

# 社会基盤の保全に向けて —維持管理のあり方—

土木研究所 講演会

2007.10.10

東京大学 工学系研究科

社会基盤学専攻

藤野 陽三

# プレゼンテーションの内容

1. 都市空間を構成する社会基盤とその特性
2. 社会基盤は脆弱化しているのか？
3. 安全防災投資の効果
4. ストックとしての社会基盤の状況 アメリカの動き
5. 地方の現状
6. 社会基盤の維持保全
7. 事故災害を防ぐには
8. アセットマネジメント思わぬことへの対応
9. 事故記録に見られる前兆現象
10. 自分の研究から
11. 都市基盤の災害事故リスクの監視とマネジメント

# 1. 都市空間を構成する社会基盤とその特性

- 経済・社会の基盤: 公共財(非競合性, 非排除性、)として
  - 公共の役割
- 膨大な量: ストックとして
  - 負担の分担をどうするか
    - 時間的にも, 空間的にも
  - 小さな事故・災害が大きな影響に拡大
- 空間・時間の広がり: メソスケールとして
  - 科学的な意味での特有の難しさ vs. マクロ、ミクロ
  - 「想定外」への対策



# 都市空間



# 社会基盤

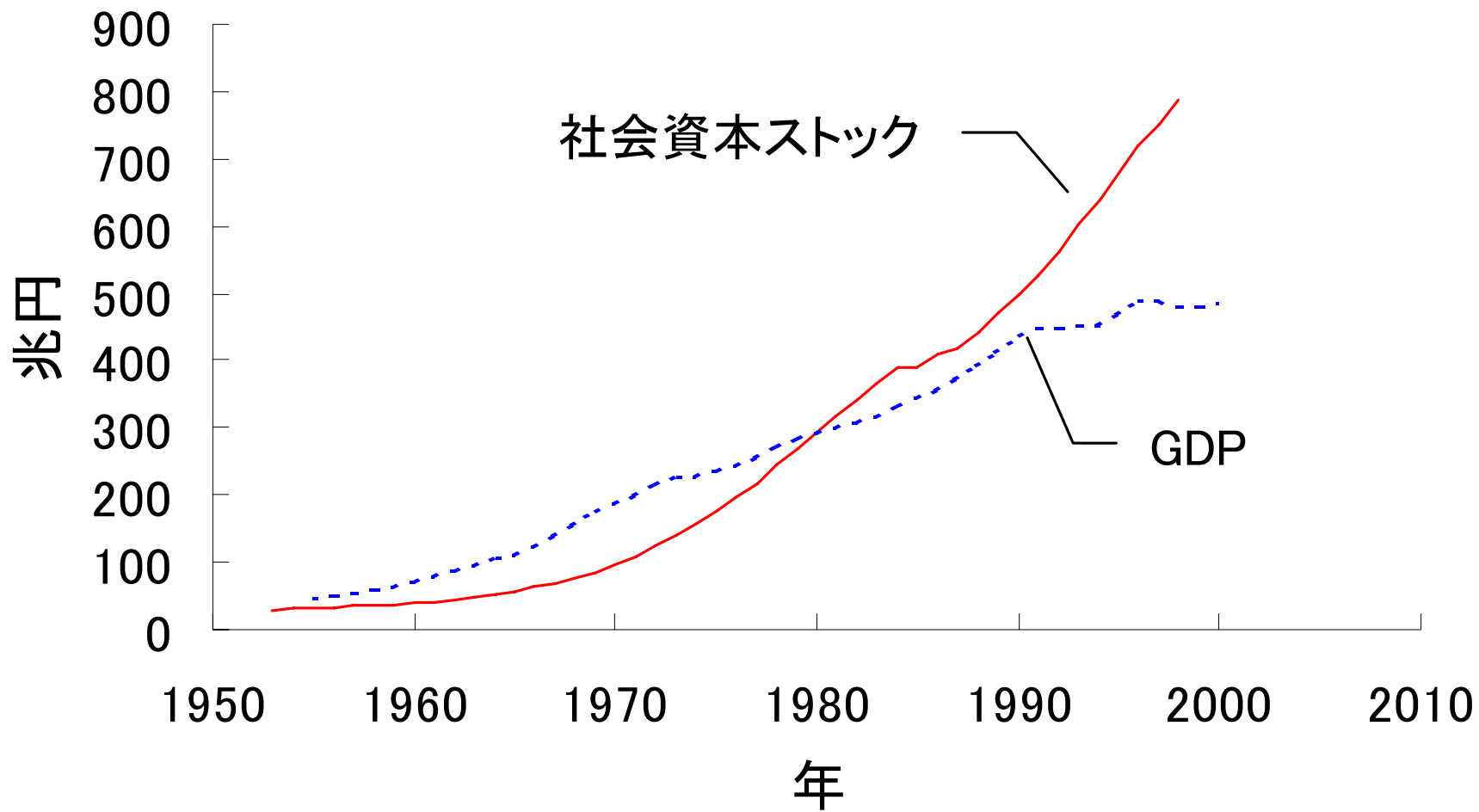


首都高速道路 (神田橋付近)

# 経済・社会の基盤

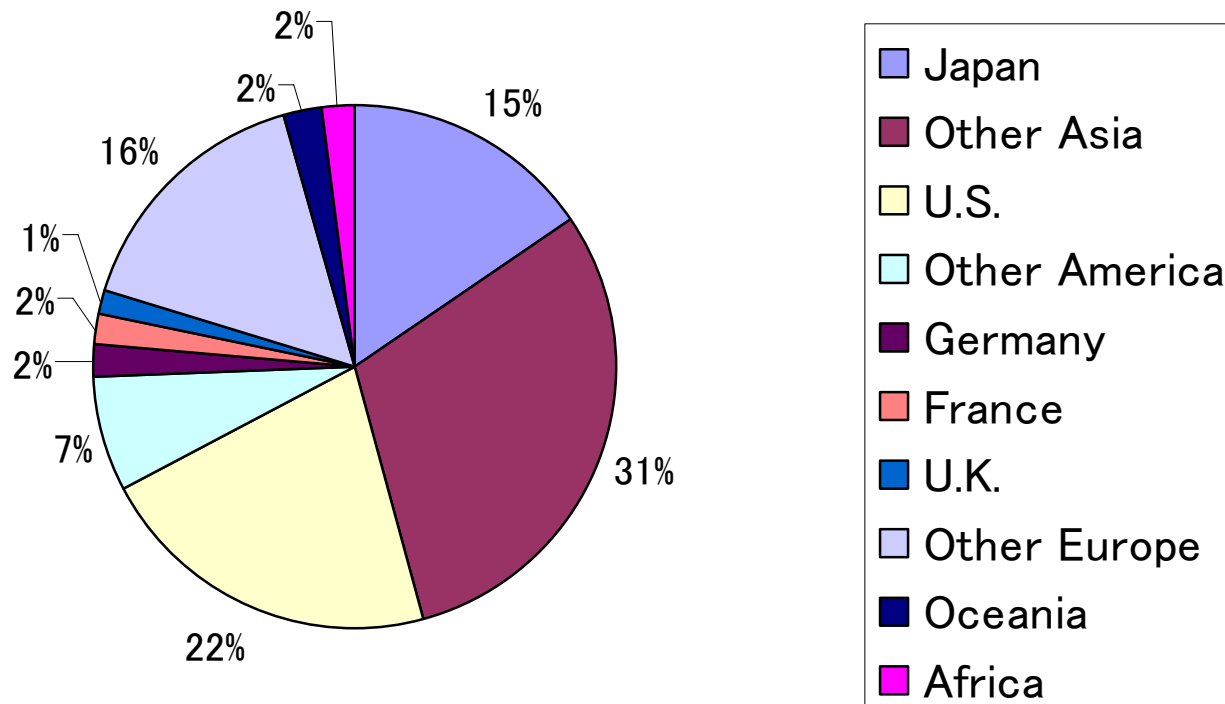


# 増える都市基盤ストック



## 2. 社会基盤は脆弱化しているのか？

### 日本は自然災害大国



- 自然災害被害額の地域別割合  
(1970年から2004年の合計:約1.1兆米ドル)

# 社会基盤の安全性は、経済社会に大きな影響を及ぼす



中越地震による  
新幹線脱線

兵庫県南部地震



強風による羽越本線での脱線

2006.5.12 日経朝刊  
3 総合 1.4版

**JR東日本 トラブル続発**  
高度技術への対応急務  
復旧に時間、高まる不満

「JR東日本の首都圏の体制をつくるべきだ」との声が上がっている。京浜東北線で十一日、故障したのは同線と東北新幹線だけに導入している最新のATC。京浜東北線は四月二十八日もATCの配線ショートで御徒町―上野間の運転が一時停止したままに三時間止まるトラブルがあったばかり。

「JR東によると、今は信号を送るレールが異常になかったが川崎駅構内の制御装置の問題があると判断。この時点で一時間が経過しており、約百カ所の部品点検し、ケーブル接続の不良を見つけた。さらに三分の二は接続不良を見つけた。修理するまで、さらに三時間かかるとしている」という。

午後七時20分ごろで、エレベーターが急に上昇し、降りようとすると天井部分に挟まれた。市本区在住の都立高2年、川さんは救出されたが、頭などを圧迫され、約2

六本木ヒルズ 男児死亡事故

**センサーの死角か**  
地上から80センチ部



耐震偽装マンション

報日 (11日)

**敦賀原発事故**  
金属疲労のしま模様

冷却水 温度変化原因か  
温度変化原因か

午後七時20分ごろで、エレベーターが急に上昇し、降りようとすると天井部分に挟まれた。市本区在住の都立高2年、川さんは救出されたが、頭などを圧迫され、約2

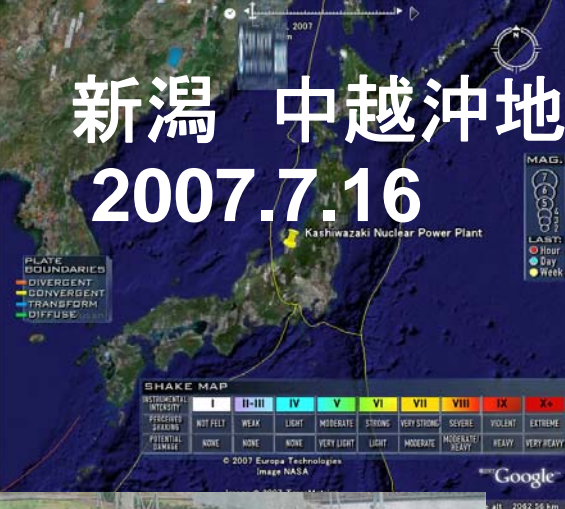
**高2、エレベーター**  
**降りる途中空**



橋の落橋

# 新潟 中越沖地震

## 2007.7.16



## 柏崎原子力発電所

### 火災 汚染冷却水の漏れ 機器の破損

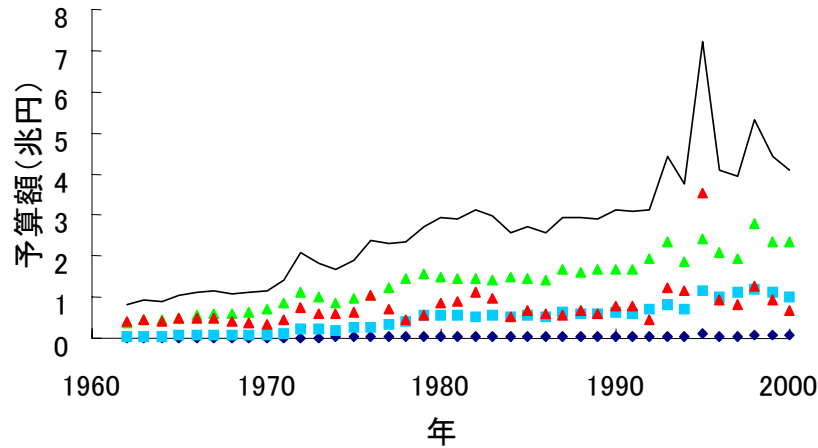


## トヨタほか工場の一時的閉鎖

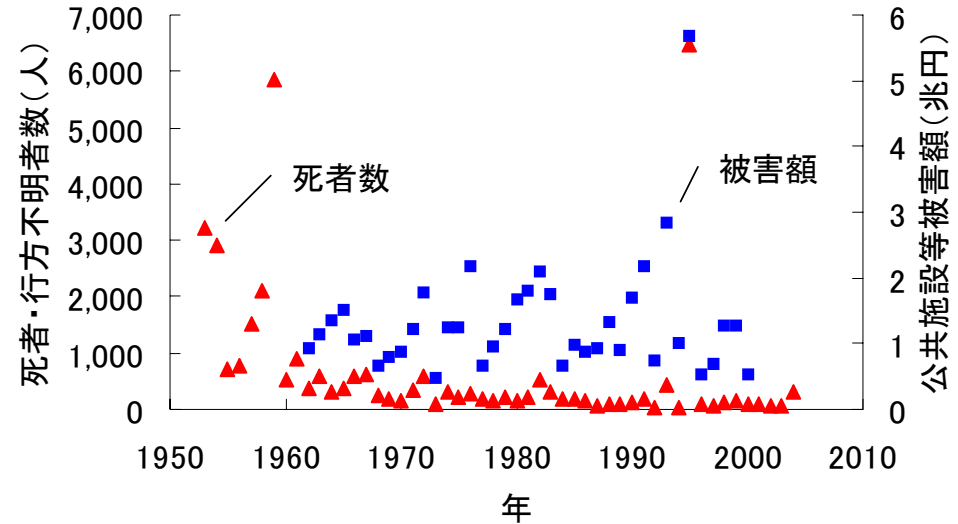
## 小さな地震も大きな社会的影響.



