

東日本大震災の経験と 今後の災害関連研究の方向

2011. 8. 27
逢人会@大阪

東北大学 奥村 誠

東北アジア研究センター

工学研究科土木工学専攻

防災研究拠点メンバー

目次

- 災害関連研究の経緯(奥村の研究経緯)
- 東日本大震災：地震動と津波について
- 東日本大震災：交通ネットワークの被害
- 東日本大震災：交通ネットワークの復旧
- 災害リスクマネジメント論
- 復興に向けての悩み
- 今後研究したいこと

2006年までの研究@広島大学

- 震災時の飲料水・生活用水の確保
 - 井戸の緊急水質調査体制の検討
- 震災時の情報伝達ニーズの研究(都市型)
 - PT調査データに基づく情報伝達需要推定
 - 電話回線網の供給能力との対比
 - 携帯電話の普及で状況が大きく変化した
- 災害リスクの認識と人間行動の研究
 - 土砂災害: 避難勧告情報への信頼と避難行動(広島)
 - SPアンケート調査とマイクロ行動モデル
 - 水害: ハザードマップ, 過去の水害経験が, 地価および土地利用に及ぼす影響(奈良・大和川流域)
 - 詳細GIS情報を活用した土地利用モデル

東北アジア研究センター(2006~)

東北アジアと災害

豊かな自然の中で、人々が生活

資源の豊かさ(漁業資源, 鉱物資源, 温泉)

環境の厳しさ

冬季の寒冷環境(生命に関わるような危険)

火山, 地震, 津波, 台風などの風水害

組織的な自然への対応が不可欠

社会の在り方, 仕組みに大きな影響を与えている

興味・関心

「地方圏・東北アジア型」災害対応

- 阪神淡路は、**東南アジア型**の災害
 - － 高密度居住地であることが社会の混乱を招く
 - － 人間よりも**資源(医療、物資)**が足りない
 - － 長期的には、**外力への防波堤**を作りうる(ハード防災)
- 岩手宮城内陸地震などは**東北アジア型**災害
 - － 低密度地域のため人海戦術が利かない
 - － 生業が自然災害リスクと不分離
 - － 「防波堤」を作り安全を確保することは困難

 - － 災害リスクと付き合い「いなす」「かわす」

東北アジア研究センターでの 災害関連研究

- **レナ川洪水研究 (高倉プロジェクト)**
 - 古代エジプトと同様に洪水が恵みももたらす
 - 地球温暖化でこれまでの対応に限界が出るか？
- **震災重傷者搬送と医療施設・道路の耐震化**
 - 病院と道路の耐震化を連携させる必要性
 - 複数地震リスクに対するminmax問題
 - 高速道路点検体制の評価
 - 医療チームの派遣の考慮

地震動と津波について

地震動の特徴

- 震源域が広い(特に3つの大きな断層破壊)

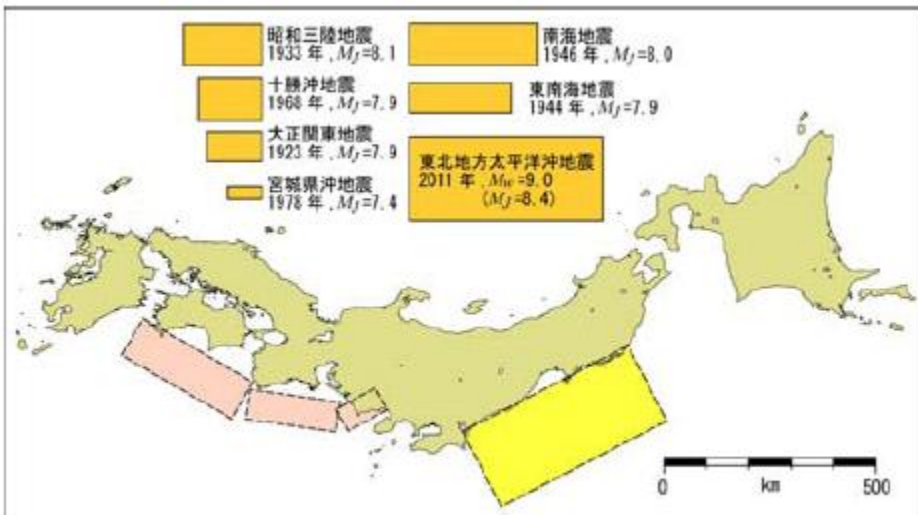
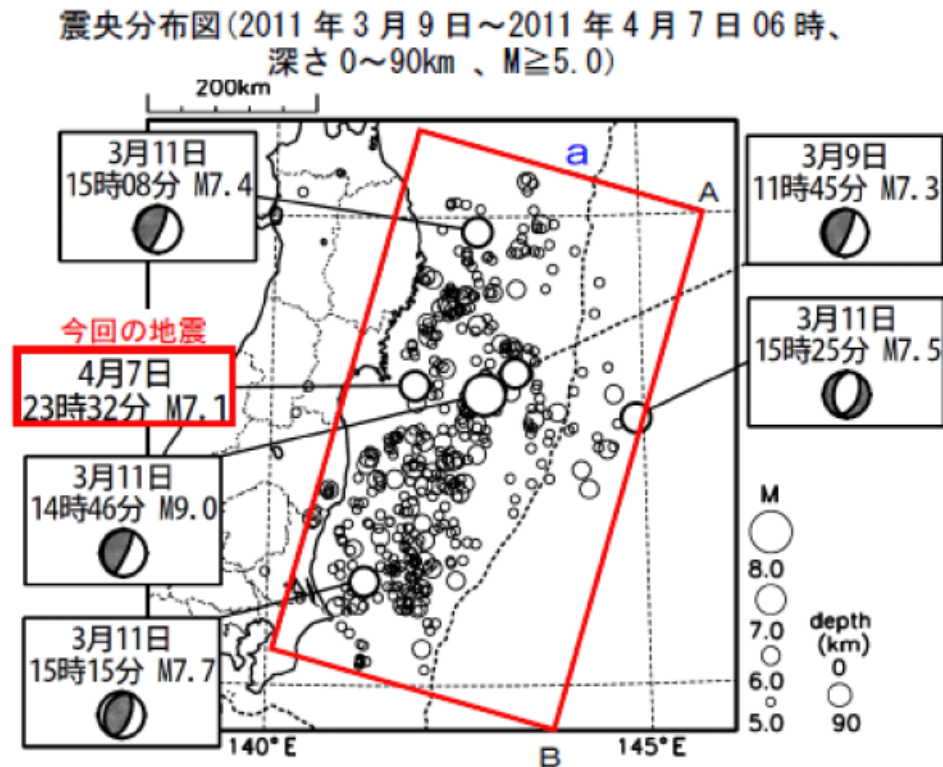


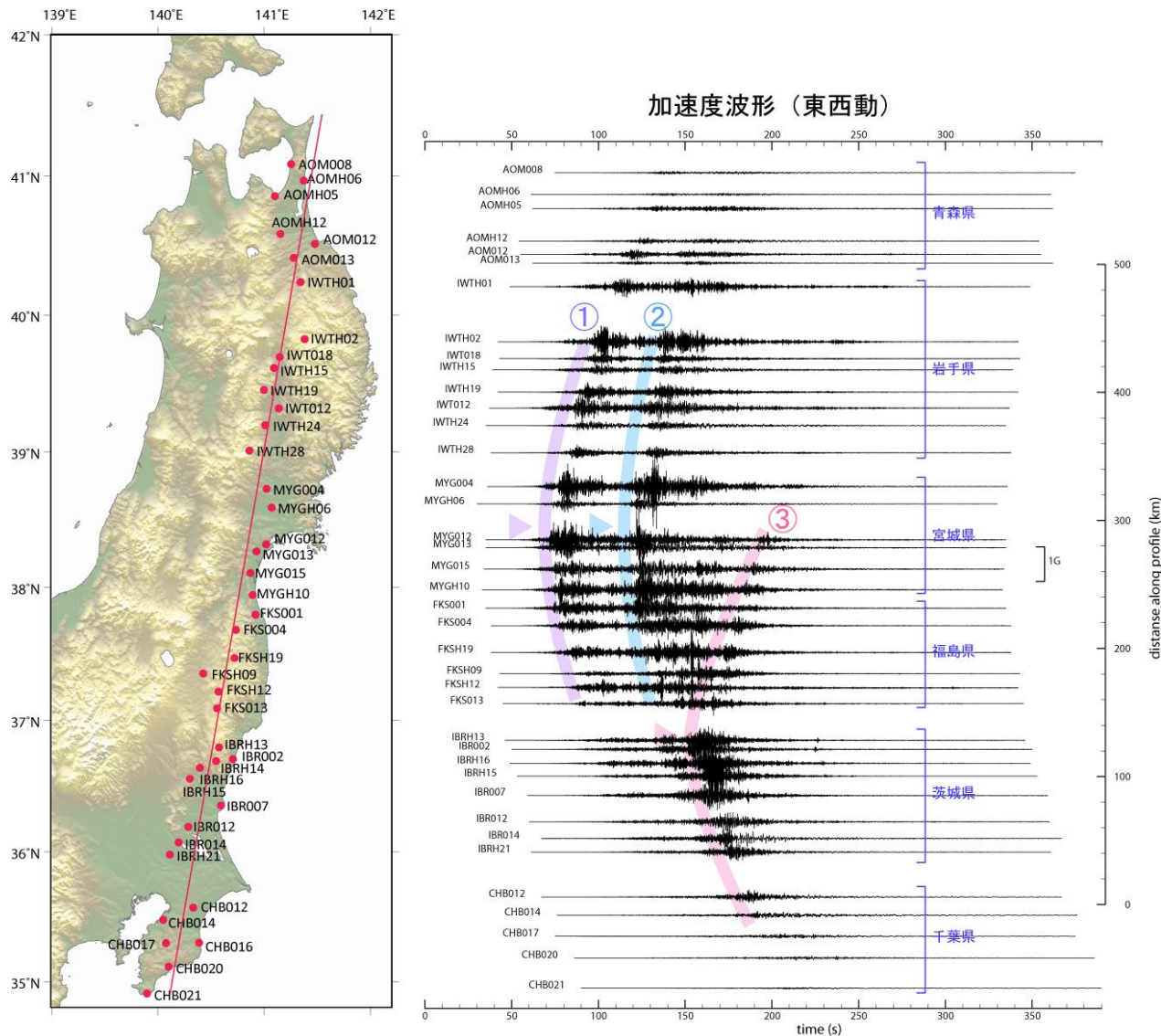
図 1.3 震源域の大きさの比較

清水建設技術研究所資料



(株)エイト日本技術開発資料

仙台と福島の違い



仙台:3波が連続→継続時間, 福島・茨城:2波が重なる→強い震動

地震動の 継続時間が 長い(仙台)

