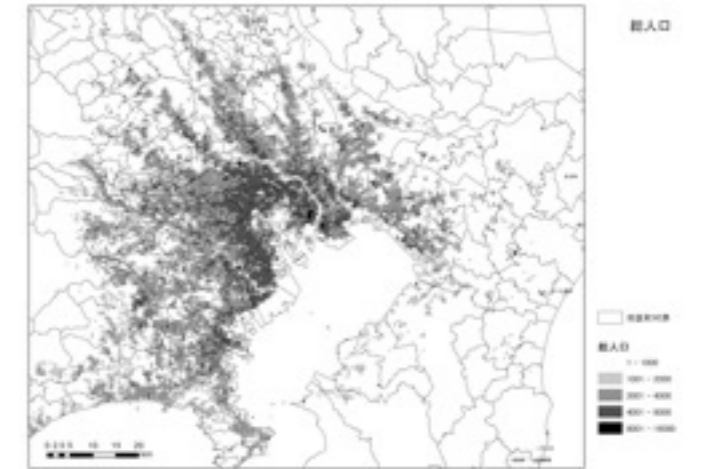


震度6弱以上の揺れに曝される人口（人）

	震度6強	震度6弱	合計
東京	3,354,043	6,958,631	10,312,674
埼玉	392,019	2,899,861	3,291,880
千葉	770,098	3,602,558	4,372,656
神奈川	282,144	6,363,287	6,645,431
合計	4,798,304	19,824,337	24,622,641

震度6弱以上の揺れに曝される世帯数（世帯）

	震度6強	震度6弱	合計
東京	1,497,231	3,321,910	4,819,141
埼玉	174,092	1,124,249	1,298,341
千葉	335,385	1,337,386	1,672,771
神奈川	134,013	2,583,477	2,717,490
合計	2,140,721	8,367,022	10,507,743

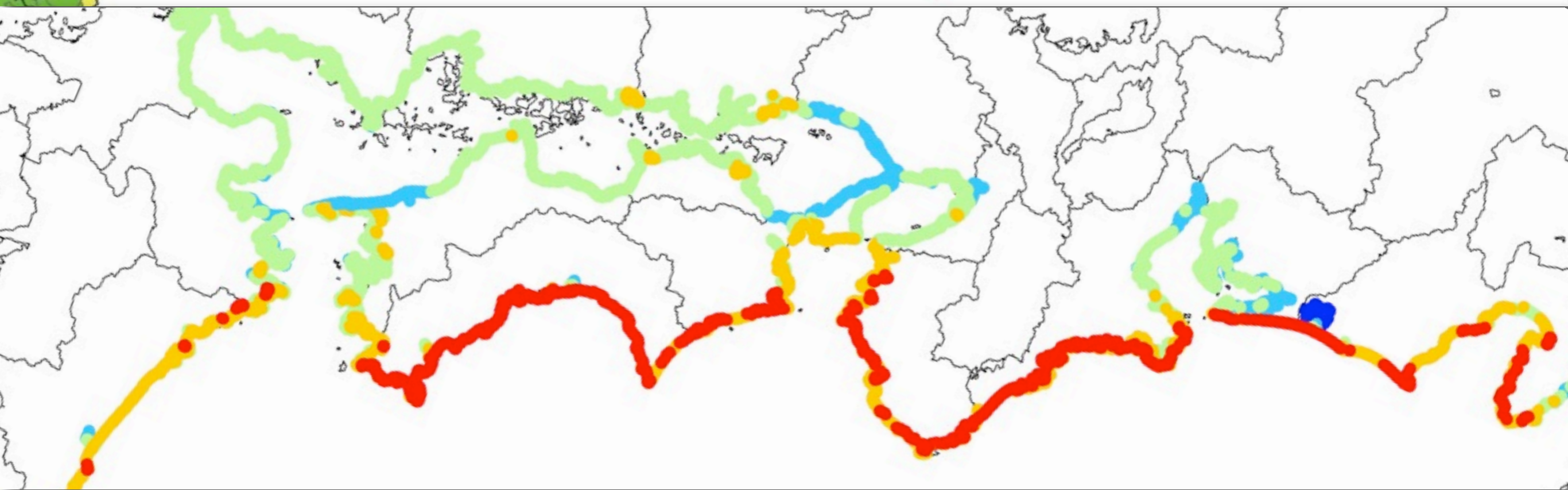
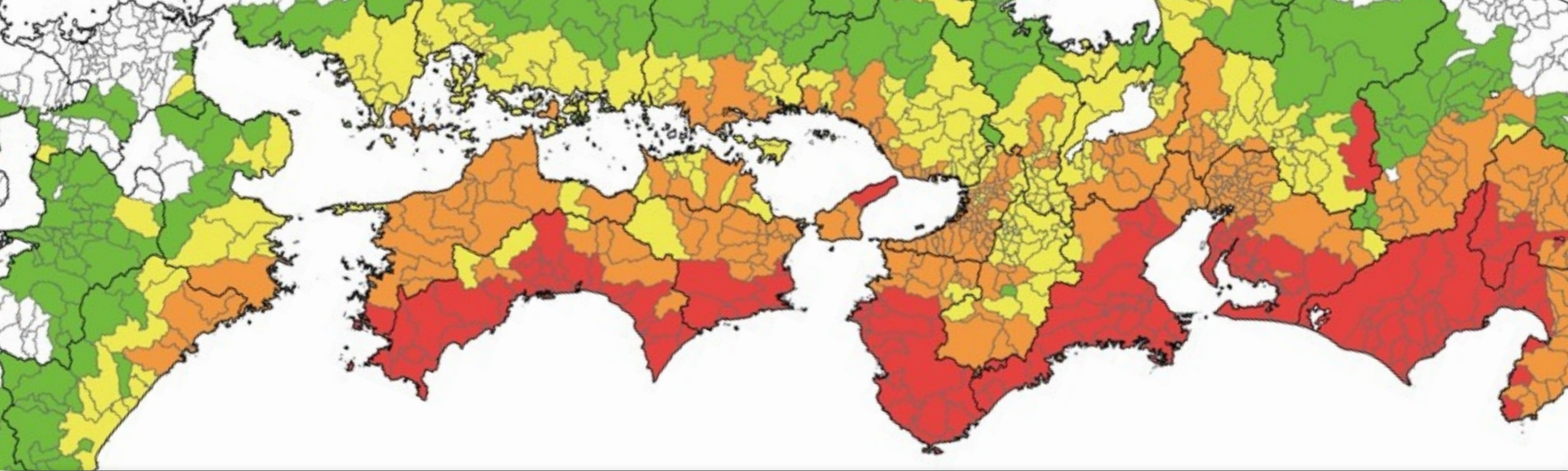


震度曝露量（東京湾北部地震M7.3）

CI	震度6強	震度6弱
水		
上水道延長 (km)	12,490	54,903
電力・エネルギー		
発電所 (基)	34	32
ガス導管 (km)	10,522	37,818
緊急対応		
地方行政機関	67	246
政府機関	275	481
警察	498	1,474
消防	150	538
医療		
病院	638	935
厚生機関	42	101

交通		
鉄道 (km)	638	1,852
道路 (km)	8,255	44,395
空港	1	1
駅	305	800
港	3	5
郵便・運輸		
郵便局	647	1,920
教育		
学校	1,600	600
Key Assets		
ダム	0	12
原子力発電所	0	0
高層ビル		744

震度曝露量 (東京湾北部地震M7.3)



東海・東南海・南海地震

震度と津波の想定

東海・東南海・南海地震の被害想定

	全壊棟数	死者数
揺れ	308,500-343,700	5,700-12,200
液状化	89,700	-
津波	42,300	2,300-9,100
斜面災害	27,200	1,400-2,600
火災	25,500-472,500	100-3,000

直接被害	約40-60兆円
間接被害	約13-21兆円

水道被害	直後の断水人口 約1,600万人
下水道被害	支障人口 約26万人
電力被害	直後の停電人口 約1,000万人
都市ガス被害	1週間後の支障人口 約300万人
電話通信被害	直後の支障人口 約75万人

