分岐路線の地震時システムリスク解析

–首都圏西部都市内鉄道路線への適用–

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

災害軽減・吉川研究室

学生氏名　岩上隼人

指導教員　吉川弘道

はじめに

トンネル

盛土

駅舎

高架橋

●鉄道に代表される線状に広がる施設は重要な社会基盤を担う
●これらインフラ施設が地震で被災した場合、社会に与える損失大

はじめに

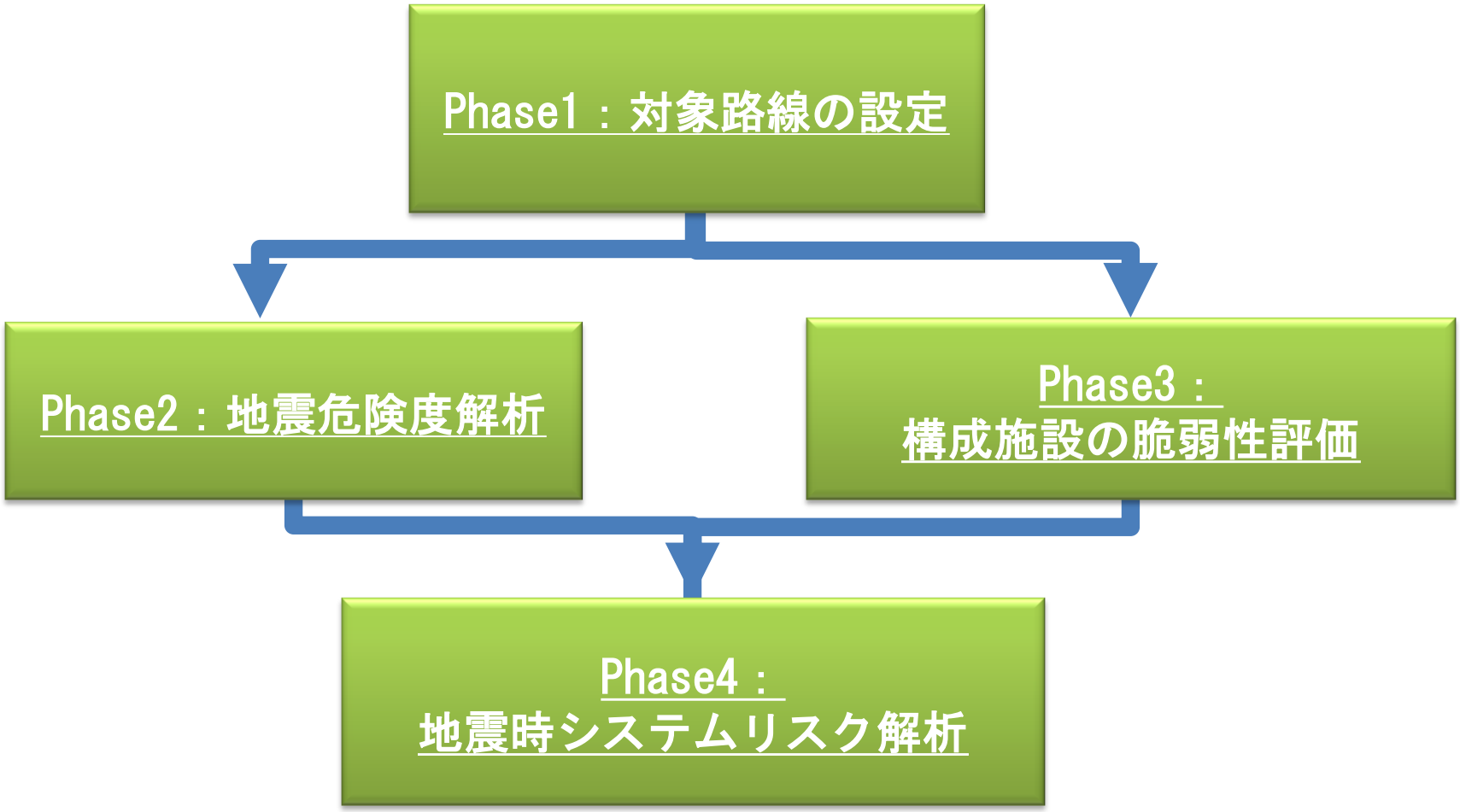
- 既往の研究

単体リスク 構造物単体・地震被害想定：多数

システムリスク 線状施設等で想定：今後課題