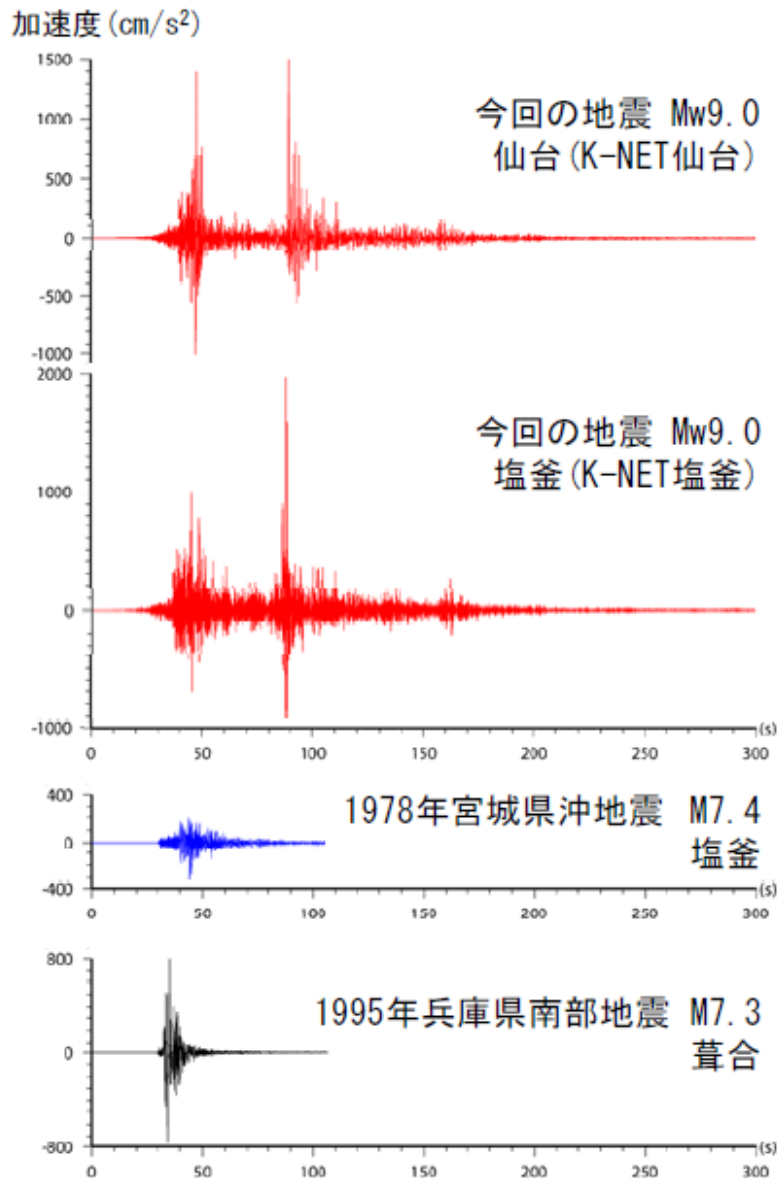


図 1.13 K-NET 塩釜、K-NET 仙台の加速度波形と過去の地震の加速度波形との比較

仙台市街地における地震被害

- 多くの建物（直方体に近い形のビル）に被害は少ない
- 異なる形の複合したビルに被害（東北大学）
 - 異なる固有周期をもつ構造接合部のせん断破壊
- 古い一般木造住宅の瓦屋根被害
- 郊外造成地の地盤被害

かつてない規模の津波高



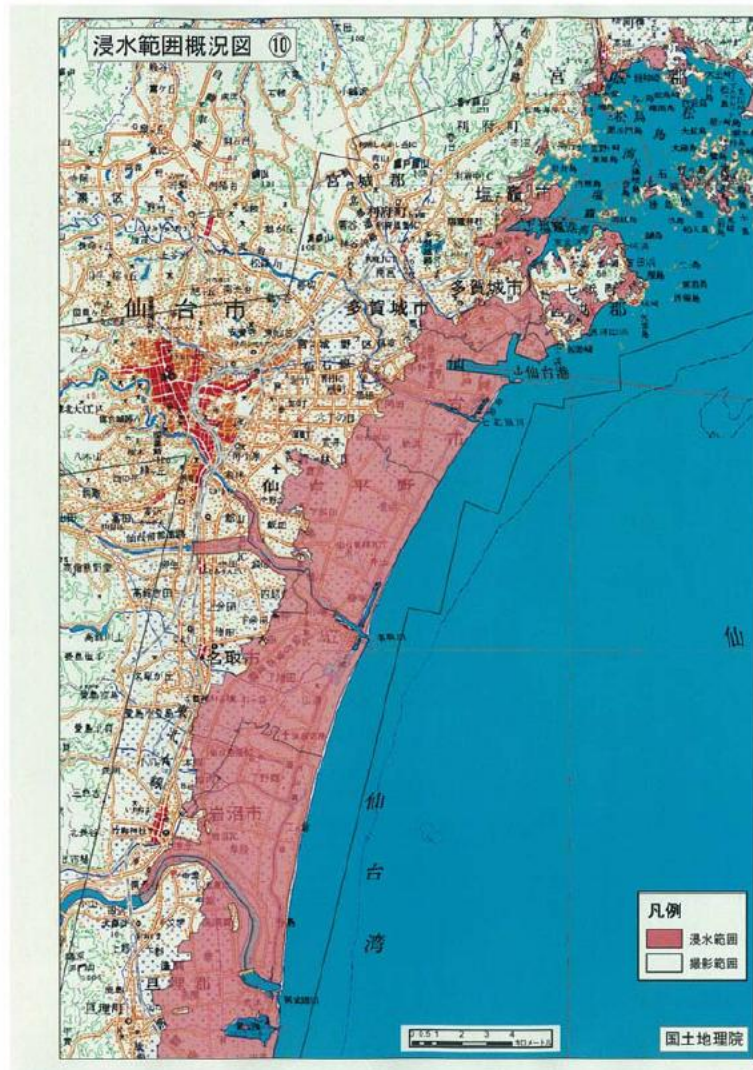
図 2.4 東北地方太平洋側の過去の津波の規模⁽²⁻⁸⁾, ⁽²⁻⁹⁾, ⁽²⁻¹⁰⁾ (Google Map に加筆)

(貞観の津波波高は菅原らの再現計算⁽²⁻⁸⁾による推定値のうち、最大のもの)

広域的な津波の浸水

表 2.3 東北地方の県別浸水面積⁽²⁻⁷⁾ (速報値のため、今後値が訂正される場合がある)

県	青森県	岩手県	宮城県	福島県	合計
浸水面積[km ²]	2	49	284	67	401



東北大学の人的被害

● 学生のけが、住居等の被災状況(2011.5.13現在)

区分	けが等の状況				住居の被災状況			授業開始後の住居			
	無傷	軽症	重傷	死亡	全壊	一部損壊	被災なし	震災前と同じ	実家、親戚、知人宅等	避難所	転居先
日本人	12,321	12	1	1	26	540	10,345	10,633	95	0	249
留学生	971	1	0	0	3	71	729	743	24	0	39
計	13,292	13	1	1	29	611	11,704	11,376	119	0	288

※ 本表には、平成22年度卒業・修了者及び平成23年度入学者は含まれていません。

● 震災により登校できない学生の状況(2011.5.10現在)

登校できない者 (右欄を除く)	休学及び 休学予定の者	他の大学院での 研究継続者	計
20	47	10	77

けが0.1%, 住居被害4%

不幸中の幸いであるが、地元社会といかに密着していないかを表す数字か？

交通ネットワークの被害

交通ネットワークの被害の特徴

- 長大構造物の損壊(長時間の震動)
 - 異なる固有周期をもつ構造の接合部のせん断破壊
(鉄道高架橋の橋脚、鉄道架線柱の倒壊)
 - 盛土の崩壊、液状化
- 津波による海岸部の激烈な被害
 - 河口部橋梁の損壊、流失
 - 鉄道盛土部の流失
 - 軌道、駅施設、車両の流失
 - 港湾機能の壊滅、浮遊がれき等による障害
- 多数の孤立都市の発生
 - 陸海空の交通途絶
 - 石油の輸送障害、不足→被災地の諸活動の制約