避難者数	約200万人
米不足	7日目 250万kg
飲料水不足	7日目 15,000kl
対応困難重傷者	約36,000人

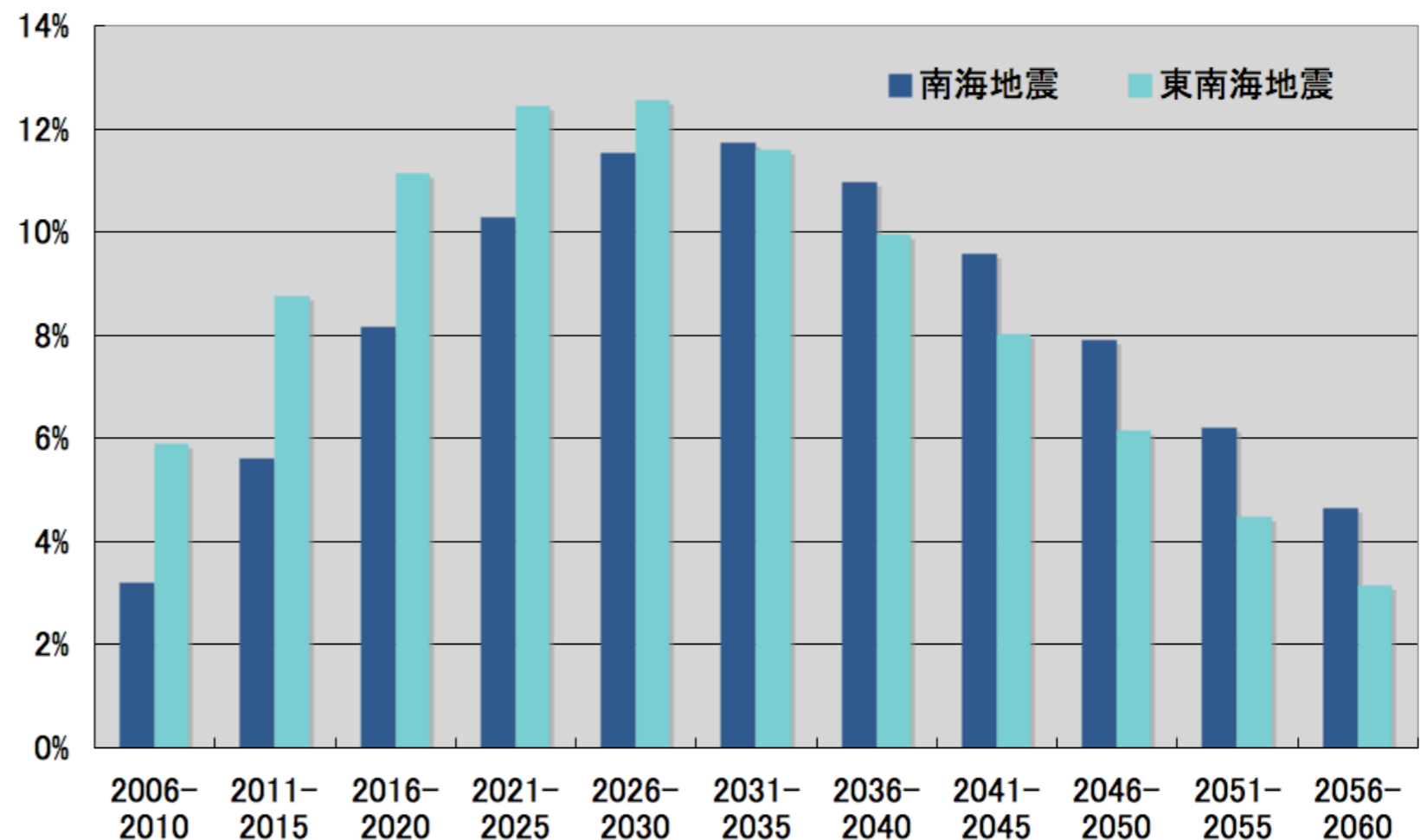
東海・東南海・南海地震が同時発生した場合

中央防災会議東南海・南海地震等に関する専門調査会²¹

東海・東南海・南海地震

- 時間予測モデルによる前回から次回までの平均的発生間隔
東南海地震 84.6年（65年経過，次回までおよそ19年）
南海地震 90.1年（63年経過，次回までおよそ27年）

- 今後30年以内の発生確率
- 東南海地震（M8.1程度）
60~70%
- 南海地震（M8.4前後）
50%

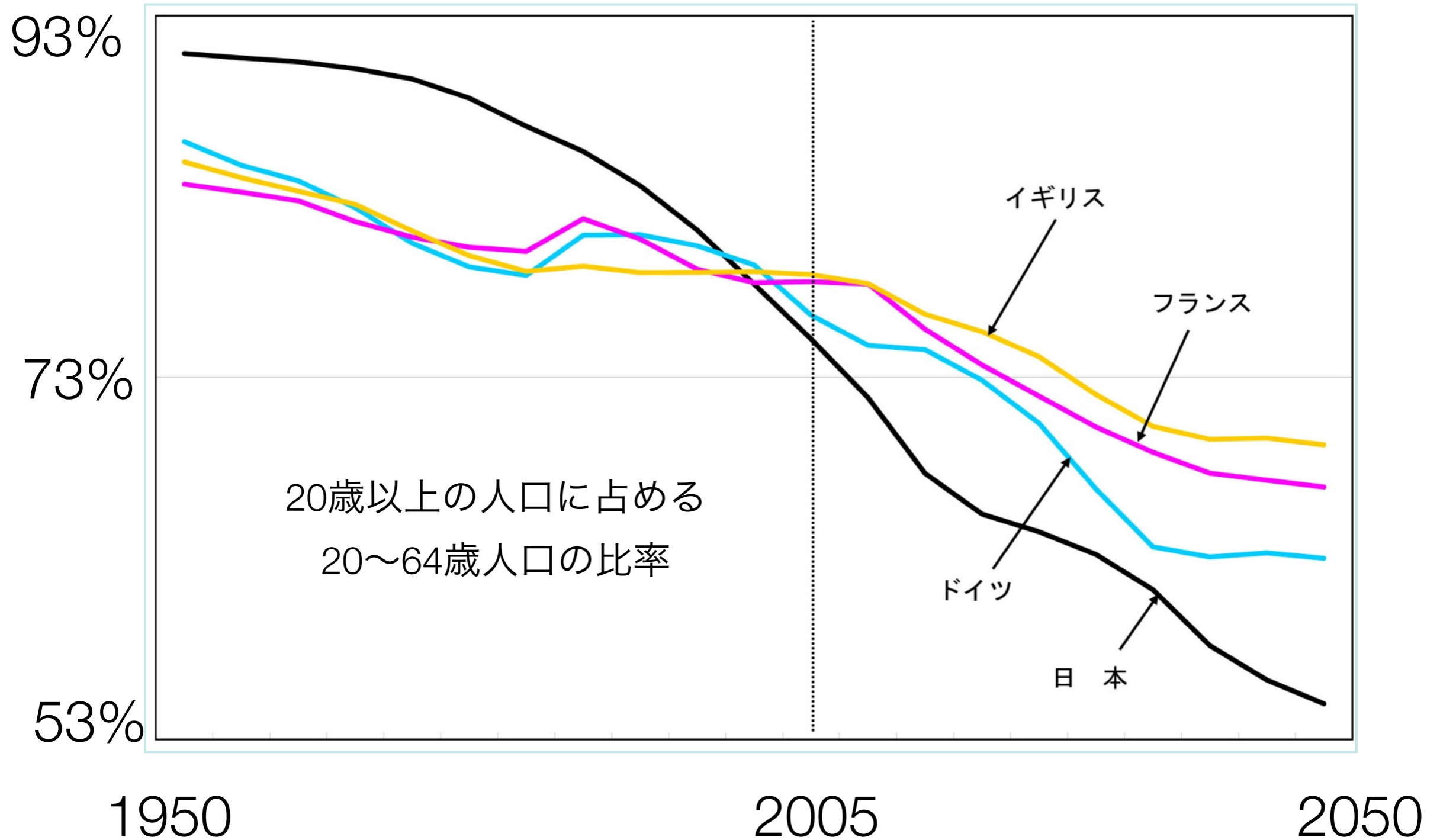


(地震調査研究推進本部, 海溝型地震の長期評価) 22

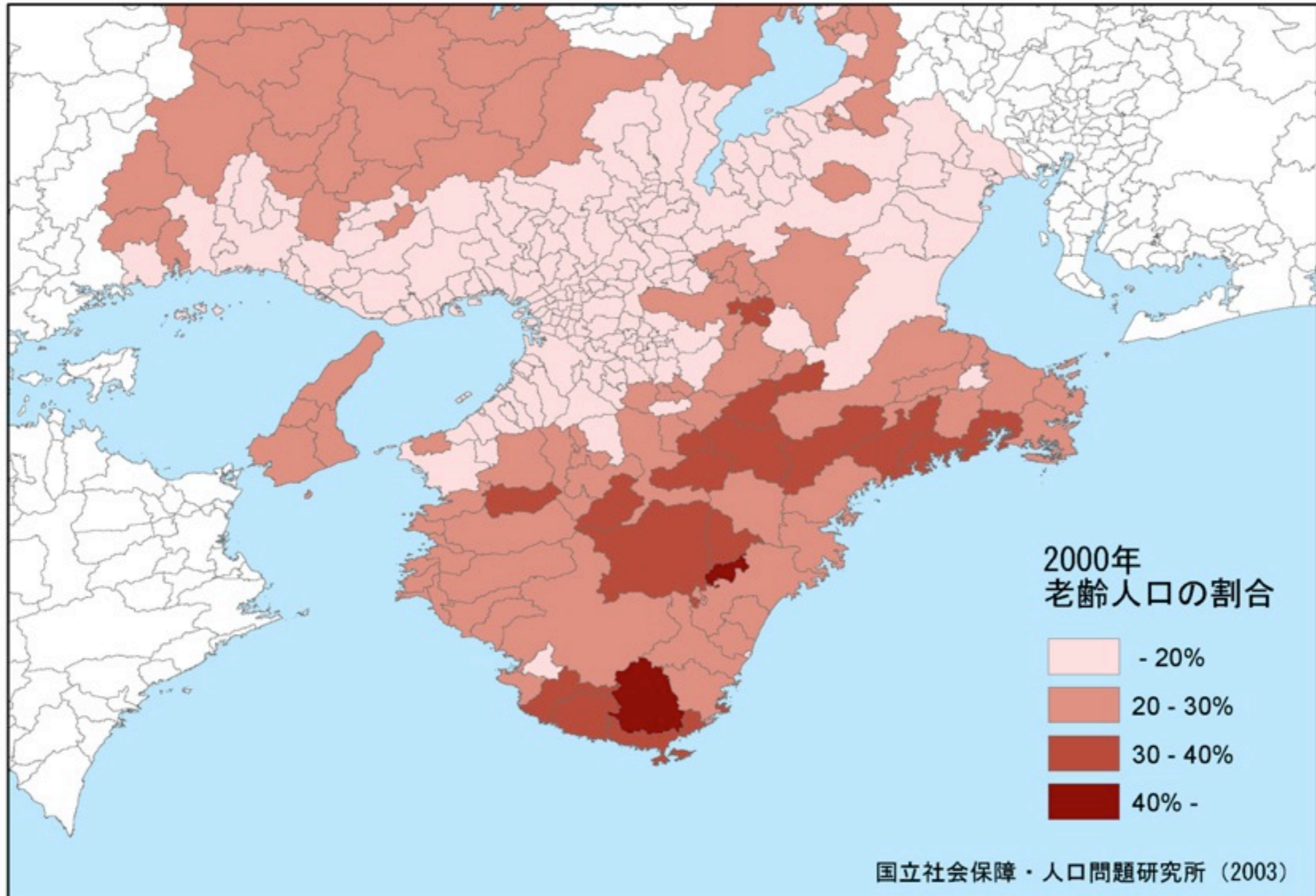
東海・東南海・南海地震

- 2030年頃の社会を見据えた対策
 - 少子高齢化・過疎化地域の防災対策、復旧・復興
- 広域での同時被災に耐える災害対応体制・広域応援体制
 - 限られた資源の効果的な配分、合意形成
- 都市部を襲う長周期地震動・巨大津波に対する対策
 - 未知のシナリオや災害対応上の想定外の発生
- 時間差発生時の問題への対応
 - 資源配分、情報提供、経済被害・風評被害に対する対応