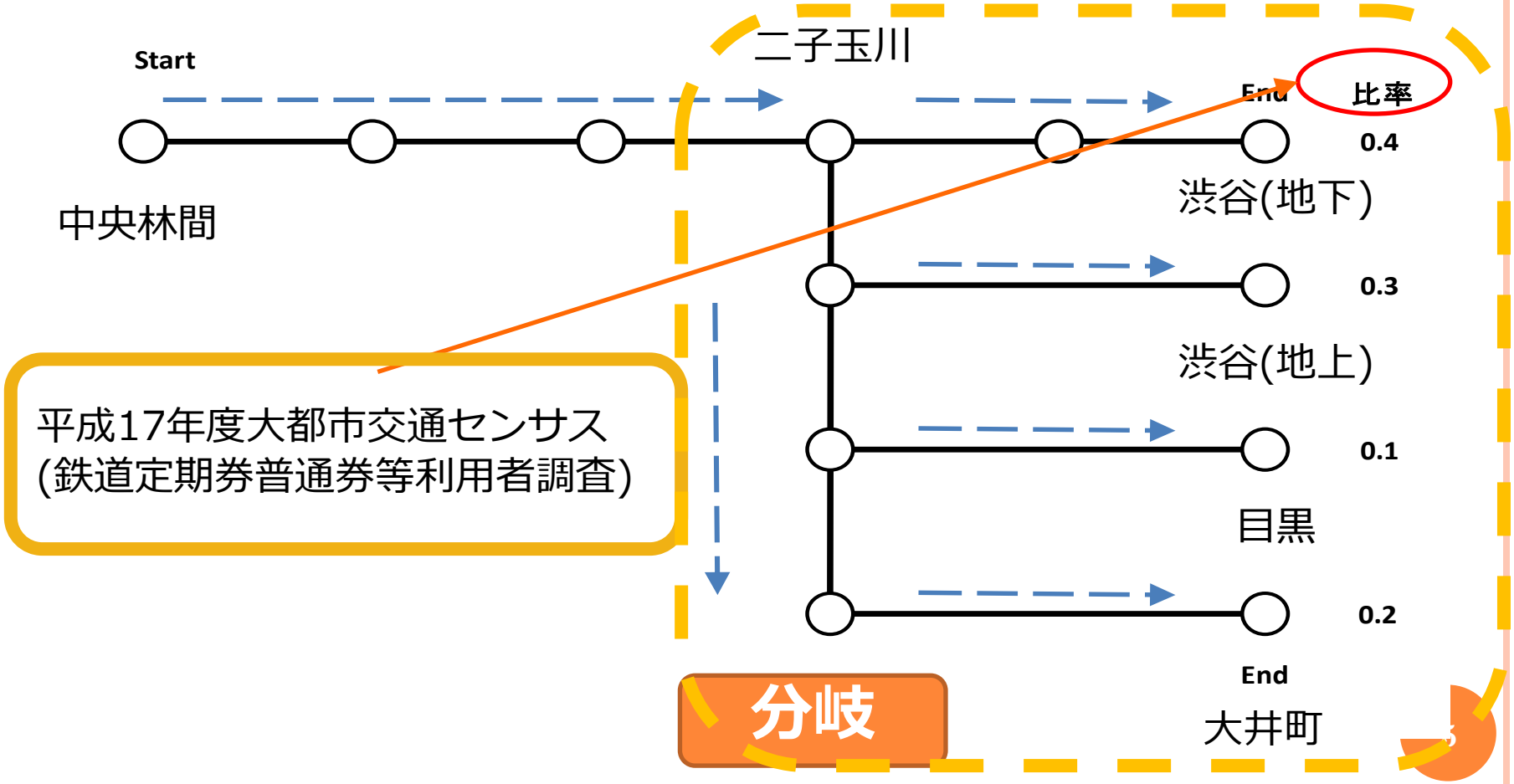
- 首都圏西部都市内鉄道路線をテーマにシステムリスク解析を行い、用いた評価手法を提案

1. はじめに：解析フロー


Phase1：対象路線の設定
Phase2：地震危険度解析
Phase3：
構成施設の脆弱性評価
Phase4：
地震時システムリスク解析

2. PHASE1 ： 対象路線の設定

- 首都圏西部路線（田園都市線、東横線、目黒線、大井町線）を採用
- 30km圏内の都市内の鉄道システム
- 99個のユニット(駅舎、土木構造物含め)をモデル化



3：PHASE2　地震危険度解析

対象路線付近にて発生する地震を調査

(1) 震源特性

既往の研究成果を活用.