津波を受けた7線区の主な被害と点検状況(4月4日現在)

2011年4月5日
東日本旅客鉄道株式会社



A【横けた流失】 (八戸線 宿戸～陸中八木)
B【線路流失】 (八戸線 宿戸～陸中八木)



C【線路流失】 (山田線 磯崎～津軽石)
D【横けた流失】 (山田線 陸中山田～磯佐)



E【線路流失】 (大船渡線 細清橋内)
F【線路流失】 (大船渡線 陸前失作～竹駒)



G【線路流失】 (気仙沼線 大谷海岸橋内)
H【横けた流失】 (気仙沼線 陸前小泉～本吉)
I【線路流失】 (石巻線 女川橋内)



J【道床流失】 (仙石線 野森橋内)
K【横けた流失】 (常磐線 新地～坂元)
L【線路流失】 (常磐線 新地橋内)



■ 点検状況 (今後点検の進捗等により箇所数は増加します。)

線名	区間	延長	駅舎			線路		合計	
			点検率	点検駅数	流失駅数	その他被害駅数	点検率		被害箇所数
八戸線	陸上～久慈	約37km	100%	12駅	0駅	2駅	100%	約20箇所	約20箇所
山田線	青古～釜石	約58km	100%	13駅	4駅	4駅	約95%	約70箇所	約80箇所
大船渡線	気仙沼～盛	約44km	100%	12駅	6駅	1駅	約95%	約60箇所	約70箇所
気仙沼線	新谷地 [※] ～気仙沼 [※]	約73km	100%	21駅	9駅	3駅	約85%	約240箇所	約250箇所
石巻線	新谷地～女川	約32km	100%	11駅	1駅	3駅	約95%	約70箇所	約70箇所
仙石線	東塩釜～石巻 [※]	約34km	100%	16駅	0駅	8駅	約95%	約380箇所	約390箇所
常磐線	いわき～互賀 [※]	約56km	100%	13駅	3駅	4駅	約85%	約790箇所	約800箇所
合計		約325km	100%	98駅	23駅	25駅	約90%	約1630箇所	約1680箇所

※駅構内を含んでおりません。
※気仙沼線一帯の半径30km以内(四ツ堂～釜石間・駅舎13駅(釜石駅を除く)、線路約78km)は点検を見合わせています。
※※990駅のほかに、点検を見合わせている駅は13駅です。
13駅:久ノ浜、米浜、山野、木戸、釜田、夜ノ森、大野、双葉、浪江、楢内、小浜、磐城太田、原ノ町

■ これまで確認した主な被害 (今後点検の進捗等により箇所数は増加します。)

主な被害	被害箇所数
津波による駅舎流失	23駅
津波による線路流失・埋没	65箇所(延長約80km)
津波による横けた流失・埋没	101箇所
軌道変位	約210箇所
電化柱の折損・傾斜・ひび割れ	約950箇所
道床砕石流出	約80箇所
乗降場支柱	約40箇所
盛土・切取等土工設備の支柱	約50箇所
信号・通信設備の故障	約80区間
横りょう・高架橋の損傷	約30箇所
駅舎の損傷	25駅
変電設備の故障	4箇所
乗換ご縁等停車場設備の損傷	約15箇所
落石	1箇所
架線の断線	約10箇所
合計	約1680箇所

国道45号 被災状況写真

※主な被災箇所



▲17南三陸町志津川宇蛇王地内



▲18南三陸町歌津宇町向地内

国道45号 被災状況写真

※主な被災箇所



▲22気仙沼市本吉町下宿地内(外尾川橋・小泉大橋)



▲19南三陸町歌津宇伊里前地内(歌津大橋)



▲23気仙沼市本吉町大沢地内



▲24気仙沼市本吉町赤牛地内



▲20気仙沼市本吉町蔵内地内



▲21気仙沼市本吉町二十一浜地内



▲25気仙沼市最知宇北最知地内



▲26気仙沼市唐桑町竹の穂地内

被害：港湾の液状化(仙台港)



交通機能の停止と孤立

- 海岸線沿いの津波被災地
 - 鉄道の寸断
 - 道路の寸断
 - 港湾の機能停止 (がれき)
 - へり離着陸適地の喪失
- 長期にわたる孤立



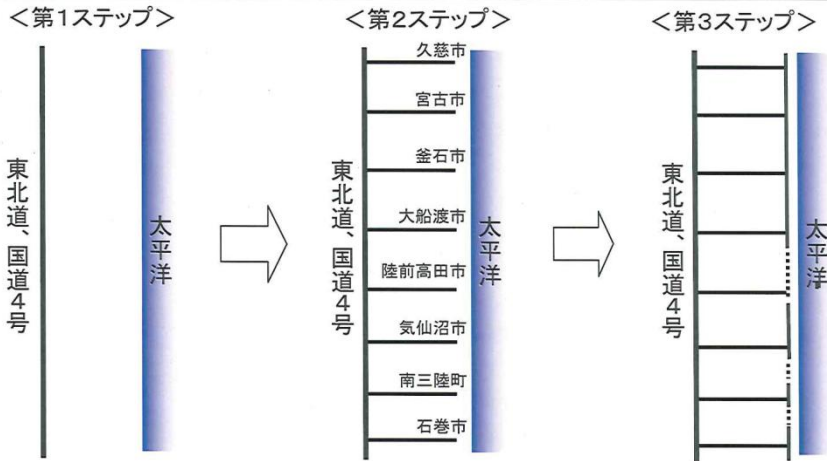
交通ネットワークの復旧

ネットワーク復旧過程の特徴

- 復旧過程の制約
 - 比較的早い幹線道路の啓開(くしの歯作戦)
 - 津波がれき
 - 石油の輸送障害、不足
 - トラック、中古車の不足
 - 鉄道電化柱、架線の修繕チームの不足
 - 東京駅の新幹線分断問題
- 余震による復旧の後戻り(足踏み)

復旧：道路 (国道)