# 日本における自然災害被害の推移

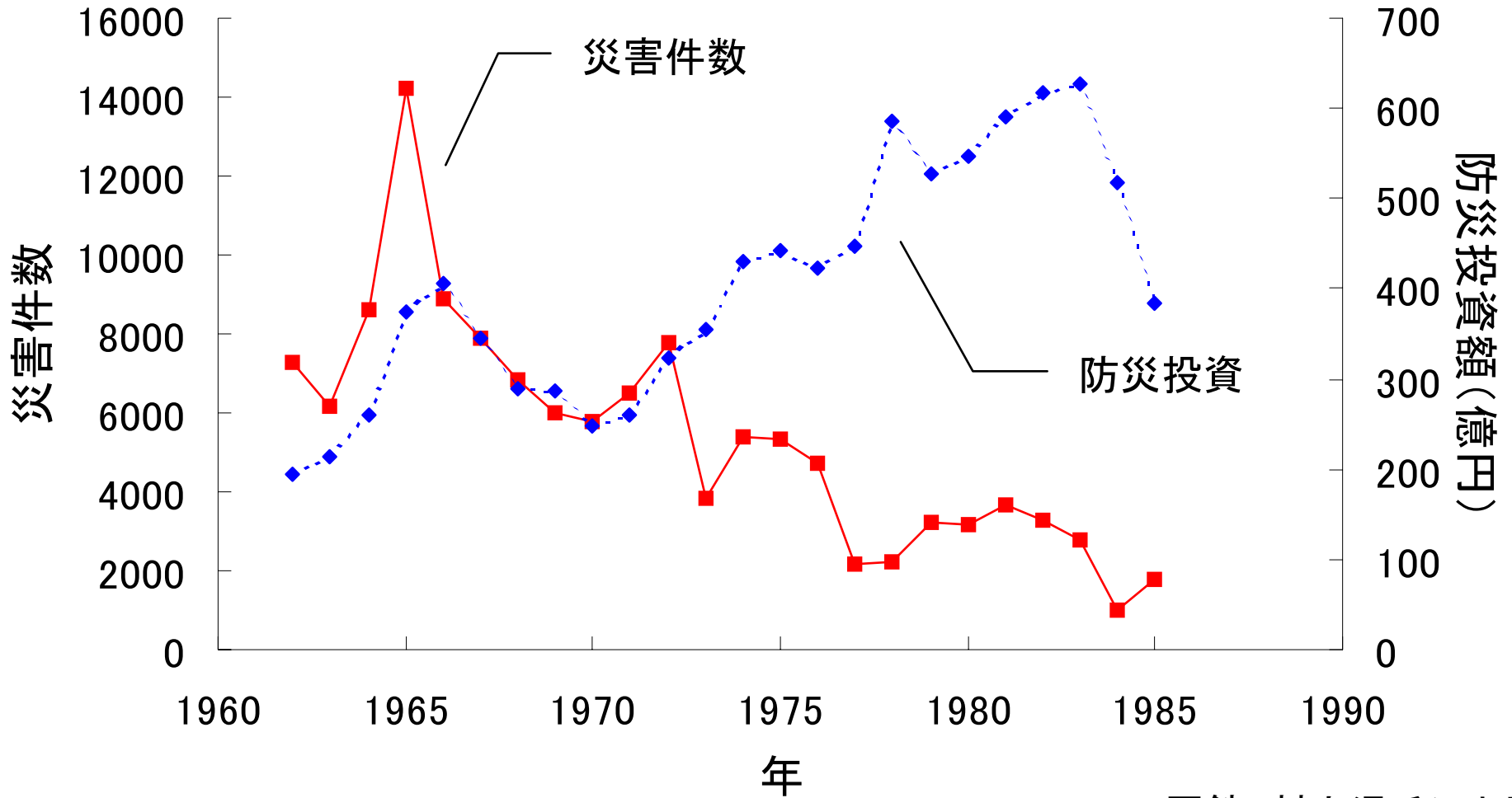


◆ 科学技術研究    ■ 災害予防    ▲ 国土保全    ▲ 災害復旧など    — 合計



- 着実な防災投資によって、人的被害は減少
- しかし、物的被害は漸増（災害モードの変化）
  - 毎年、被害額＋対策投資で数兆円

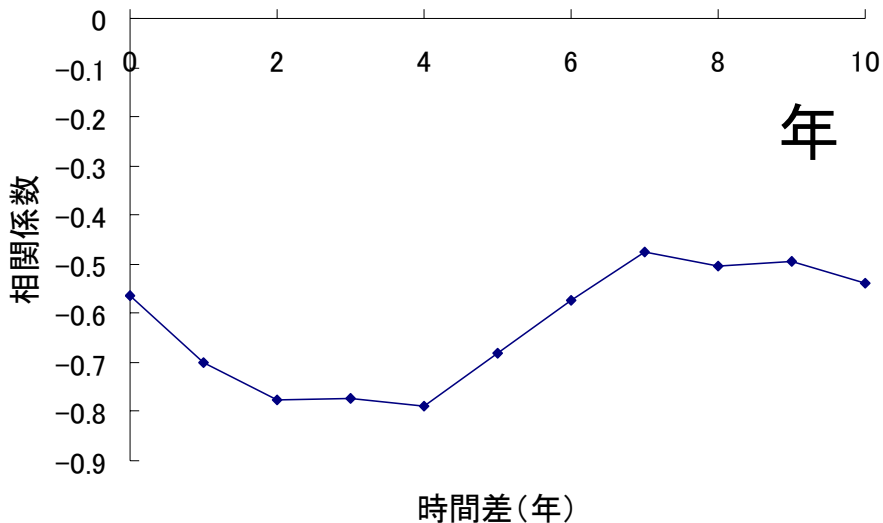
# 3. 安全防災投資の効果一



国鉄 村上温氏による

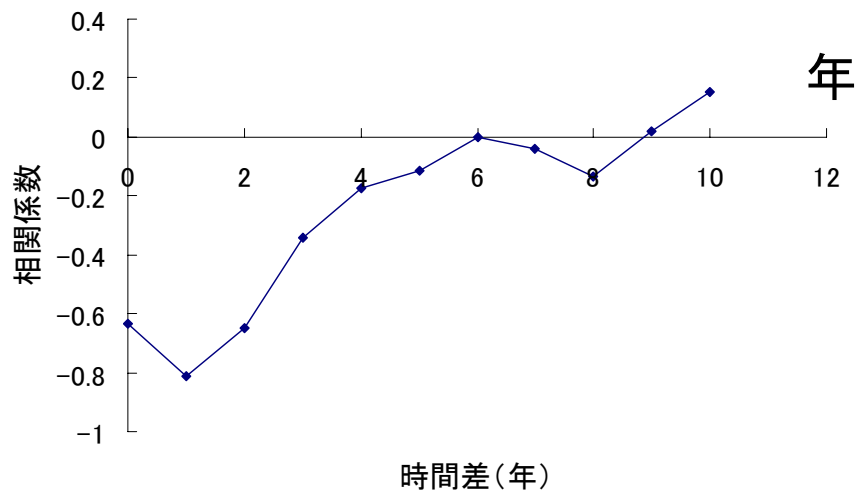
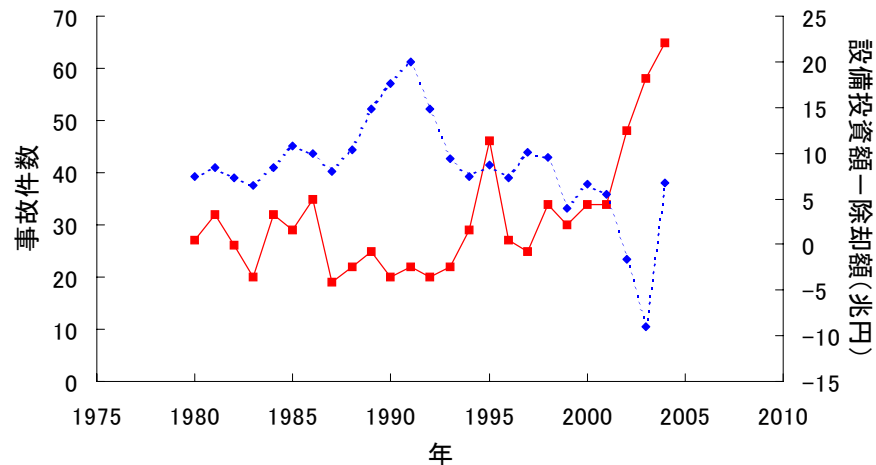
## 旧国鉄における災害件数と防災投資

# 災害件数と投資との相互相関係数



## 社会基盤

旧国鉄: 防災投資と災害件数



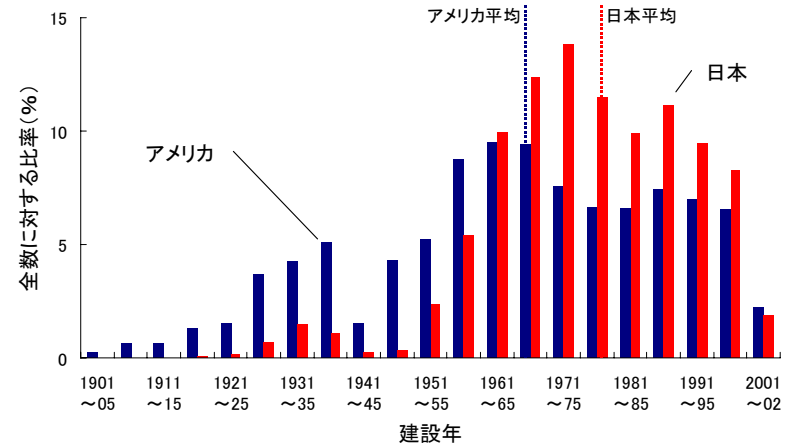
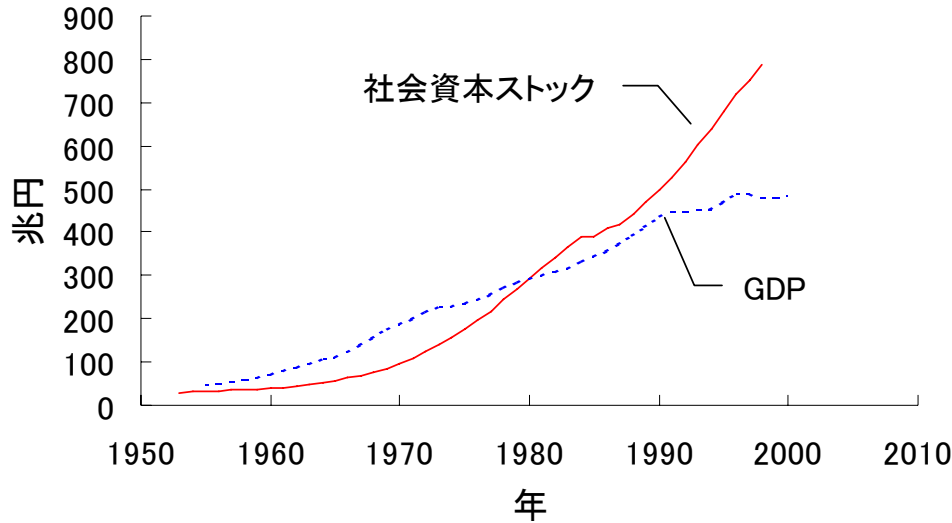
## 産業基盤

高压ガス事故件数と純設備投資額 (取り付けベース2000年平均価格評価)

社会基盤は時定数が大きい

長期的・戦略的対応が重要

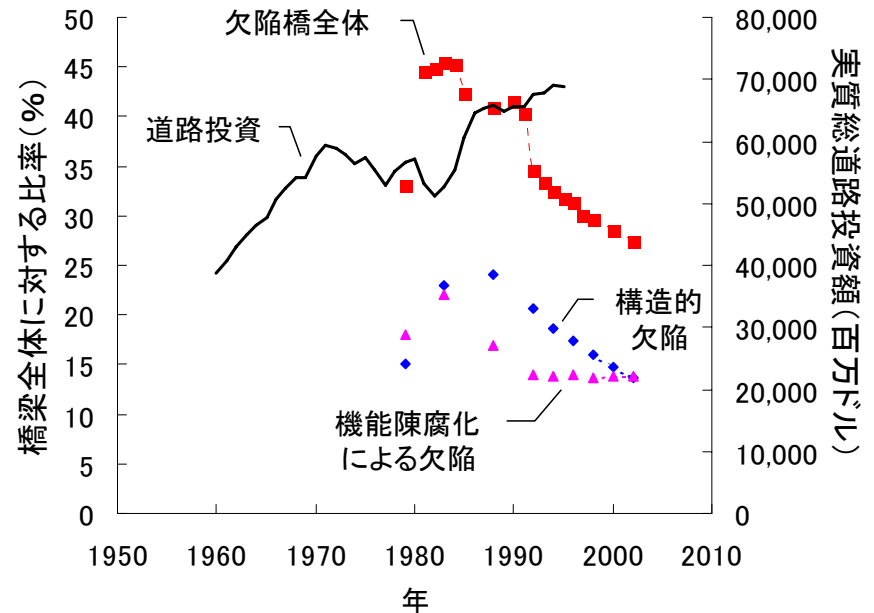
# 4. ストックとしての社会基盤の状況



橋の建設数の変化

- **ローマクラブ:「成長の限界」**
  - 工業資本の減耗が生産性を低下させ破局を招く可能性
- **ストック高齡化の問題**
  - 劣化＋陳腐化
  - 経済発展を阻害・国際競争力の低下:「荒廃するアメリカ」

# アメリカの教訓

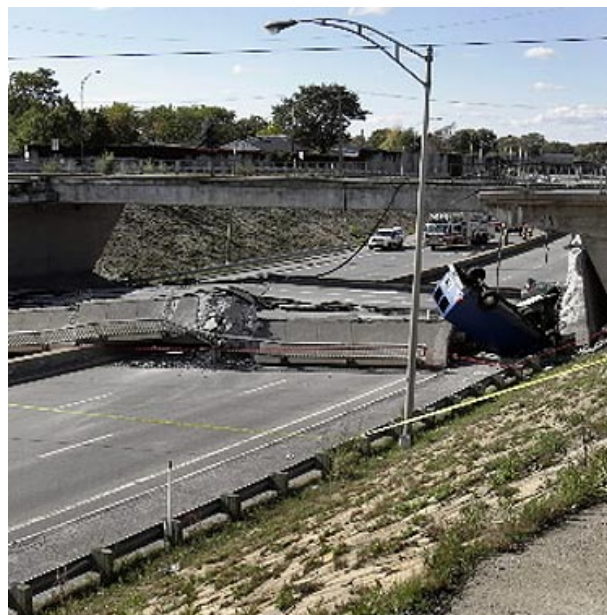


- 1970年代: 度重なる社会基盤施設の事故
- 目視検査・統計に基づく経験的マネジメントシステムの確立
  - 35年にわたり, 全国の欠陥橋比率が分かる(公開)!!
  - 日本は???

# カナダ・ケベック州19号線架道橋

2006年9月30日，落橋 5名死亡，6名負傷

1970年に建設，カンチレバーの受け部の塩害による腐食が原因か？



2006年5月に直近の目視検査：補修の要なしと判断

州交通省大臣：“exceptional(例外的/想定外)”

1時間前にコンクリート片剥落，1ヶ月前に「隙間」目撃：前兆現象か？

メンテ不足および目視検査の限界が指摘.

# アメリカの次のステップ

## -長期橋梁性能プログラム(20年間)-

- 検査の定量化
- 継続的モニタリング
  - センシングへの注目
- 廃棄時の解剖的検査
  
- 劣化・陳腐化を定量化
- 予測の高精度化
- スtockマネジメント効率化
- 新技術開発の基盤の確立
- 土木工学の国際競争力強化-
  
- 日本は一周遅れ





Federal Highway  
Administration



# Workshop Las Vegas 2007年1月

オープニングセッション:

S. Chase, H. Ghasemi, P. Balaguru, S. Larson,  
D. Frangopol, Y. Fujino, A. Mufti, and C.  
Richter





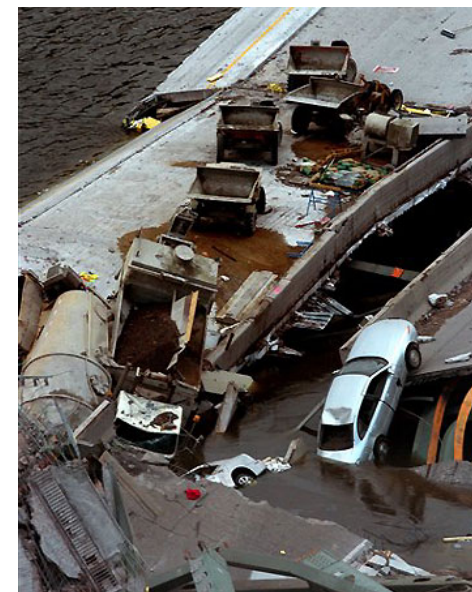
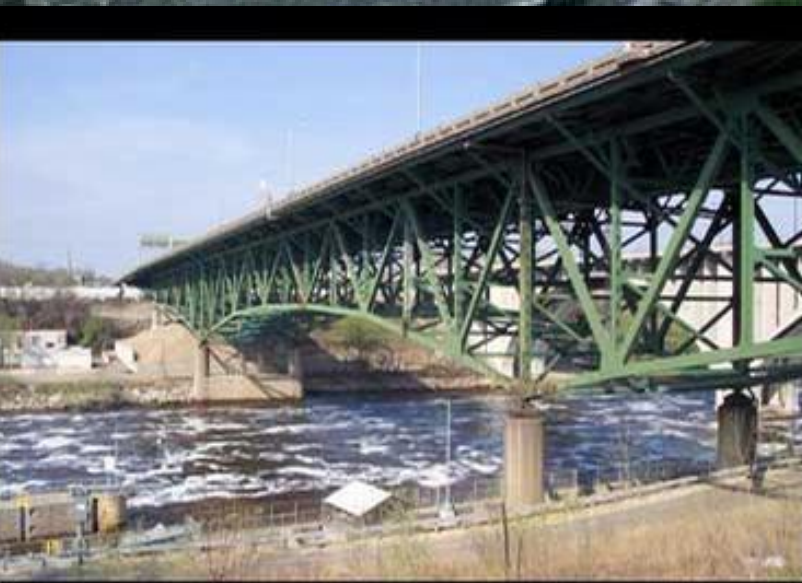


ミネソタ  
2007.8.1



2001から調査  
点検

補強か密な点検  
難しい判断





## 5. 地方の現状 日本は別か？

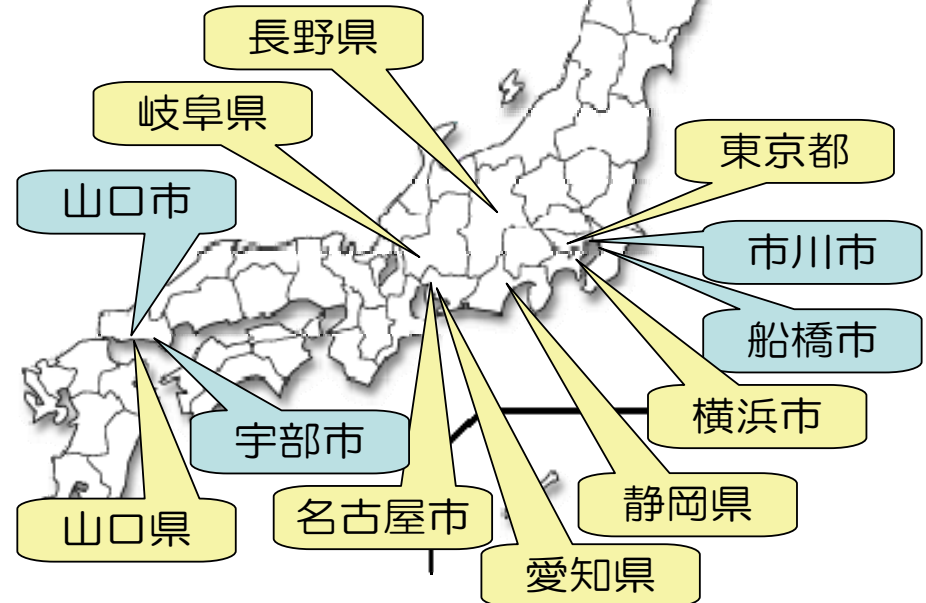
# 地方自治体の橋梁維持管理の状況 と投資の効果



# ヒアリング調査

都道府県レベル

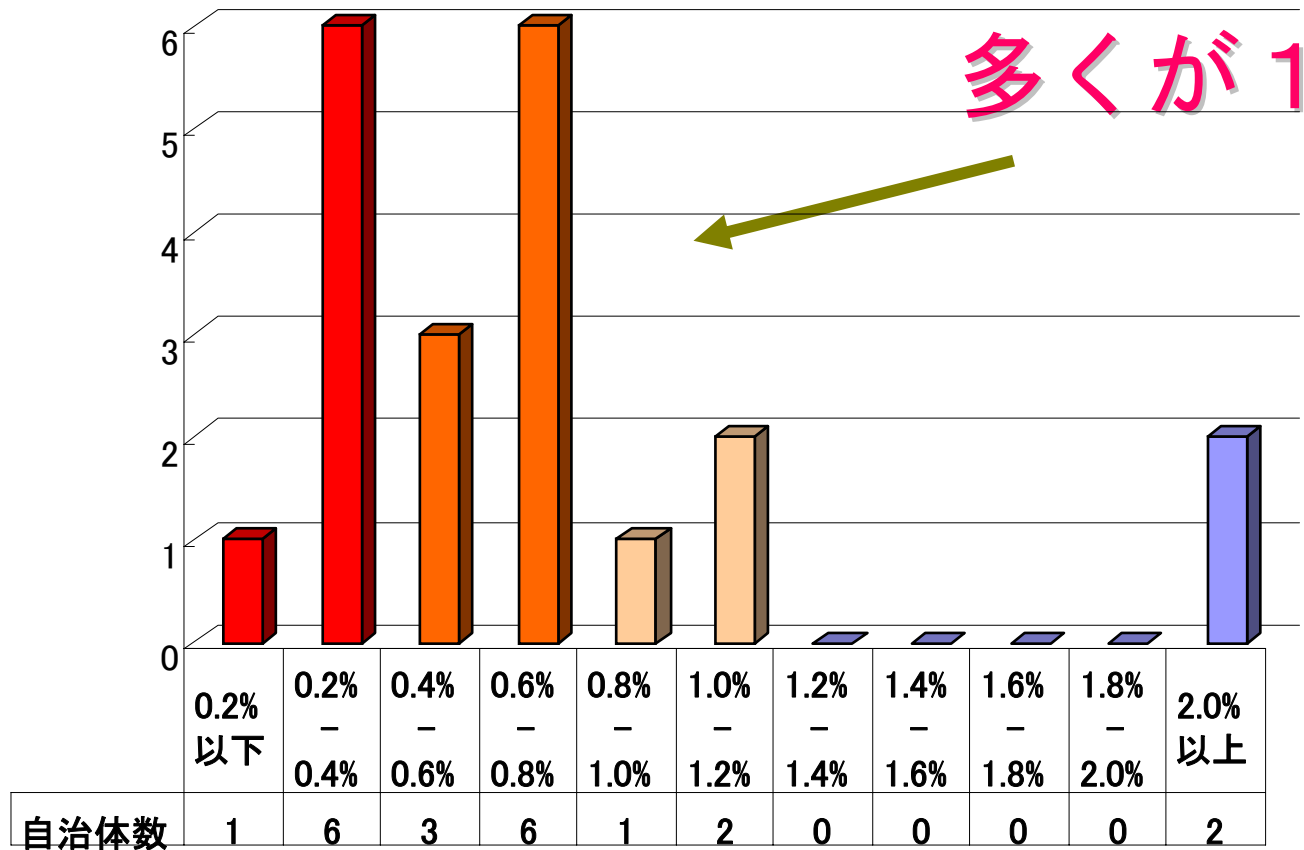
市レベル



他：JR東日本，横浜国道事務所  
建設技術研究所，JH

## アンケート調査

- 都道府県レベルの全60自治体で実施
- 回答数37 回収率62%
- 主な設問内容
  - 過去の投資金額
  - データの保存状況
  - 管理橋梁の諸元
  - ストックマネジメントの整備状況



## H15年度維持管理（補修＋更新）予算対橋梁資産の比率の分布

$$\text{橋梁資産} = \text{橋梁総面積} \times \text{橋梁更新単価} (70\text{万円}/\text{m}^2)$$

首都高速道路      約1.5% (3.3兆円の資産に対し年500億円)

## 6. 社会基盤の維持管理

### 高品質のものを作るのがもっとも大事

点検

精密検査  
診断

補修・修繕  
改築  
更新...