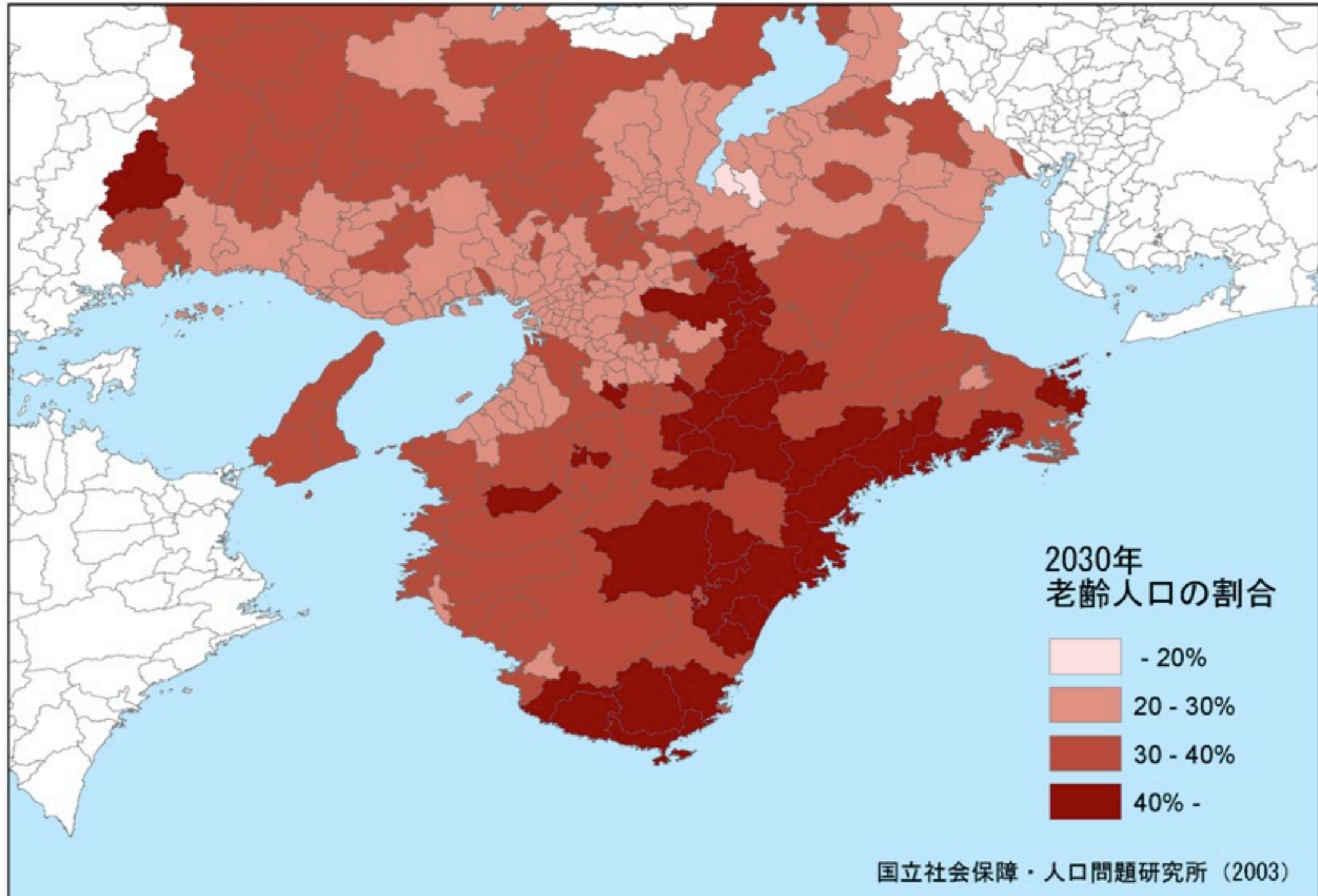
生産年齢人口の減少



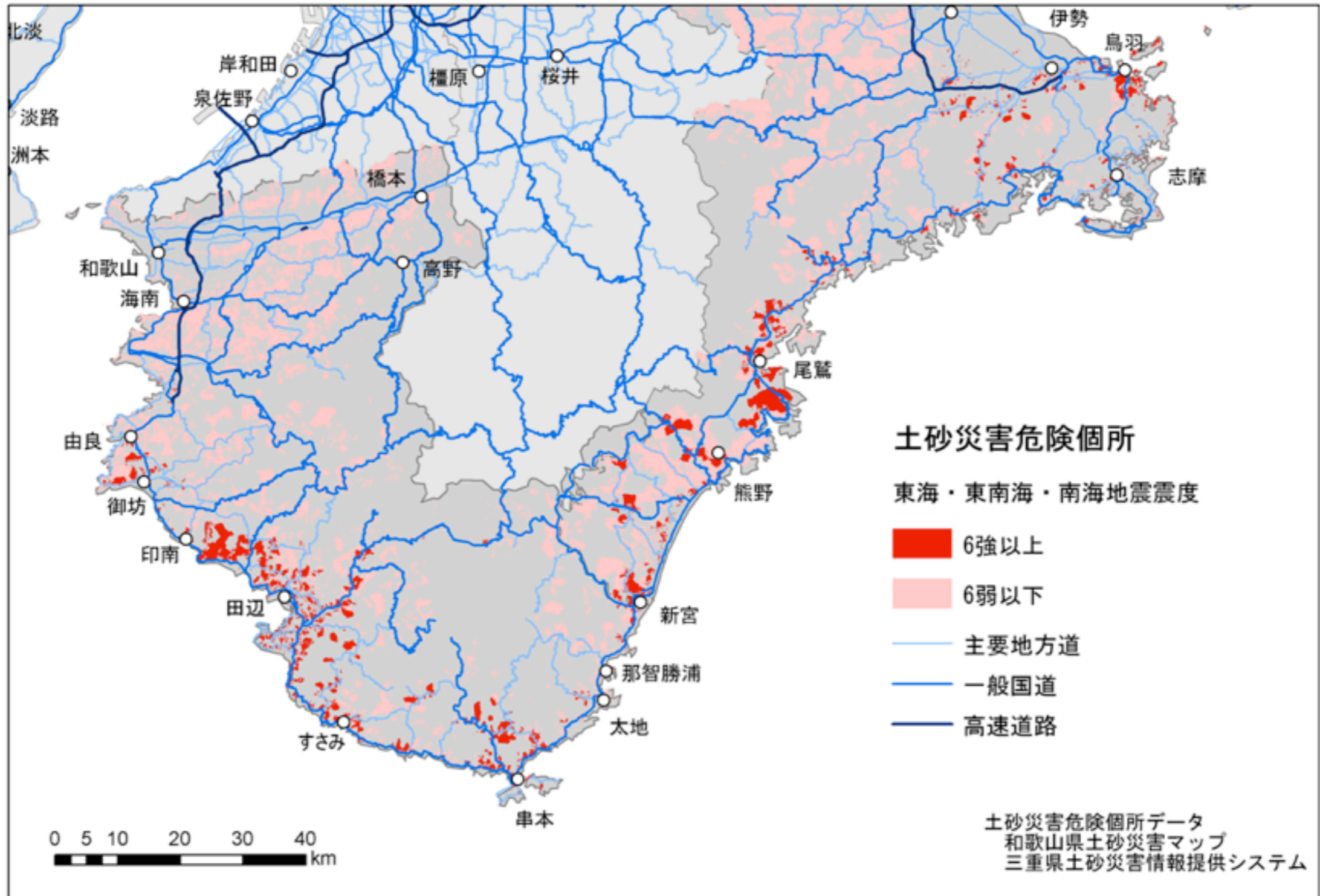
少子高齢化



少子高齢化

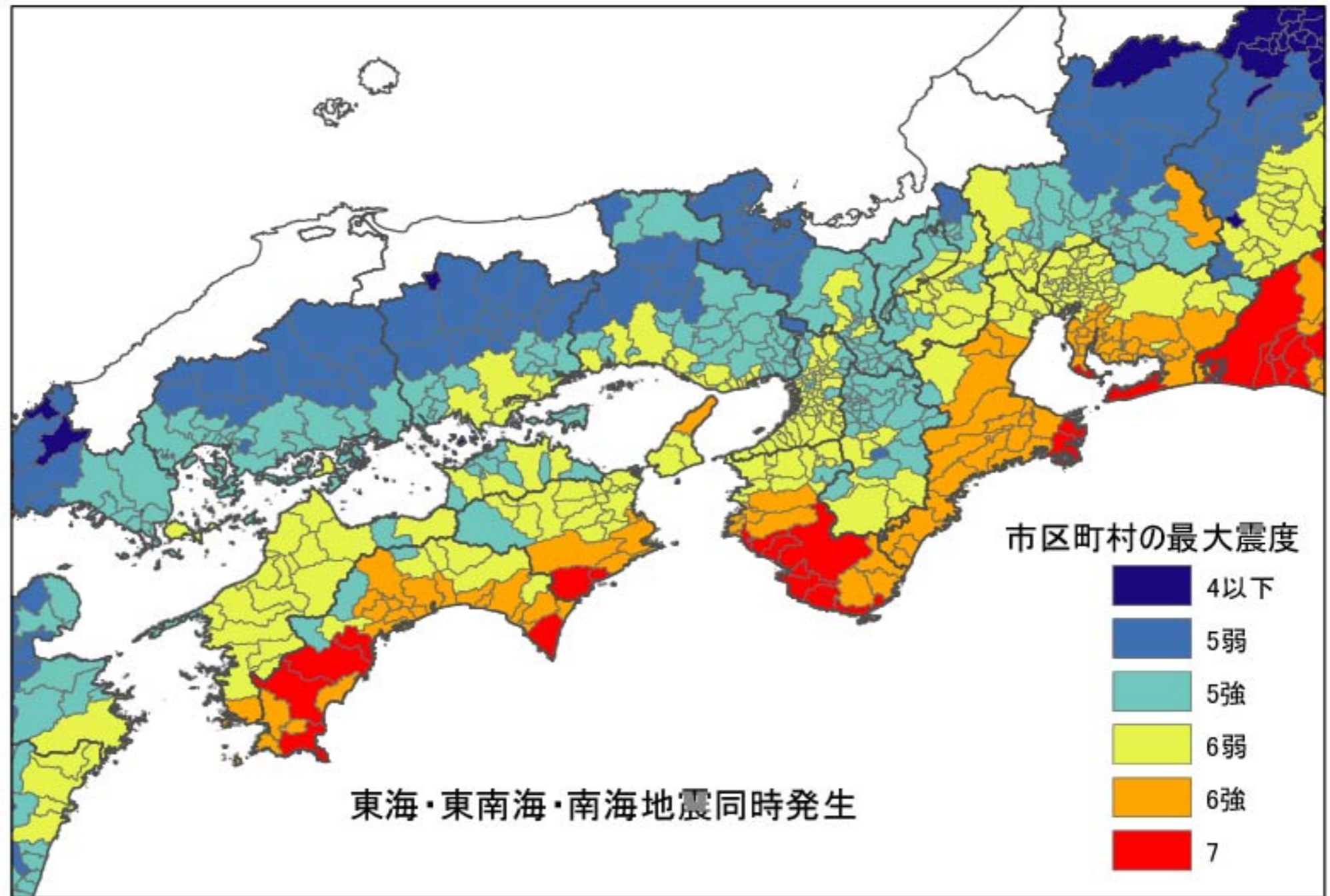