- 道路の早期啓開
「くしの歯作戦」
- 応急組立て橋梁
- 跨線橋→盛土



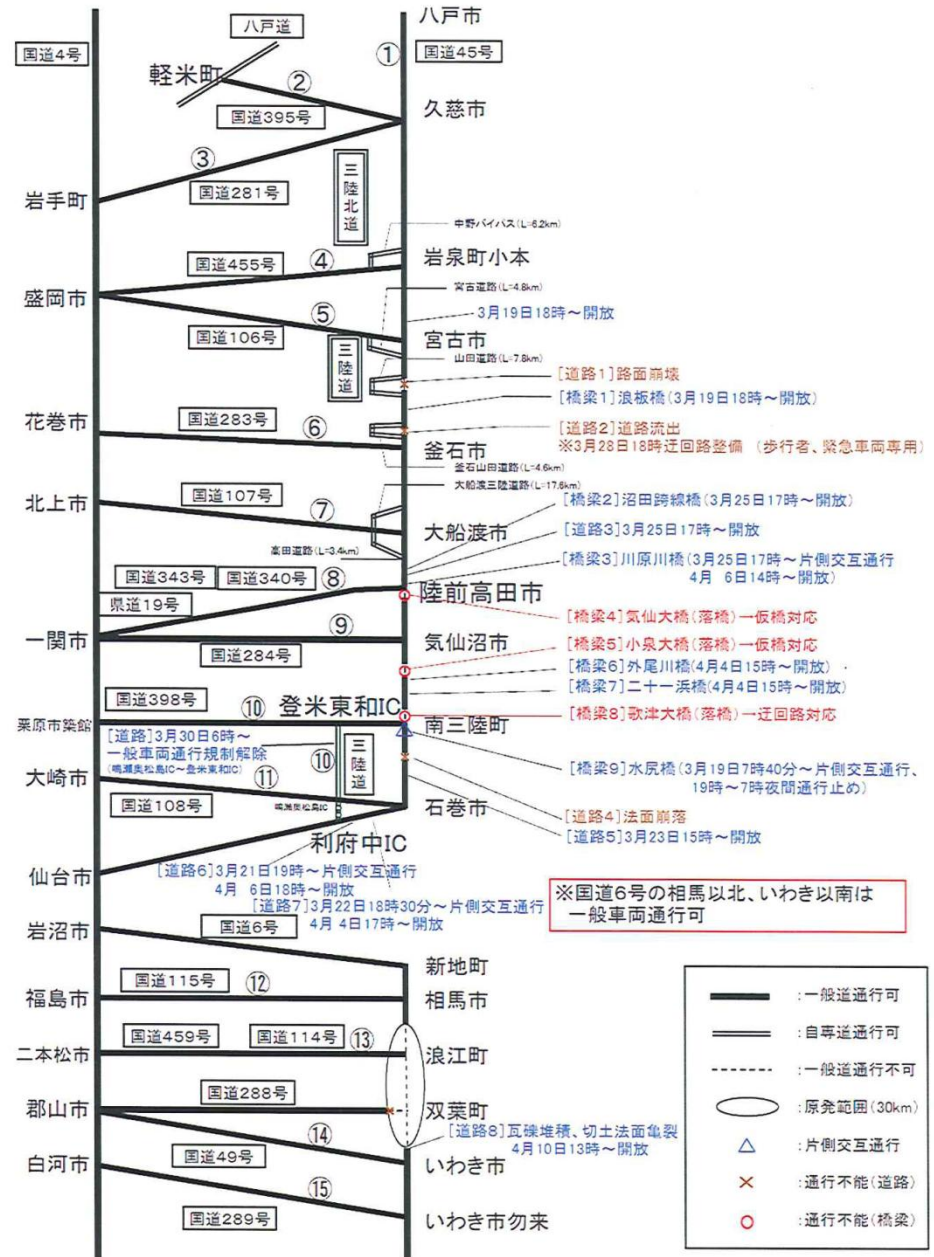
国土交通省東北地方整備局HP

国道4号から各路線経由で国道45号及び国道6号までの復旧状況

参考資料2

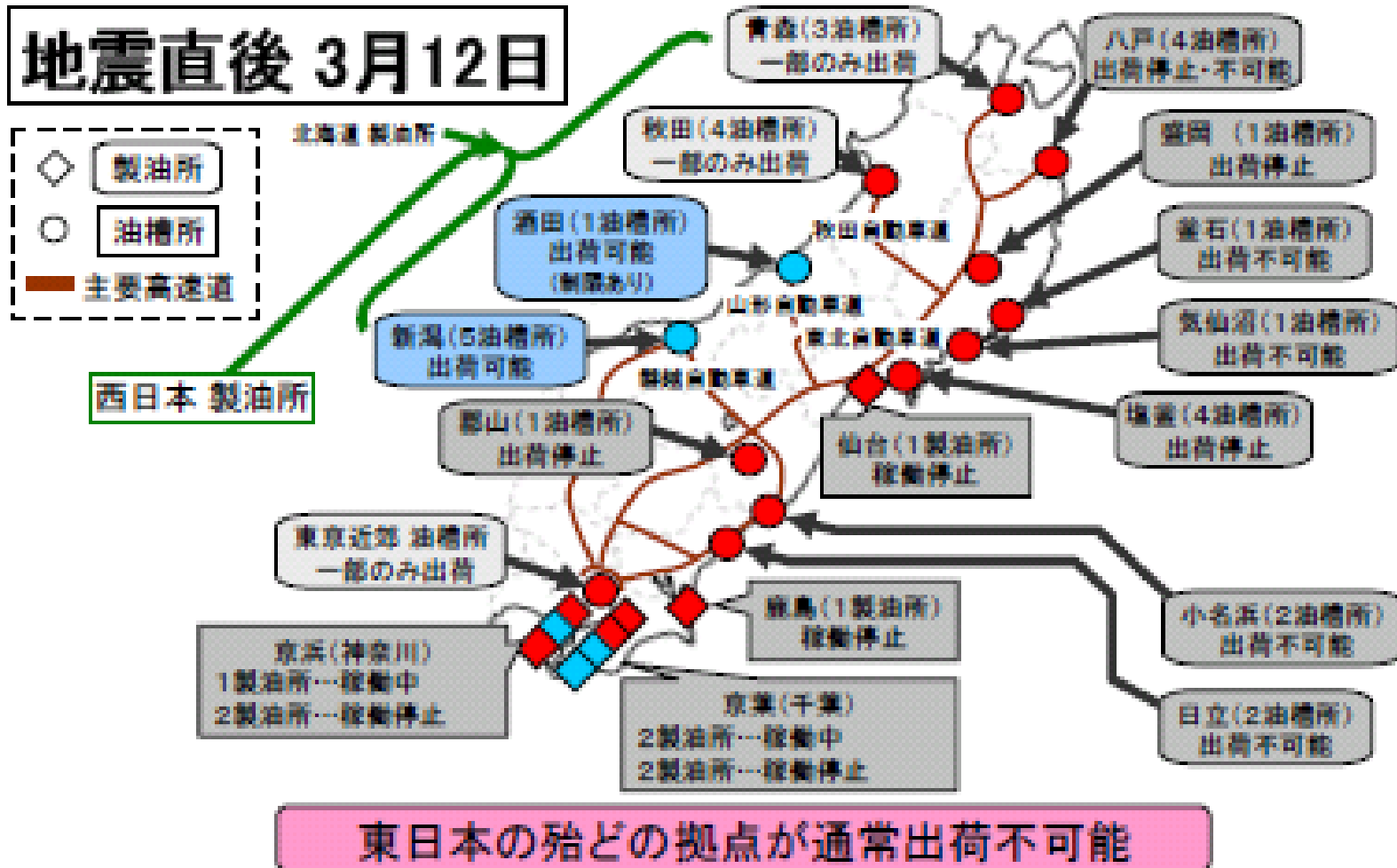
4月10日(日)13:00現在

※国道45号は、被災者捜索活動及び救援活動、復旧活動中のため、緊急車両優先にご協力ください。



燃料の不足と緊急輸送

製油所と陸上出荷設備（油槽所）の稼働状況



緊急対応 物資輸送

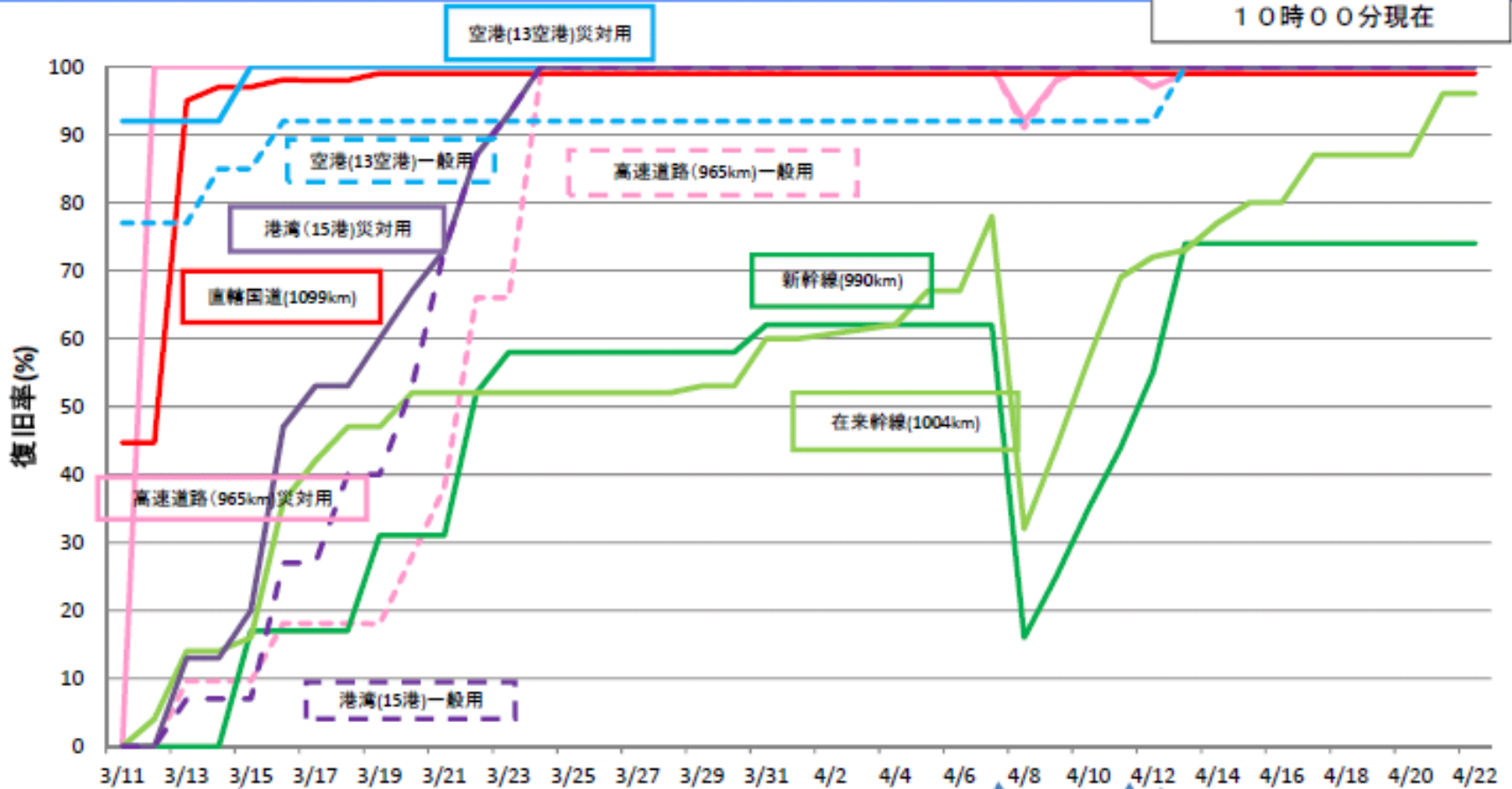
つながっている在来
線鉄道を活用した、
盛岡への石油輸送

国土交通省HP



交通関係の復旧状況の推移

国土交通省
平成23年4月22日
10時00分現在



3/12 長野県北部 6強 M6.7
3/15 静岡県東部 6強 M6.4

4/7 宮城県沖 6強 M7.1
4/11 福島県浜通り 6弱 M7.0
4/12 福島県浜通り 6弱 M6.3

余震による手戻りが
起こっている

(道路局、鉄道局、航空局、港湾局資料により 河川局防災課・国土地理院 作成)

