

平成23年度 第4回成果発表会

東日本大震災における ライフライン被害と今後の課題

岐阜大学 教授 能島 暢呂
横浜国立大学 教授 佐土原 聡
横浜国立大学 特別研究教員 稲垣景子

2012.02.24

本日の発表内容

首都圏の上下水道のデータの構築と被害予測: 永田 茂

筑波大: 交通インフラ網等の復旧を基点とした広域連携による復旧効率化に関する検討

鹿島: 地震時における企業の事業影響日数評価式

千葉大: 首都直下地震における上水道管と木造建物の広域被害予測

東日本大震災のライフライン機能被害と今後の課題: 能島 暢呂

横国大: 自律分散型拠点構築による地域防災力向上

岐阜大: ライフラインの供給側とユーザー側の対策を考慮した広域機能充足度の評価

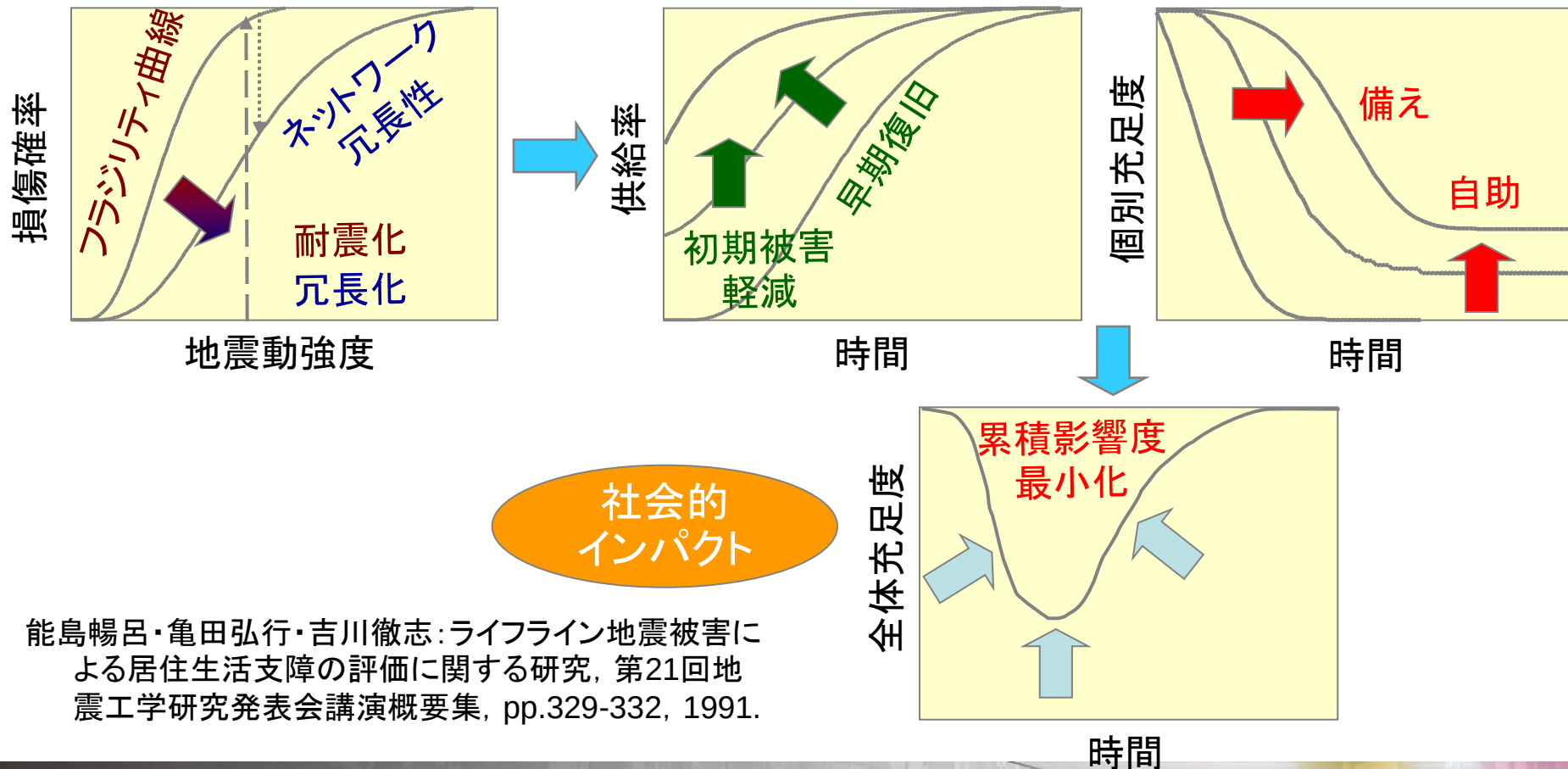
ライフライン被害の影響評価と 様々な対策によるインパクト軽減の枠組み

構成要素
脆弱性

ネットワーク
脆弱性

システム性能
(復旧曲線)

個別的
インパクト



能島暢呂・亀田弘行・吉川徹志: ライフライン地震被害による居住生活支障の評価に関する研究, 第21回地震工学研究発表会講演概要集, pp.329-332, 1991.

自律分散型拠点の計画手法

	水	電気	熱
ためる	受水槽	蓄電池	蓄熱槽 貯湯槽
つくる	再生水(中水)	発電機	発電機の排熱利用 (コージェネレーションシステム)
環境利用	地下水利用 雨水利用 河川水利用 海水(淡水化)利用	太陽光発電 風力発電 (水力/地熱/波力)	太陽熱
転用する	蓄熱槽 貯湯槽 防火水槽		
応急救援	給水車 給水船	電源車	トランスヒートコンテナ
地域で備える /共用する	応急給水槽・給水栓	建物間融通 スマートグリッド	建物間融通 地域冷暖房

エネルギー・給水設備に関するアンケート調査

災害時の水・エネルギー供給の信頼性確保を目指し、
地域の中核である自治体庁舎建物と災害拠点病院
の現状を調査し、拠点構築の可能性を検討する。

調査項目：

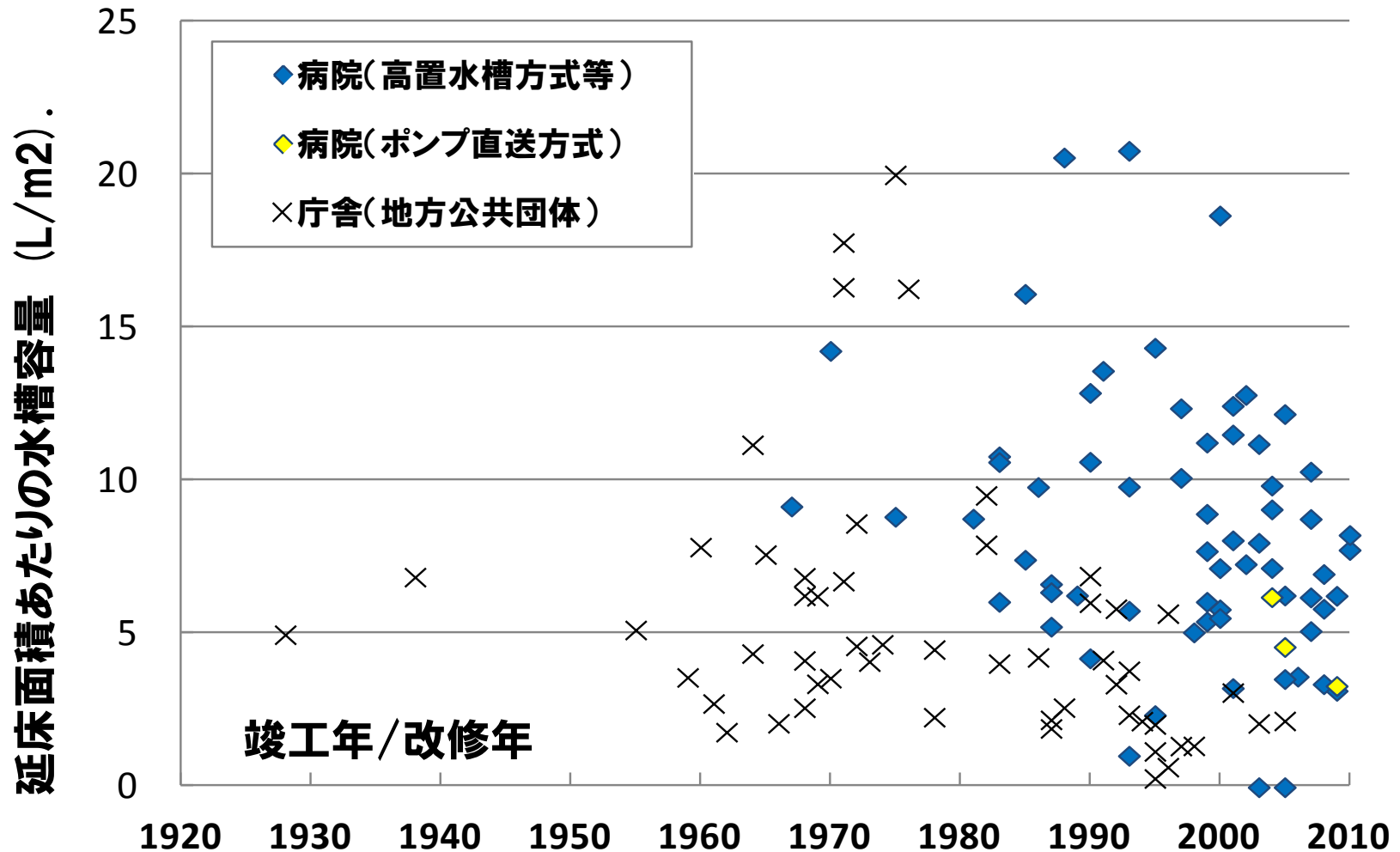
- (1)建物概要，
- (2)建物エネルギー設備，
- (3)自家発電設備，
- (4)非常時のエネルギー供給，
- (5)環境負荷低減システム，
- (6)水・エネルギー消費量

	都県庁市庁舎	区役所庁舎		病院
調査期間	H19年10～11月	H20年4～5月		H22～23年
調査対象	八都県市	東京	政令市	災害拠点病院
回収数	8	19	34	78
回収率 (%)	100	82.6	82.9	58.2