集落孤立

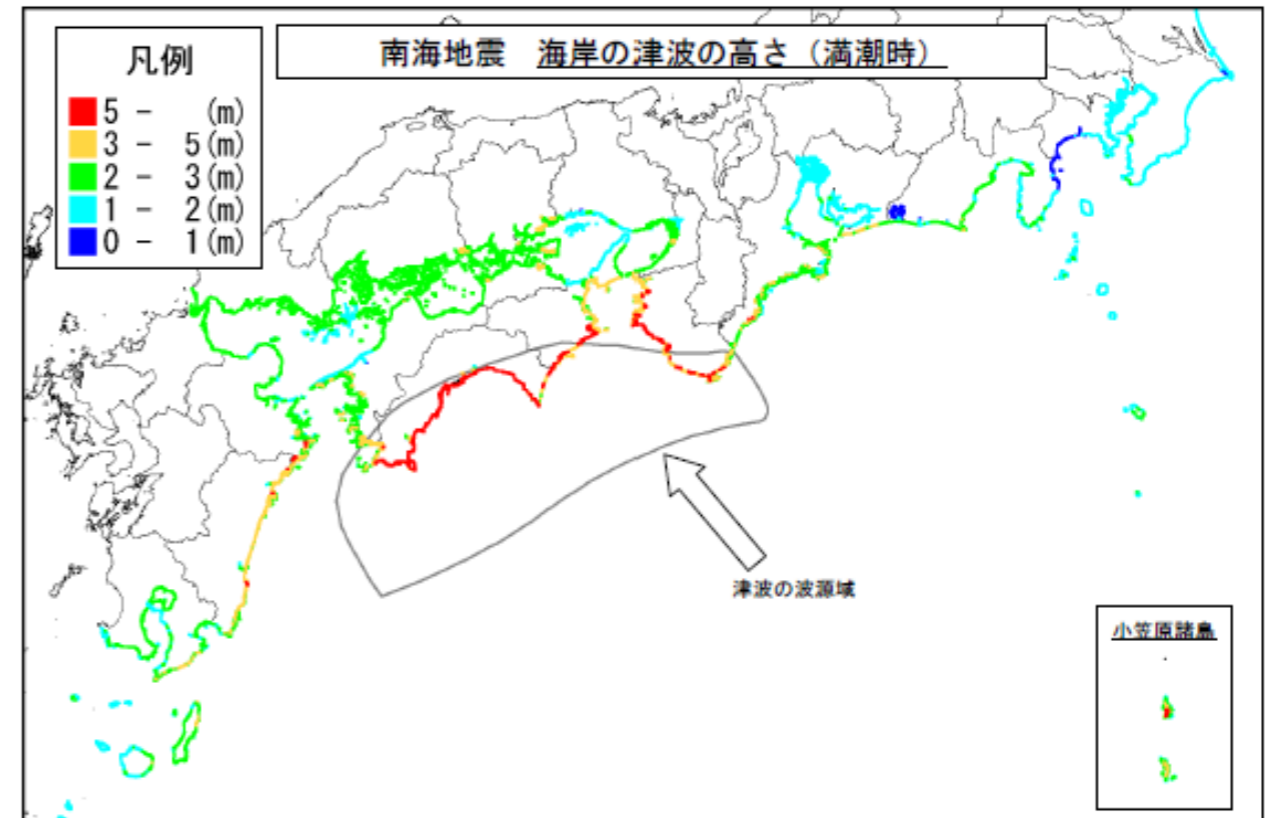
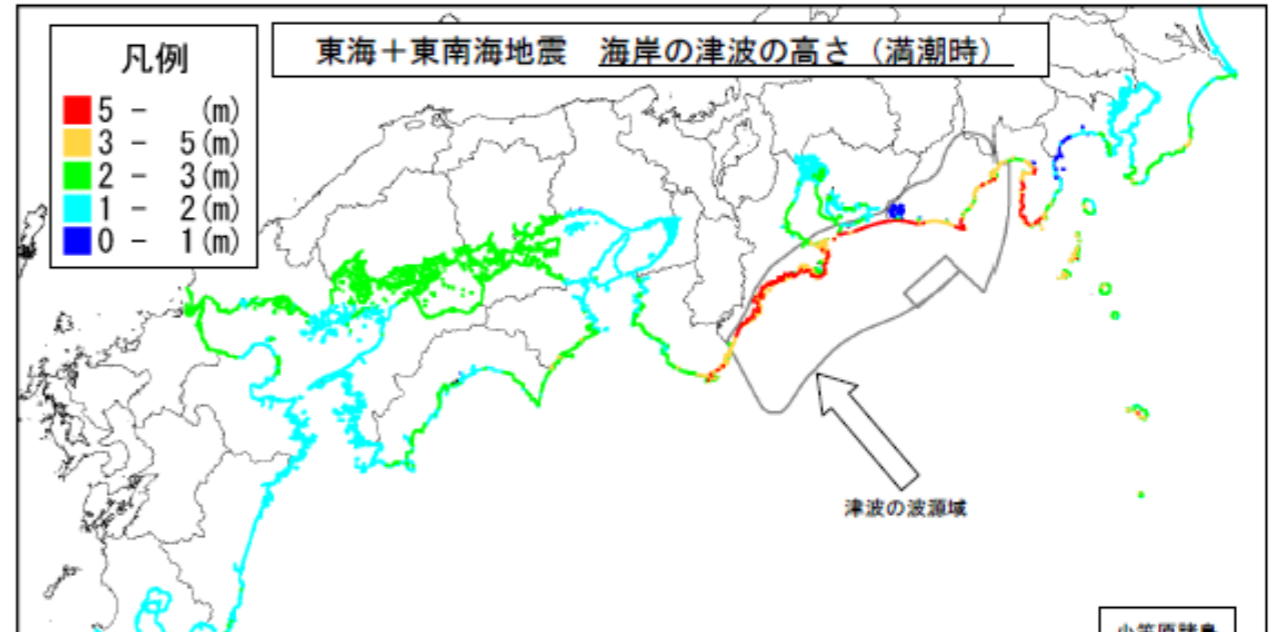
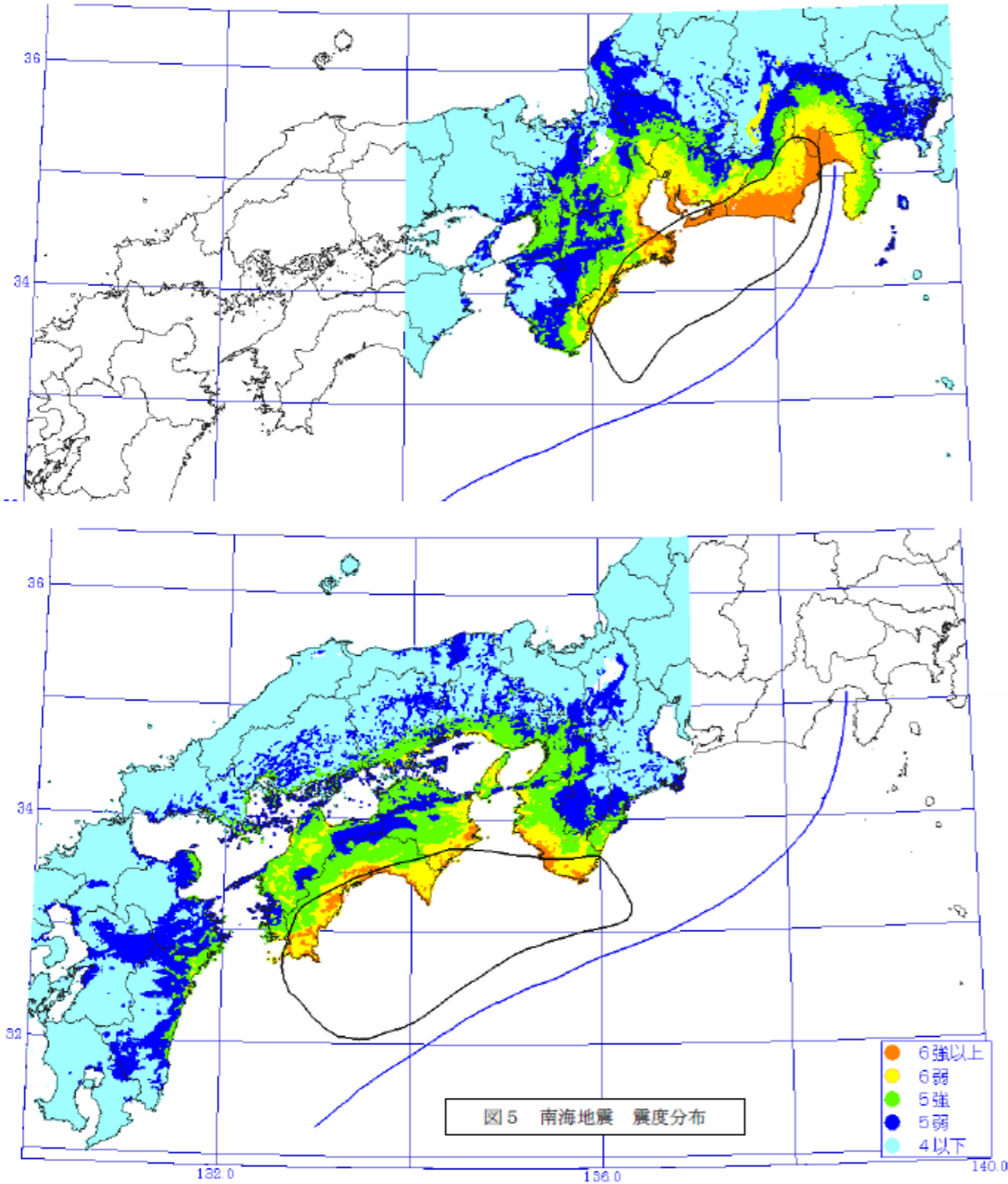