震源モデル：J-SHISの全国地震動予測地図

(2) 伝搬経路特性

安中らの距離減衰式(1997)

(3) サイト地盤特性

全地点の微地形区分から加速度の地盤増幅率を設定.

微地形区分	地盤増幅率	地盤の堅さ
丘陵	1.1	堅固
扇状地	1.2	↑
ローム台地	1.3	↓
谷底低地	1.4	軟弱

マルチイベントモデル，地震危険度解析を実行.

3：PHASE2　地震危険度解析

No.	地震名	マグニチュード	年発生確率 ×10^3	累積確率	基盤面加速度(PBA: gal)		
					中央林間	渋谷(地下)	大井町
1	(139.67 , 35.50)	M6.5	0.10746	0.00011	287	292	292
2	(139.67 , 35.69)	M6.5	0.10722	0.00021	287	292	292
3	(139.87 , 35.89)	M6.5	0.19822	0.00041	116	296	296
4	(139.87 , 35.50)	M6.5	0.10746	0.00052	146	292	292
⋮		⋮				⋮	
11	関東平野北西縁断層帯主部	M8.0	0.00002	0.00233	204	249	224
⋮		⋮				⋮	
14	立川断層帯	M7.4	0.43031	0.00337	261	206	183
⋮		⋮				⋮	
98	玄倉 - 塩沢断層帯	M6.8	0.15150	0.10336	116	該当なし	該当なし
99	(139.08 , 35.69)	M6.0	0.30919	0.10364	126	該当なし	該当なし
100	鴨川低地断層帯	M7.2	0.10000	0.10373	67	58	67

- 対象地点付近で発生する可能性のある地震を出力
- 各駅の最大加速度に注目⇒
  震源位置、マグニチュード、観測地点により、結果にばらつき

4：PHASE3　構成施設の脆弱性評価

- 路線上の駅舎・土木構造物に
  フラジリティ曲線を設定.
- ユニット数: 99個
- 内訳
  駅舎:3種類(地上、高架、地下)55個
  土木構造物:4種類(高架橋、盛土、切土、トンネル) 44個

- 土木構造物は全存在施設のうち、
  計算容量の軽減のため約30%に設定

4：PHASE3　構成施設の脆弱性評価

- 駅舎間に高架橋、切土、盛土、トンネルを設置
- 参考文献・被害事例より耐力中央値(PGA)、復旧日数を勘案
- 地点により、地盤増幅率を反映(1.1~1.4)

	損傷形態	軽微	中破	大破
駅舎(地上)	耐力中央値	250gal	800gal	1500gal
	復旧期間	2日	20日	70日
駅舎(高架)	耐力中央値	200gal	700gal	1300gal
	復旧期間	2日	15日	60日
駅舎(地下)	耐力中央値	350gal	900gal	1600gal
	復旧期間	5日	30日	80日

無被害
4形態

	損傷形態	軽微	中破	大破
高架橋	耐力中央値	400gal	800gal	1600gal
	復旧期間	3日	30日	110日
盛土	耐力中央値	250gal	700gal	1900gal
	復旧期間	3日	15日	65日
切土	耐力中央値	500gal	1400gal	2000gal
	復旧期間	3日	15日	65日
トンネル	耐力中央値	700gal	800gal	1100gal
	復旧期間	4日	40日	150日