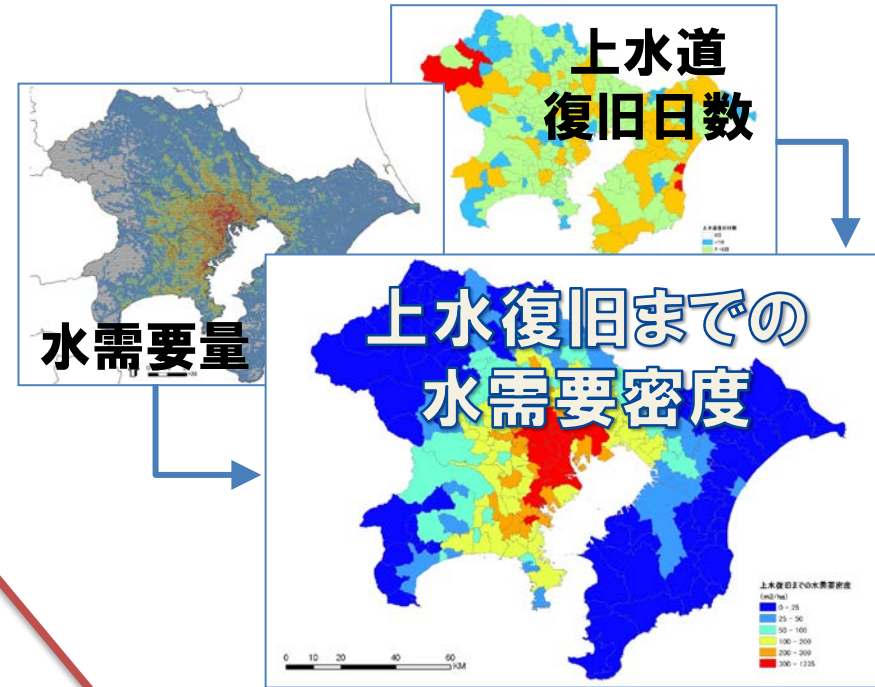
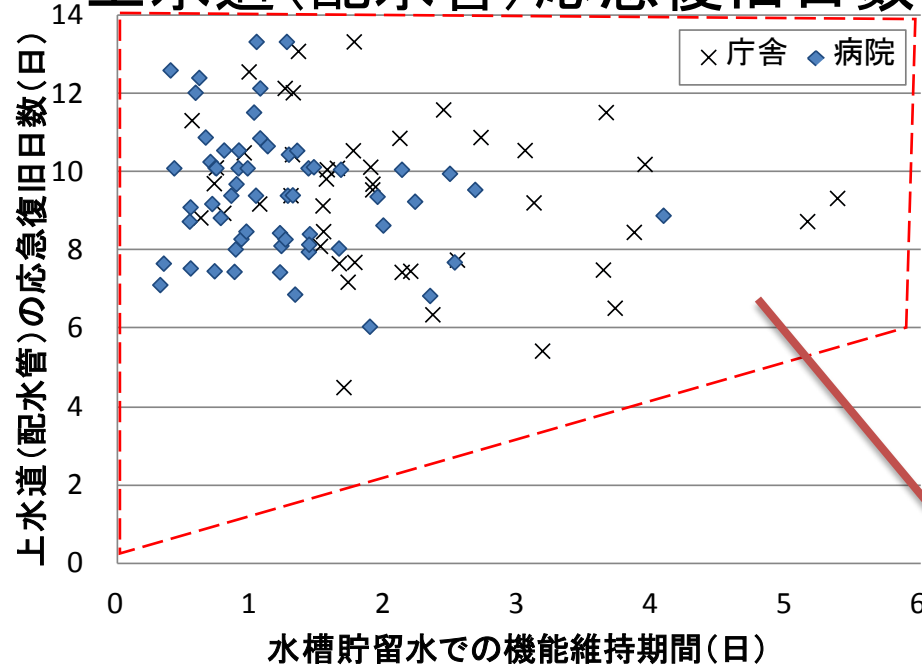
エネルギー・給水設備の概要

	病院	自治体庁舎
給水設備	高置水槽方式 : 9割以上 ※蓄熱式空調S: 約2割 ⇒断水時の水槽水利用	都県市: 高置水槽方式 (7都県市) 区役所: 高置水槽方式 85% ※蓄熱S: 都県市の5割, 区の2割
電気	1回線受電: 21% 2回線受電 : 55% スポットネットワーク : 15% ループ受電 : 9%	都県市: ループ受電 (2県) 2回線受電 (6都県市) 区役所: 6割以上が1回線受電
ガス	高圧・中圧 : 49% 中圧・低圧: 37% 低圧: 14%	都県市: 6県市が中圧B 区役所: 7割以上が低圧
自家発電設備	100%整備 37%で常用/兼用	都県市: 100%整備. 全て非常用 区役所: 一部未整備. 1割で常用

延床面積あたりの水槽容量と建物竣工・改修年との関係



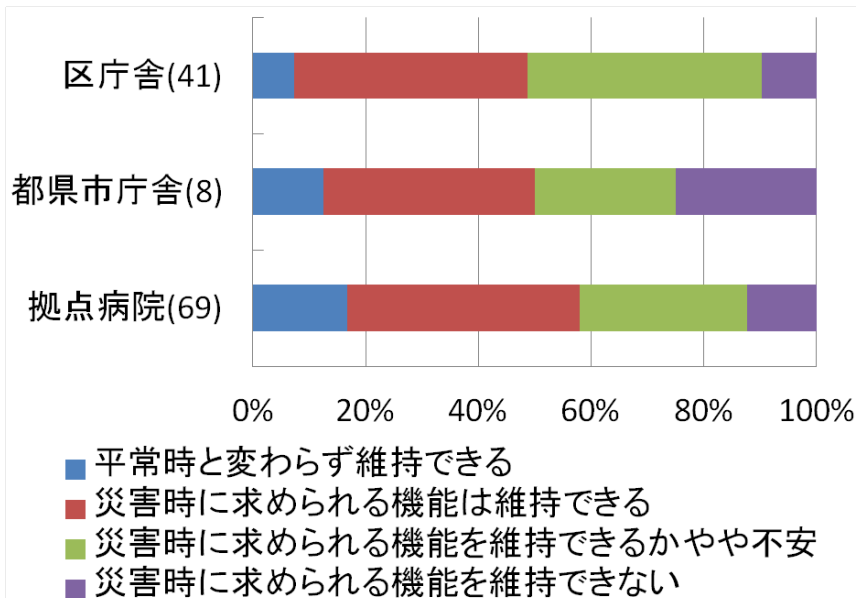
水槽貯留水での機能維持期間と 上水道(配水管)応急復旧日数



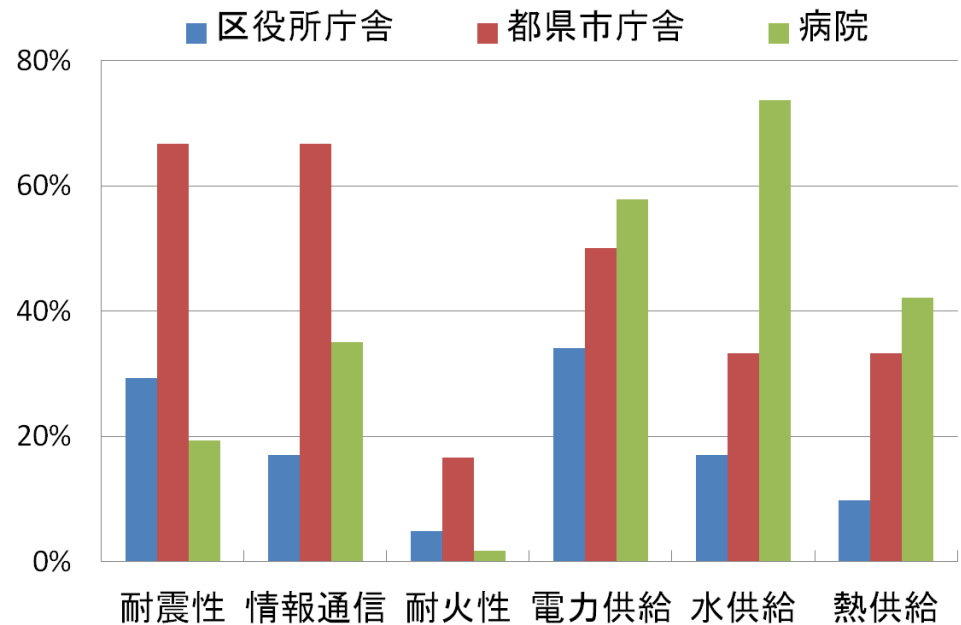
	水槽水で機能維持できる場合	水槽水で機能維持できない場合
主な対応	■ 水槽からの漏水防止 ■ 水槽への泥水流入防止 ■ 停電時の受水槽からの応急給水 ■ (下水道・排水設備被害→)節水	■ 地下水の利用(ポンプ用電源の確保) ■ 再生水の利用 ■ 蓄熱槽水・貯湯槽水の利用 ■ (消火活動後)防火用水の利用 ■ 雨水・河川水・海水(淡水化)の利用 ■ 近隣の応急給水槽水の利用 ■ 飲料メーカーからの飲料水調達 ■ 節水+応急給水

非常時の施設機能維持に関する意見

Q: 大規模災害発生時に
建物機能を維持できるか？



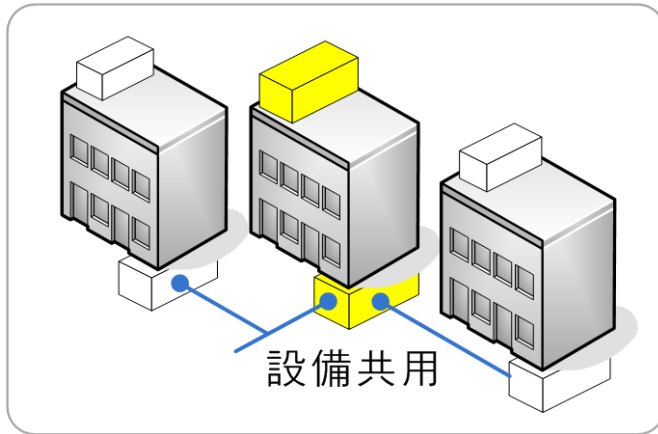
Q: 大規模災害発生時の
建物機能維持に不安のある部分



- 庁舎では、**建物耐震性**と**情報通信**に関する不安を挙げる割合が高い
- 病院では、**水供給**や**電力供給**への不安を抱える割合が高い
- 建物の耐震性を確保している場合、ライフライン途絶への不安を持つ。