被災自治体間の連携

震度	市町村
4以下	21
5弱	79
5強	211
6弱	244
6強	88
7	35



時間差発生



複合災害

- 大雨→地震→豪雪 （新潟県中越地震）
- 地震→洪水 （1948年福井震災，九頭竜川の氾濫）
- 高潮→高潮 （1953年台風13号、1959年伊勢湾台風）
- 台風—地震 （関東大震災）
- 被害の拡大に備えて、何を優先的に復旧しなければならないのか。
- 災害対応の資源を分け合わなければならないときの方法

個と全体

- 限られた時間・資源・防災投資の中での全体的な被害の極小化
 - 各個人、企業、地域において災害に備える・業務を継続する
 - BCP
 - それを支えるインフラの強化を全体で最適化する戦略
 - CIP

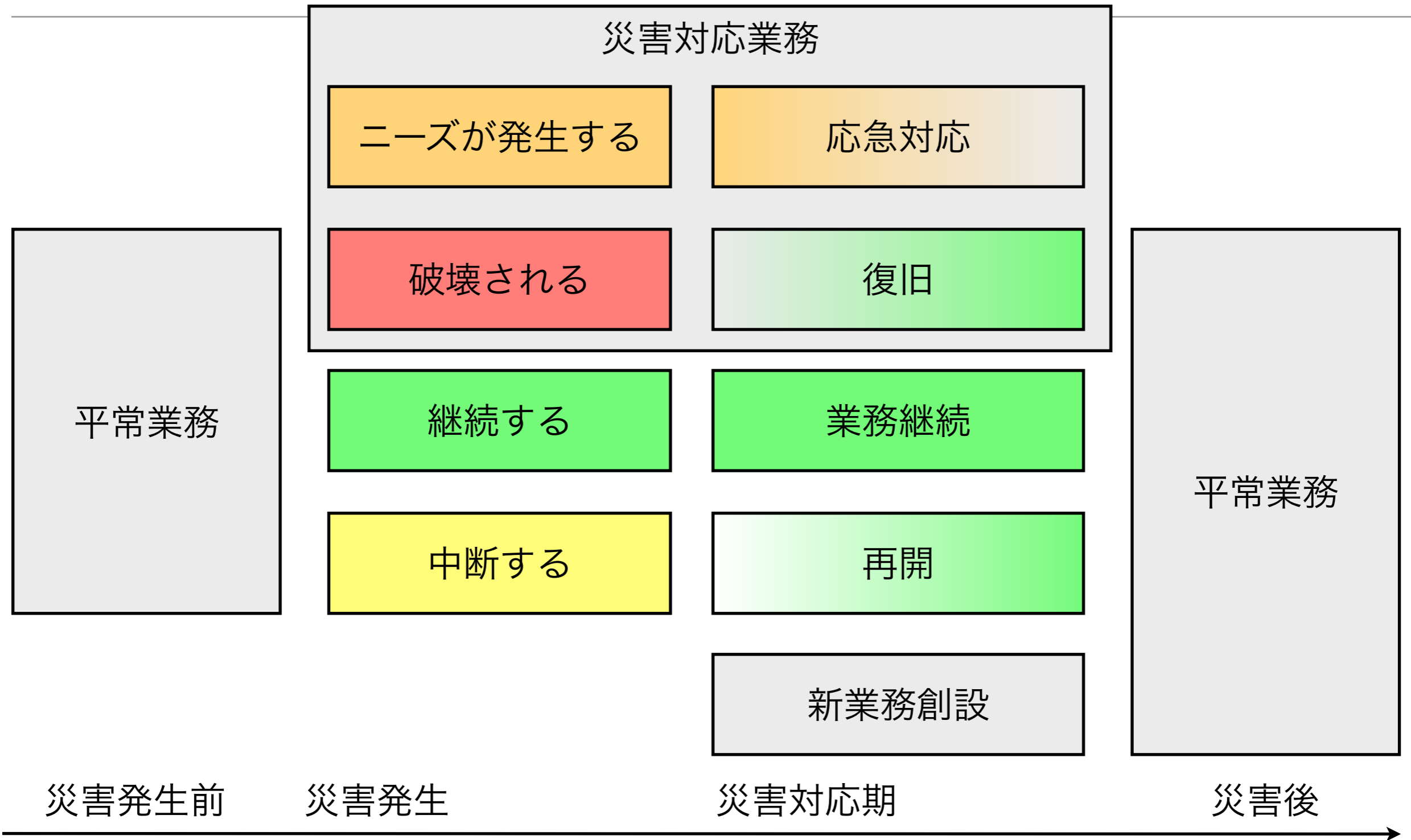
社会のモデルとBCP・CIP



事業継続

- Continuity of Operation (COOP)
 - 社会経済活動の致命的な中断による被害の拡大と波及を防ぐため、行政・企業等の組織が必要な活動を継続する。
- 事業継続計画 (BCP, Business Continuity Plan)
 - 災害時に特定された重要業務が中断しないこと、また万一事業活動が中断した場合に目標復旧時間内に重要な機能を再開させ、業務中断に伴う顧客取引の競合他社への流出、マーケットシェアの低下、企業評価の低下などから企業を守るための経営戦略。