5：PHASE4
地震時システムリスク解析

地震イベントリスク曲線

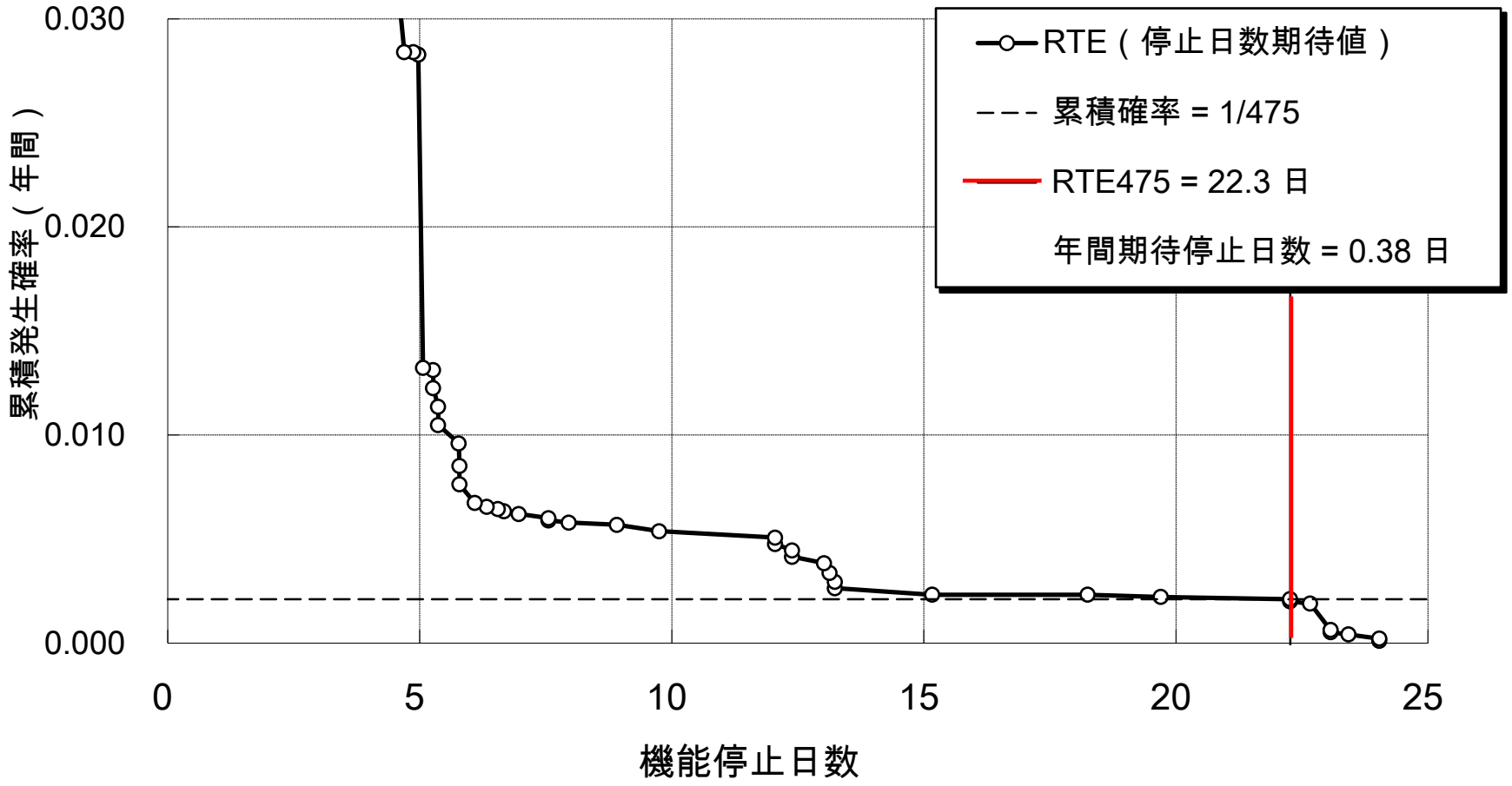
復旧曲線

ボトルネック指標

リスクの定量化

A) 地震イベントリスク曲線

地震イベントの発生頻度あるいは再現期間に対応する損失率の分布を表示



- システム全体に被害を及ぼす地震を年発生確率(累積)と復旧日数で表示
- 確率⇔損失を結びつけ、リスクの定量化を図る

A) 地震イベントリスク曲線

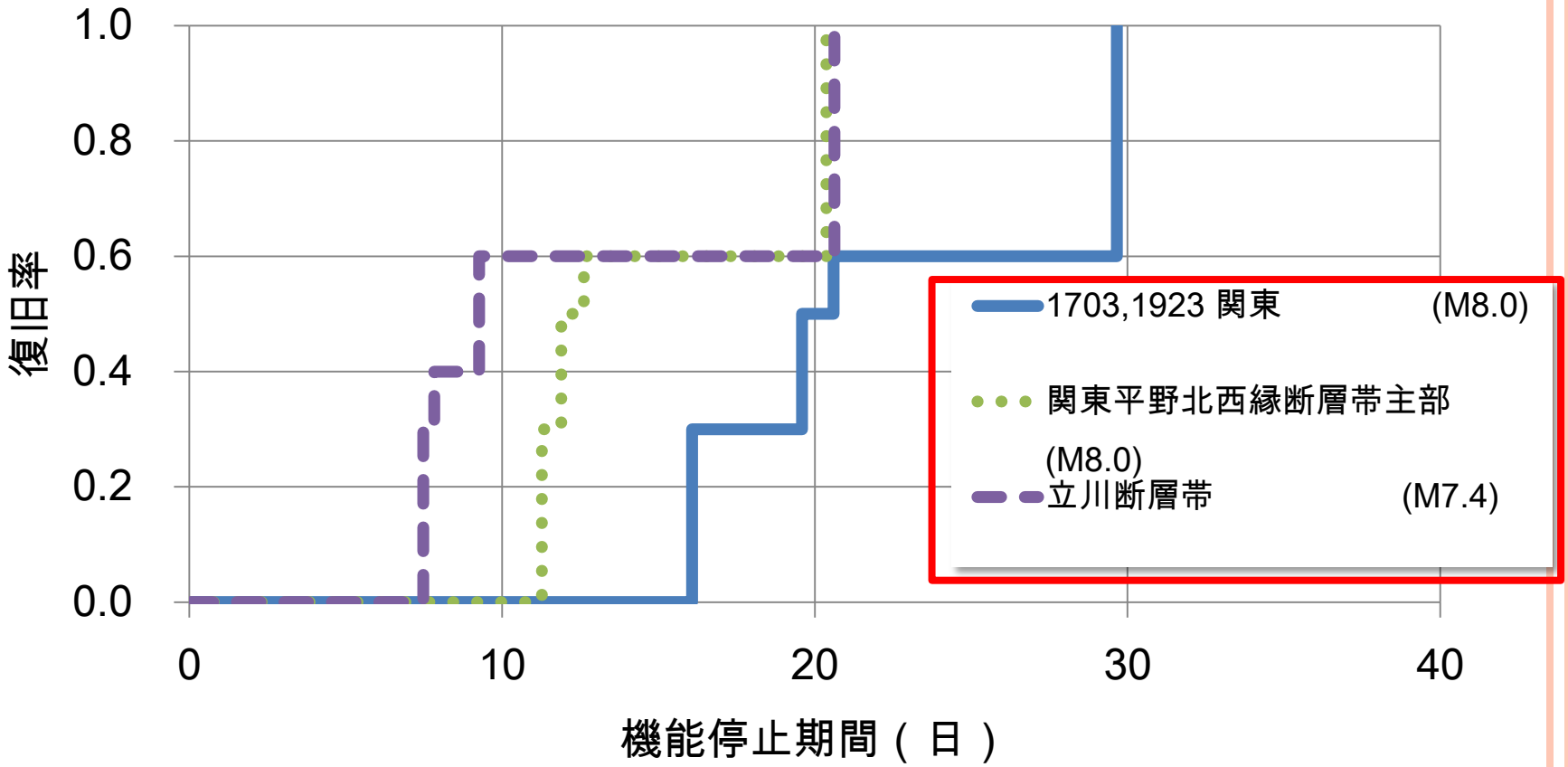
No.	地震名	マグニチュード	年発生確率 $\times 10^3$	累積確率	復旧期間(日)
1	(139.67 , 35.50)	M6.5	0.107	0.00011	24.0
2	(139.67 , 35.69)	M6.5	0.107	0.00021	24.0
3	(139.87 , 35.89)	M6.5	0.198	0.00041	23.4
4	(139.87 , 35.50)	M6.5	0.107	0.00052	23.1
5	(139.87 , 35.69)	M6.5	0.107	0.00063	23.1
6	1703,1923 関東	M8.0	1.271	0.00190	22.7
⋮		⋮			
11	関東平野北西縁断層帯主部	M8.0	0.000	0.00233	15.2
⋮		⋮			
14	立川断層帯	M7.4	0.430	0.00337	13.1
⋮		⋮			
98	玄倉 - 塩沢断層帯	M6.8	0.152	0.10336	0.4
99	(139.08 , 35.69)	M6.0	0.309	0.10364	0.4
100	鴨川低地断層帯	M7.2	0.100	0.10373	0.4