自律分散型拠点の方向性

- ライフライン途絶時にも機能を維持すべき**重要施設に設備整備**
- 高密度エリアでは、**重要施設をコアに地域の機能維持を目指す**



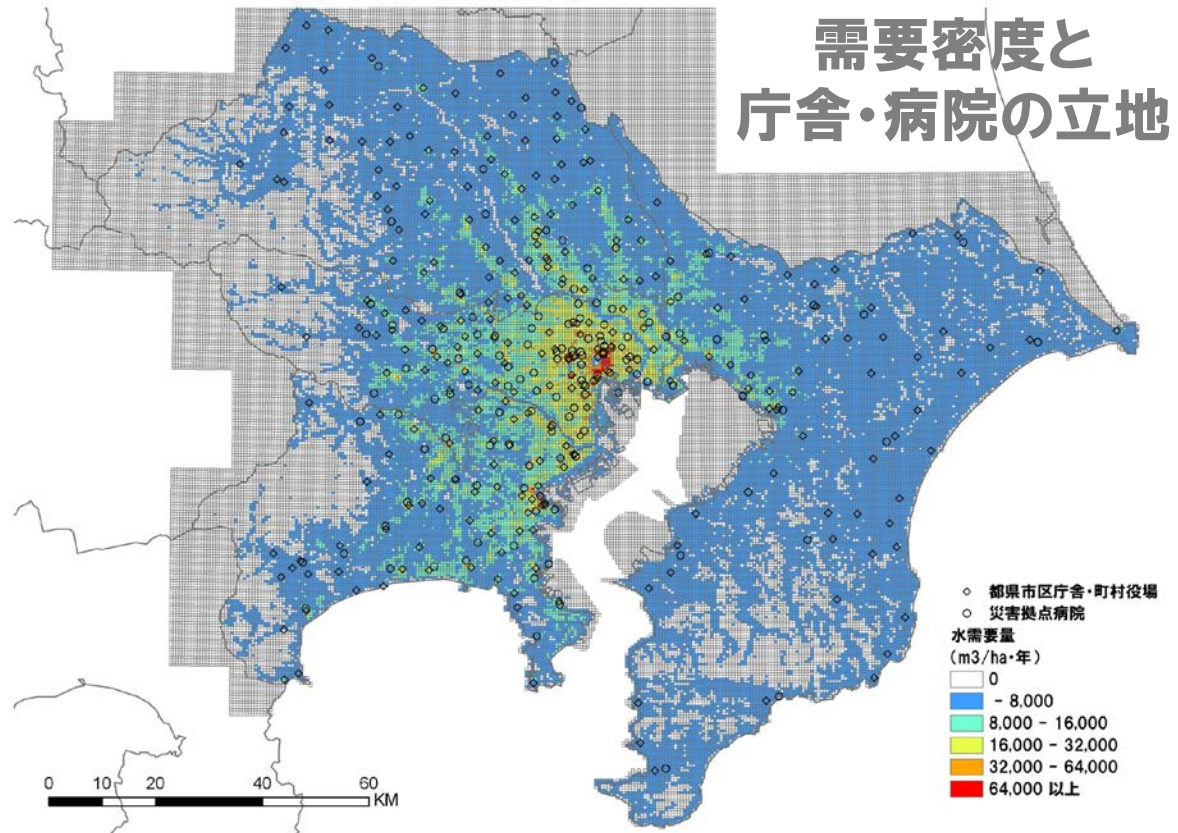
BCP 事業継続計画

Business **C**ontinuity **P**lan



DCP 地区継続計画

District **C**ontinuity **P**lan



供給系ライフラインの停止戸数

ライフライン	東日本大震災 (2011年東北地方太平洋沖地震)	阪神・淡路大震災 (1995年兵庫県南部地震)	2011/1995
電気	891万戸 (486万戸 in 東北)	260 万戸	342% (187%)
水道	220万戸以上	126万戸 (in 兵庫県)	180% 以上
都市ガス	46万戸	86万戸	53%

推定浸水世帯数: 約21.1万世帯(総務省統計局4月25日公表)

➡ 津波による被害は全体の一部に過ぎない

供給系ライフラインの復旧曲線の比較

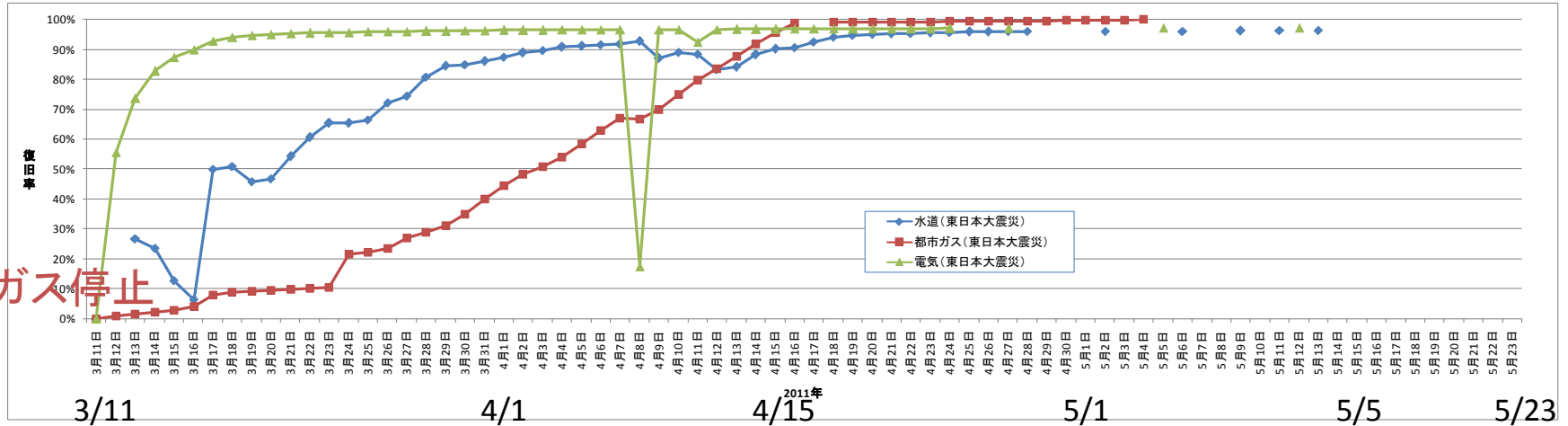
東日本大震災(2011年東北地方太平洋沖地震)