国土交通省HP

Google Crisis Response 自動車・通行実績情報マップ

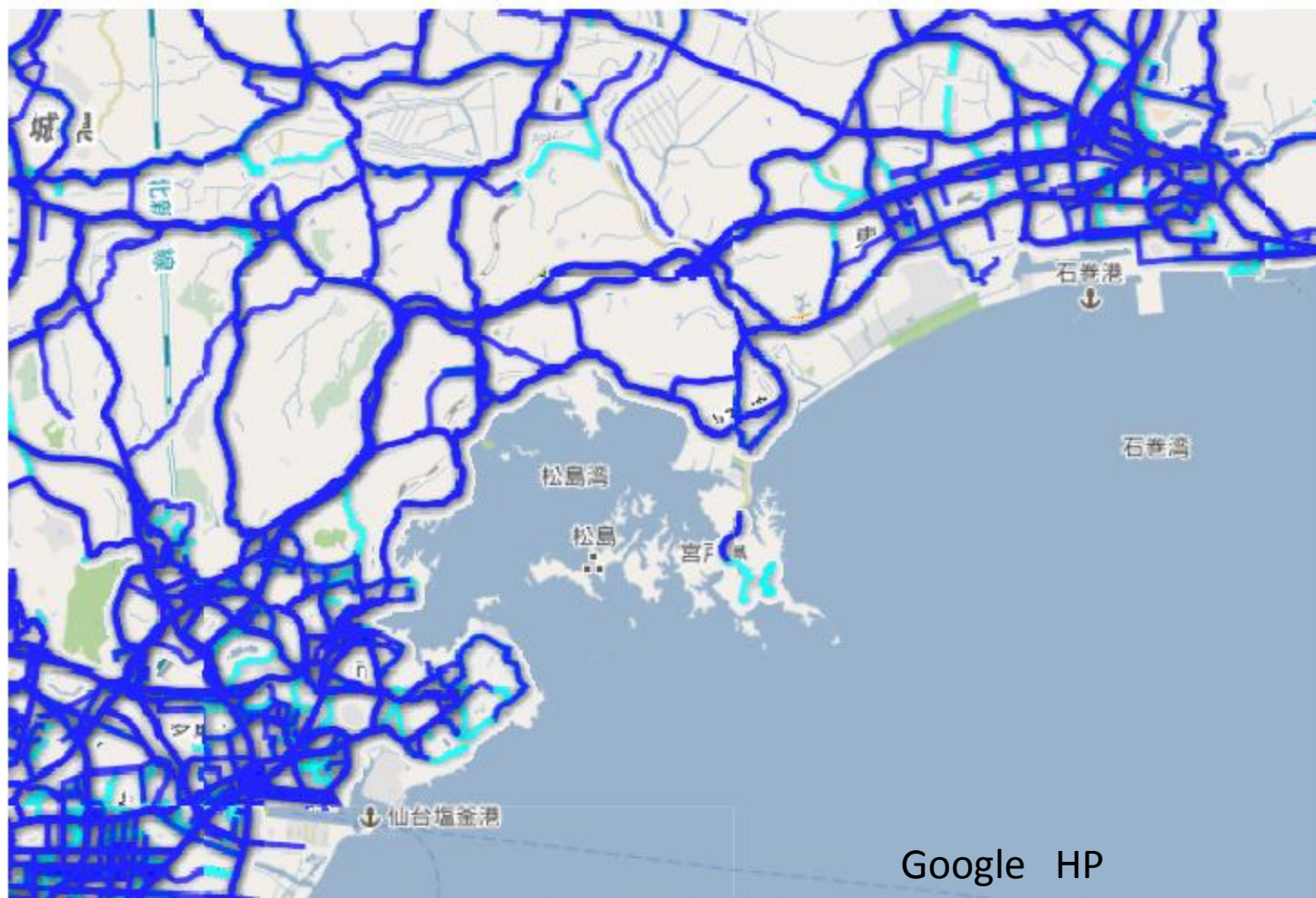
a google.org project

[東日本大震災](#)、自動車・通行実績情報マップ

下記マップ中に青色で表示されている道路は、前日の0時～24時の間に通行実績のあった道路を、24時の間に通行実績のあった道路を示しています。(最終更新日時: 2011/04/10 09:44 JST)

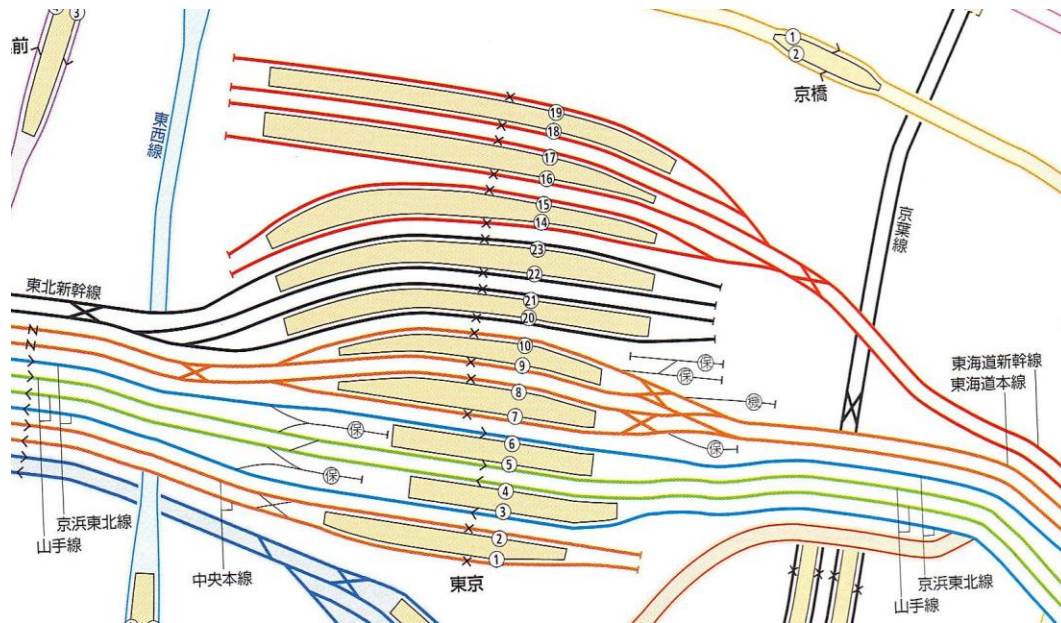
住所を入力して検索:

検索



新幹線東京駅の分断問題

- 電化柱や架線の作業車などを東海道から東北に送り込めなかった！
- 新幹線東京駅は,当初線路をつなぐ計画
- JR分社化により接続計画は中断



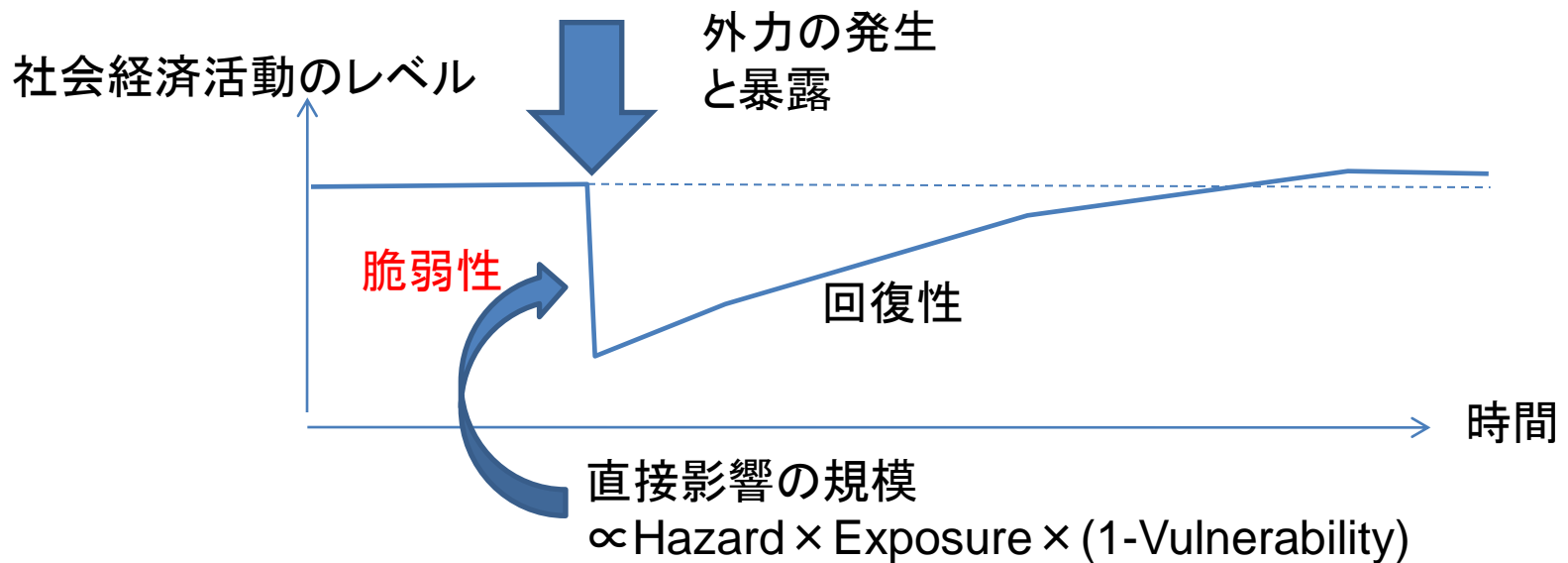
今後の交通ネットワーク整備

- 復興のために輸送能力の確保が制約に
- 災害時の交通路に関する要求性能の設定へ
 - ニーズの明確化
 - 途絶後の「啓開」しやすさという性能？
- インターオペラビリティ（直通性）
 - 貨物鉄道，新幹線の東京駅分断から学ぶ
- 不完全なインフラを活用するための情報提供
 - 多様な主体による情報提供を活かす
- 失われた自動車や船舶に対する手当て
 - 共有・共同利用という可能性もあるのでは？