BCP



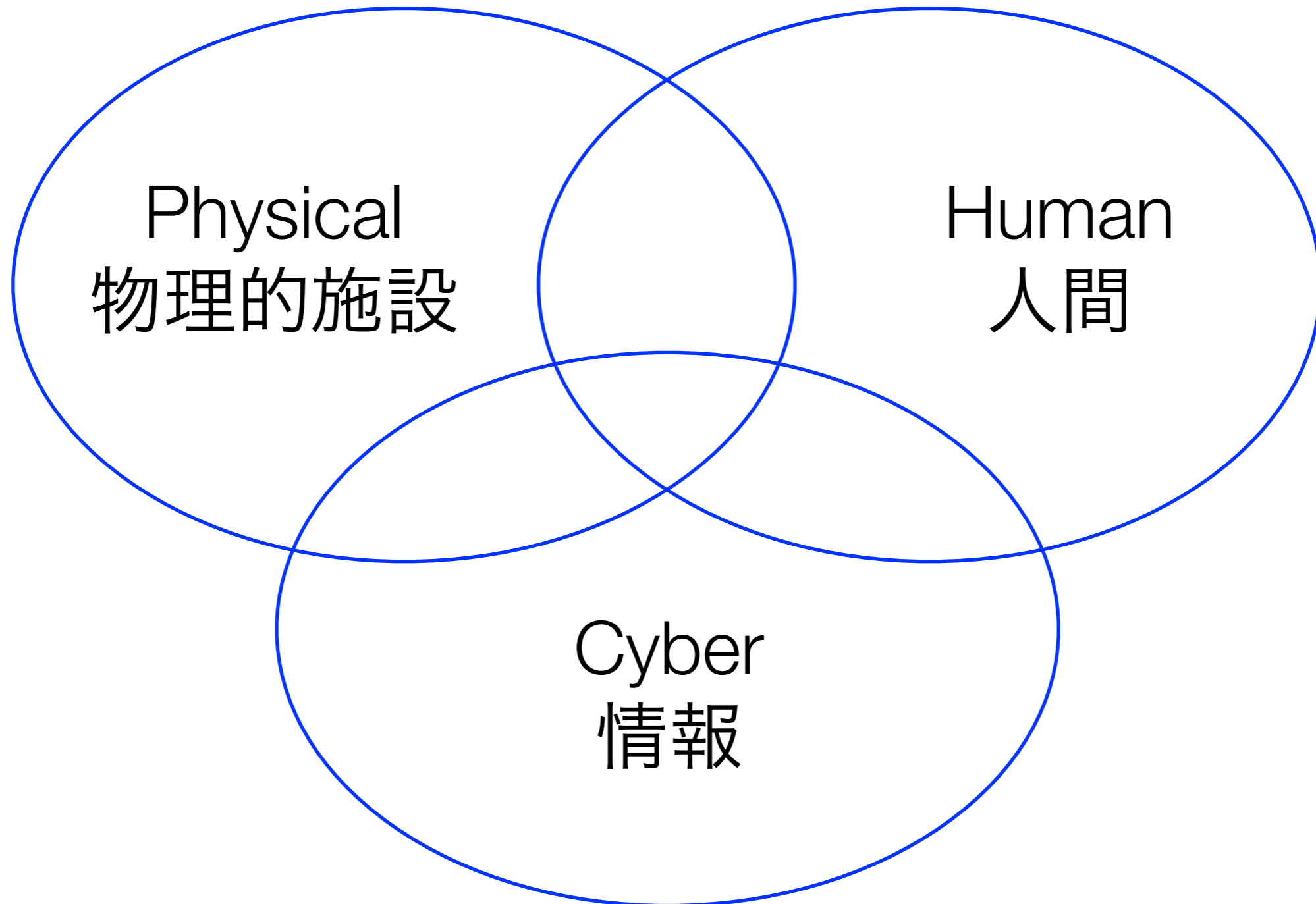
災害・危機管理対策と事業継続計画

防災対策・危機管理		事業継続計画	具体策	必要な技術
事前対策	敵を知る ・ハザード同定 ・モニタリング ・リスク分析	①リスク想定	どのようなリスクに備えるか	・マルチハザード型リスク評価
		②影響の分析	被害想定の実施と可視化	・ハザードマップ
	己を知る ・被害抑止対策 ・被害軽減対策	③コア業務の選定 ④業務継続計画の立案 ⑤実施可能な体制整備	重要業務 ・被害発生抑止 その他の業務 ・極小化 ・早期回復	・参画的な戦略計画策定
事後対応	全体的な対応 ・応急・復旧 ・復興 ・将来への備え	⑥継続的な改善 (PDCA)	一元的な危機対応	・ICS (Incident Command System) ・人材育成・訓練

重要社会基盤保護

- Critical Infrastructure
 - 機能停止や破壊が起きた場合に、国の安全保証や経済活動、国民の健康や安心・安全にとって甚大な影響を持つシステムや施設
 - 基礎的なモノとサービスを提供：
Water, Ag/Food, Public Health, Emergency Services
 - 生活・経済活動を維持：
Energy, Transportation, Banking & Finance, Chemical Industry, Postal & Shipping
 - 連絡と制御の確保：
Information & Telecommunication
 - 安全保障：
Defense Industry

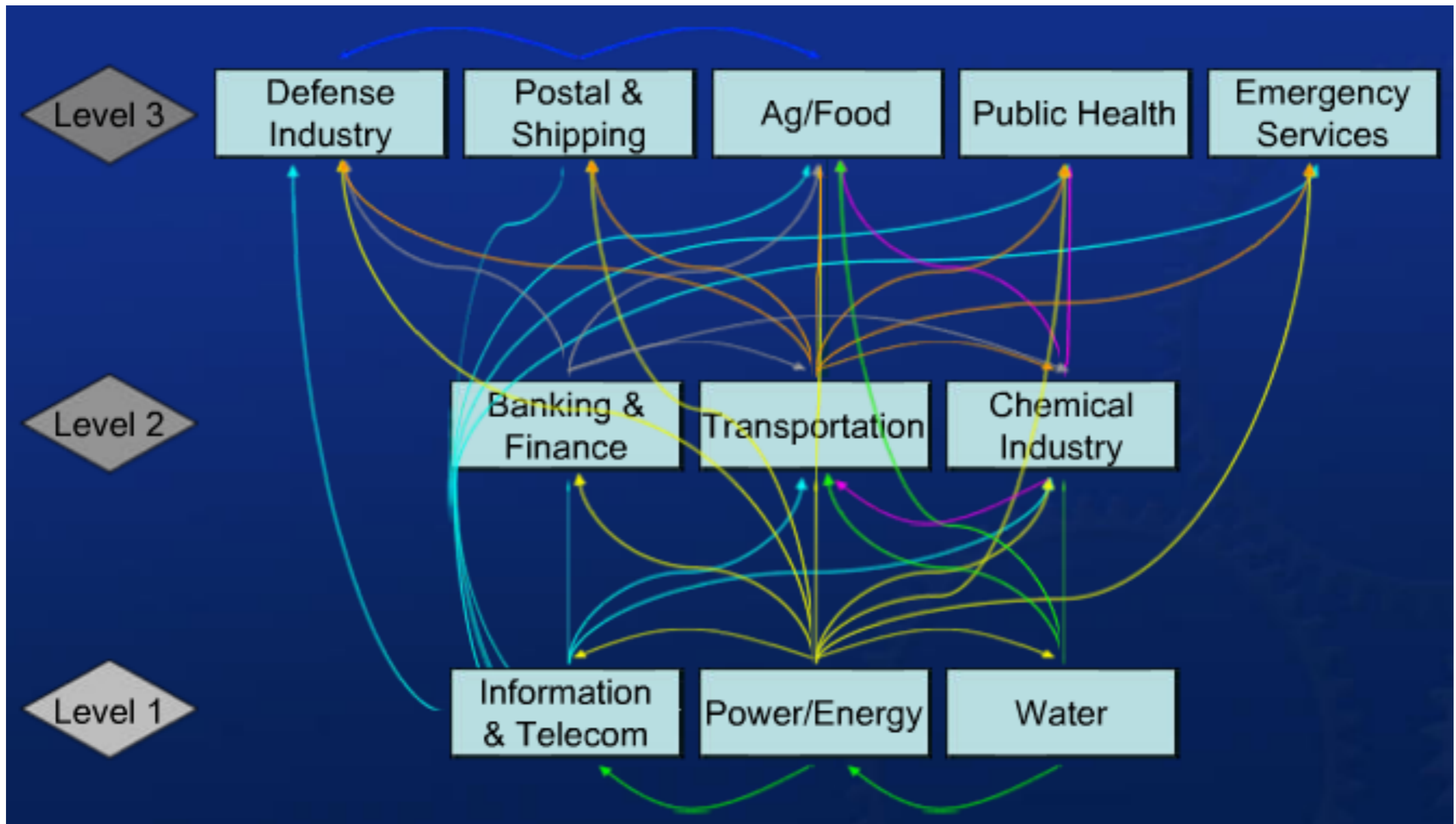
CIの構成要素



重要社会基盤保護

- ネットワークの保護 (Defending a Networked Nation)
 - 多くのCIは、ネットワーク構造をなす。
 - 供給系：生産－輸送－配分
 - サービス：受付－転送
 - 流通系：発送－集積－配達
 - ネットワークの冗長化により、機能を保持することができるが、ネットワークのCriticalな部分に障害が発生すると、全体に影響を及ぼす。
 - CI同士は相互に依存している。災害時の機能の継続、復旧に、この依存関係が影響を及ぼす。

Critical Infrastructureの相互依存性



Key Assets

- 破壊された場合に大量の死者・負傷者、資産の損失、国家の信頼性を損なうような、個々の施設
 - 原子力発電所
 - ダム
 - 高層ビル
 - 役所
 - 文化財



Resilienceを構成する4つの”R”

- Robustness 【頑健性】
- Redundancy 【冗長性】
- Resourcefulness 【臨機応変】
- Rapidity 【迅速性】

Robustness

- is **strength, or the ability** of elements, systems, and other units of analysis to **withstand a given level of stress or demand** without suffering degradation or loss of function [MCEER] (システム、要素、その他の分析単位が、機能低下や機能喪失を受けずに、所定のレベルの外力や要求に耐える能力)
- ハード面で予想されるハザード強度に耐える設計

Redundancy

- is **the extent** to which elements, systems, or other units of analysis exist **that are substitutable**, *i.e., capable of satisfying functional requirements in the event of disruption, degradation, or loss of function [MCEER]* (災害時にシステム、要素、その他の分析単位が被災・機能低下・機能損失したとしても、それに求める機能を代用できるものがどの程度あるか)
- 平常時には社会やシステムにとって一見無駄と思えるような備えの必要性を認める
- システムの多重化、バックアップ機能、平常時から必要以上の容量