東北電力管内のみ

停電

断水

都市ガス停止

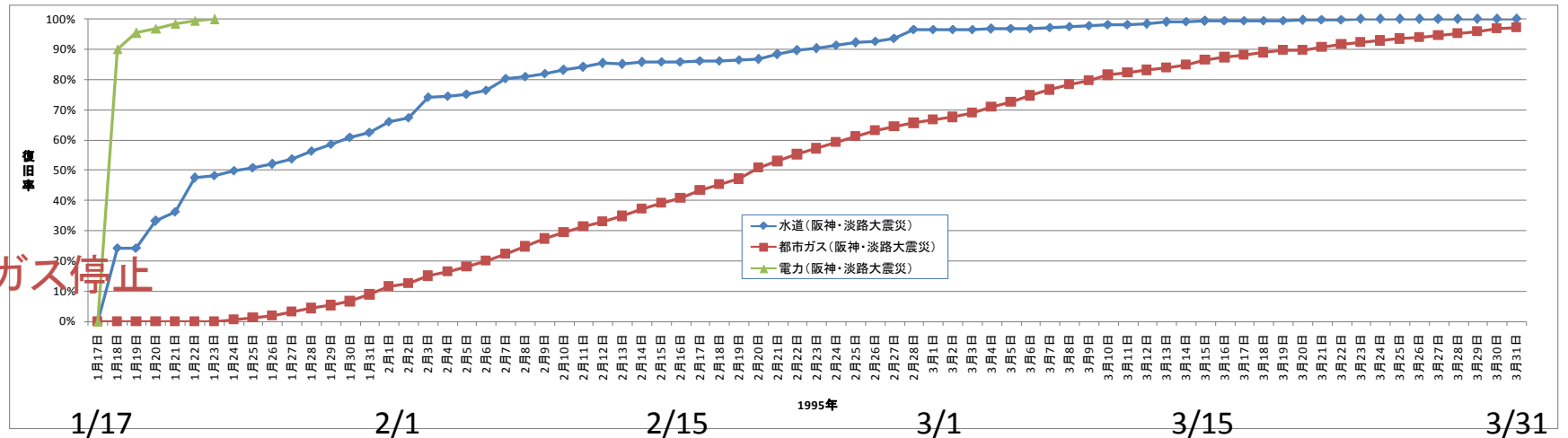


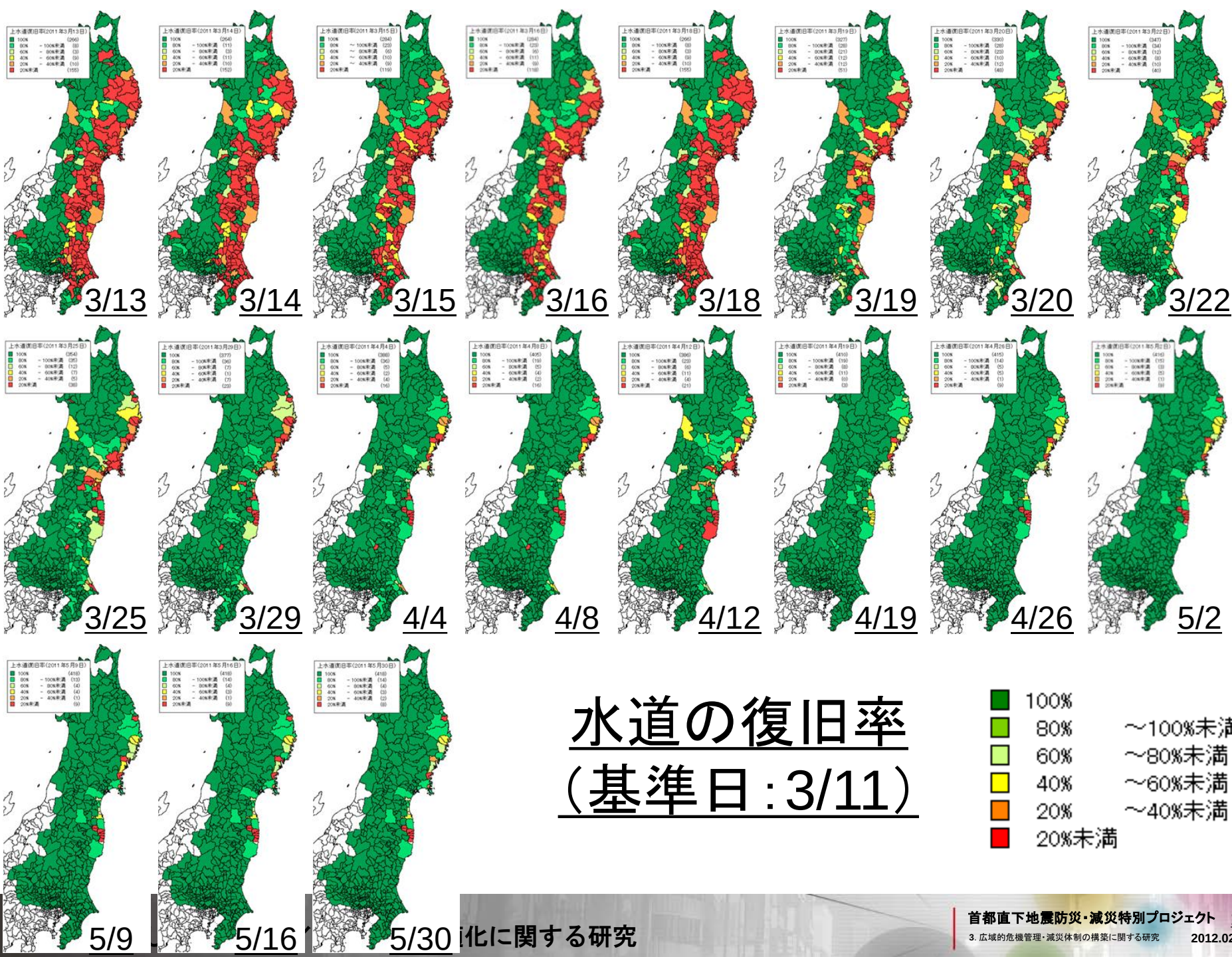
阪神・淡路大震災(1995年兵庫県南部地震)

停電

断水

都市ガス停止





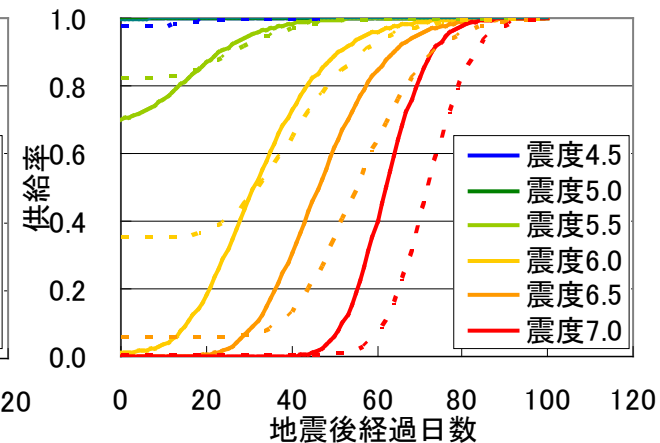
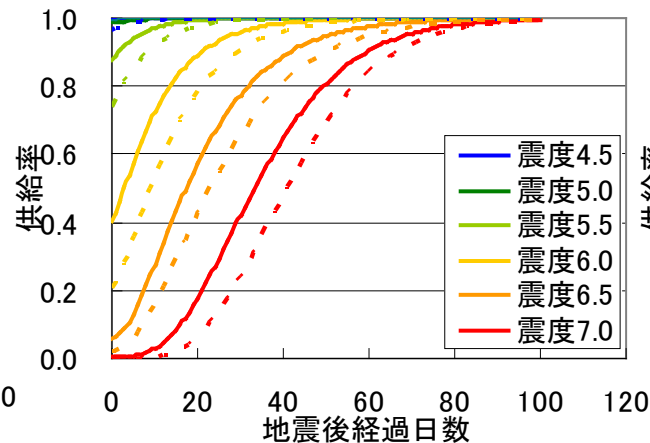
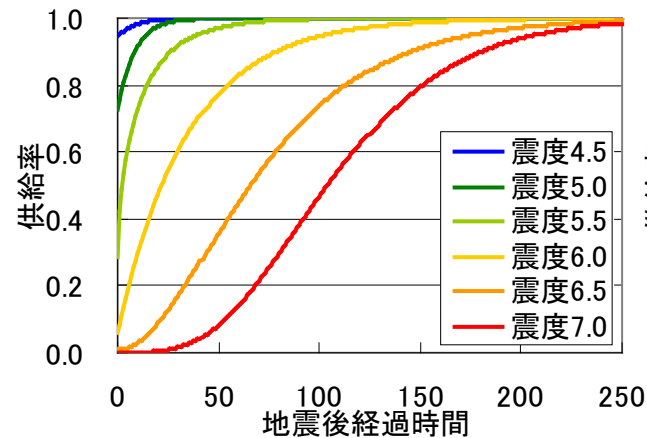
地震時ライフライン機能被害予測モデル

1995年兵庫県南部地震の被災事例に基づく
モデルの改良モデル(供給システム側の要因を考慮)

電力

水道

都市ガス



破線:オリジナル, 実線:改良モデル

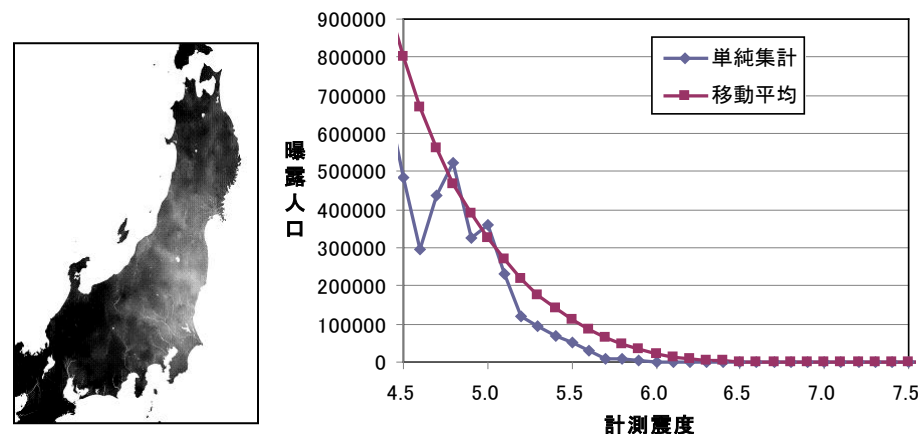
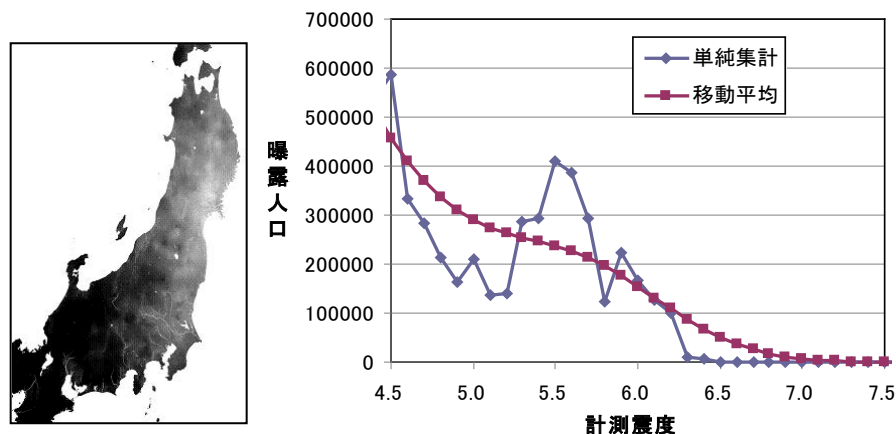
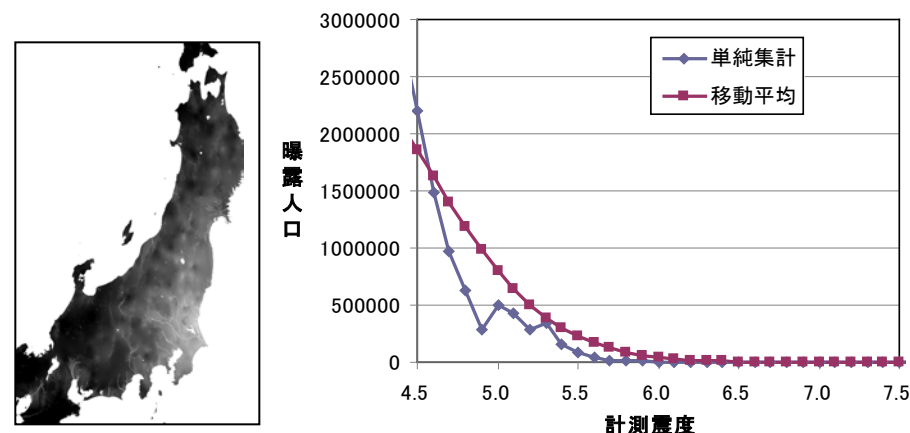
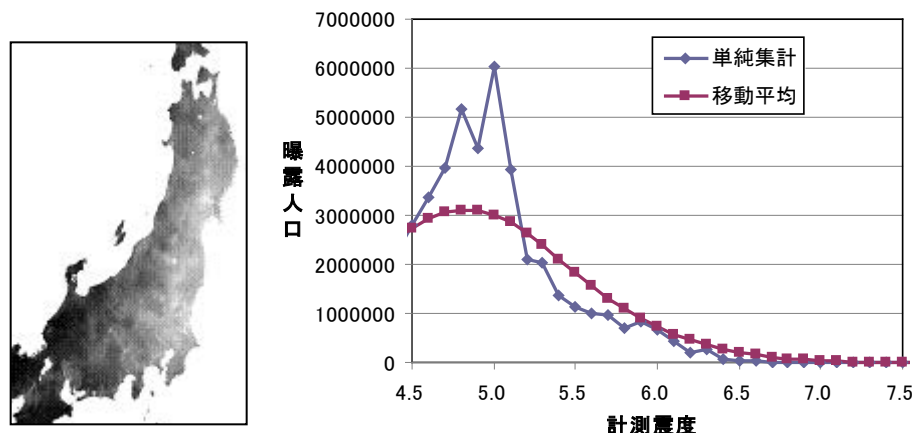
•変更なし

•神戸周辺(1995年)と東北
4県(2010年)の配水管の脆弱性の違いを考慮

•SI値(40-50kine)に基づく
緊急供給遮断の導入
•復旧初動体制の改善効果
の考慮

能島暢呂:脆弱性指数を用いたライフライン網の地震時脆弱性評価～上水道配
水管網への適用～, 地域安全学会論文集 No.10, 2008.11, pp.137-146.