災害リスクマネジメント論

災害リスクマネジメントでの概念

- Hazard 外力 津波の大きさ
- Exposure 暴露 影響域の人口産業
- Vulnerability **脆弱性** 建物の構造など
- Resilience 回復性 再建容易度・保険

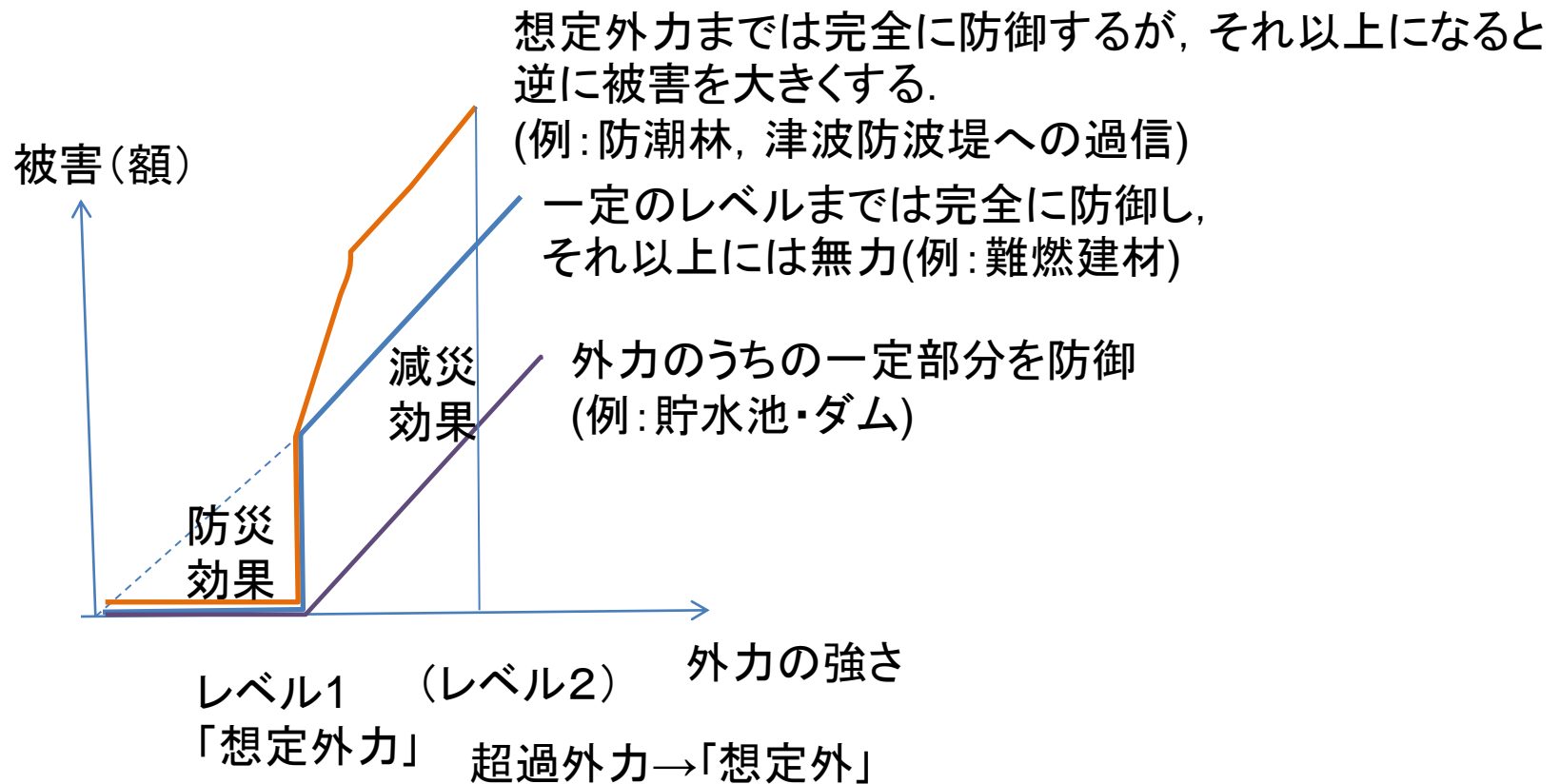


適応策の類型 E: 高地移転, V: 防潮堤整備, R: 津波保険整備など

適応策のパターン

- 物理的なハザードに対する適応策
- Hazardは確率的に決まっており, どうしようもない(コントロール不可能)
- Exposure(暴露)を下げる 回避・避難
 - 土地利用規制, 高所移転, 施設配置の見直し
 - 社会の在り方を変更する必要がある
- Vulnerability(脆弱性)を下げる
 - 遮蔽, 隔離, 減勢, 強度向上
 - 技術的適応策は, エネルギーや資金投入が莫大に
- Resilience(回復性)を上げる
 - 備蓄, 多重化, バックアップ
 - 代替措置, 保険

脆弱性(外力～被害関係) フラジリティ曲線



内閣府中央防災会議(中防)

- 6月26日 津波災害に対する想定の間とりまとめ
- 地震・津波の想定
 - これまで: 周期性があり、切迫度の高い地震・津波を想定(東海地震、関東直下型地震、宮城県沖地震) **レベル1の地震・津波**
 - 今後: あらゆる可能性を想定した最大級の地震・津波を想定する(東北地方では今回の地震、東海・東南海・南海・日向灘の連動型地震) **レベル2の地震・津波**

対策の考え方

- 海岸防護施設は、より頻度の高い津波(レベル1)に対応するため、整備する(従来の防災の範囲を規定)
- 巨大地震・津波(レベル2)の対策
 - 海岸防護施設の対応(従来の防災)だけではむりで、住民の避難を軸としたソフト対策(減災)
 - 巨大地震・津波に対しても、壊れないようにする(粘り強さ)

仙台市復興ビジョンの混乱

1 防災先進都市

今回の震災では、多くの市民の生命と財産が失われ、様々な都市基盤も大きな被害を受けました。避難所の運営等について様々な課題が生じるとともに、広範囲に及んだ停電やガソリン等の燃料供給の途絶は、市民生活や復旧作業の大きな障害となりました。

こうした経験を踏まえ、自然と調和しながら都市を守る「減災」の考え方を基本とした防災対策を進めます。地震や津波などの自然の力を柔軟に受け止め、被害を最小限に抑えつつ速やかな復旧・復興を果たすことができるよう、過去の災害の教訓と新たな知恵を最大限に生かした災害に強いまち・地域・人からなる防災先進都市を目指します。

減災 と 防災 の関係が不鮮明

「金のない行政(従来 of 公)」と「新たな公」との関係にも似ている

レベル1とレベル2を 誰が決めるのか？

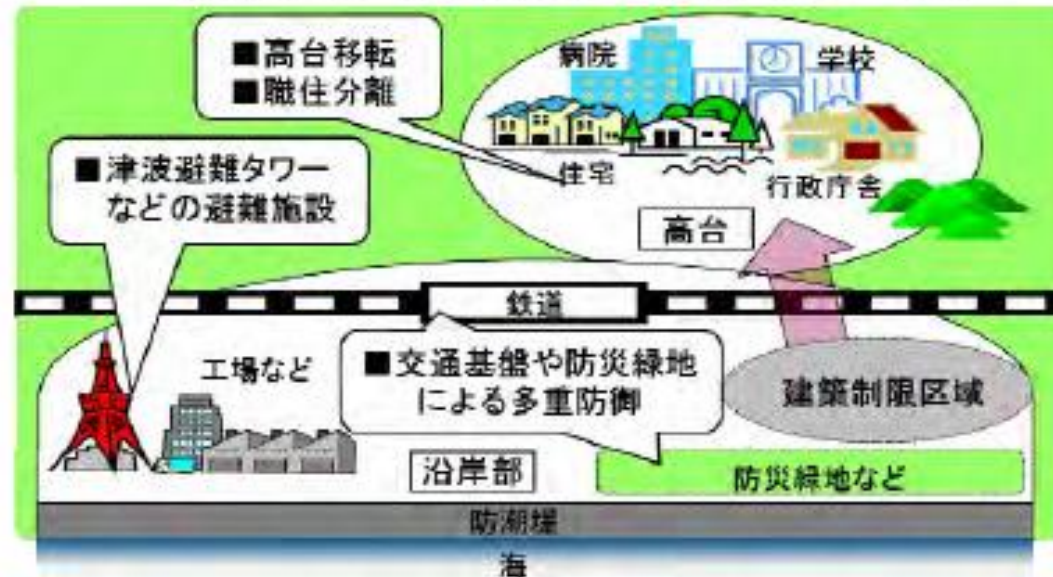
- なんとなくの雰囲気
- 防災対策(レベル1に対するもの)
 - 国民共通の基本的条件
 - 国が責任を持つ
- 減災対策(レベル1を超えるもの)
 - その地域ごとの住民の意識や行動に依存
 - 避難の容易さは高齢化や地形により依存
 - 金があるところは十分に、無いところはそれなりに？
- 本当にこれでいいのか？

宮城県震災復興計画(第2次案)