- 最大復旧期間：確率0.00011(0.011%)⇒24.0日の復旧期間
- 累積確率(年間)＝0.0019(0.19%)⇒関東地震(M8.0)で約23日

と読み取ることができる。

B) 復旧曲線

システムが被災した場合、どういうプロセスで回復するかを日数と復旧率で表示



- 3本ともグラフの立ち上がりの時期や復旧する程度が相違
- 注目した地震のマグニチュード・加速度、震源位置が全く異なる

c) ボトルネック指標

複雑なシステムにて、補強すべき最弱点を選定。

$$B_k = \sum_{all\ j} p_j \cdot t_j = p_1 \cdot t_1 + \cdots$$

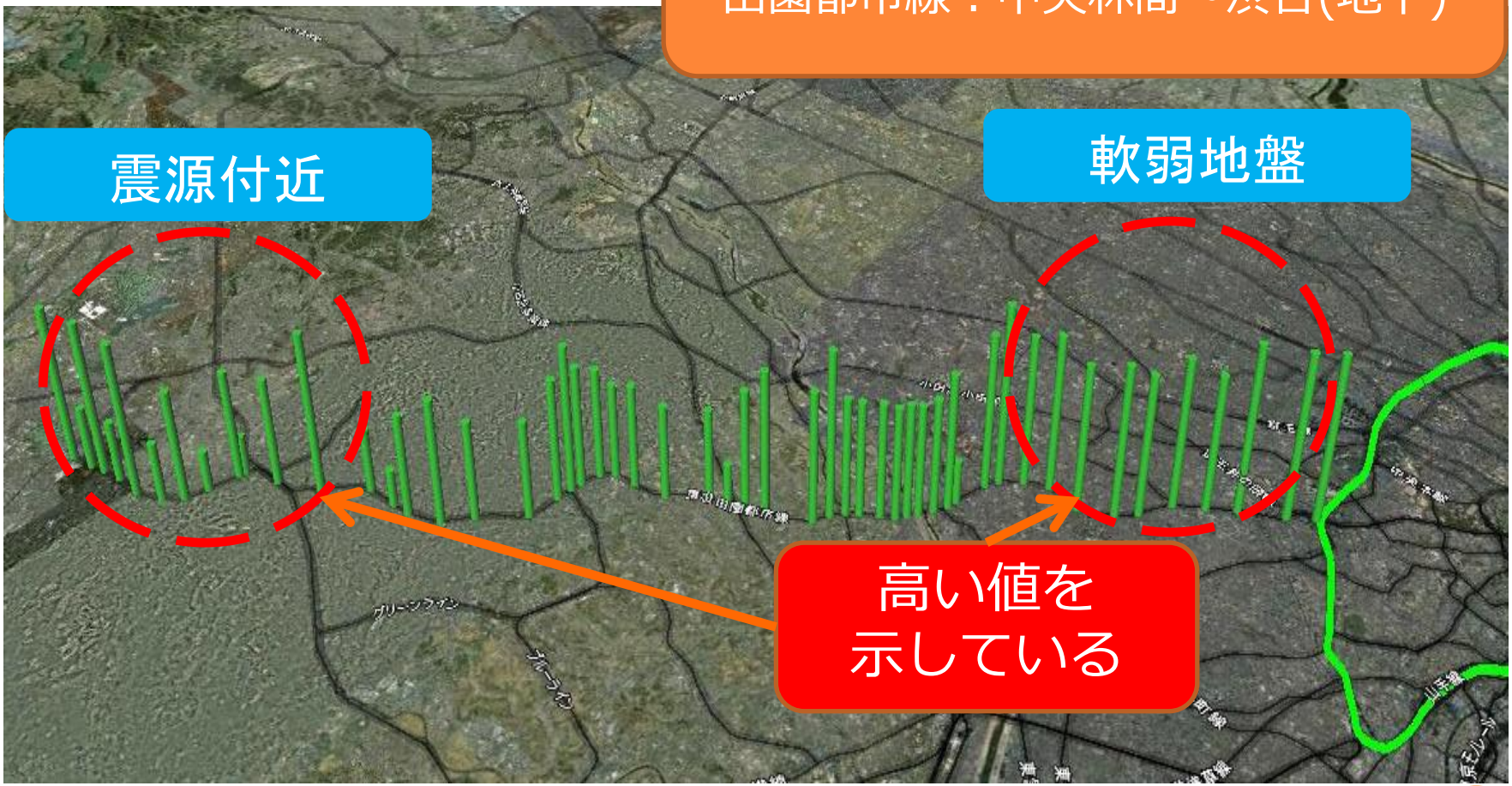
j：損傷形態
p：損傷確率/脆弱性
t：復旧日数/復旧難易度

	1703,1923 関東 (M8.0)		立川断層帯 (M7.4)		関東平野北西縁断層帯 主部 (M8.0)	
	UNIT	B.I.	UNIT	B.I.	UNIT	B.I.
1	用賀	13.0	用賀	10.1	池尻大橋	10.0
2	池尻大橋	12.2	あざみ野	9.3	渋谷(地下)	10.0
3	トンネル7	12.0	高架3	9.0	用賀	9.8
4	高架3	12.0	田奈	8.9	トンネル7	8.6
5	渋谷(地下)	12.0	高架2	8.2	三軒茶屋	8.6
⋮				⋮		
48	自由が丘	9.2	宮前平	5.6	高架8	6.1
49	高架10	9.1	藤が丘	5.6	溝の口	6.1
50	盛土1	9.0	高架5	5.6	荏原町	6.1
51	荏原町	8.9	洗足	5.6	代官山	6.0
52	高架15	8.8	つくし野	5.6	高架15	6.0
⋮				⋮		
97	切土5	2.8	切土4	1.8	切土7	1.1
98	切土14	2.7	切土13	1.4	切土5	1.0
99	切土7	2.6	切土14	1.3	切土4	0.9

●震源付近と地盤の弱い地点のユニットが上位に挙がっている
●定性的な要因がボトルネック指標において定量的に検証

D) ボトルネック指標のGOOGLE EARTH表示