このサイクルを回すこと  
スパイラル的に（情報のアップデート）

点検

精密検査  
診断

人間ドック  
専門医

点検士(師)  
点検項目 評価

点検結果のとりまとめ

統一性  
公開性  
点検間隔

国のリーダーシップ

データベースからの学習(劣化曲線)

# 維持管理

基本的には、所有者が責任を持つ  
(維持管理の丸抱え外部委託もありうる)  
専門性のある部分や工事は外部に

事故がなくて当たり前 地味な分野  
若い人が魅力  
を感じるか？

技術力が必要なことも事実  
技術力のあるスモールビジネスが仕事  
ができる環境を整える. これも極めて重要

東京大学工学系研究科  
社会基盤学専攻教授

藤 野 陽 三

わが国的高速道路の建設も成熟期を迎えつつあり、既存ネットワークにおける安全の確保・向上が今後の大きな方向になると思われる。

道路の安全は、施設系に対するハードウェア対策と運用の改善によるソフトウェア対策からなる。ソフト面の改善については、負傷者の増加という問題があるものの、交通事故死亡者は減少しており進展が認められる。ソフト面の対策は、一般に交通事故の抑止など直接的なリスク回避を含んでいるため、効果に対策投資と結びつけて評価することが比較的容易なためと思われる。

防災・保全などの施設系ハードウェアの改善は、法的な後ろ押しもあり耐震補強では着実な進展があるものの、老朽建造物の増加を背景とした新たな課題が発生しつつある。高度成長期につくられた施設系の劣化は広く指摘されているところであるが、交通事故などに直接、関係する例はまだ稀であり、補修の必要性・効果が理解されにくい面がある。また、施設系に起因する災害・事故は一度発生すれば、その被害・社会的影響は甚大なものの、発生頻度も極めて低い。さらに、施設の劣化速度は一般に遅く、保全投資と老朽化による事故や大規模補修との間にはかなりの時間遅れがある。

それだけに長期的視点からの継続的投資がきわめて重要なのであるが、上記の、効果計測の難しさ、時間遅れ、低い発生頻度から、空間的・時間的に均衡の取れた対策計画および資源配分が難しいのが現状である。結果的には、防災・事故対策は、大事故・大災害を受けて社会的に関心が高まった際に、一斉に資源が投入されて実施されることが多い。しかし、これでは災害の後追いとな

らざるを得ず、未然に、長期的かつ継続的に対策を実施した方がハードウェア対策としても効果は高いことが観念的にはわかっている、実行されていない面がある。

この問題を解決するひとつの方法は、ハードウェア対策投資に伴う効果を計測する技術を開発することと思われる。現状は、防災においては既往最大規模の災害対策を念頭に、保全においては劣化予測に基づき、その時々々の制約の下で投資がなされていると理解されるが、これらは確率的なリスク認知や予測の不確実性が極めて大きく、補修・補強の効果を客観的に評価しているとは言いがたい。より直接的で、計測可能で、誰でも理解できる、効果を表す指標が必要だと思う。

問題の難しさは、災害・事故事例が極めて僅少であることである。しかしながら、ハインリッヒの法則ではないが、災害・事故に至らない軽微な事象は、比較的小さい時間遅れでかつ高い頻度で発生していると思われる。これらをうまくセンシングし、それをベースに定量的かつ客観的な評価指標を導入することができれば、「社会基盤の安全」の変化を社会からも客観的に評価することが可能となり、また効果的にマネジメントにつながる。

安全、とくにハードウェア系の安全の問題は、技術的に専門性が高いことから、専門家と市民の間に「情報の非対称性」が存在しており、社会的に最適な対策をとるためには、合理的な判断を支援するような情報の基盤が求められている。社会基盤施設の何をセンシングして情報基盤を構築するかは、難しい問題と認識しているが、研究者と実務者が協働して挑戦すれば、解はきっとあるに違いない。

## 7. 事故災害を防ぐには

### 防災・保全投資の効果を計測する

: 定量化  
: 可視化

高速道路と自動車  
2006年3月号



# 生物の進化

防御系

皮膚  
骨格

物質循環系

血管  
循環器

神経系

神経  
神経節  
脳

# 社会基盤の進化

防御系基盤

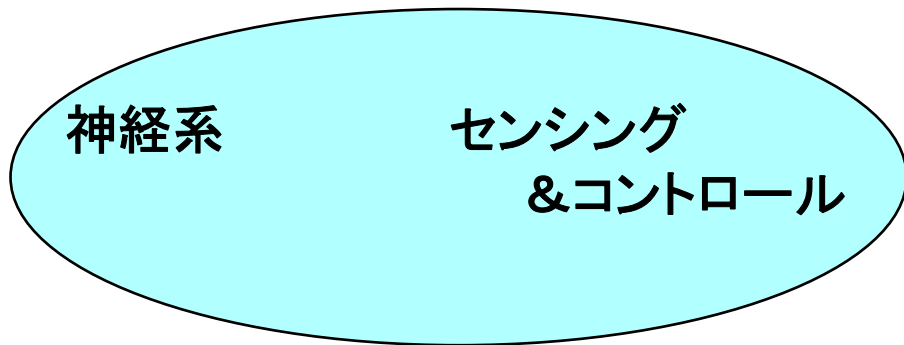
自然災害に対処  
安全・丈夫な建物

物質循環系

ライフライン  
交通・エネルギー

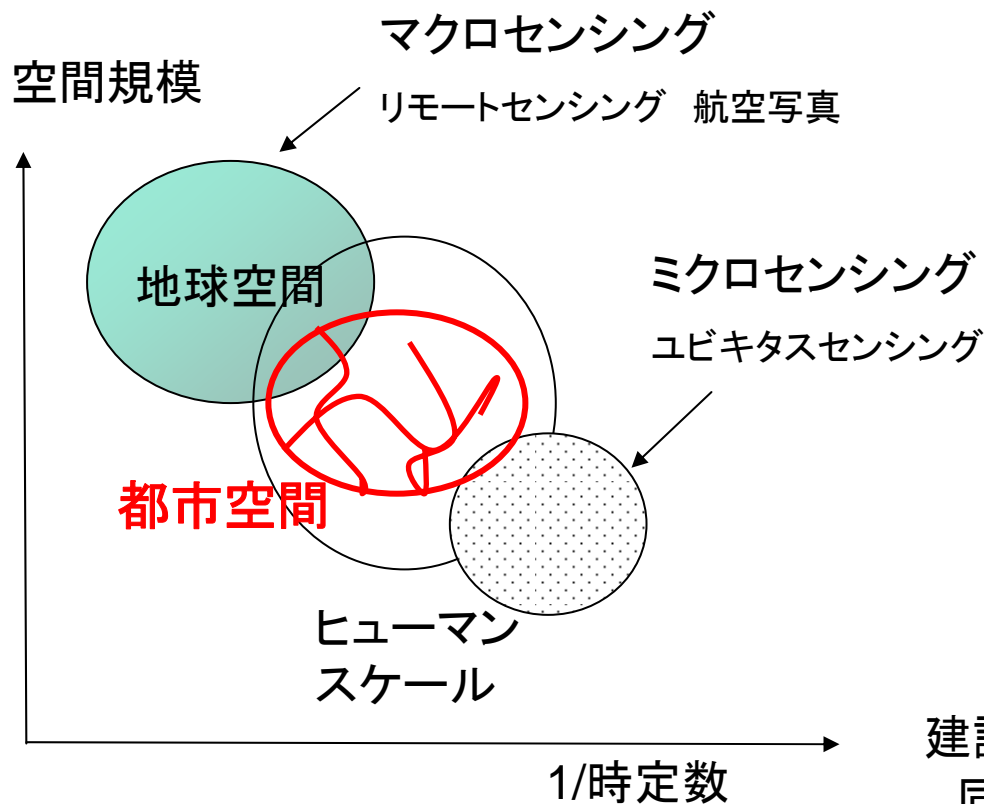
神経系

センシング  
&コントロール



# いつ、どこで壊れるのか？

- 社会基盤は一品製品. 場所により状況・条件が異なる  
「ばらつき」の影響が顕在化する
- 一種の「メソスケール」



神戸の  
高架橋

35m-

倒壊寸前



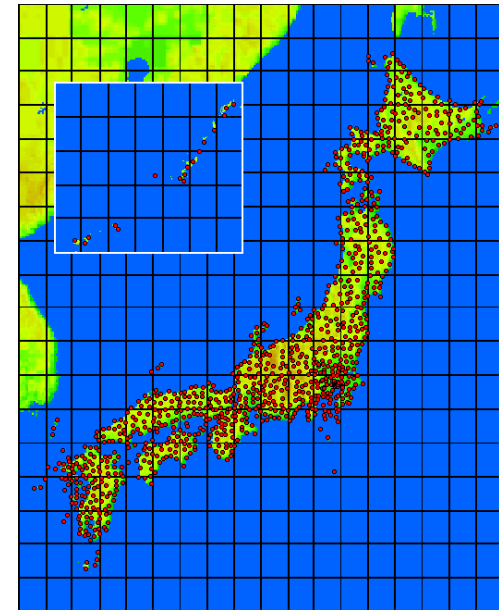
無被害



建設後40年で突然落ちた橋(カナダ)  
同じ形式の隣の橋は残存している

# 安全技術は進歩しているはずなのになぜか？

都市基盤の拡大・高密度化＝脆弱化



事故・災害事例の経験分析・統計処理  
被害事例は僅少・多くの被害は「**想定外**」

**リスク = ハザード X 脆弱性**

例：地震動 既存研究の主力  
現象・要因毎のセンシング  
複合要因検知は困難  
局所的、微環境依存

地震動、雨、風、温度  
揺れ、変位、歪

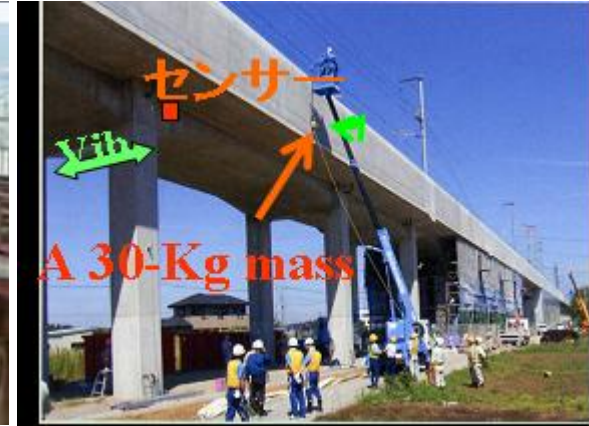
都市基盤システム  
仮定に基づく評価  
実物実験が不可能

リスク、ハザード、脆弱性の統合的センシングによる真の安全・安心の向上を目指す

# モニタリングの実用化例-

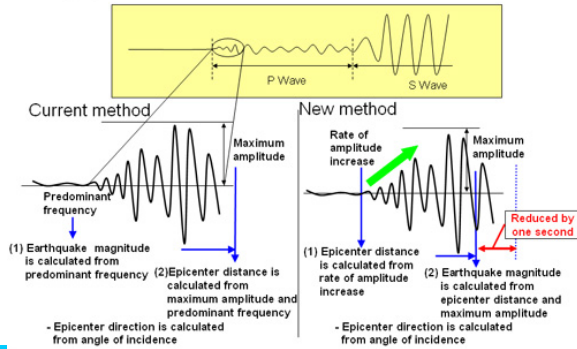
新幹線では-

最新の技術を投入  
世界最高の安全性



## "TERRA-S" 地震列車警報システム

As calculation of predominant frequency take time, new method reduces estimation time by using amplitude increase rate for the calculation.



列車を止める  
まではよいが...

重錘インパクト法 大掛かり、  
結果の信頼性は？

人力作業での点検が先端技術を支えている  
都市基盤スケールでのセンシングは極めてプリミティブ



## 8. 思わぬことへの対応

# ゆりかもめの事故 2006年4月 -



原因は車輪軸の疲労破壊.  
運行会社の弁  
1)想定外  
2)検査では見抜けなかった

“想定外” 弁明に使われる.

## Thatcher's 法則(1982)

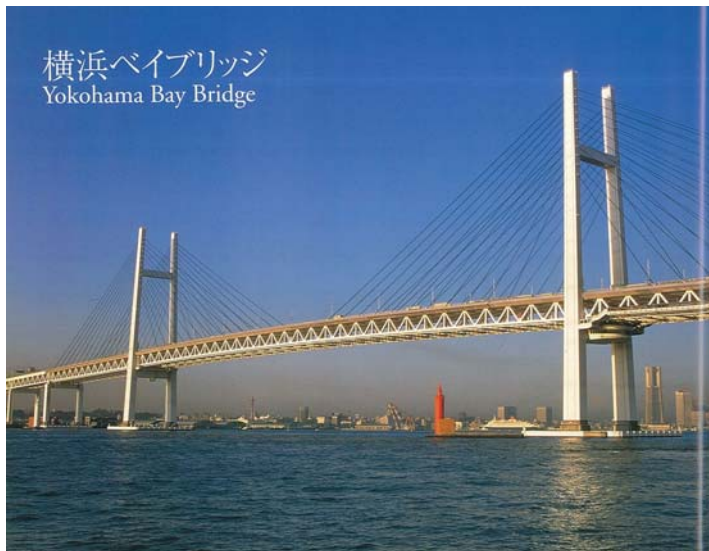
"The unexpected happens, and you'd better prepare (be ready) for it "  
(予期せぬことは起こる. 準備せよ)

どうやって?