○復興のポイント1

災害に強いまちづくり宮城モデルの構築

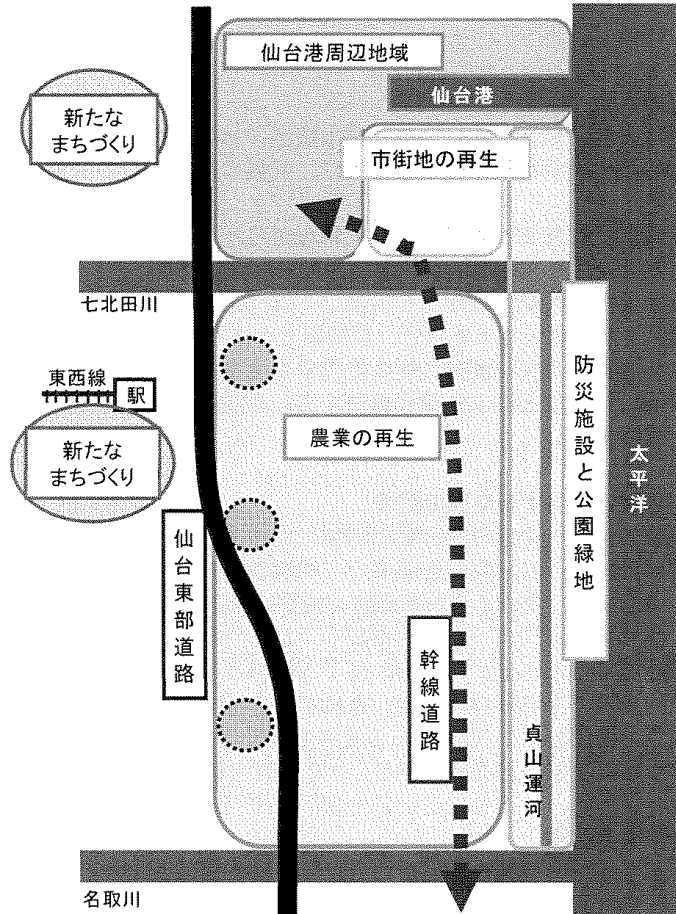
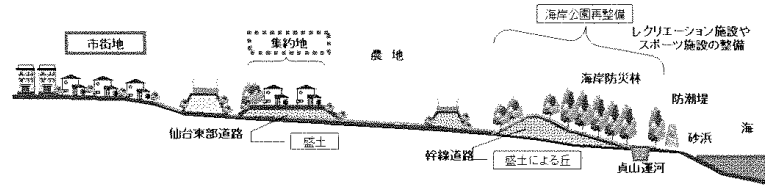
【高台移転・職住分離・多重防御のイメージ】



■具体的な取組

- 高台移転、職住分離
- 多重防御による大津波対策
- 安全な避難場所と避難経路の確保
- まちづくり支援
- まちづくりプロセスの確立
- 「命の道」となる道路の整備促進

多重防護



津波シミュレーションや土地利用の見直しに応じて

- ・防災施設と公園緑地などの範囲
- ・盛土による丘の位置や数
- ・幹線道路の位置や高さ
- ・建築を制限する地域

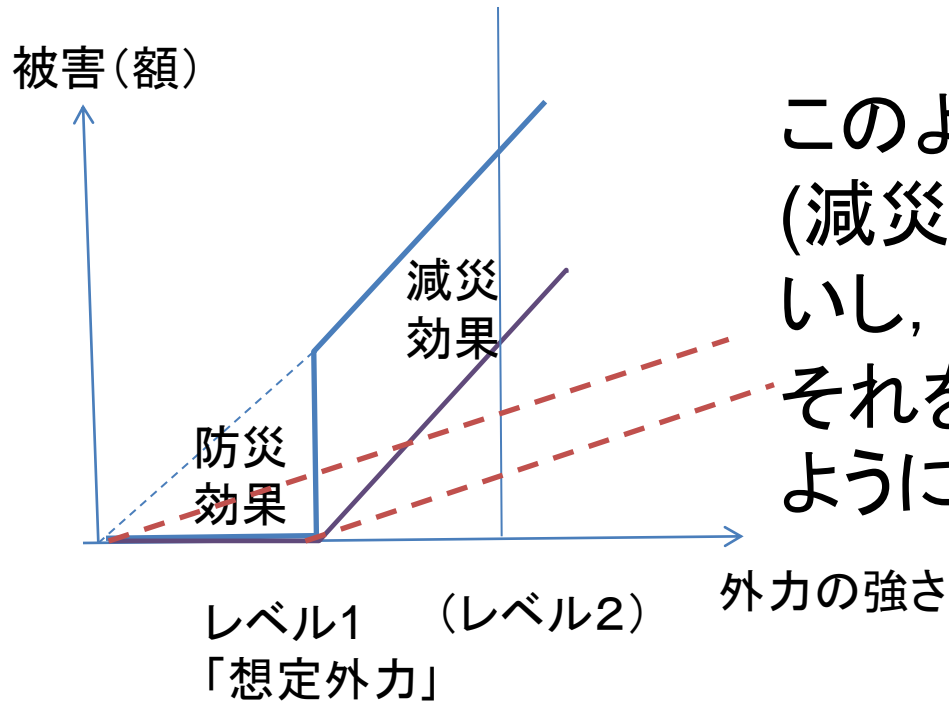
などについて検討します。

仙台市 復興ビジョン

宮城県などが言う「多重防護」とは？

- 減災効果の無い施設をいくつ並べても多重防護にはならない
- 多重防護が成立する条件
 - 第1線の施設が「減災」効果を果たし、例えばレベル2の外力を0.8倍にしてくれる
 - 第k-1線の施設が「減災」効果を果たし、通過する外力がようやく第k線の想定外力に収まる
- 土木的には、減災性能を果たす施設(防災無くても)を開発することが課題か？

再び減災効果



このような性能の施設
(減災施設)があってもよ
いし、
それを国の責任で作れる
ようにしてほしい

具体的にレベル2の 災害規模を想定するには？

- 比較的多数の観測記録がある場合（洪水、交通事故）
- 確率分布を統計的にあてはめ
 - ランダム発生：ポアソン分布（間隔は指数分布）
 - 極値分布（Gumbel）
- ほとんど記録がない場合（噴火、巨大津波）
 - 既往最大（最近の記録があるもののうちで最大）
- 国土交通省+農林水産省の指針（2011.7.11）
 - 今回を既往最大と考えてレベル2とする？

よく起こる誤解の例

- 「確率規模1/500年の津波」
- 「平均的には500年に1回の確率で起こるような大きさの津波である」

- 「間隔がおおよそ500年である」
- 「今後500年間は、まず起こらない」

確率年の考え方

- 「平均して100年に1回の確率で起こる」ことは、「間隔がおおよそ100年である」、「今後100年間は起こらない」こととは異なる！
- ポアソン過程(発生の独立性)
 - 事象の発生はそれまでの経過時間と関係なくランダムに起こる
 - 発生間隔が t 以上である確率を $P(t)$ とあらわす。
 - $P(t + \Delta t) = P(t)(1 - \lambda\Delta t) = P(t) - \lambda\Delta tP(t)$
 - $(P(t + \Delta t) - P(t)) / \Delta t = dP(t)/dt = -\lambda P(t)$
 - 変数分離形の微分方程式

ポアソン過程(続き)

$$dP(t)/dt = -\lambda P(t)$$

- $dP(t)/P(t) = -\lambda dt$

- $\log P(t) = -\lambda t + C$

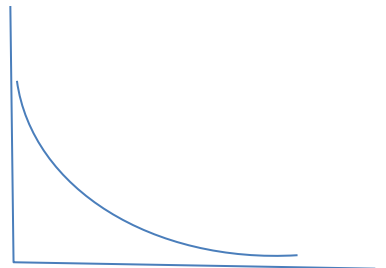
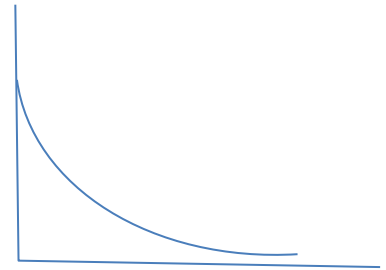
- $P(t) = P_0 \exp(-\lambda t)$

- $\int P(t) = -P_0(1/\lambda)(0-1) = P_0/\lambda = 1$ より、 $P_0 = \lambda$ 。

- $P(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$ となり、指数関数となる。(指数分布)

$P(t)$ は発生間隔が t 以上の確率なので、時間当たりの発生確率は $P(t)$ の微係数(に負をつけたもの)となる。

それも指数関数となり、間隔が0であることが最も起きやすい！



ポアソン過程以外の過程

仮に、時間の経過とともにハザードの発生確率が上がる場合には、 $dP(t)/dt = -\lambda t P(t)$

$$P(t) = P_0 \exp(-\lambda t^2/2)$$

発生間隔の確率密度は、

$P(t)$ の微係数に負号をつけたもの

$$dP(t)/dt = \lambda t P_0 \exp(-\lambda t^2/2)$$

半正規分布(正規分布の右半分)

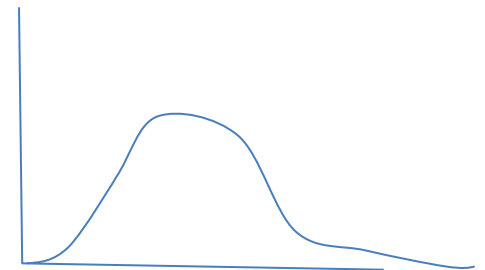
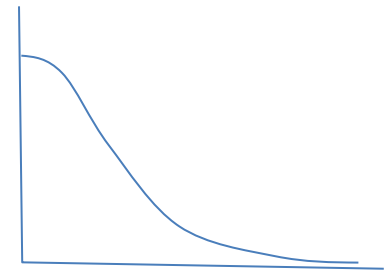
$P(t)$ の平均値は、 $1/\lambda$ となる。