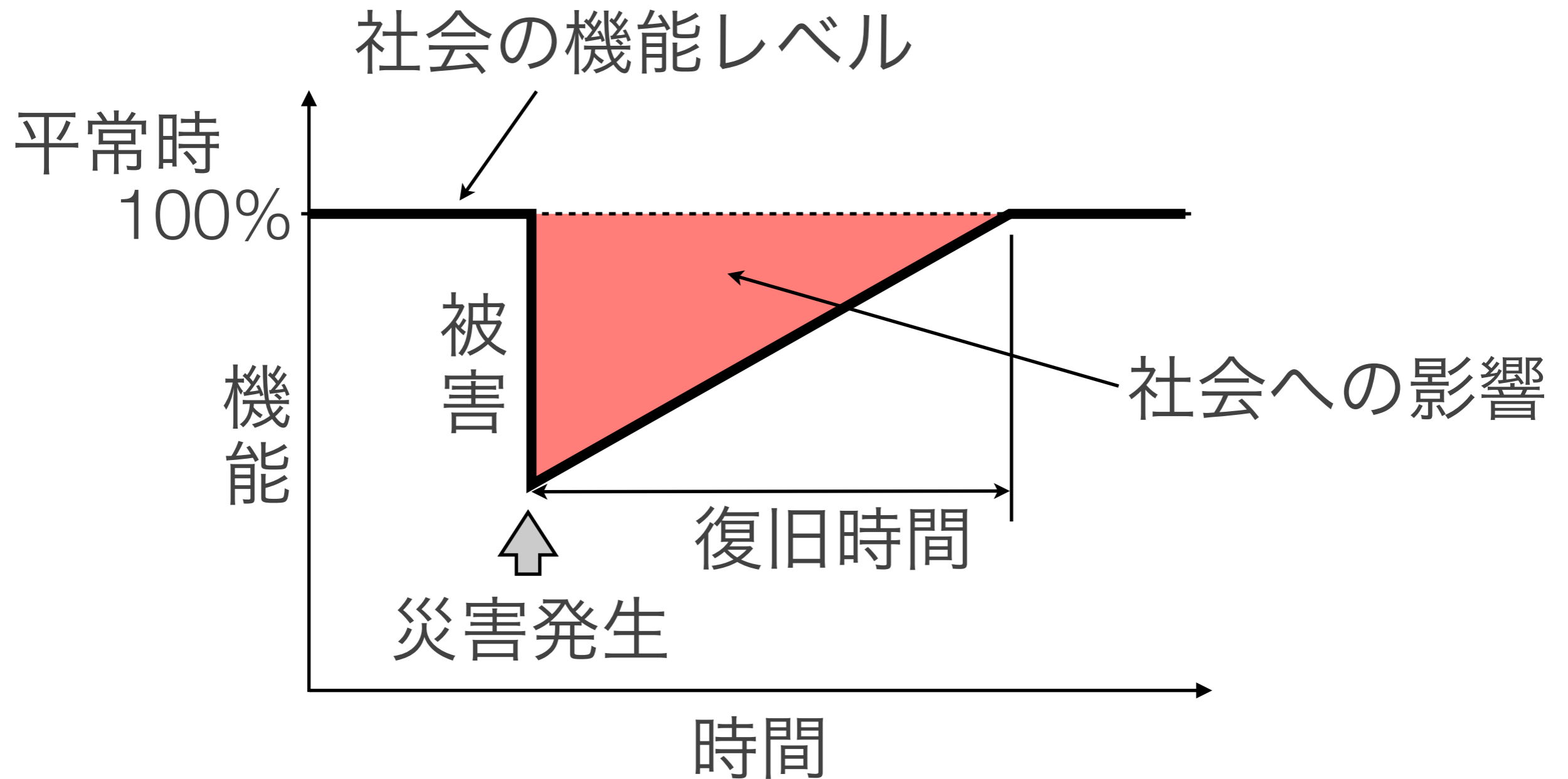
Resourcefulness

- is **the capacity to identify problems, establish priorities, and mobilize resources** when conditions exist that threaten to disrupt some element, system, or other unit of analysis. [MCEER] (システム、要素、その他の分析単位が、破壊・機能喪失する場合に、その問題を特定し、対応の優先順位を定め、資源・人員を動かす能力)

Rapidity

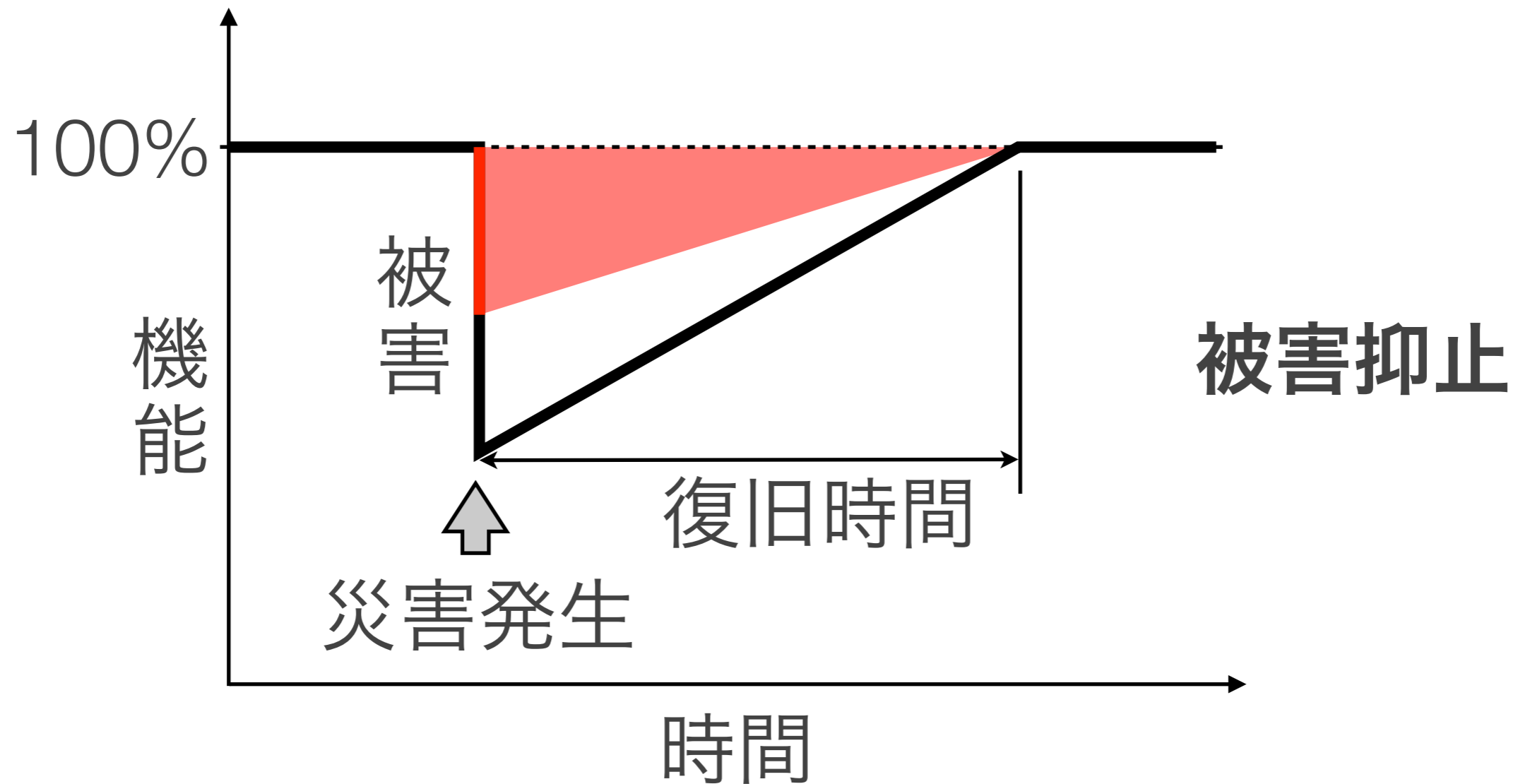
- the **capacity to meet priorities and achieve goals in a timely manner** in order to contain losses and avoid future disruption. [MCEER] (損失や被害拡大を抑えるために、迅速に優先順位に応じて目標を達成する能力)