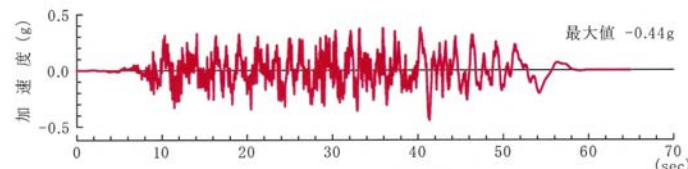


横浜ベイブリッジ  
Yokohama Bay Bridge

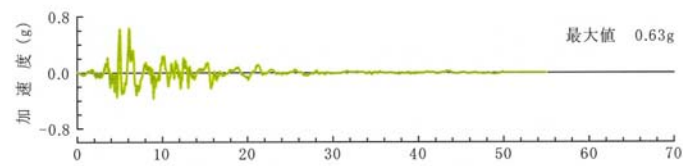


開通：1989年9月

耐震基準が大幅に変わる前に  
開通している



(1) 標準加速度波形 I-III-1：橋軸方向及び橋軸直角方向へそれぞれ独立に入力

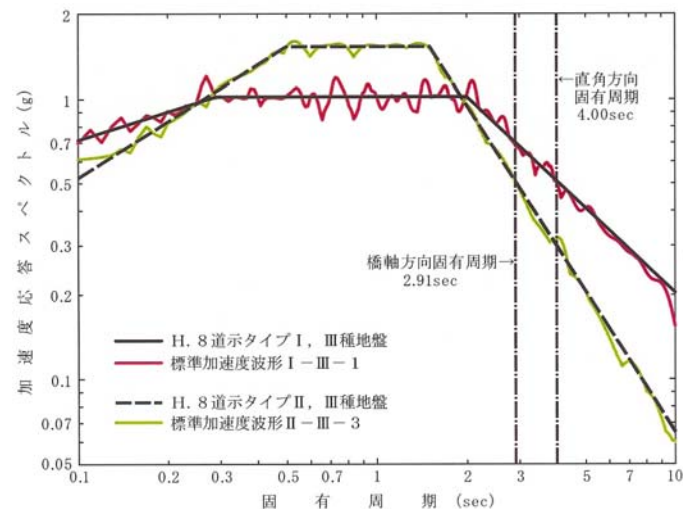


(2) 標準加速度波形 II-III-3：橋軸直角方向へ入力

新基準，レベル2地震動に  
横浜ベイブリッジは耐えられるか？

首都高 試算

設計基準で規定されている強さをもつ  
模擬地震動で動的耐震解析

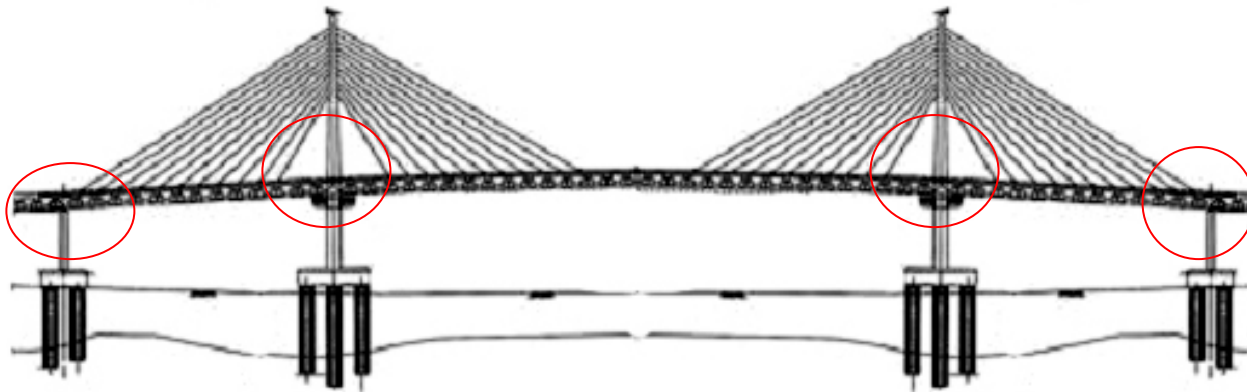


(3) 加速度応答スペクトル



# リンク構造 (タワー, 端橋脚)

1. 振り子のような構造
2. 構造モデルでは, 完全ヒンジ



Location of Link Bearing

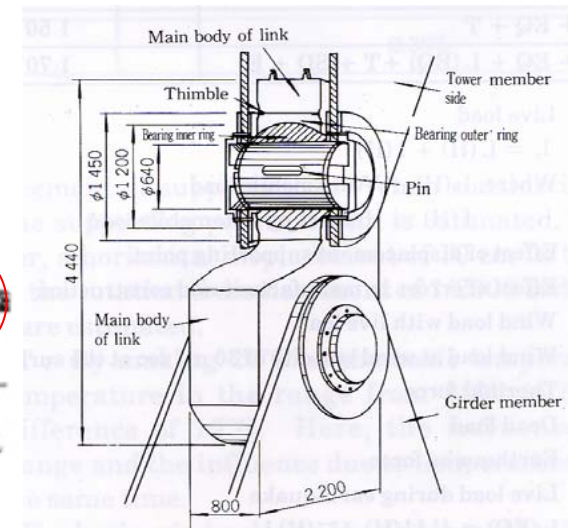


Fig.7 Link Bearing at Tower

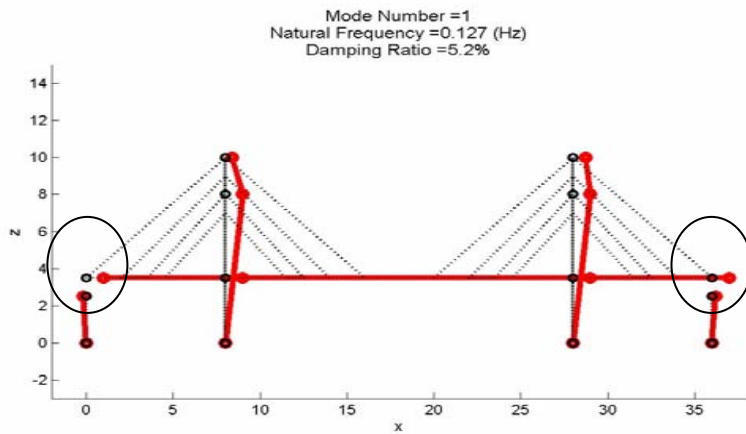
# 東神戸水路橋

## 1995年兵庫県南部地震

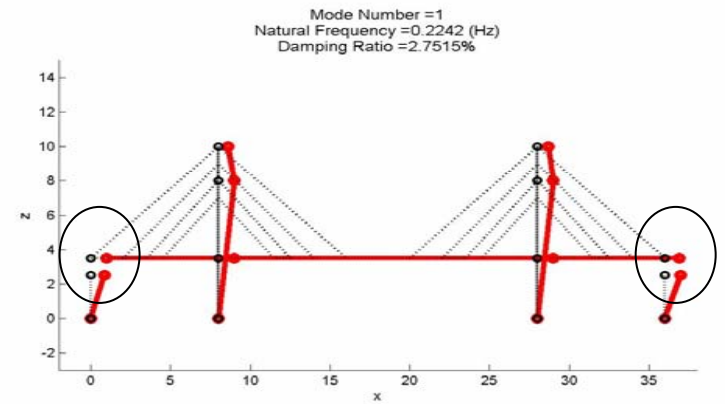
### エンドリンクの破損



# 同定された3つの遊動円木振動モード

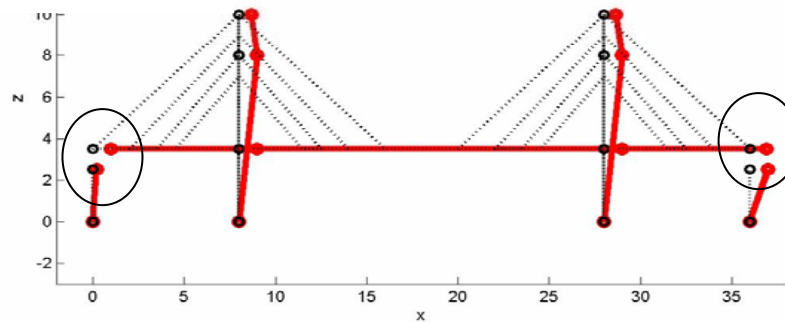


(a) Typical slip-slip Mode  
(Earthquake 1990-02-20 Frame-1)



(b) Typical Stick-Stick Mode  
(Earthquake 1992-02-02 Frame-2)

Mode Number  
atural Frequency =0.22133  
Damping Ratio =3.6144%

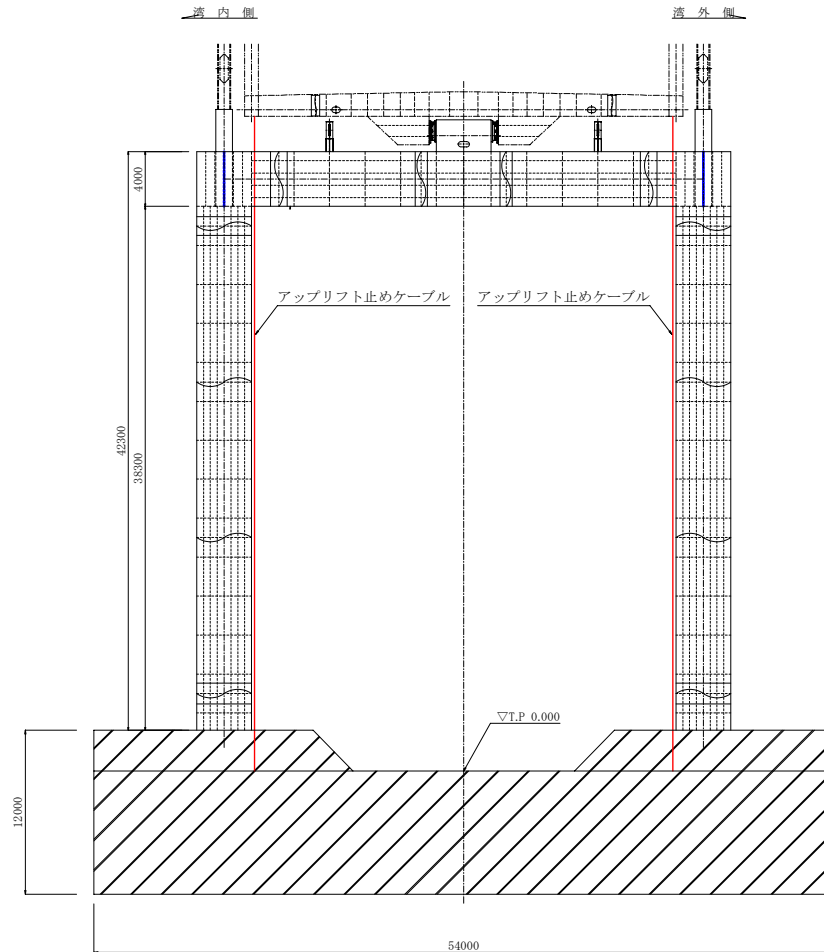


(c) Typical Mixed Slip-Stick Mode  
(Earthquake 1995-07-03 Frame-1)

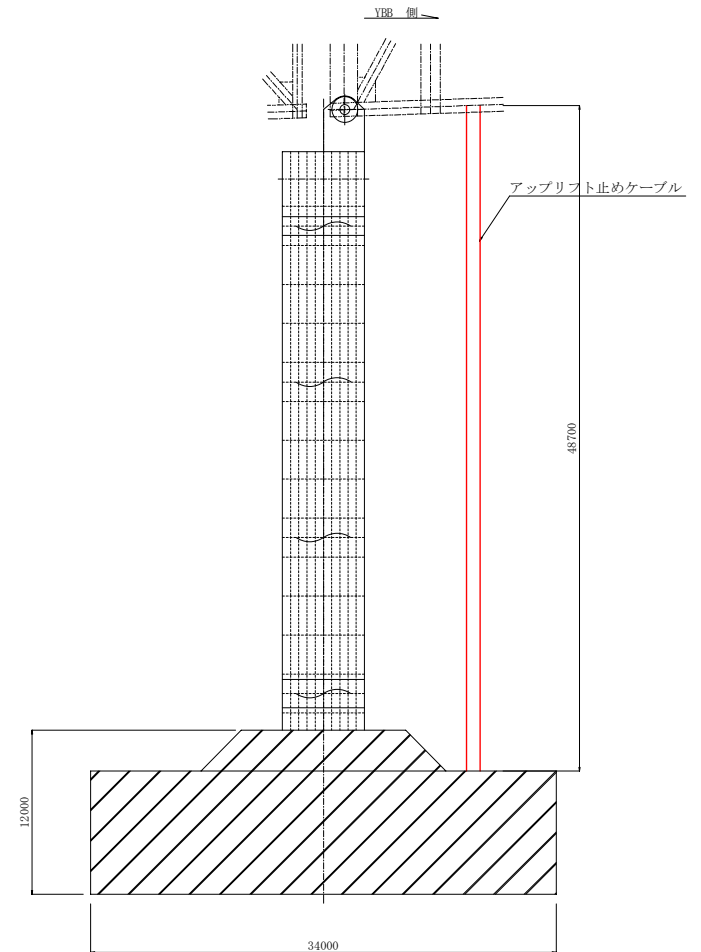
# 端部で桁とフーチングをPCケーブルでつなぐ

端部アップリフト止め (案) (1/150)

正面図



側面図



# 9. 事故記録に見られる前兆現象 朱鷺メッセ連絡デッキ(2003.8.26)



- 崩壊メカニズム
  - 斜材のクリープ破壊を起点.
  - 1時間後に崩壊.
  - シミュレーション解析がなされているが, 前兆・タイミングの再現は困難.

目撃時間	目撃箇所	証言者
13:30~16:00	連絡デッキ上(落下箇所)	2名男性
14:00	落下箇所デッキ通路	1名男性 4~5名女性
19:20	連絡デッキ上(佐渡汽船と立体駐車場の真中(R5付近))	1名男性 1名女性
	連絡デッキ上(朱鷺メッセと立体駐車場の中間より駐車場寄り)	1名女性
	佐渡汽船社屋	1名男性
	立体駐車場管理室	1名男性
	朱鷺メッセ展示ホール	1名男性
	平面駐車場巡回	1名男性
19:40	連絡デッキ上(佐渡汽船~立体駐車場)	2名男性
	落下箇所付近	

# シャルルドゴール空港屋根崩壊 (2004年5月23日)

- 崩壊の数分前にクラックの進展, 音, 天井からの埃などが観察されている.



# テイ橋 (1879年12月28日)

- 強風 + 重車両通行中に崩壊
- 水平振動によって疲労・劣化が進展していた可能性
  - 載荷試験時 (1878年2月) には構造物への影響は小
  - 1878年10月 : 列車通過時に音・接合部の弛み
  - 1879年夏 : 列車通過時に水平方向の大振動
  - 軌道狂いと水平振動の相互作用で進展 ⇒ 強風 + 重車両が引き金?
- センシングで防げた?



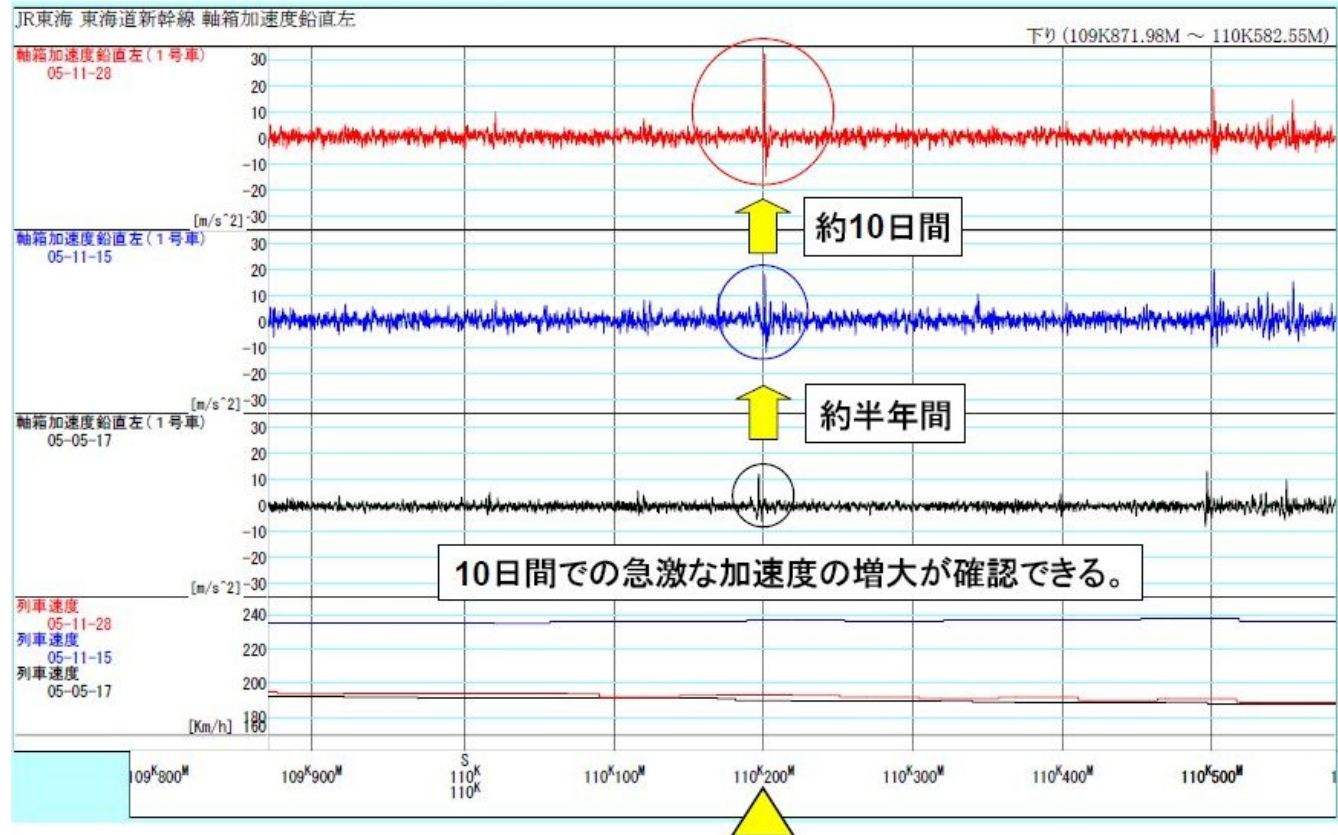
# 脆弱性モニタリング



東海道新幹線下り線110k200m付近 電気・軌道総合試験車による軸箱加速度の比較

想定外事象

前兆の  
キャッチ





# 10. 自分の1, 2の研究から

# セミアクティブセンシングの研究(藤野)



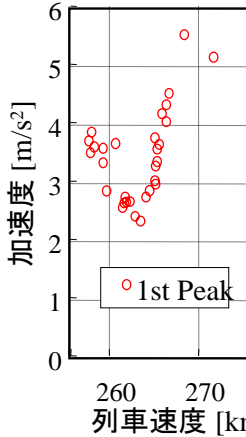
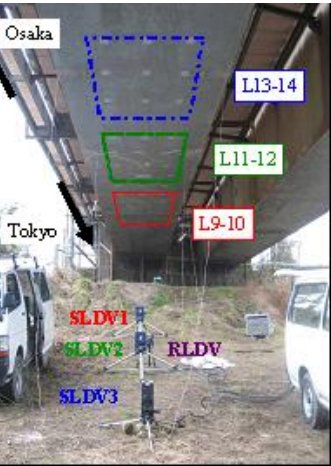
白鳥大橋

風による吊橋の振動を高密度連続センシングし、微小な空力状態依存力(変位, 速度)を逆解析から検出に成功



横浜ベイブリッジ

横浜ベイブリッジほかに多数の地震計を設置して10年来計測。地震時における想定外の振る舞いをセンシングデータの逆解析から解明に成功

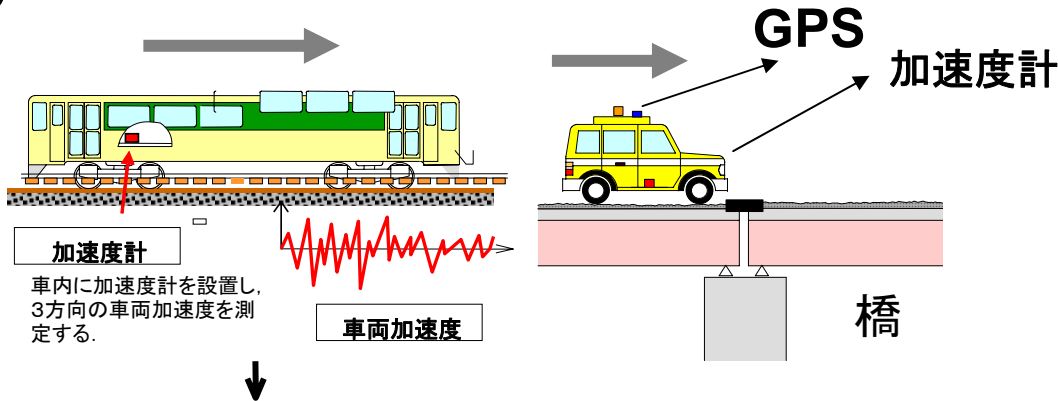


レーザー速度計測による東海道新幹線鋼橋疲労クラックの原因が高次共振であることを初めて解明

新幹線橋梁(築後43年)

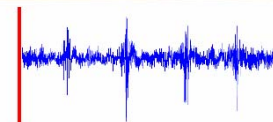
移動体を利用したセンシング

世界発の同期計測(車両と軌道・橋)





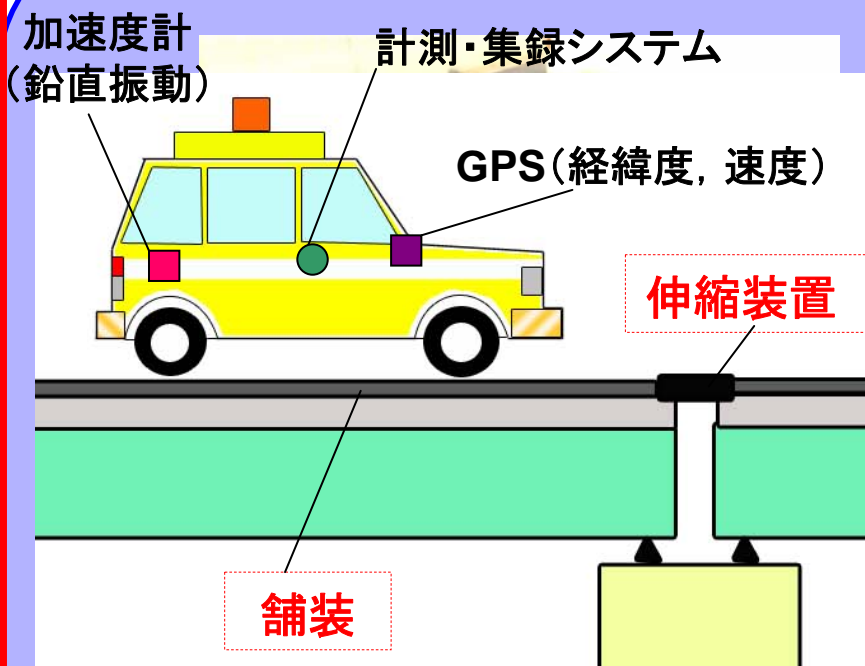
日常点検と同時に計測を実施.