東日本大震災関連の4地震 (本震+2余震+誘発地震)による震度曝露人口

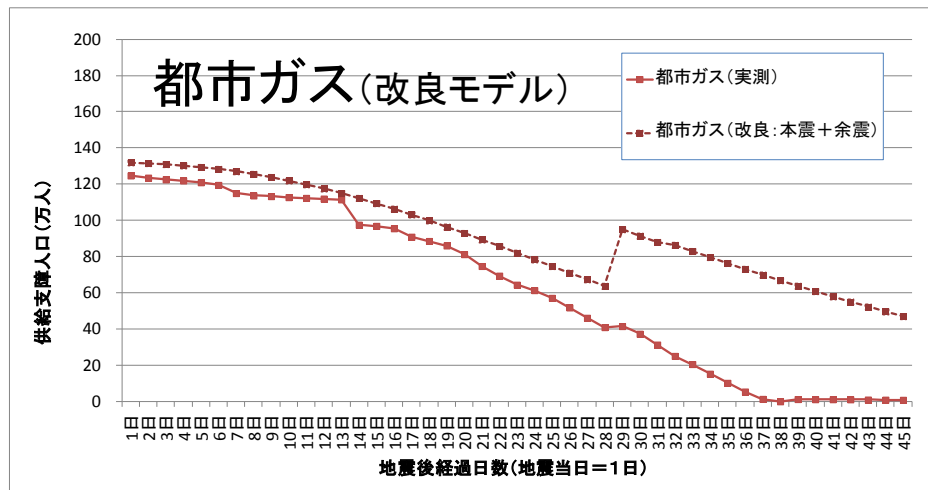
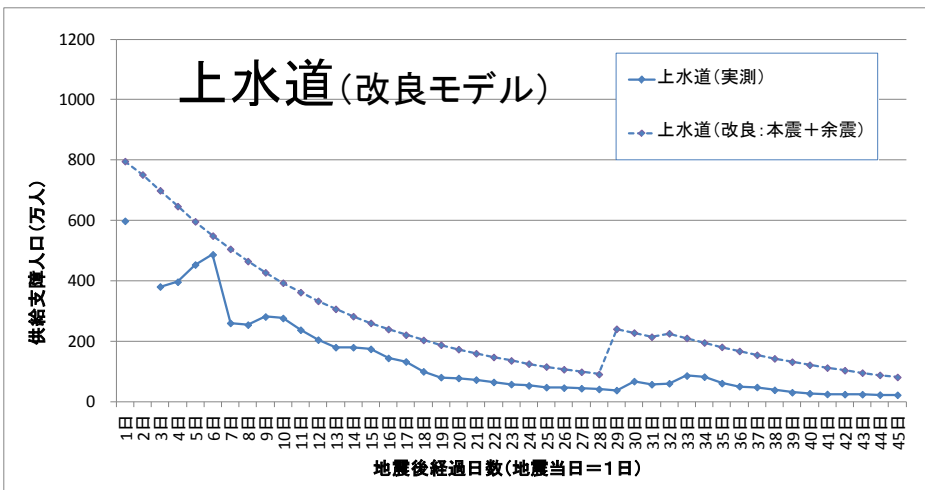
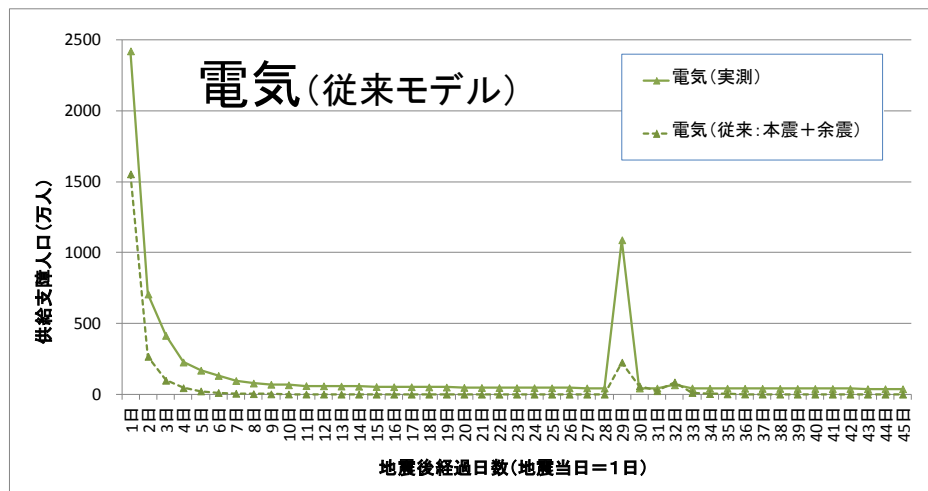
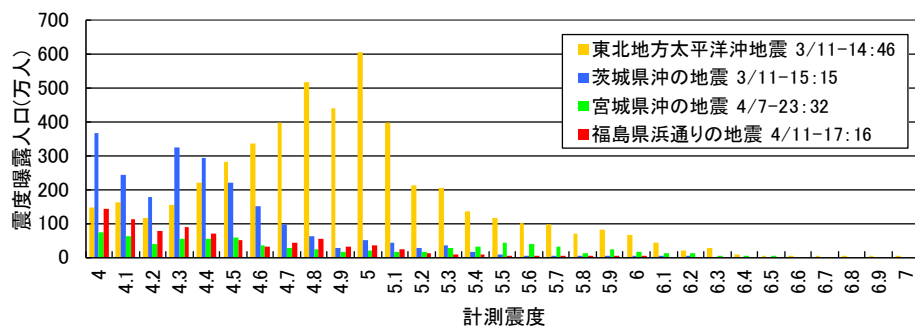


2011/4/7-23:32宮城県沖

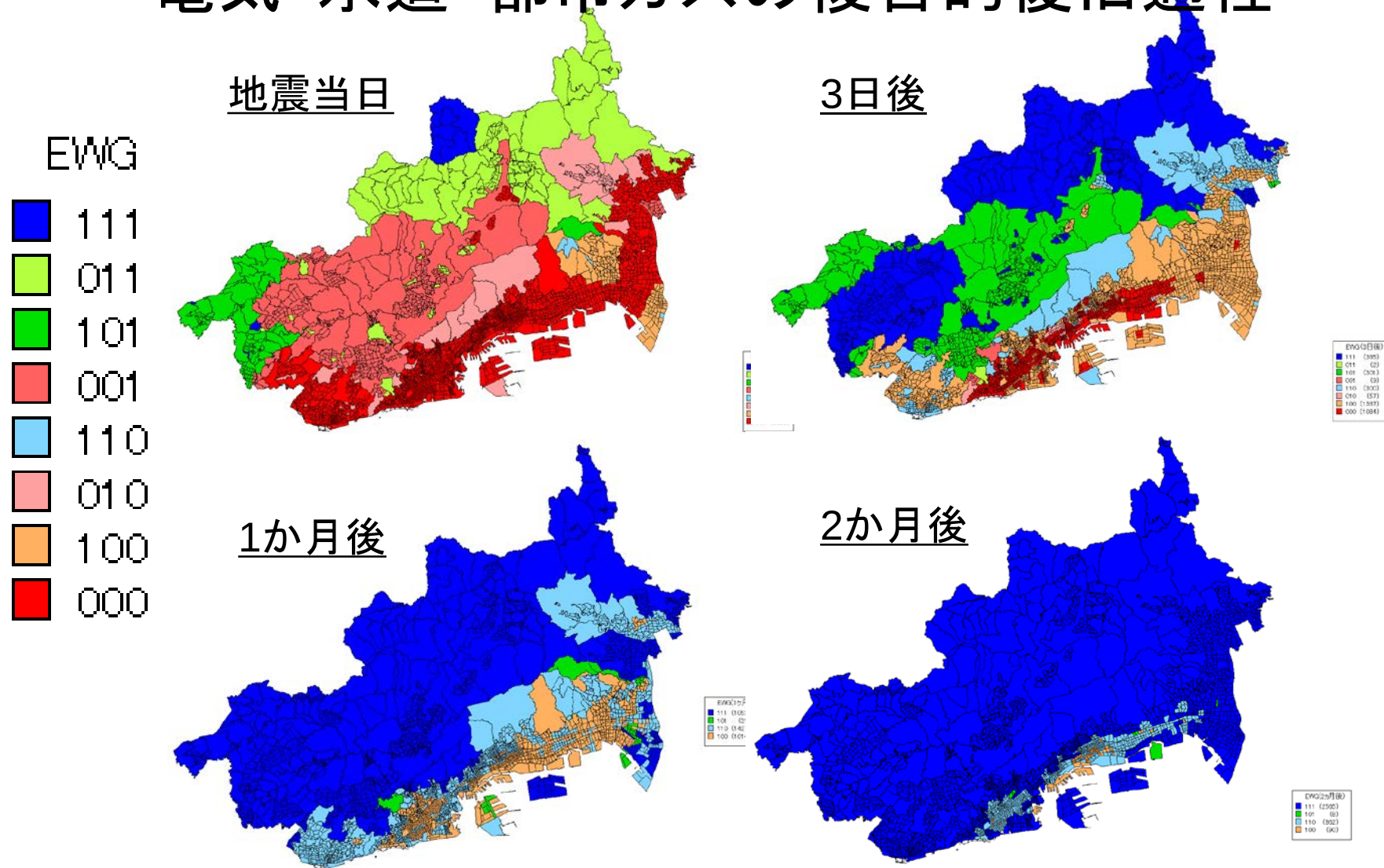
2011/4/11-17:16福島県浜通り

震度分布は産業技術総合研究所 “QuiQuake”に基づく

東日本大震災におけるライフライン停止戸数の 解消過程の推定値と実測値の比較($\sigma=0.0$)



