

## 道路の長期保全及び更新のあり方

2014年6月16日

北海道土木技術会 鋼道路橋研究委員会  
(NPO法人)道路の安全性向上協議会

藤野 陽三, 理事長  
(横浜国立大学 安心安全の科学研究教育センター)  
[fujino@ynu.ac.jp](mailto:fujino@ynu.ac.jp)

## 橋のトータルデザイン

—橋の周りで30年—

2012年10月3日  
北海道土木技術会 鋼道路橋研究委員会

東京大学 工学系研究科  
社会基盤学専攻  
藤野陽三

2



最終講義 3月1日 東大工学部 武田先端知ビル  
4月からは工学系研究科総合研究機構  
寄付講座(次世代風力エネルギー)特任教授

### 金森博雄先生



34歳で地震研究所教授 竹内 均  
私が修士1年のときに 旺文社「傾向と対策:物理」  
36歳の金森先生は  
カリフォルニア工大教授にスカウト。  
40年以上に亘って,世界の「地震学,地球物理学」  
をリード

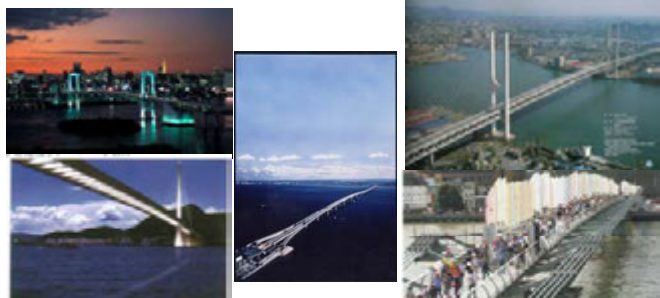


世界のカナモリ いまでも論文を年数編

私も留学

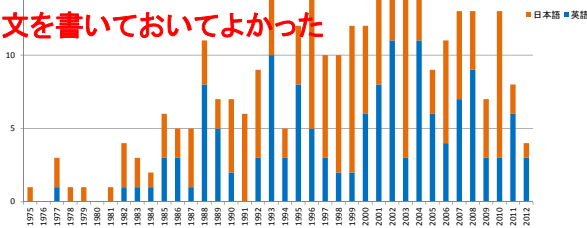
### 自分のフィールド

**橋** 中でも長大橋の計画・設計・構造,  
風,地震,人や車による振動,モニタリング  
保全,防災...インフラマネジメント.....



学術誌に掲載された、  
私の名前がついている論文  
土木分野では15位  
(マイクロソフト)