一方そのピークの位置は

$$d^2P(t)/dt^2 = 0 \text{より } t = 1/\lambda^{0.5}$$

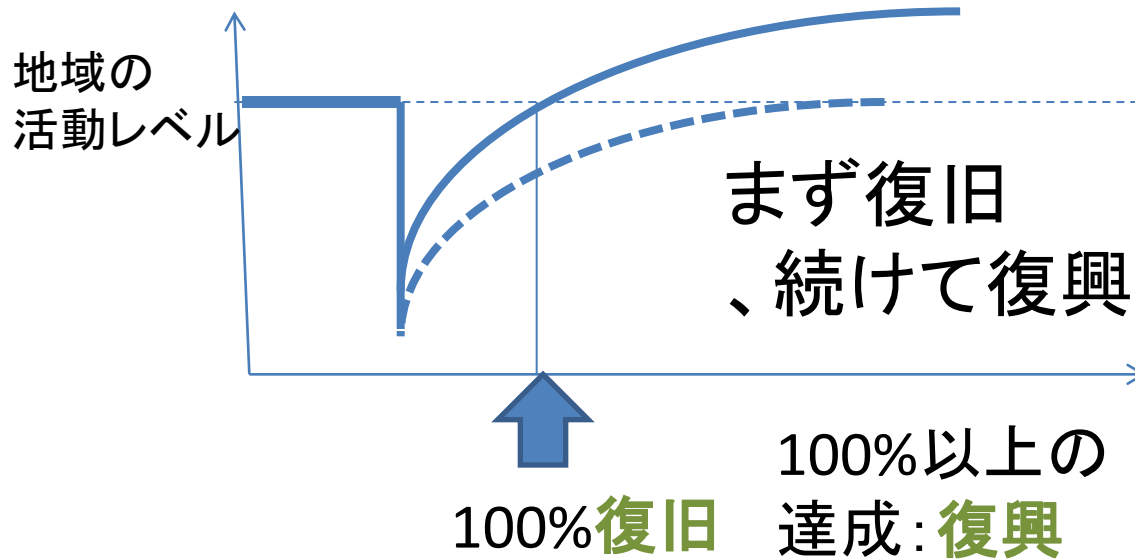
このように、ピーク位置 < 平均値 となる。

つまり、 $1/100$ 確率の事象の間隔は10年であることがもっとも起きやすい！

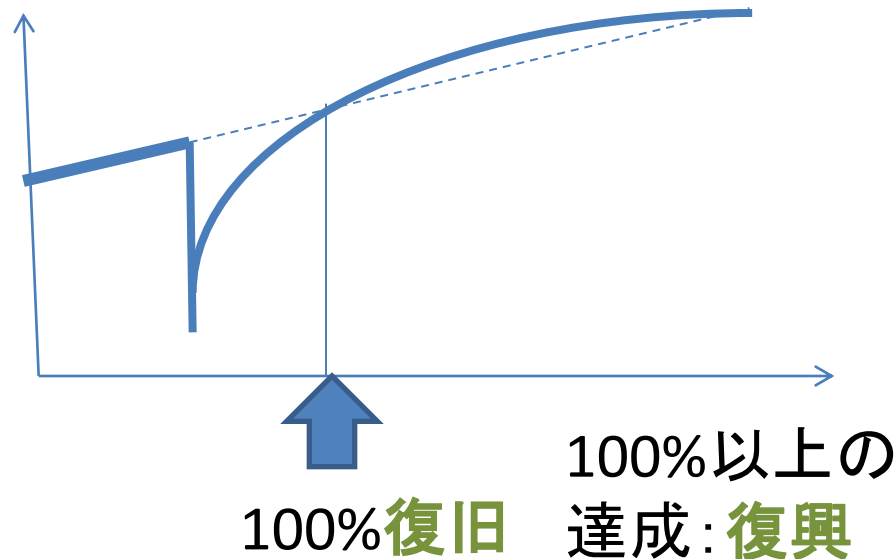


復興に向けての悩み

従来：「復旧が復興の出発点！」



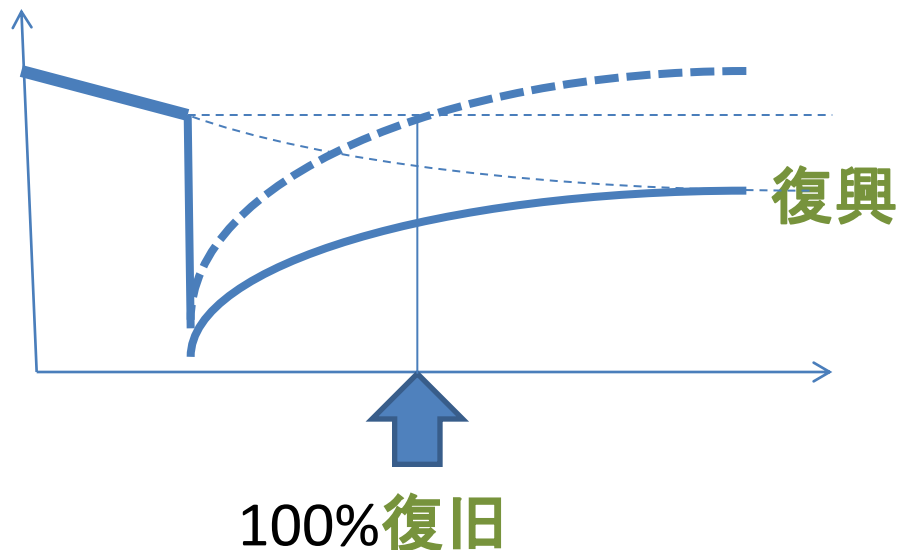
地域の活動レベルを、どのように測るのか？



まず復旧、続けての復興はいずれにしても必要

縮小トレンド下での復興と復旧

復旧の水準は実現不可能であり、
その水準に合わせて施設などを
復旧することは、無駄になる。



復旧は、復興
のための必要
条件ではない

復旧が復興の出発点とは言えない

- 元に戻す力の一部を、別の方向への投資に回したほうが賢いのではないか？



長さが余っていた指と窮屈な指があった手袋をなくしてしまった。

毛糸を使って、もう一度の同じ形の手袋を作るのか？

数年後には使われなくなる漁港をまず、被災前の状態に復旧して、その後廃止にするのは賢い戦略か？

道路ネットワークの耐震計画

- 重要なところ, 切れては困るところは, 日常の交通量が少なくても, しっかり作っておくべき
 - 現実には, 管理者の区分で規格が異なる
 - ネットワーク上の重要性を踏まえた耐震性能の割り当て
 - 土木学会: 構造分野 + 計画分野合同委員会
- 平常時交通量少ない所に多額投資するの?
 - 重要施設(病院)に合わせた道路計画には限界
 - 道路ネットワークに合わせた施設配置

これから研究したいこと

途絶・孤立を評価したい

- 経済的評価論の限界
- 費用便益分析←近代経済学
 - ニュートン物理学の社会への応用
 - 微分可能な世界: 事象は連続, 分割可能
- 交通の途絶, 孤立が評価できるだろうか?
 - 2日間の孤立 = 48×1 時間の遅れ・途絶?
 - 人々の対応行動(備蓄など)を踏まえたモデル化
 - 途絶の危険性を持つ最適在庫モデルの応用

災害時の交通(道路・空港)の役割 どこまで経済評価ができるか？

- 資源を運び込む
 - 医療部隊派遣
 - 緊急援助物資
 - 水、食料、エネルギー
- 支援対象者・対象物を外に出す
 - 重傷者の域外搬送
 - 犠牲者の死体搬出？
 - 生活困難者、家畜等の搬出
 - 瓦礫、災害廃棄物
- 災害の状況をつかむ、被災調査、安否確認

災害波及規模の早期推定

- 災害の復旧，復興の財源問題
 - 税金：現世代(他地域)の負担
 - 国債：将来世代の負担
 - 災害(復旧の遅れ)の影響が，将来世代に悪影響をもたらす場合に限って，認められるはず
- ある災害が，時空間的にどの程度の影響を残すものかを，早い時点で推定できないか？
 - 過去の人口・経済データにおいて，災害の影響がどの程度検出できるか？
 - ICAによる国勢調査人口：戦争は明白，阪神も，

被災地支援

ロジスティックスに向けて

- 被害が大きいところほど、情報が出てこない
 - 被災地からニーズが出てくることはない
 - 支援する側がニーズを的確に想像できるか？
 - 東北大学計画系で、支援物資の伝票を収集
- 現代的ロジスティックスはデマンド・プル型
 - サプライ側からのコントロールの可能性は？
 - 途中の輸送資源、倉庫の仕分け能力などの限界が大きいときの問題は？

おわりに

この経験を生かすために

- 「正しい理解」「完全な理解」がないとすれば
 - 間違いのない効率的な「上からの指導」は無理
 - それぞれの立場からの経験を交換すること
 - このような(逢人会)場や, 人間関係が重要!
- 実践の中でそれぞれの立場で学ぶ
 - 一緒に考え, 失敗し, 学んでいく仲間
 - 三重県の職員は岩手県の職員と一緒に考える
 - 尾鷲市の職員は, 大船渡市の職員と一緒に学ぶ
 - 類似する自治体のペアリング体制
 - 既存のつながりだけでは, 抜け落ちが生じる