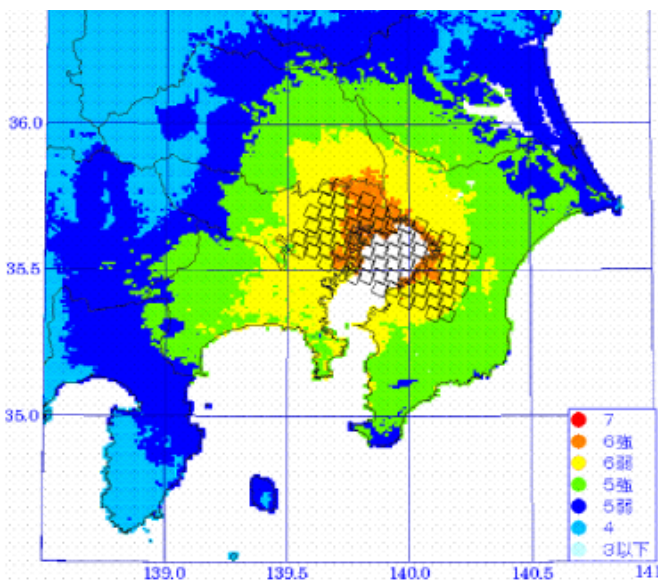
阪神・淡路大震災における 電気・水道・都市ガスの複合的復旧過程



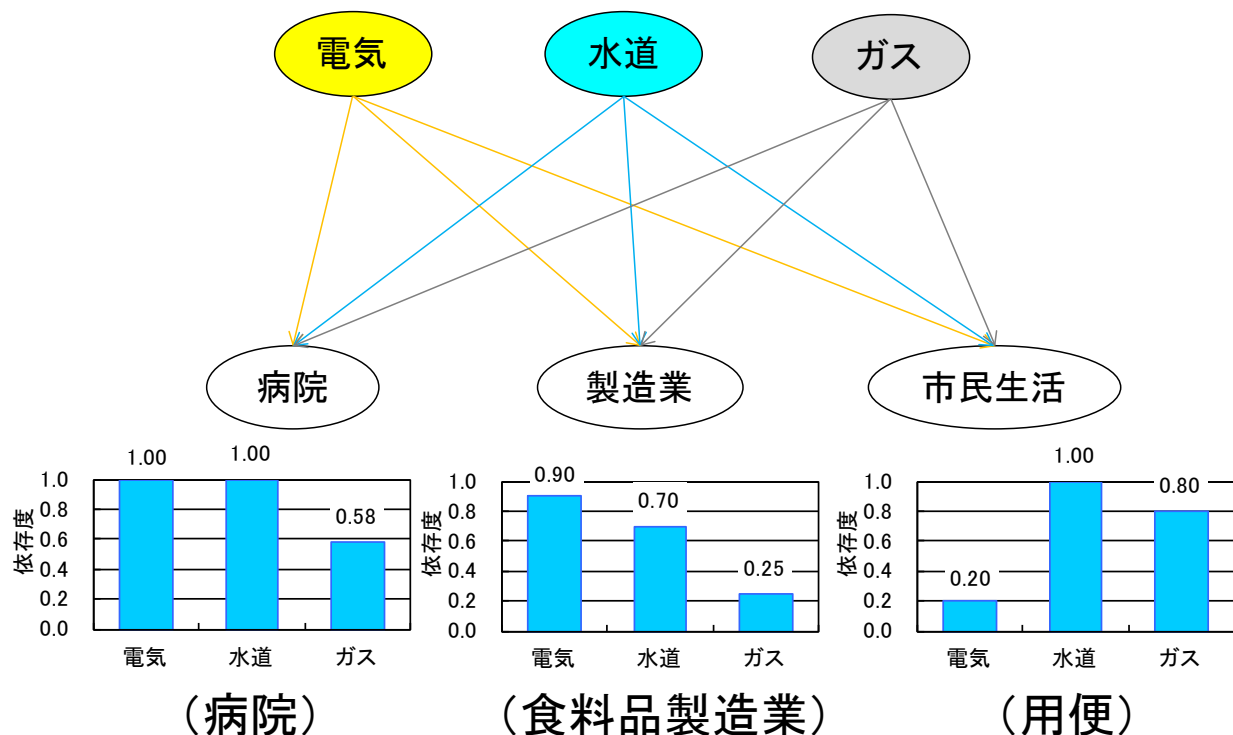
首都直下地震による電気・水道・都市ガスの 複合的復旧過程とその影響評価

- ◆ 想定地震：東京湾北部地震(M7.3)
- ◆ 対象地域：1都3県(東京・神奈川・埼玉・千葉)
- ◆ 対象機能：病院・製造業・市民生活

東京湾北部地震(M7.3)の
震源域と推定震度

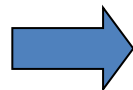


中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」資料



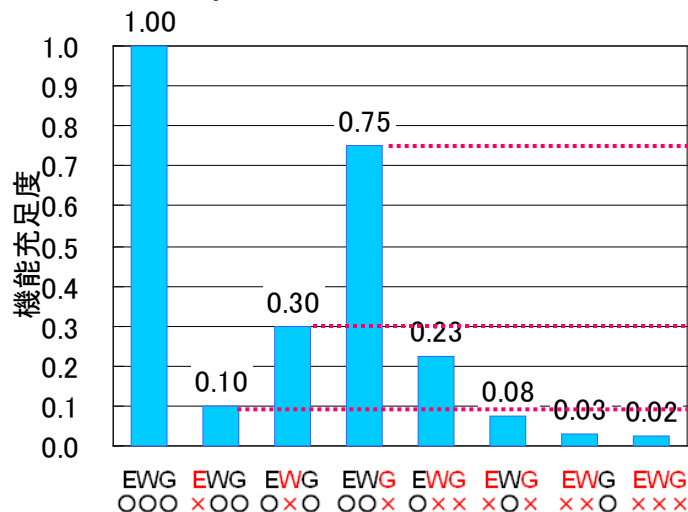
バックアップを考慮した機能充足度モデルの改良(ユーザー側の要因)

改良前: 時間に依存しない定数



改良後: 時間関数としてモデル化

停止パターン別機能充足度(食料品製造業)
(E=電力,W=水道,G=都市ガス)

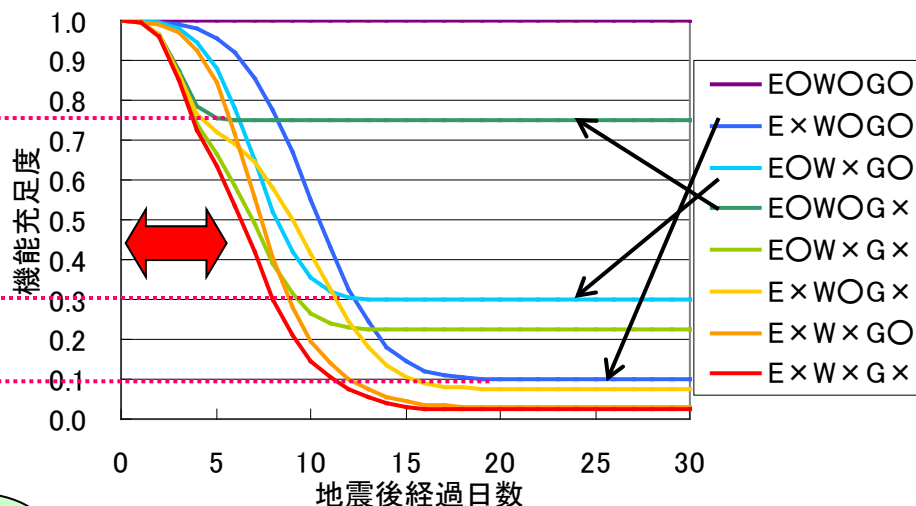


バックアップが
全くなければ

$$A_k(t) = R_k$$

バックアップ機能により影響出現を遅らせ、影響が緩和されていることを表現

停止パターン別機能充足度の時間関数



バックアップ時間の累積分布関数 $B_k(t)$

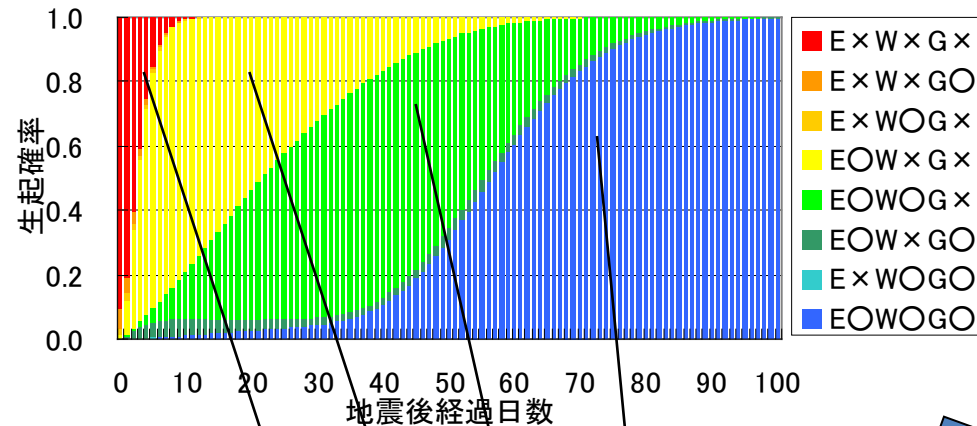
$$A_k(t) = 1 - (1 - R_k) \cdot B_k(t)$$

$$R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t) = \prod_{k=E, W, G} A_k(t)^{1-\delta_k}$$

バックアップを考慮した機能充足度

効果的なバックアップ対策を
検討できる枠組みを構築

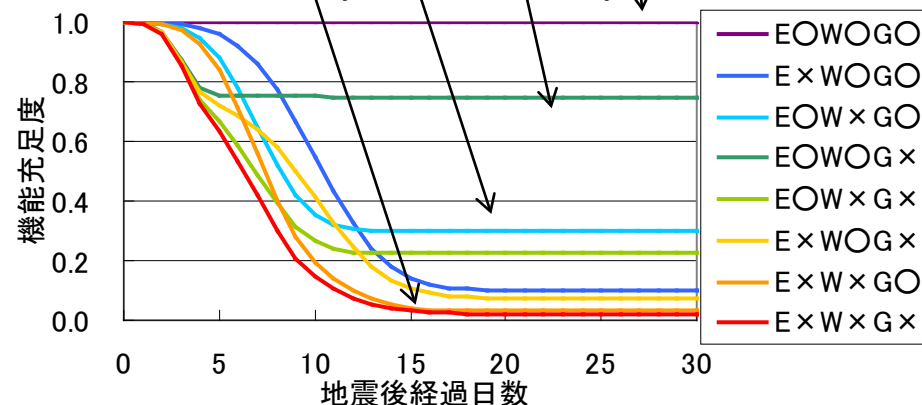
停止パターン生起確率分布(震度6.5)