Resilienceの概念



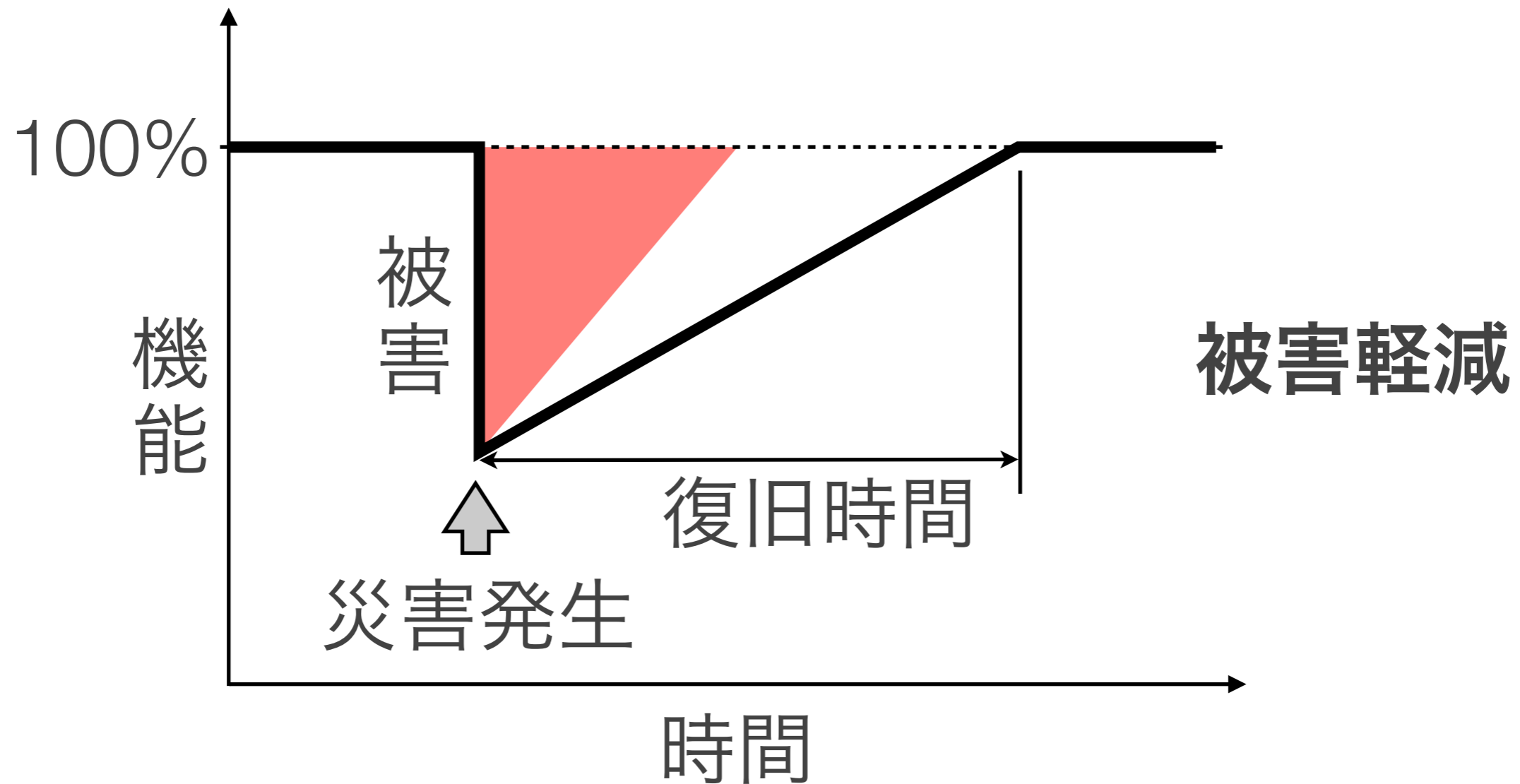
Resilienceの概念

抵抗力を高めて被害を抑止する



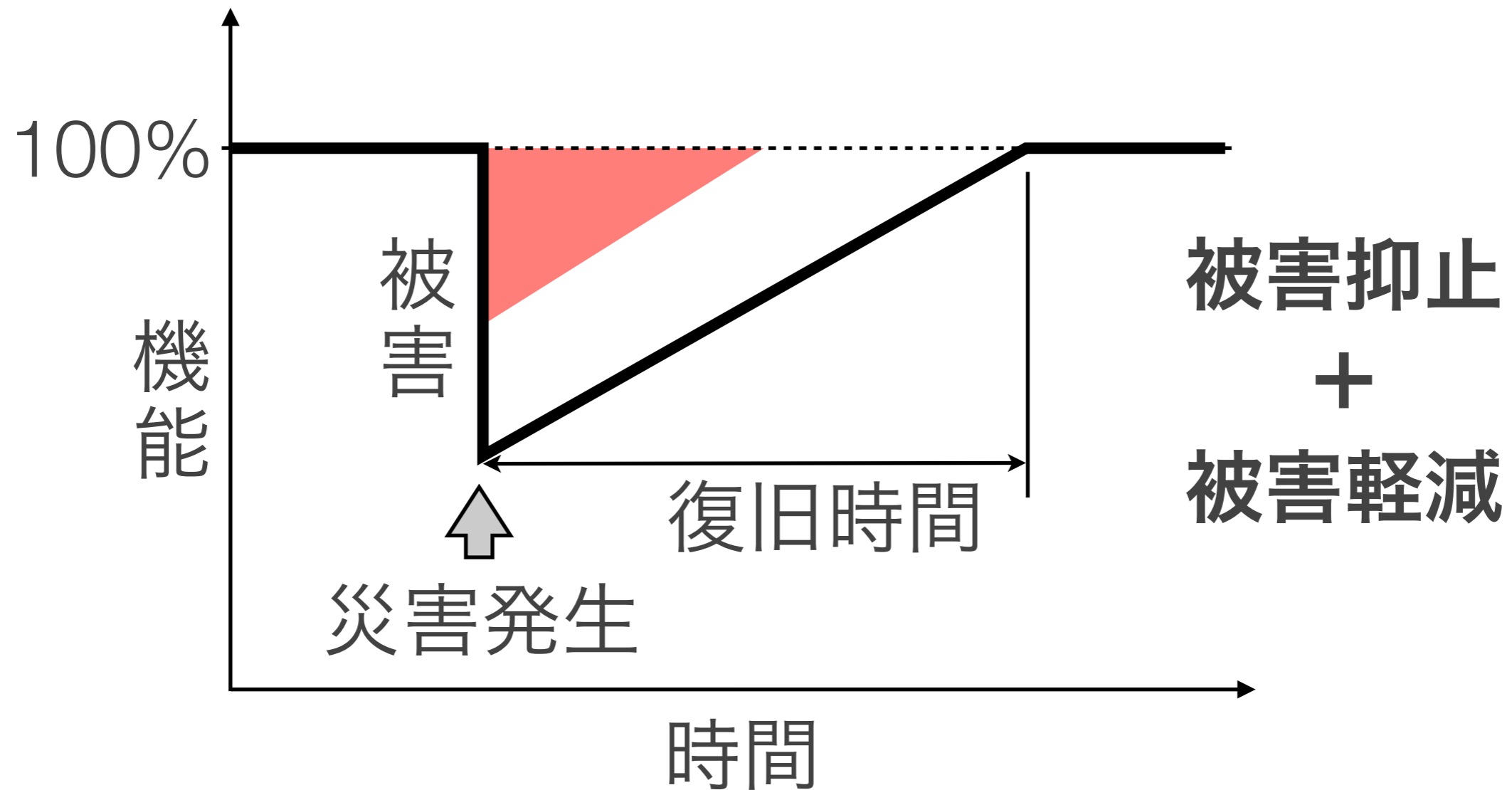
Resilienceの概念

回復力を高めて復旧時間を短縮する

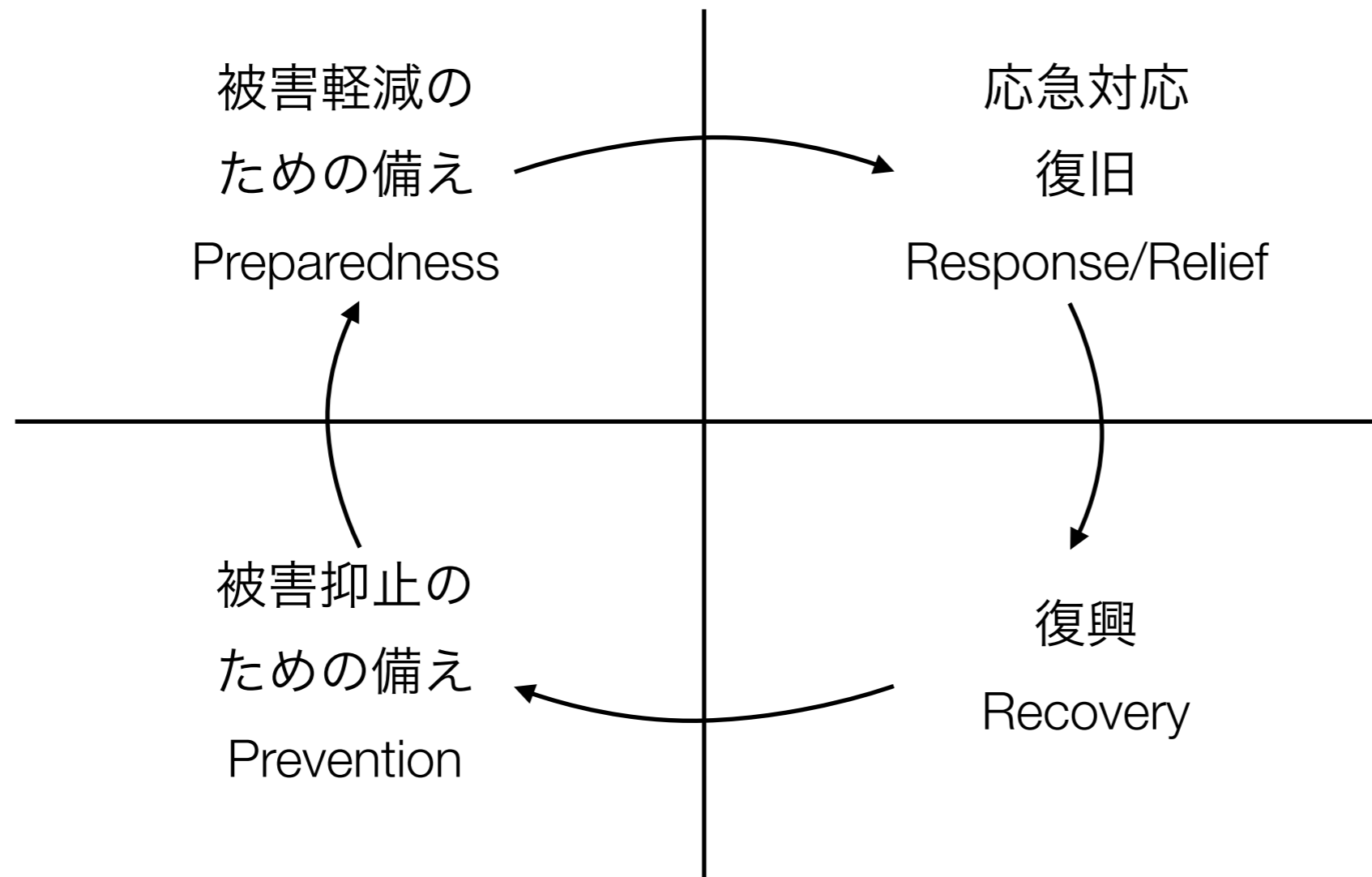


Resilienceの概念

総合的な防災力の向上



Disaster Management Cycle



災害発生前 (Risk Management)

頑強性 (Robustness)
冗長性 (Redundancy)
豊富さ (Resourcefulness)
迅速性 (Rapidity)

災害発生後 (Crisis Management)

体制の立ち上げ=初動 (Management)
命を守る活動 (Response)
社会のフローの復旧=応急対応 (Relief)
社会のストックの再建=復興 (Recovery)

Resilience— 2つの側面

- 技術と組織 (Technical / Organizational)
- 社会と経済 (Social / Economic)

技術と組織 (Technical / Organizational)

- 技術 (Technical)
 - 災害に対して、システムを構成する技術が、「必要」あるいは「許容できる」レベルを発揮する物理的技術力 (ハードウェア)
- 組織 (Organizational)
 - Critical facilitiesを管理する組織、災害対応のための意志決定や実行機能を管理する組織の能力 (ソフトウェア)
- 技術的・組織的目標
 - パフォーマンスレベルの改善
 - Failure probabilities : 被害を受ける・機能を損失する確率を低減する

社会と経済 (Social / Economic)

- 社会 (Social)
 - critical servicesの機能喪失によってストレスをうける被災地のコミュニティや行政を減らす力
- 経済 (Economic)
 - 災害による直接・間接の経済被害を低減する力
- 社会的・経済的目標
 - 災害状況下に「耐える」「迅速に復旧する」能力をつける
 - Consequences from failures：機能損失による被害拡大を防止
 - Causal Relationship：人的被害、物的被害、経済損失、社会への影響