# システムの構成

## Vehicle Intelligent Monitoring System ; VIMS

1. 計測・集録システムにより  
車両加速度とGPSデータを取得



計測データ.txt

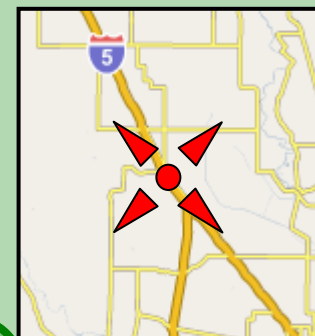
加速度,  
GPSデータ

指標値を  
計算



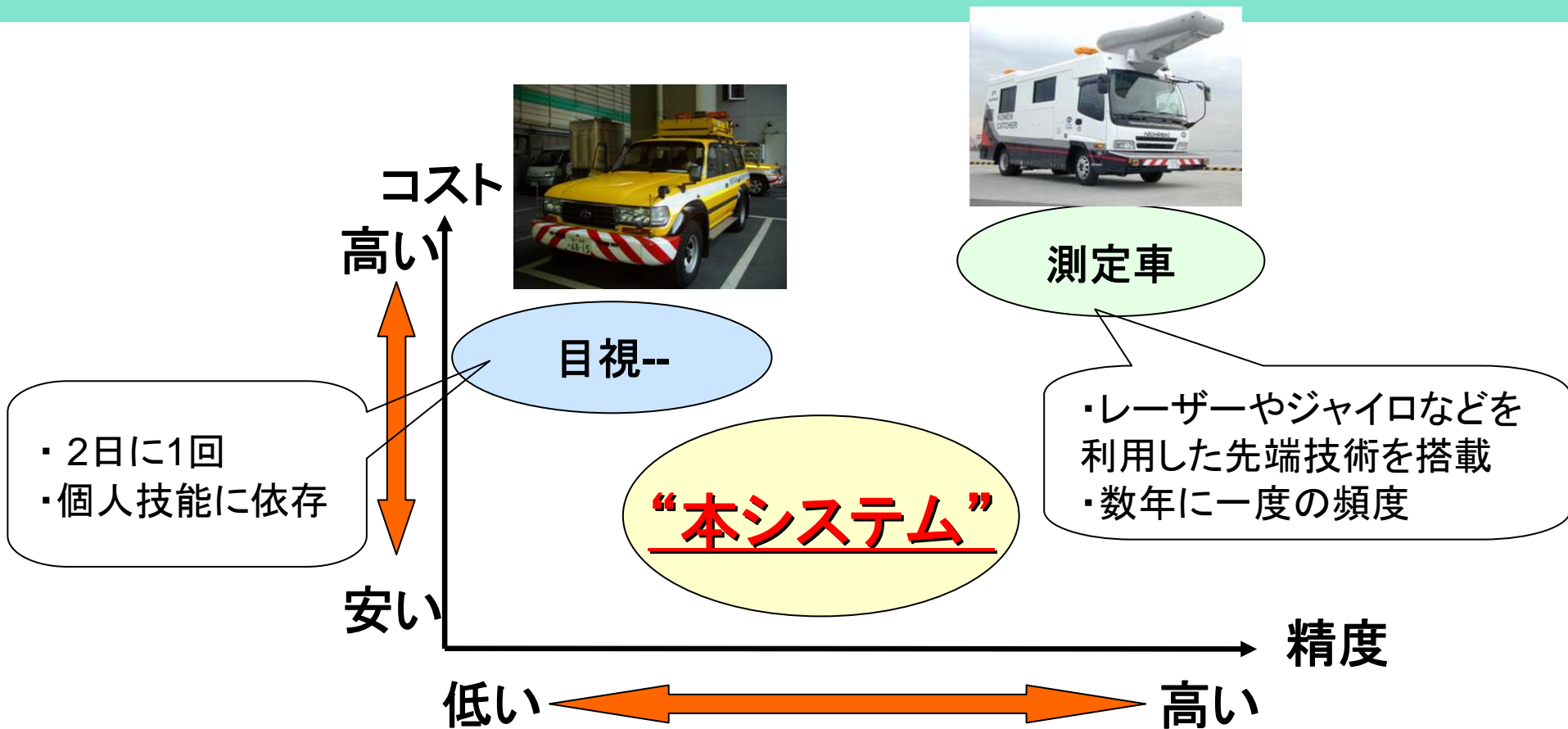
サーバ

2. 診断システム  
で結果を表示



道路管理者

# VIMSの位置づけ



実用上の精度の確保と高頻度の点検とリアルタイム診断  
による

事故防止, 合理的保全への高水準のサービスの提供

# 加速度計 MEMS加速度計 GPSセンサ(GPS sensor) パソコン

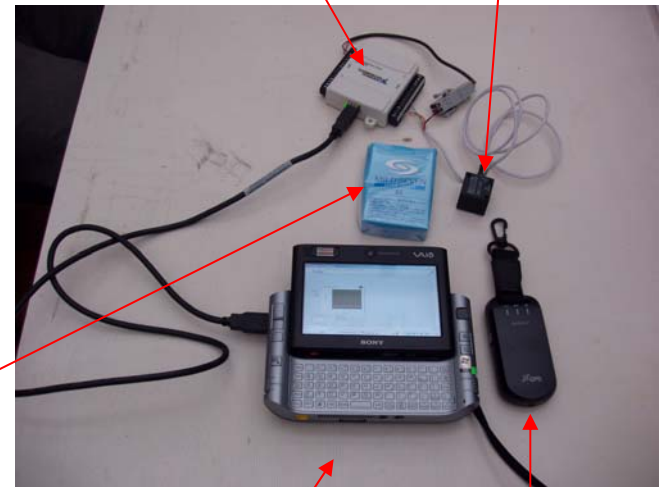
## 特徴 Features:

- コンパクト、移動が容易
- パソコン付属のバッテリー以外、外部電源は不要

A/D変換機  
(A/D conversion)

MEMS加速度計  
Accelerometer

マイルドセブン  
MILD SEVEN



小型パソコン  
Small PC

GPSセンサ  
GPS sensor

# 車両の振動を利用した 軌道モニタリングシステム

## TIMS

### (Train Intelligent Monitoring System)



加速度計  
GPS



# 車種の違い

当初，VIMSはランドクルーザーを対象として開発された。



計測コース：首都高速道路小松川線  
計測距離：約 7 km  
評価対象：舗装のIRI ( 200m毎 )

異なる車種では結果も異なってしまう。



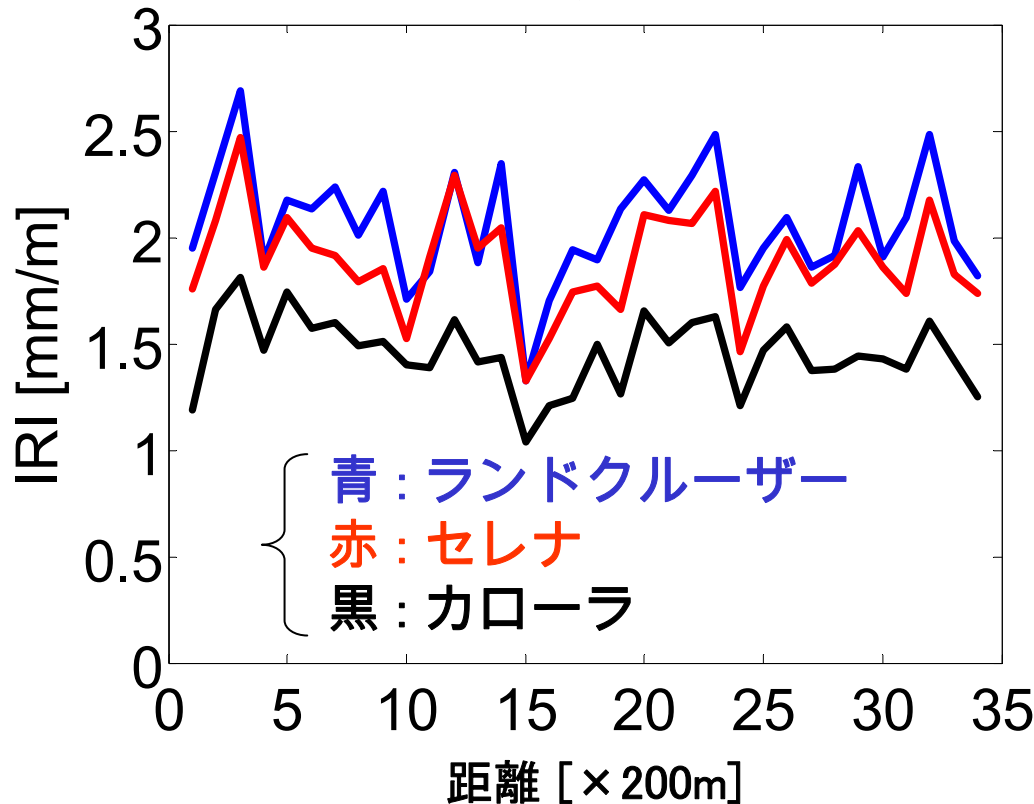
ランドクルーザー



セレナ



カローラ



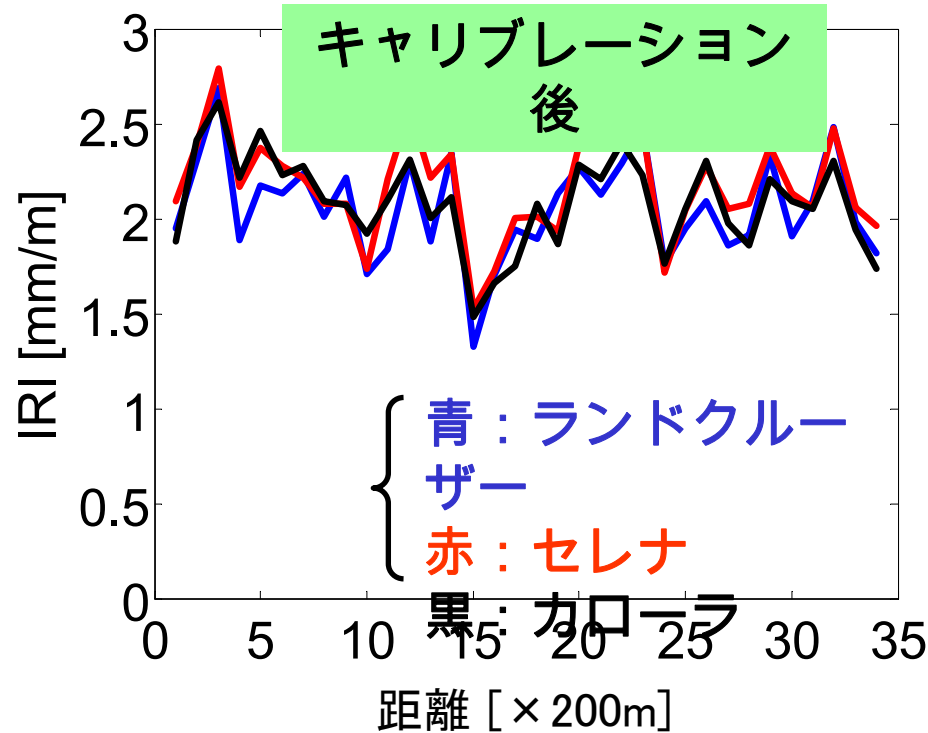
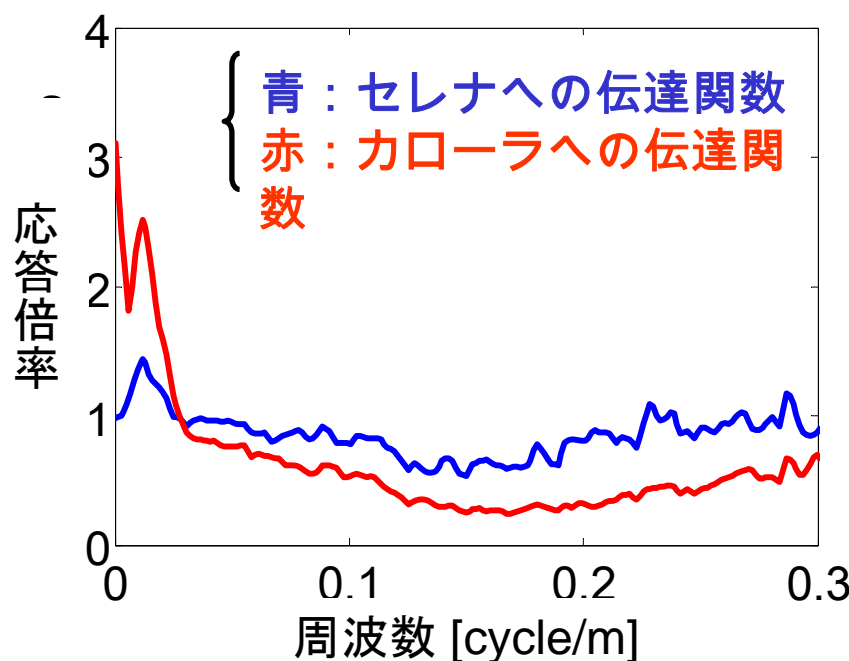
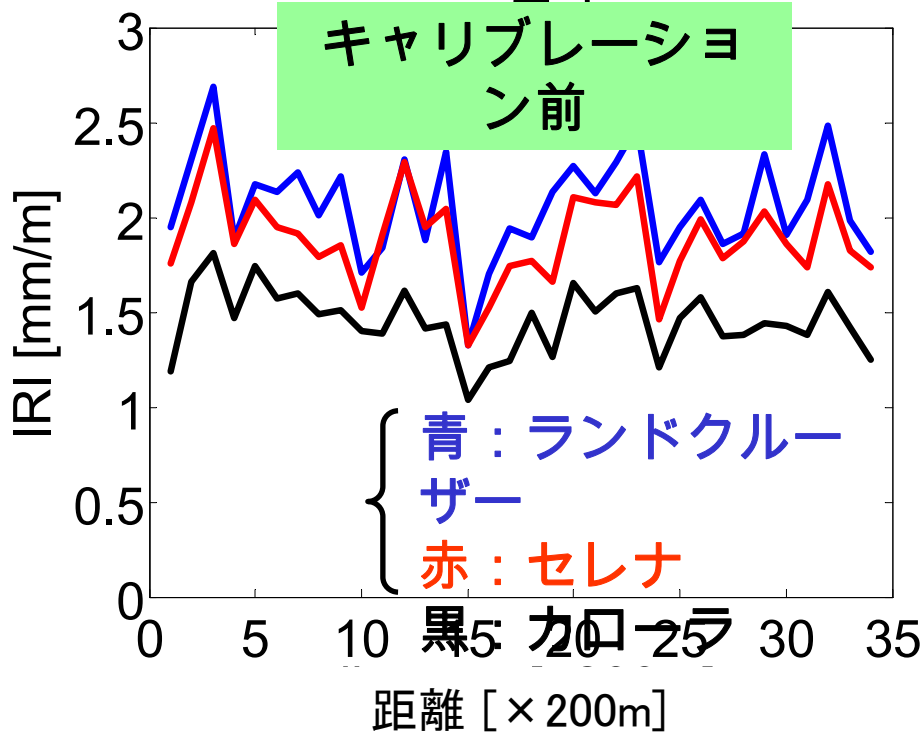
# 首都高速道路川口線で3車種による計