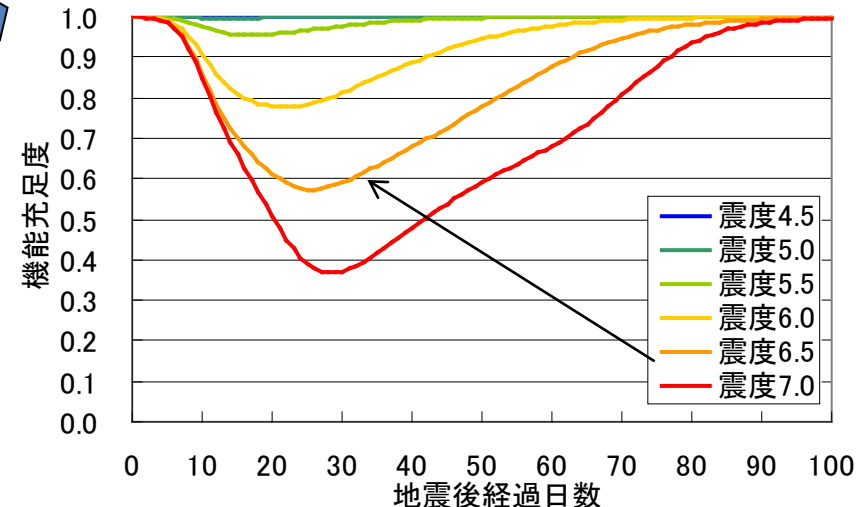
$$\overline{R}_i(I, t) = \sum_{\delta_E, \delta_W, \delta_G} R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t) \cdot Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t)$$

$\overline{R}_i(I, t)$: 震度 I , 地震後 t における機能充足度
 $R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t)$: 地震後 t における停止パターン別機能充足度
 $Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t)$: 震度 I , 地震後 t における停止パターン生起確率
 i : 業種

停止パターン別機能充足度の時間関数
(食料品製造業)

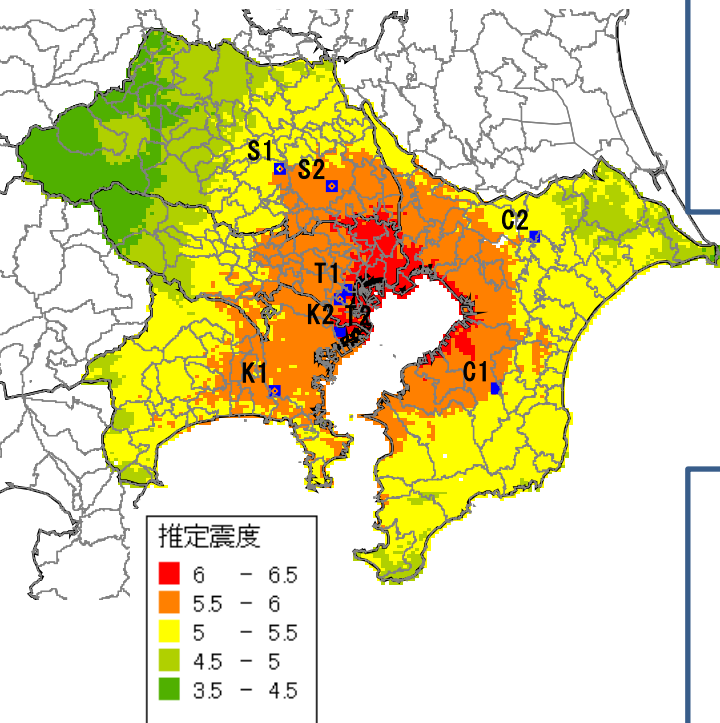


バックアップを考慮した機能充足度



災害拠点病院を対象とした影響評価

8病院の位置と
東京湾北部地震の震度分布



ライフラインユーザー側における 地震時のバックアップ機能

停電時に自家発電設備で維持できる期間: 平均**74**時間
断水時に給水機能を維持できる期間: 平均**27**時間

→ (E,W,G)=(**3日**,**1日**,0日)

さらに対策効果を比較するため、上水道に関する
バックアップを増強

→ (E,W,G)=(**3日**,**10日**,0日)

Inagaki, K. and Sadohara, S: Improvement of Local Capability under
Lifeline Disruptions by Construction of Distributed Self-Sustaining
Zone, -Based on Research of Disaster Base Hospitals in Tokyo Capital
Area-, Journal of Disaster Research, April, 2012 (in printing).

ライフライン供給側における優先復旧

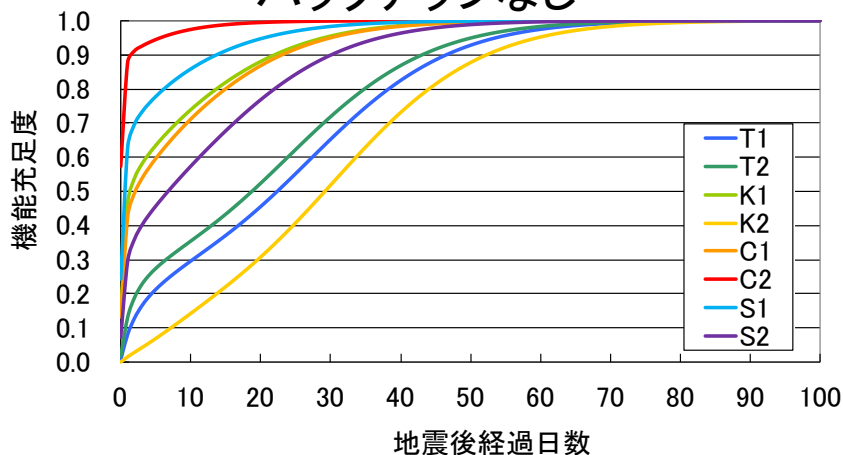
- 災害拠点病院はライフラインの優先復旧の対象と
され、東日本大震災でもその事例がある
- 地震時ライフライン機能被害予測モデルにおいて
上水道と都市ガスの**平均復旧時間を0.5倍**として適用

首都圏の8病院における地震時機能充足度の時間推移

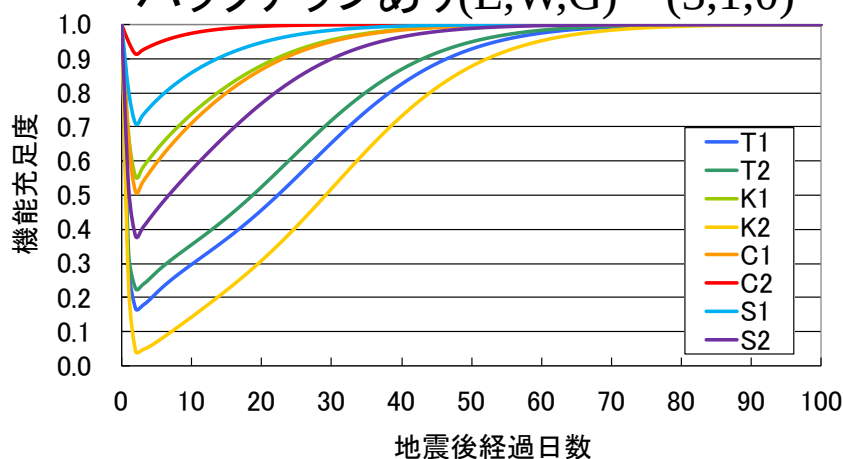
〈評価式〉 $\overline{R}_i(I,t) = \sum_{\delta_E, \delta_W, \delta_G} R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t) \cdot Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t)$

$\overline{R}_i(I,t)$: 震度 I ,地震後 t における機能充足度
 $R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t)$: 地震後 t における停止パターン別機能充足度
 $Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t)$: 震度 I ,地震後 t における停止パターン生起確率
 i : 活動項目

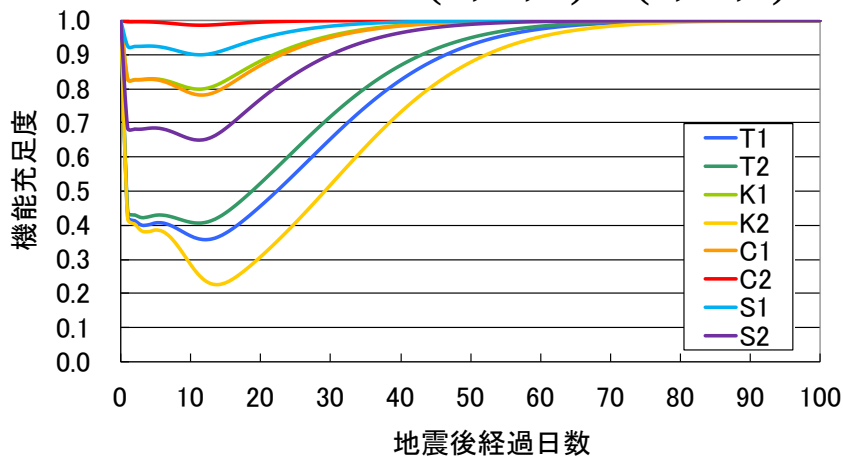
バックアップなし



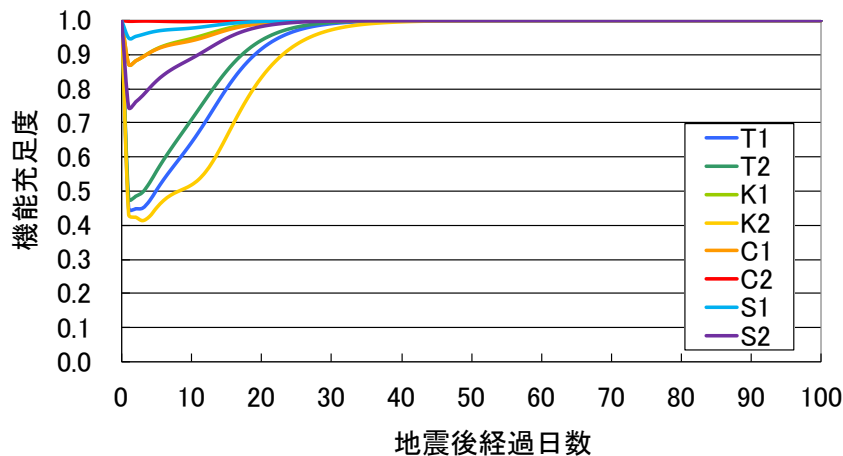
バックアップあり(E,W,G)=(3,1,0)