関東地震(M8.0)
田園都市線：中央林間～渋谷(地下)



まとめ・1

- 中央林間から都心部を結ぶ首都圏西部都市内鉄道路線（総延長：52km）を設定し，地震時システムリスク解析を行った.
- 路線内にある駅舎，土木構造物を99個配置した.
  分岐部路線には利用者数に応じて評価に重みをつけた.
- 震源モデルはJ-SHISの全国地震動予測地図，
  距離減衰式は安中ら(1997)を使用した．地震危険度解析にはマルチイベントモデルを採用した.
- 被災対象の構造物に対しては，駅舎が3種類，
  土木構造物が4種類としフラジリティ曲線を設定した.

まとめ・２

- 以上のような解析条件のもと，地震時システムリスク解析を実行し，次の結果が得られた.
  - 設定したシステムでM8.0クラスの関東地震が発生した場合は約23日かかる.
  - 各地震の復旧プロセスは震源の違いにより，結果にばらつきが生じた.
  - 設定したシステムですべてのユニットのボトルネック指標を算出した．震源付近と地盤の弱いユニットが高い値を示した.

参考文献

1. 吉川ら：線状施設の震災後機能停止期間に関するシステムリスク解析，2010.6
2. 国土交通省：平成17年度大都市交通センサス（鉄道定期券・普通券等利用調査）
3. 独立行政法人防災科学技術研究所：J-SHIS(Japan Seismic HazardInformation Station)，http://www.j-shis.bosai.go.jp/
4. 佐々木ら：地震被害に基づくトンネル・土構造物の損傷度曲線に関する研究，地域安全学会梗概集，pp17-20，2000.11
5. 中村孝明，宇賀田健：地震リスクマネジメント，技報堂出版，2009.1，pp.151-180
6. Federal Emergency Management Agency：HAZUS-MH MR3，7.24-7.47
7. 鹿島建設株式会社：耐震診断・地震の大きさ/地震の強さ，http://www.kajima.co.jp/tech/seismic/higai/030602.html