ランドクルーザーからセレナ，カローラ  
への伝達関数を算出

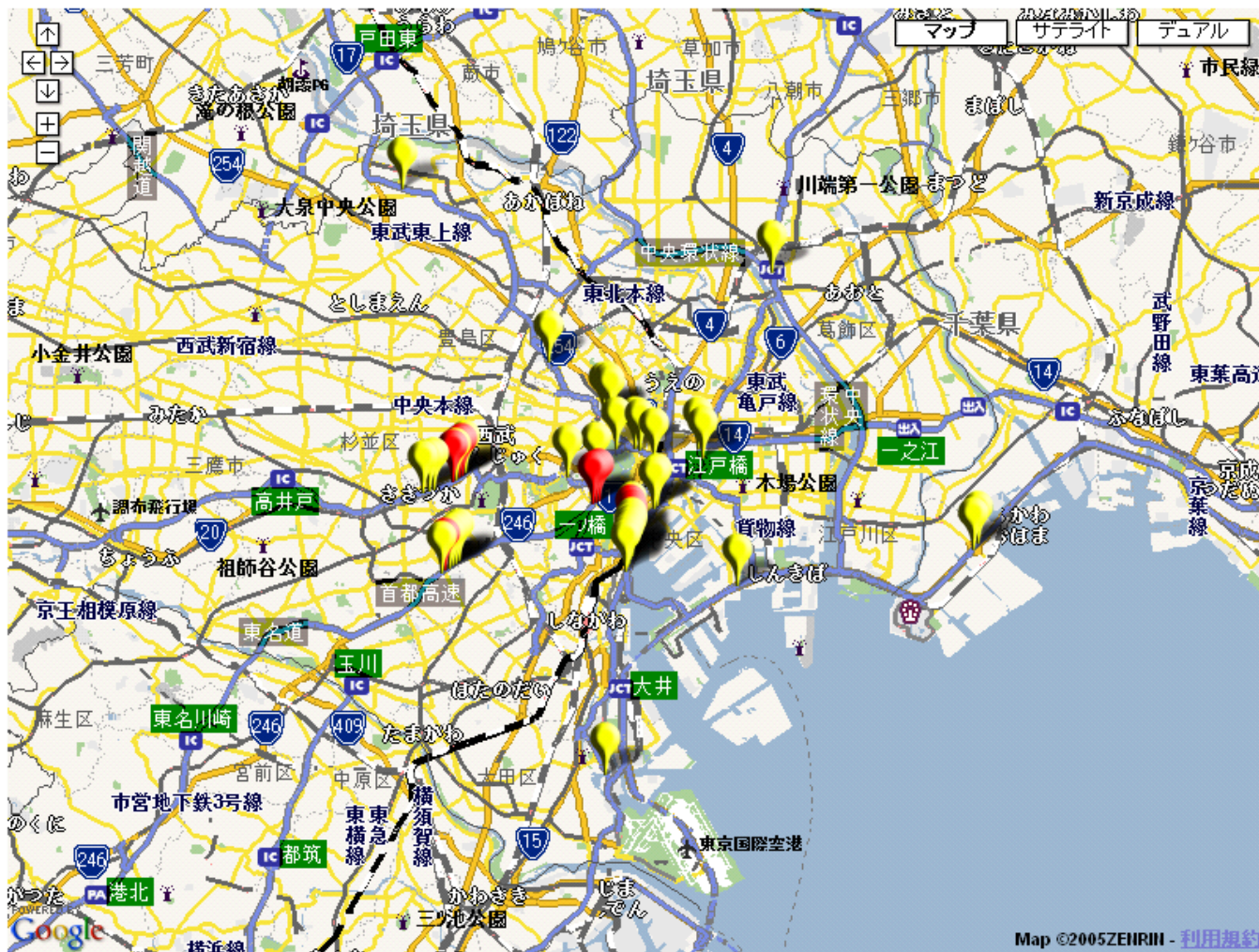


この伝達関数を利用してキャリブレーション  
(首都高速道路小松川線における計測へ適  
田)





# 一晚 VIMSで測ると



## 【IRI統計データ】

最大:2.49mm/m

最小:0.75mm/m

平均:1.45mm/m

基準以上:50箇所

下り、外回り、悪

下り、外回り、良

上り、内回り、悪

上り、内回り、良

📍:IRIワースト10

📍:IRI 2mm/m以上

# 診断システムトップ画面

VIMS - 舗装・伸縮装置診断結果 - Microsoft Internet Explorer

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

戻る 検索 お気に入り

アドレス http://bridge.tu-tokyo.ac.jp/cfdocs/master\_thesis/komatsu\_result.cfm

## 舗装・伸縮装置診断結果

点検項目	異常件数(件)	異常判定基準
伸縮装置部段差	<a href="#">180</a>	段差5mm以上
舗装IRI	<a href="#">8</a>	IRI 2mm/m以上
伸縮装置部金属音	0	金属音がする場合
舗装平坦性	0	平坦性標準偏差〇〇以上

ページが表示されました

インターネット

# IRIが大きい箇所を表示例

## 首都高速道路全線の位置情報を数値化

VIMS2005/11/02 の点検結果 - Microsoft Internet Explorer

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

戻る 検索 お気に入り

アドレス(D) http://bridge.tu-tokyo.ac.jp/cfdocs/master\_thesis/komatsu\_pave\_iri\_result.cfm 移動 リンク

### 【2005/11/02 の点検結果】

舗装番号: P-6  
IRI: 2.2 mm/m  
[詳細情報](#)

【IRI統計データ】

- 最大: 2.2 mm/m
- 最小: 0.8 mm/m
- 平均: 1.6 mm/m

【検索フォーム】

計測日: 2006/01/28

移動

・IRIワースト10

ページが表示されました

インターネット

# 段差量が大きい箇所を表示例

VIMS2005/11/02 の点検結果 - Microsoft Internet Explorer

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

戻る 検索 お気に入り

アドレス(D) http://bridge.tu-tokyo.ac.jp/cfdocs/master\_thesis/komatsu\_exresult.cfm

## 【2005/11/02 の点検結果】



継手番号: E-341  
段差: 18.3 mm  
[詳細情報](#)

### 【段差量統計データ】

最大: 18.3mm  
最小: 4.1mm  
平均: 8.9mm

### 【検索フォーム】

計測日: 2006/01/28

移動

●: 段差量ワースト10  
●: 段差量10mm以上

ページが表示されました

インターネット

# 各箇所の詳細表示例

詳細情報 - Microsoft Internet Explorer

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

戻る 検索 お気に入り

アドレス(D) [http://bridge.tu-tokyo.ac.jp/cfdocs/master\\_thesis/komatsu\\_exresult2.cfm?name=112](http://bridge.tu-tokyo.ac.jp/cfdocs/master_thesis/komatsu_exresult2.cfm?name=112) 移動 リンク

## 詳細情報

### 【段差履歴】

点検日	段差 (mm)
2005/11/02	14.5
2005/12/29	13.5
2006/01/28	15.0

### 【構造諸元データ】

路線名	高速7号小松川線
継手番号	E-347
方向	下
車線区分	走行
地域条件	住宅地区
立地条件	管理用地上(公園含)
形式	ゴム
現形式名称	エースB50

### 【補修履歴データ】

継手履歴	形式名称	補修年月	損傷内容
当初	ハマ4NYB	1971/03/01	
1回目	エースB50	2000/12/01	バタツキ
2回目			
3回目			
4回目			
5回目			

### 【点検履歴データ】

# 新システムをバンコクの高速道路に適用

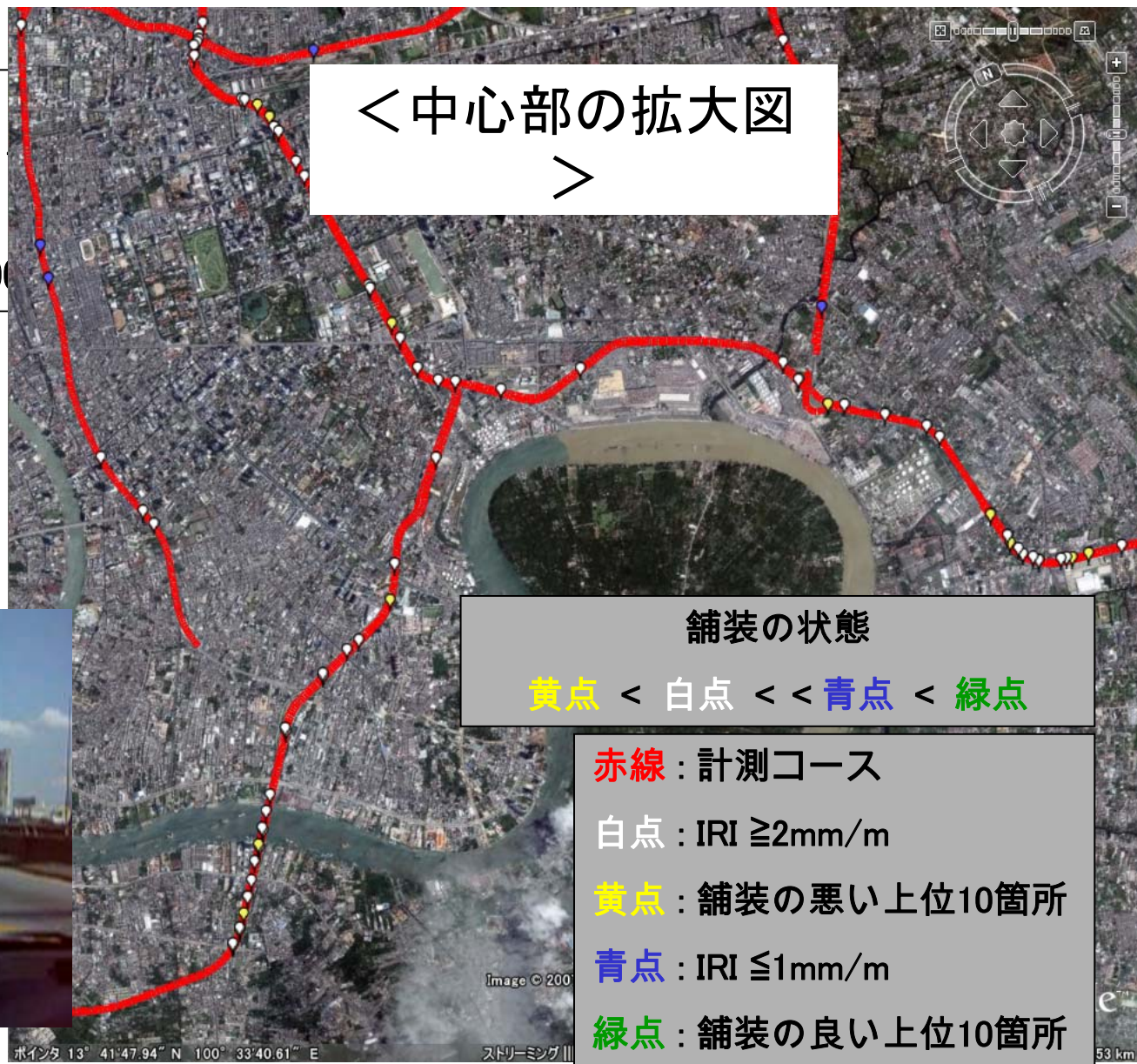
## < 計測の概要 >

日時：2006.11.20～2006.11.21  
計測距離：約304km  
評価対象：舗装のIRI ( 20箇所  
毎 )

## < 計測風景 >



## < 中心部の拡大図 >



### 舗装の状態

黄点 < 白点 << 青点 < 緑点

赤線：計測コース

白点：IRI  $\geq 2\text{mm/m}$

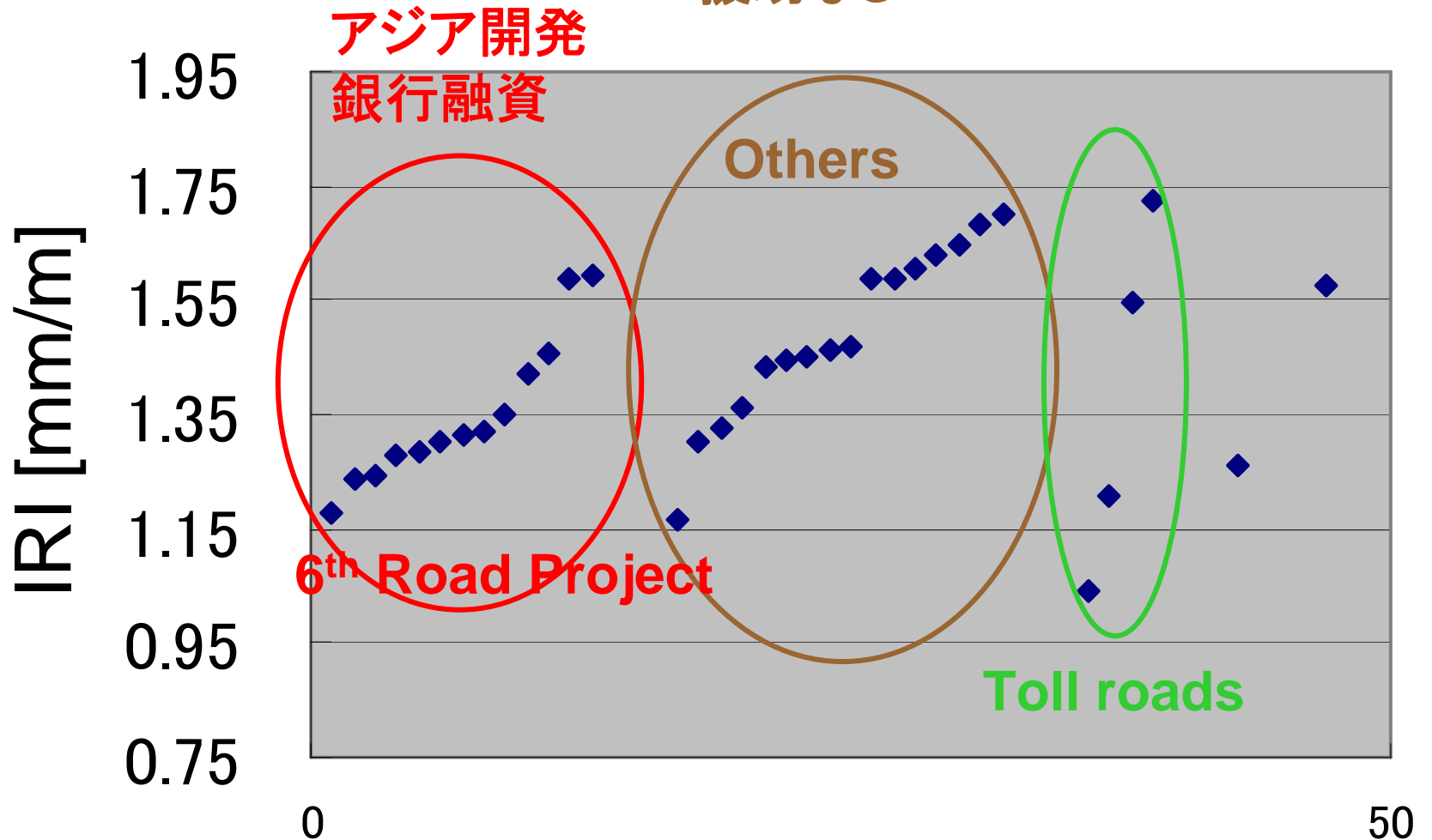
黄点：舗装の悪い上位10箇所

青点：IRI  $\leq 1\text{mm/m}$

緑点：舗装の良い上位10箇所

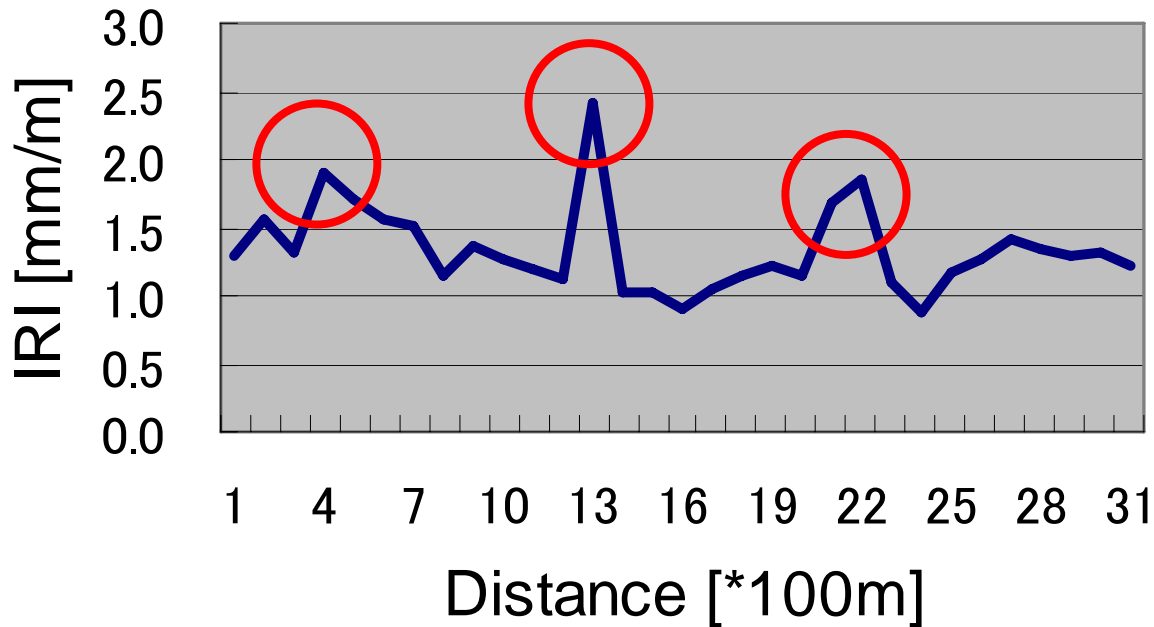
# Comparison by Road types

援助なし



# The road funded in the 6<sup>th</sup> road project

## Lemery - Balayang 3



- **Bad sections also exist.**
- **Only some limited sections.**



# Others

Though there are not enough budget in total, the allocation of the budget is not appropriate: projects, equipments in the office, etc