バックアップ増強(E,W,G)=(3,10,0)

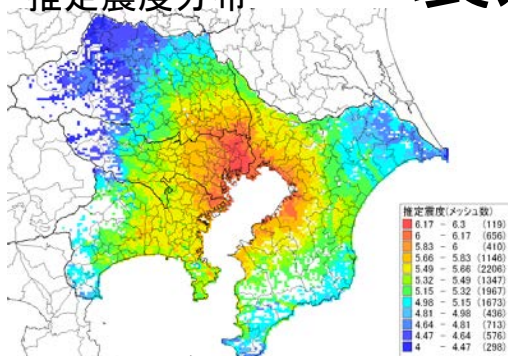


バックアップ増強＋優先復旧

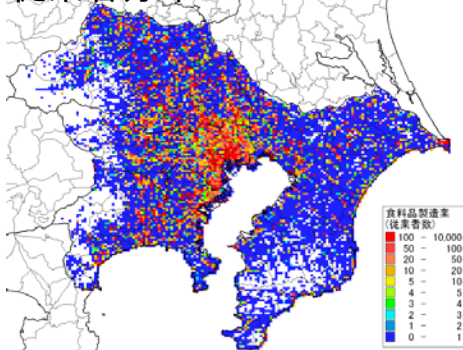


製造業を対象とした影響評価

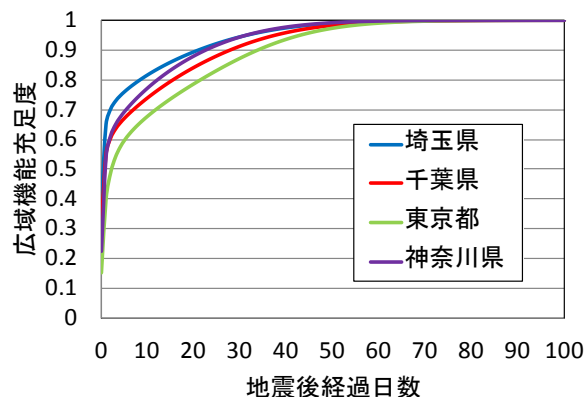
推定震度分布



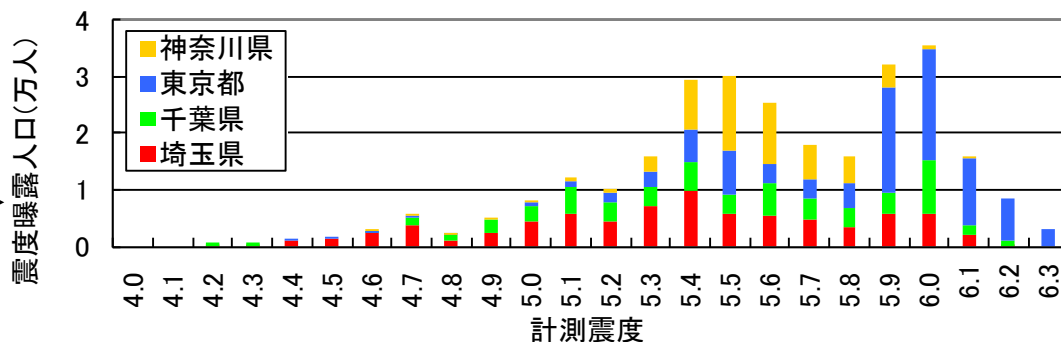
従業者分布



バックアップなし



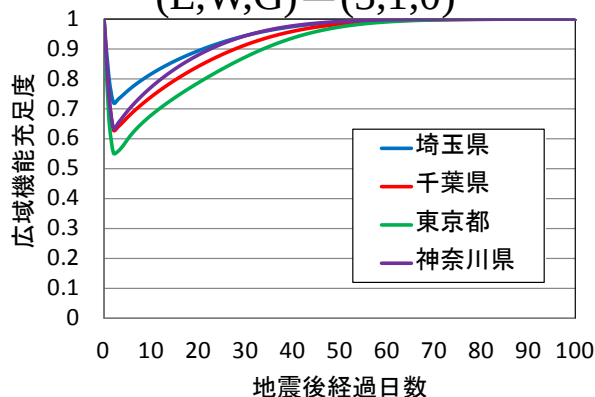
首都圏における従業者の震度曝露人口(食料品製造業)



広域機能充足度の推移 (食料品製造業)

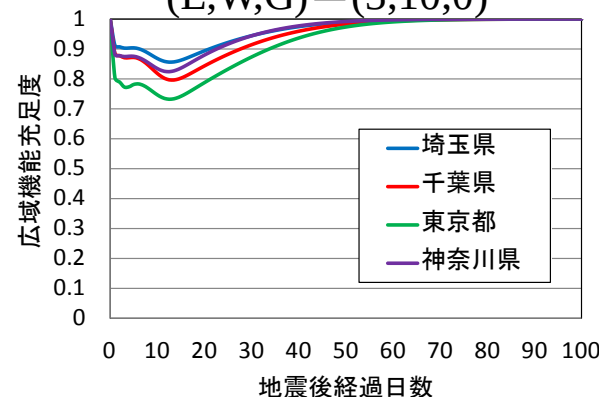
バックアップあり

(E,W,G)=(3,1,0)



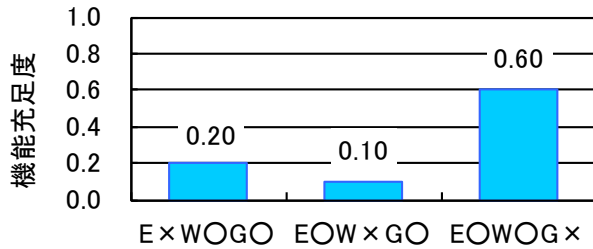
バックアップ増強

(E,W,G)=(3,10,0)

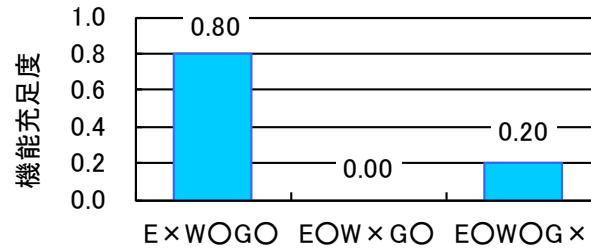


市民生活を対象とした影響評価

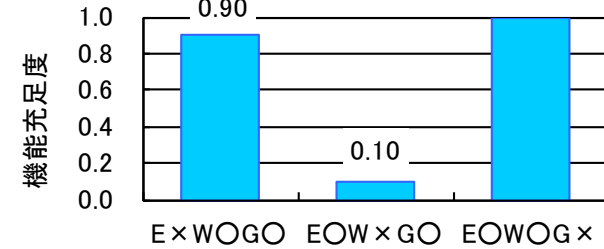
炊事



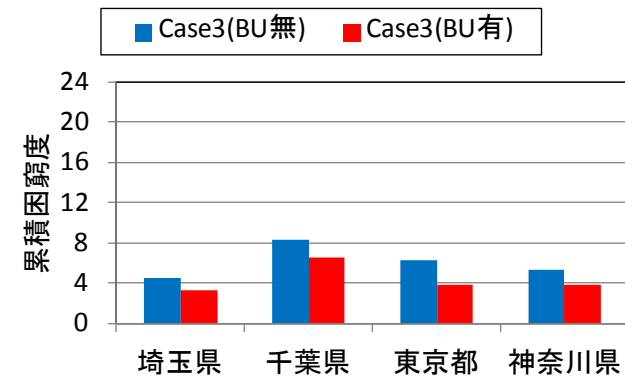
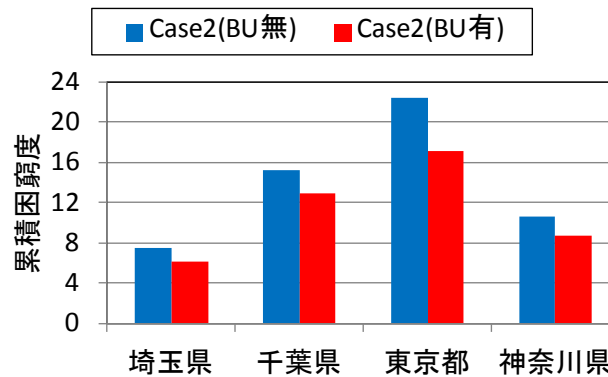
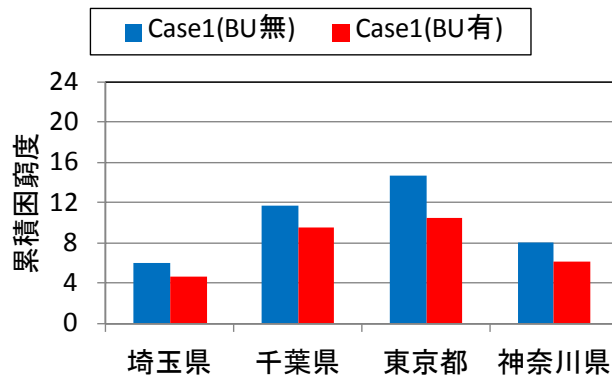
入浴



用便



備蓄品の利用や避難所生活によって、
地震後3日間を自助努力でしのぐ
→ (E,W,G)=(3,3,3)



地震後100日間での生活支障(機能充足度の低下度合い)の累積値

ま と め

■ 自律分散型拠点構築による地域防災力向上

- エネルギー・給水設備に関するアンケート調査を実施
- 非常時の施設機能維持の実態と課題を明確化
- 自律分散型拠点の方向性：
 - ✓ ライフライン途絶時にも機能を維持すべき重要施設に設備整備
 - ✓ 高密度エリアでは重要施設をコアに地域の機能維持を目指す

■ ライフラインの供給側とユーザー側の対策を考慮した広域機能充足度の評価

- 「地震時ライフライン機能被害予測モデル」のモデル検証
- ライフライン同時被災下における「広域機能充足度」評価
 - ✓ 供給側（バックアップ）とユーザー側（優先復旧）の考慮
 - ✓ 東京湾北部地震の被害予測への適用例

■ 今後の課題

- 各種の生活機能・社会経済活動の機能充足度の設定
- バックアップ保有の実態に基づいた影響評価と対策立案