## DPWH regional office in Baguio



**Planning: many PCs**



**Quality control : typewriter, few PCs**

## アジアハイウェイ路線網図



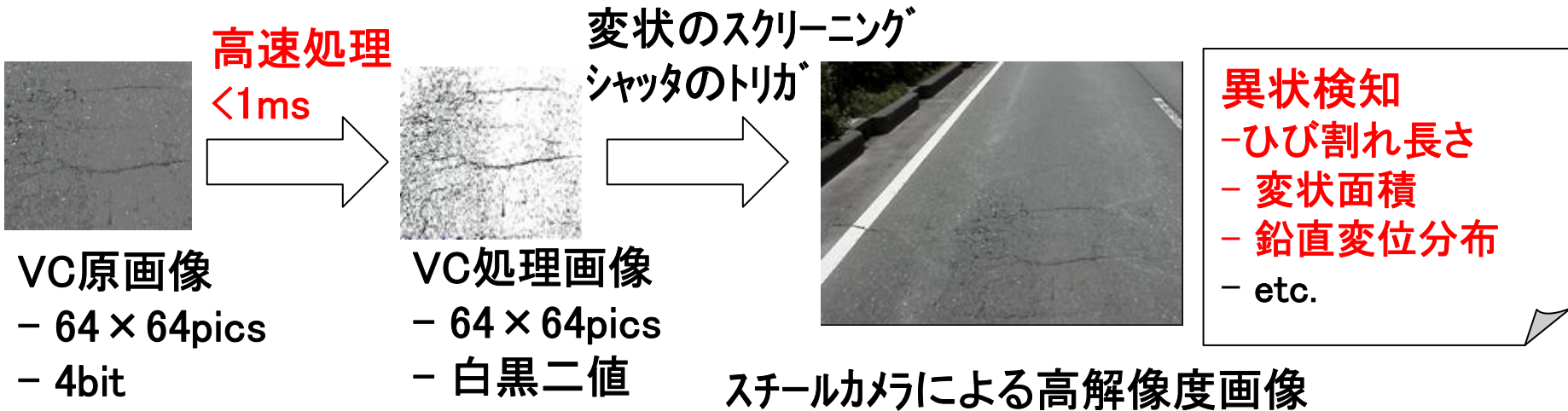
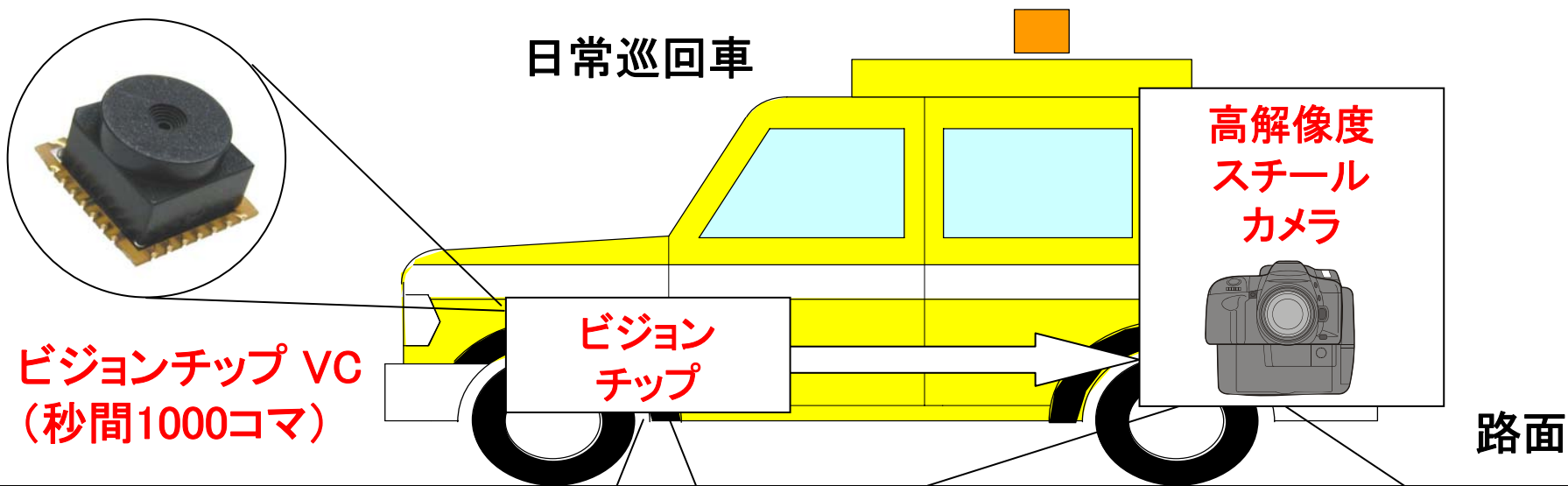
# アジアハイウェイ

現状：舗装率のみ  
道路の状態  
情報はない  
VIMSを使って建設  
投資、保全の効率化

首都高速でのフィールドテストをさらに重ね  
わが国に、世界にVIMS  
(とTIMS)の技術を普及  
させたい



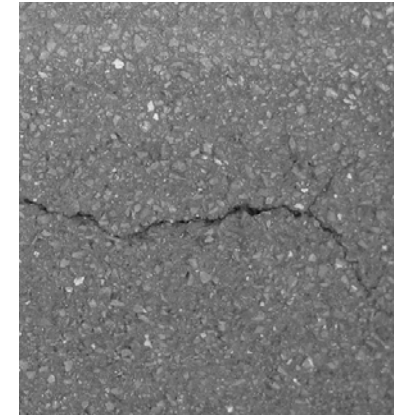
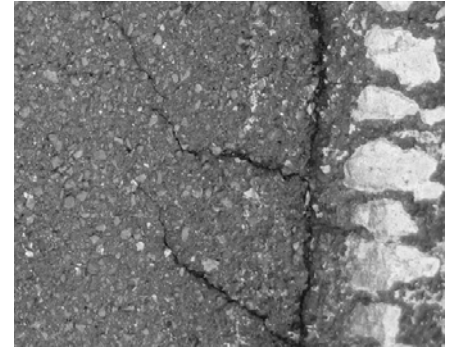
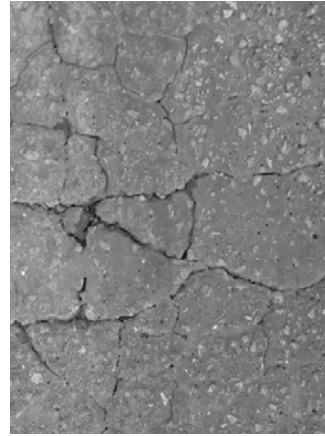
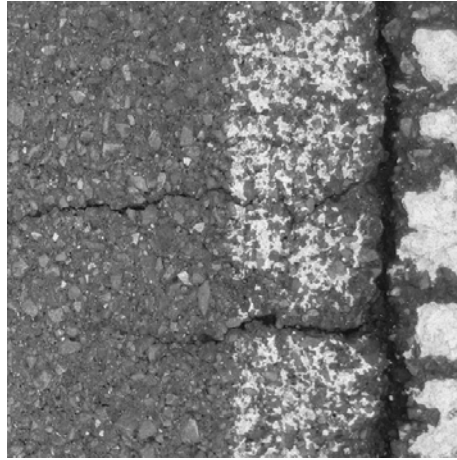
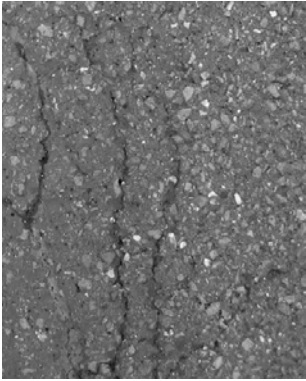
### ③ 高速視覚センサによる舗装・伸縮装置の局所的計測手法の確立



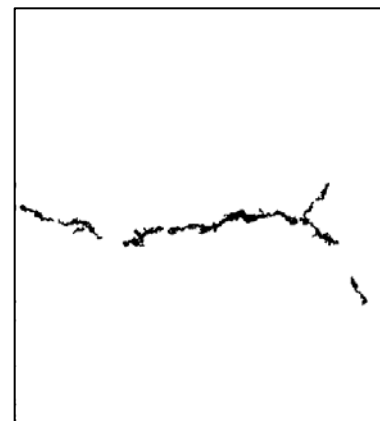
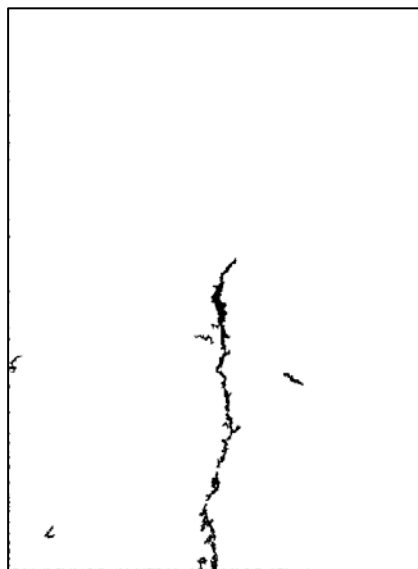
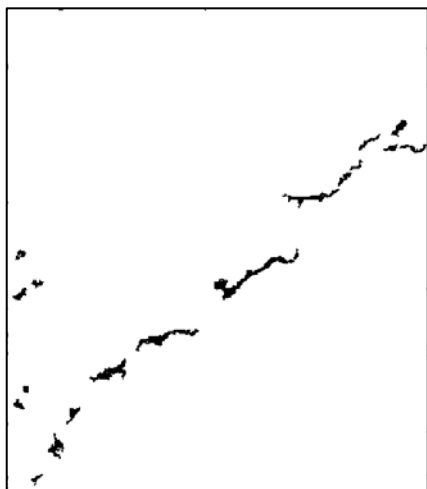
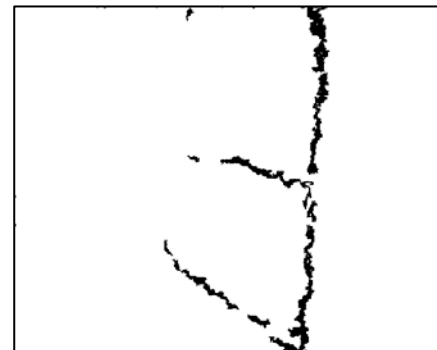
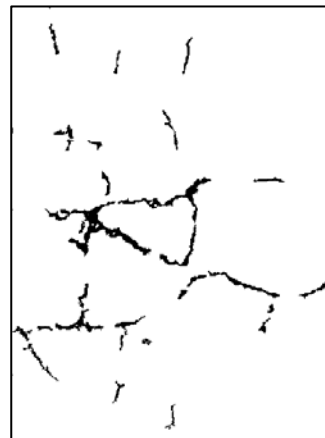
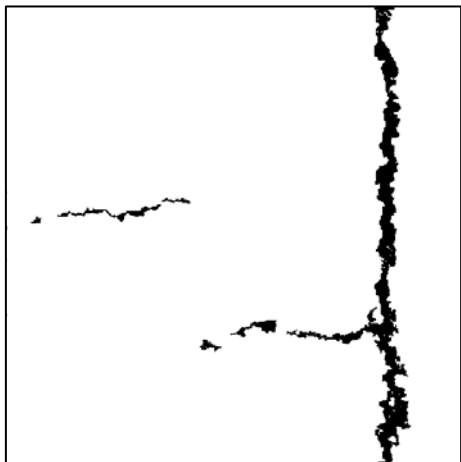
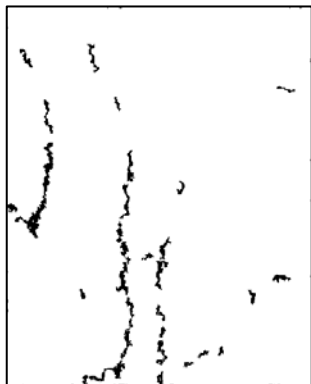
◆ Damages on the pavement of the highway road



◆ Zoomed up images of damaged area



◆ Damage detected by the image automatically





JR羽越線脱線

風や揺れ列車で観測を

藤野 陽三 東京大教授 (社会基盤学)

局部的に大きく変化する風の表態をつかむには極めて高密度な定点観測が必要だ。鉄道や道路などを相手にすれば膨大な数の風速計が必要、経済的負担も大きい。

計測を補完する方法の一つとして、実際の列車に計測器を取り付け、脱線につながる危険を察知する新しい視点を提案したい。羽越線010年の歴史の中で、風による脱線は初めてではない。列車が脱線時に現場を通行したは今が初めてではないだろう。車両の揺れや風の流れを計測する計測器を列車に搭載して常にモニタリング(観測)すれば、何らかの危険をあらかじめ知ることが期待できる。

列車のような移動体自体をモニタリングする手法はこれまで、あまり用いられていないが、感知器や情報通信機器の発達で実現可能になってきた。私などは千葉県のいすみ鉄道の脱線を得て行中の列車の揺れを計測し、そこから得られる情報を防災や安全に役立つ研究を行っている。風速計などを組み合わせれば風も計測できる。

この方法の利点は、風に限らずあらゆる原因による異常走行を検知できることだ。事故のたにに明らかになる、未知の想定外の出事事も、大事故になる前に防ぐことができる可能性がある。システムを運転台やオンラインで調べれば、走行状態に即して減速したり停止したりすることもできるなど、新たな安全対策の道が開かれよう。

日本の鉄道工学はこれまで、事故の度に新たな教訓を得て新しい技術を導入し国際的にも高いレベルの安全性を実現してきた。今回の事故から、局所的な強風という難しい問題に対する新たな対策が開発され、より安全な鉄道が実現されることを期待する。

2006.6.27 朝日新聞

私の視点

東京大工学部教授 (社会基盤学) 藤野 陽三



◆インフラ事故 常時モニタリングで防止を

インフラ事故の防止は、近年ますます重要視されている。その中でも、鉄道や道路などの交通インフラの安全性は、社会の発展にとって不可欠である。今回のJR羽越線脱線事故は、このようなインフラ事故の深刻さを改めて示している。事故の原因は、局所的な強風による列車の揺れと見られる。これは、従来の観測方法では捉えきれないような、瞬間的な気象変動によるものである。したがって、従来の定点観測だけでは、このような事故の防止は難しい。そこで、本稿では、列車に計測器を搭載して、走行中の揺れや風の流れを常時モニタリングする新しい観測方法を提案する。この方法は、風速計だけでなく、加速度計や傾斜計なども搭載することで、列車の走行状態を総合的に把握できる。また、得られたデータをリアルタイムで解析し、異常を検知した場合に自動的に減速や停車を行うことも可能である。このような常時モニタリングによる事故防止は、従来の事後対応型から、事前予防型へと大きく転換させることができる。また、この技術は、鉄道だけでなく、道路や橋梁などの他のインフラにも応用できる。例えば、道路にセンサーを設置して、路面の凹凸や凍結を検知することで、交通事故の防止にも役立つ。また、橋梁にセンサーを設置して、橋の劣化や変位を検知することで、大規模な崩壊事故の防止にも役立つ。したがって、インフラの安全性を高めるためには、このような新しい観測技術の導入が不可欠である。政府や関係機関は、このような新しい観測技術の研究開発を積極的に支援し、早期に実用化を図るべきである。また、事故発生時の迅速な対応も重要である。事故発生後、関係機関は、迅速に現場に駆けつけ、被害の拡大を防ぐとともに、原因の調査を進める必要がある。また、事故の教訓を踏まえ、今後の事故防止に活かすことも重要である。インフラの安全性は、社会の発展にとって不可欠である。今回のJR羽越線脱線事故は、このようなインフラ事故の深刻さを改めて示している。したがって、従来の観測方法だけでは、このような事故の防止は難しい。そこで、本稿では、列車に計測器を搭載して、走行中の揺れや風の流れを常時モニタリングする新しい観測方法を提案する。この方法は、風速計だけでなく、加速度計や傾斜計なども搭載することで、列車の走行状態を総合的に把握できる。また、得られたデータをリアルタイムで解析し、異常を検知した場合に自動的に減速や停車を行うことも可能である。このような常時モニタリングによる事故防止は、従来の事後対応型から、事前予防型へと大きく転換させることができる。また、この技術は、鉄道だけでなく、道路や橋梁などの他のインフラにも応用できる。例えば、道路にセンサーを設置して、路面の凹凸や凍結を検知することで、交通事故の防止にも役立つ。また、橋梁にセンサーを設置して、橋の劣化や変位を検知することで、大規模な崩壊事故の防止にも役立つ。したがって、インフラの安全性を高めるためには、このような新しい観測技術の導入が不可欠である。政府や関係機関は、このような新しい観測技術の研究開発を積極的に支援し、早期に実用化を図るべきである。また、事故発生時の迅速な対応も重要である。事故発生後、関係機関は、迅速に現場に駆けつけ、被害の拡大を防ぐとともに、原因の調査を進める必要がある。また、事故の教訓を踏まえ、今後の事故防止に活かすことも重要である。

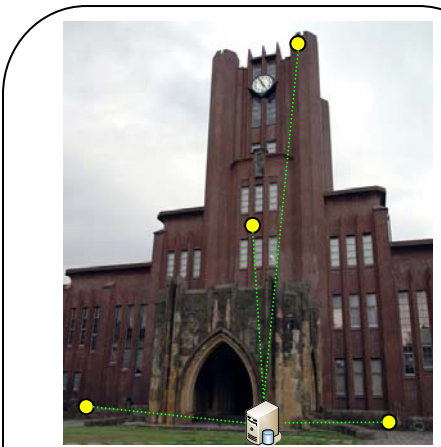
戦略的創造研究推進事業(CREST)

11. 都市基盤の災害事故リスクの監視とマネジメント (2006.10 - 2011.3)

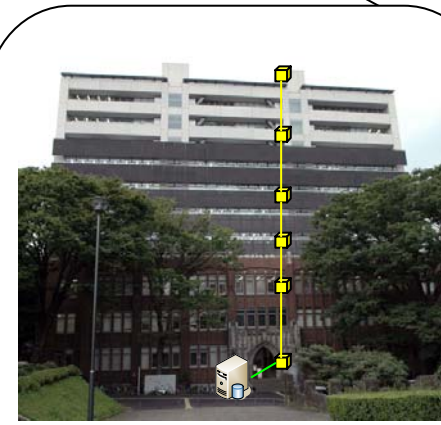
藤野, 安藤(計測), 呉(土木) 中山(情報), 平位(三菱電機)

# 都市基盤の災害事故リスクの監視とマネジメント(CREST)

# 東大キャンパス



加速度計測



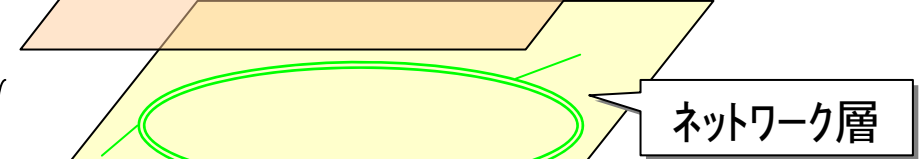
変位計測

リスクの可視化  
定量化

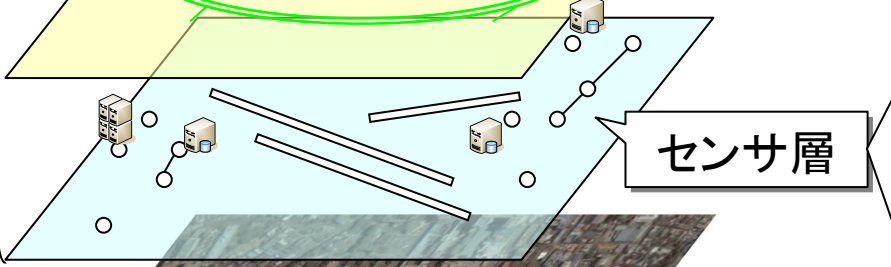
防災  
危険予知  
避難  
復旧の迅速化



アプリケーション層



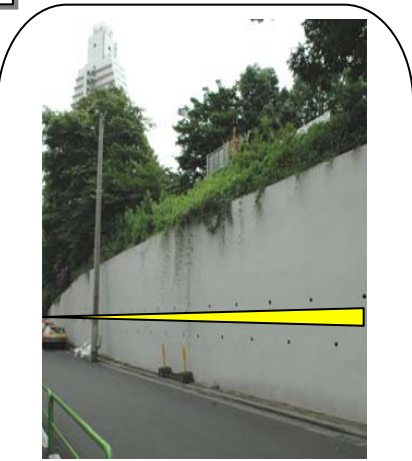
ネットワーク層



センサ層



東京大学  
本郷キャンパス



分布センシング：  
擁壁のはらみ出し



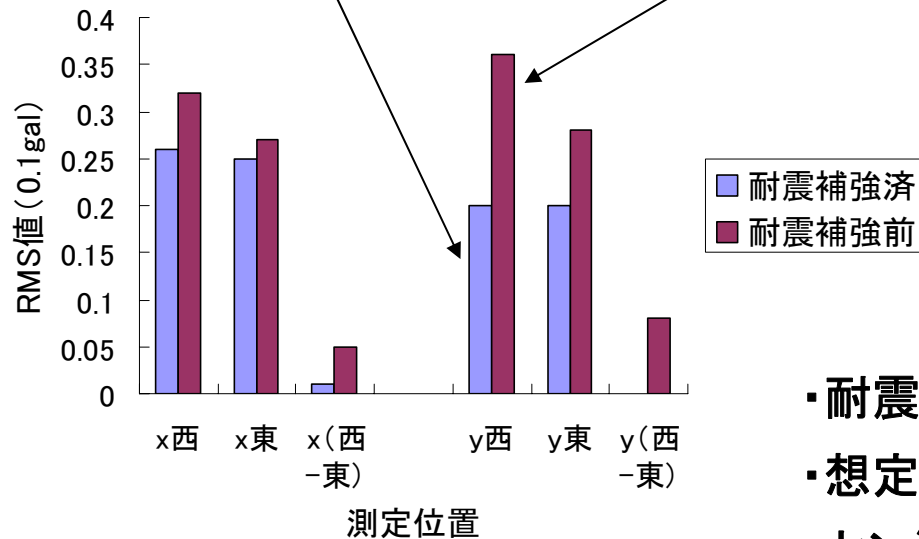
# 東大キャンパス



建物の常時微動を測定

耐震補強実施済

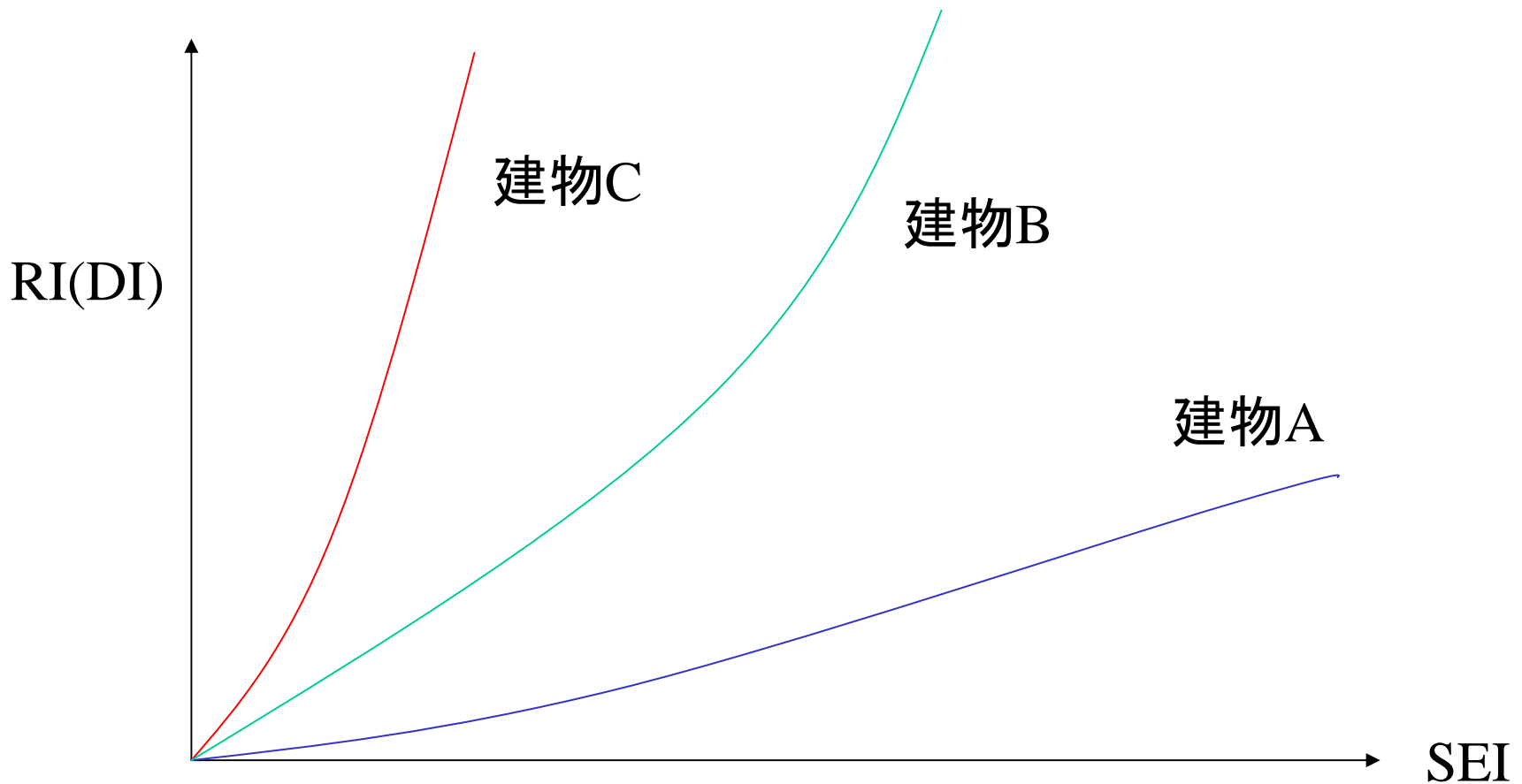
耐震補強未実施



- ・耐震補強効果が明らか
- ・想定外の挙動「ねじれ」の影響か？
- ・センシングによる脆弱性検知への第1段階

# 建物群の性能評価

## セミアクティブセンシングの具体像



- 推定最大変位 = 応答指数 (response index: RI)
- $DI$  (変形指数: deformation index) =  $RI/H$

# 開発する多点変位計測方式



## 光の多重極と 6軸変位計測ネットワーク

東京大学工学部計数工学科 大学院情報理工学系研究科

安藤 繁  
+  
三菱電機

# 多重極波面

## 特異点(零点)を有する波面

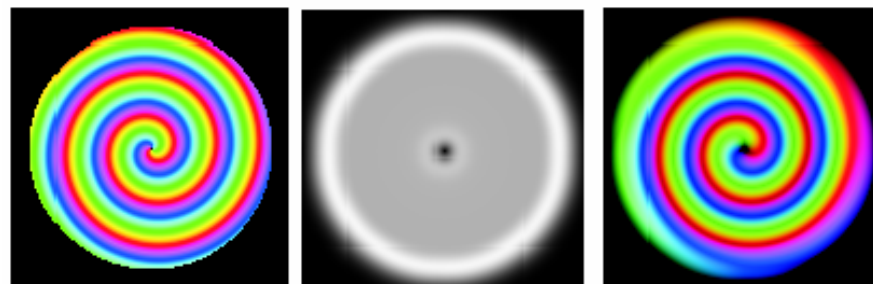
- 振幅零
- 位相不連続
- 特異点一周で $2n\pi$ 位相回転
- ぼけにより特異点からの距離に比例して振幅減少
- 位置情報の面的拡散符号化
- 検出容易
- エネルギーの光軸付近への集中
- 遠方伝搬により不変

### 線形動径型

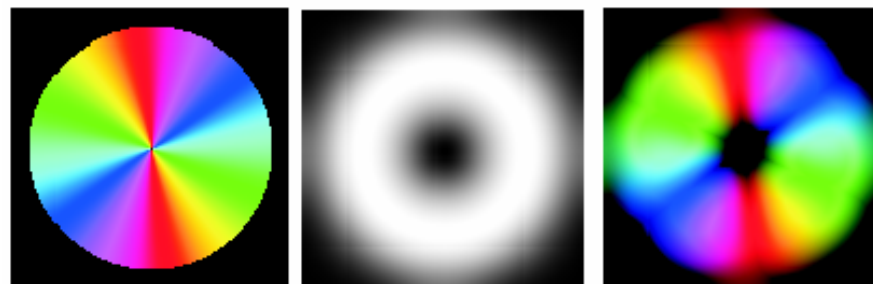
$$f(r, \theta) = A(r)e^{j(n\theta + kr)}$$

### 対数動径型

$$f(r, \theta) = A(r)e^{j(n\theta + k \log r)}$$



(a) 線形動径型 ( $n = 2, k = 2\pi/20$ )



(b) 指数動径型 ( $k = 0, n = 2$ )



(c) 指数動径型 ( $k = 1, n = 2$ )

図 83. 垂直に置かれた多重極反射板とぼけ応答。

# システム概要と機能



## 1. 1次元連鎖構造

- 面的広がりが不可能
- トンネル, 橋梁, 配管, ...

## 2. 6軸精密静止変形計測

- 並進3軸 (精度~数10 $\mu$ m)
- 回転3軸 (精度~数10 $\mu$ rad)
- 高測定頻度 (~数測定/min)

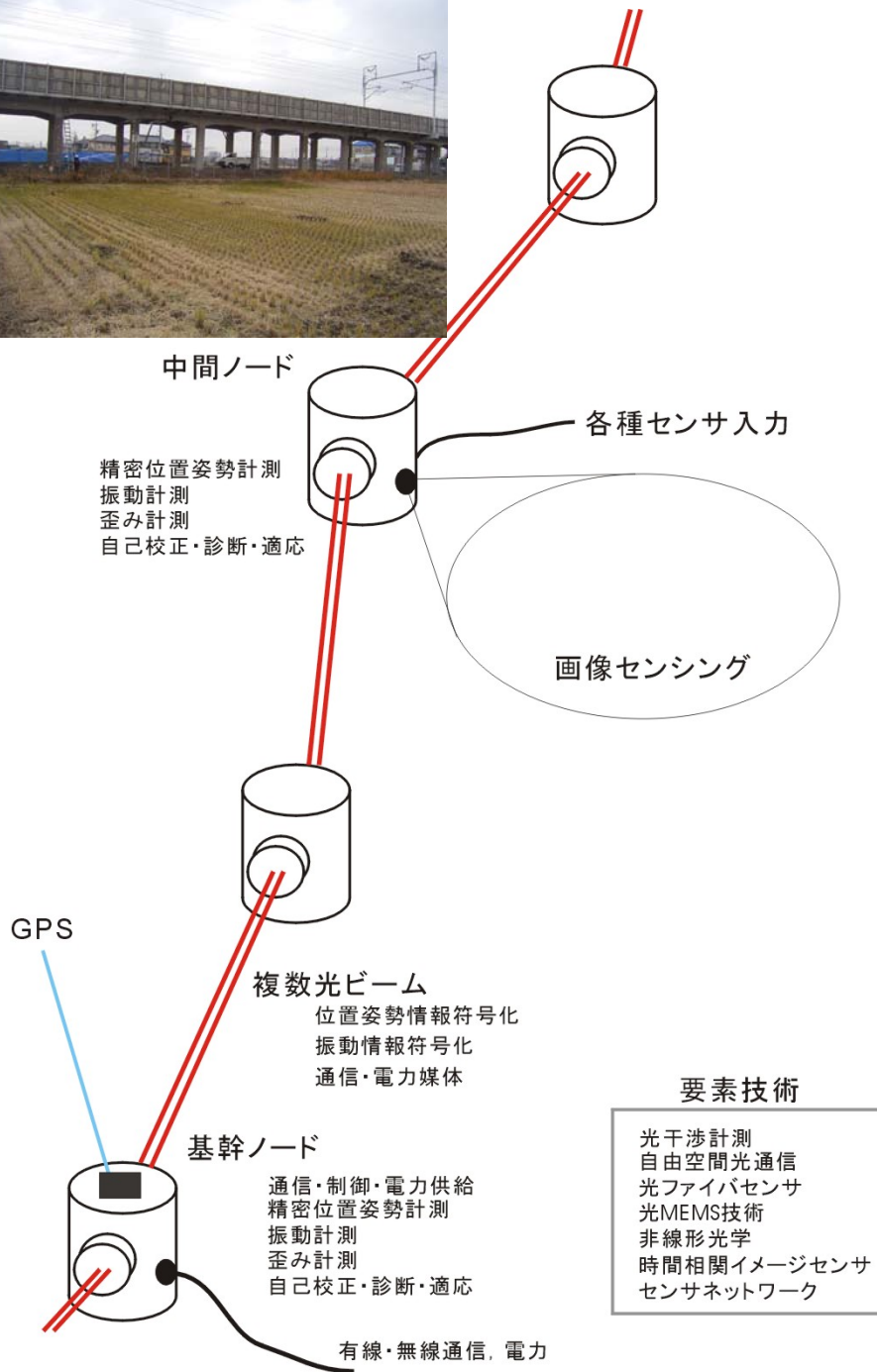
## 3. 3軸振動計測

## 4. 汎用センサノード機能

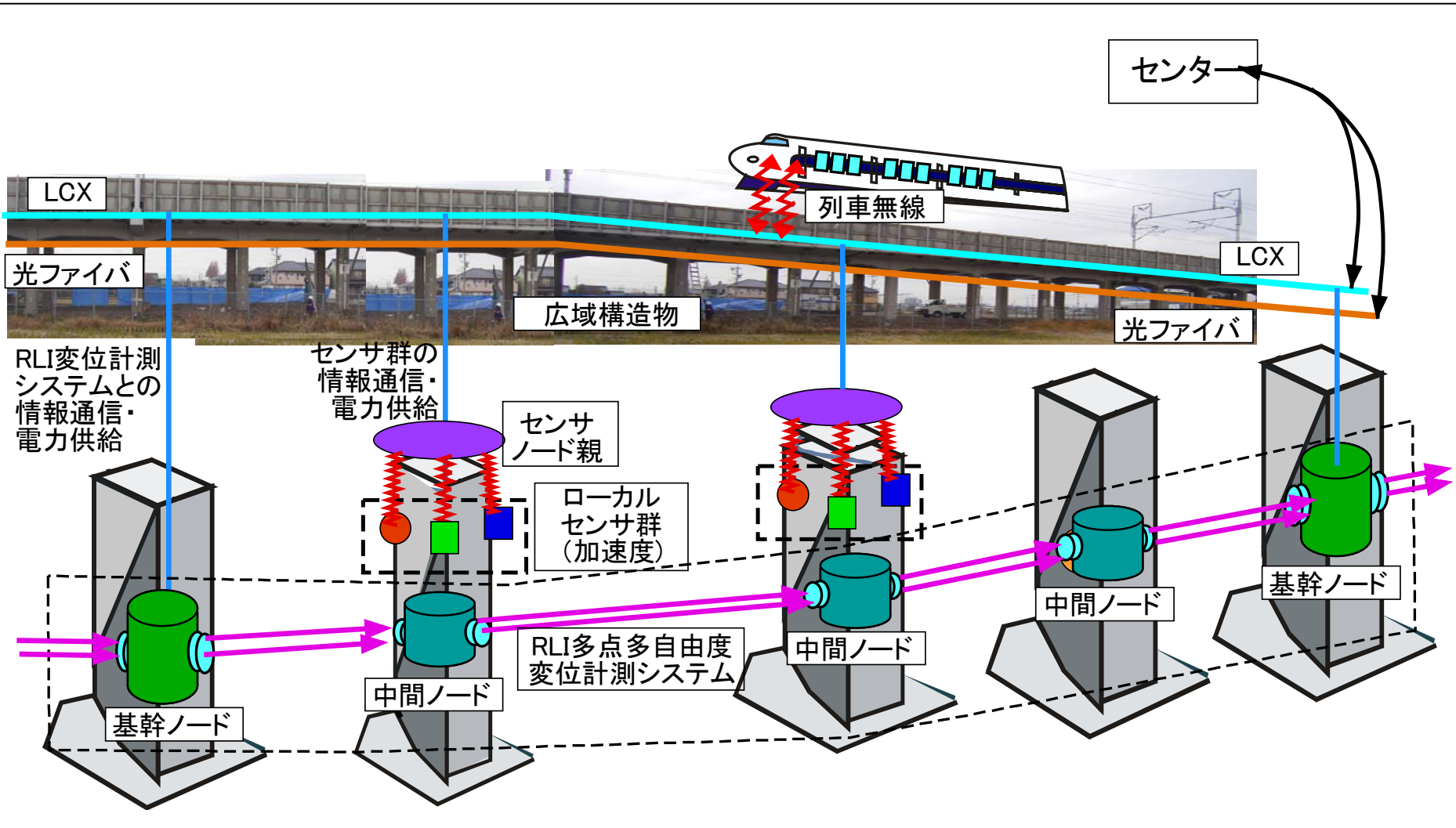
- 通信機能
- センシング機能
- 省電力・遠隔電力供給

## 5. 自己校正・診断・適応

- 簡易な設置
- 簡易な保守



# 高速鉄道(東海道新幹線)



# **US-Japan Workshop on Sensors, Smart Structures and Mechatronic Systems, at University of Tokyo, 2005, Nov**



# **US-Japan Workshop on Advanced Sensor Technologies for Safe and Secure Societies and Better Quality of Life, at Tokyo, 2007, July**

# 社会基盤の維持管理

1. 点検, 補修のサイクルの確立が急務
2. 新しいビジネスモデル, 技術の展開が必要

センシング、情報技術の貢献がありうるのではないか？  
ニーズ側との協調も欠かせない。

3. 社会基盤の安全は市場原理が機能しにくい面がある。  
(社会に画期的な貢献の可能性はあるが)

国土交通省だけの問題ではない。

国の重要課題として, 保全防災技術開発が認知されるように  
動くことも必要