論文を書いておいてよかった



### ミレニアムブリッジ

ロンドン テームズ河  
2000年 6月オープン  
3日後に閉鎖  
意匠 N. Foster 構造 Ove Arup



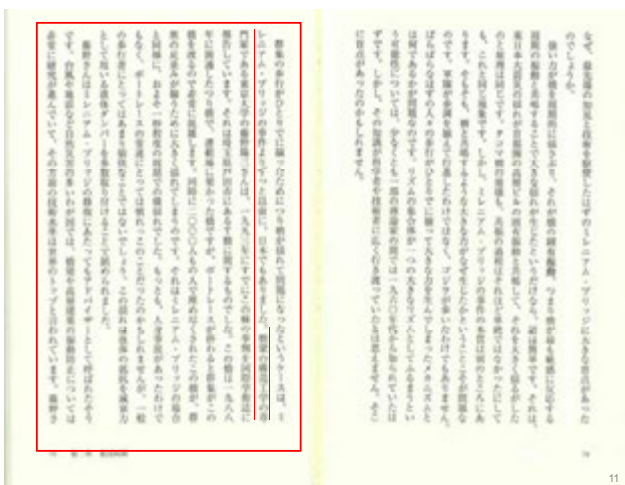
想定外の  
振動



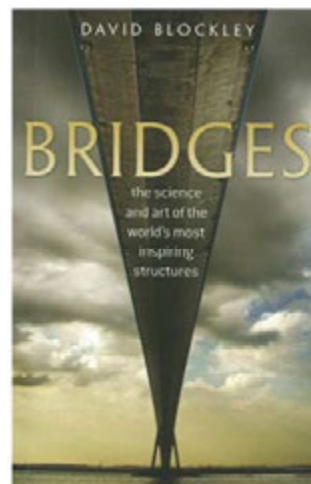
1989年12月31日 集団同期(シンクロ)  
これを知っていれば想定内



2014年5月刊行



Oxford 大学出版, 2012



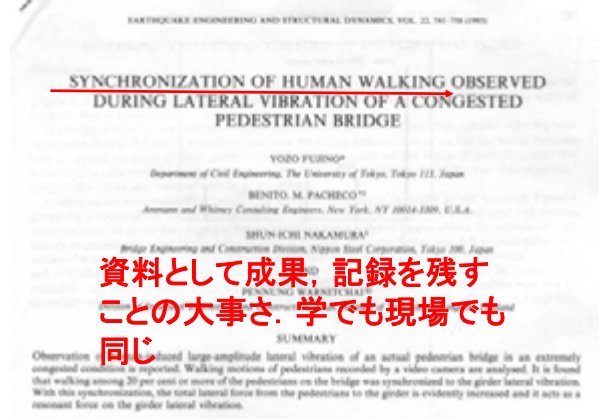
BRIDGES ARE BATS

The intense media publicity brought to light some previous eyewitness accounts of this kind of wobble. Examples in the 1970s included UK bridges at the National Exhibition Centre and in Chester and also the Auckland Harbour Road Bridge, New Zealand, during a Maori demonstration. One month after the Millennium Bridge opened a 100-year-old road bridge in Ottawa wobbled as a huge crowd left the bridge. The Golden Gate Bridge on the day of its opening and the Brooklyn Bridge during a power outage have both also suffered. A colleague at the University of Bristol, John Macdonald, has recently measured similar movements on Brunel's Clifton Suspension Bridge in Bristol.

The only documented technical study before the millennium celebrations was in 1971 by a Japanese team led by Yozo Fujino of the University of Tokyo. In a technical research paper they wrote, "it seems that human-induced lateral vibration has not been checked in designing pedestrian bridges." They reported experiments on a cable-stayed pedestrian bridge next to a horse race stadium. After a race as many as 15,000 people passed over the bridge in 10 minutes. The Japanese team produced evidence demonstrating synchronized walking and lateral vibration of the bridge. Unfortunately the paper was published in a research journal about earthquake engineering rather than one directly concerned with bridges—an illustration of the difficulty of sharing this kind of information.

The solution to stop the wobble of the London Millennium bridge was to install shock absorbers, rather like in a car. Using the results of their quantitative research the engineers designed a system of 32 shock absorbers called "viscous dampers" and 34 weights attached to the bridge by springs to dampen the vertical motion. The research and design process took over four months.

国際誌 地震工学と構造振動



資料として成果、記録を残す  
ことの大事さ。学でも現場でも  
同じ

構造物のライフサイクル  
計画

設計

施工 製作

何と言っても初期品質が良いことが大事  
エンジニアの思いが詰まった作品

維持管理 上の3要素のツケが回らないように

日頃の維持管理からの知見を新設構造物に  
生かすことが大切

Infrastructure インフラ

such as buildings, towers  
and bridges 塔, 橋, ビル 他

should satisfy **three "E"s**  
満たすべき 3つのE 用強美

Efficient  
Economical  
Elegant



Eleganceエレガンス;  
Structures that  
we would like to paint.  
絵を描きたくなるような

Both are by very well known  
painter, Ikuo HIRAYAMA  
左の二つは平山都夫画伯のもの



岩淵水門 1924年





内村鑑三(1861-1930) キリスト教思想家  
東京英語学校を経て札幌農学校卒

青山士 1878-1963  
一高時代に内村の講演を聞き、感銘を受けて門下生に  
1903年東大土木を卒業後、  
パナマ運河(今年100歳)の建設に参加  
1912年 内務省 最後は内務技監  
荒川放水路の建設を指揮  
信濃川大河津分水路の改修 等々

### 青山士は古市公威に感銘を受けたという

公益社団法人土木学会は2014年11月に100周年を迎えます

創立:1914年11月24日(大正3年)



帝国工科大学  
初代学長  
貴族院議員

#### 古市公威初代土木学会会長の就任演説

土木技術者は  
「指揮者を指揮する人」、「將に將たる人」  
たらねばならぬことを力強く述べ、  
土木学会会員に  
「研究の範囲を縦横に拡張せられんことを、  
そしてそれと同時に  
「その中心に土木あることを忘れられざらんことを」を



### 岩淵水門 1924年 荒川と隅田川を仕切る 水門



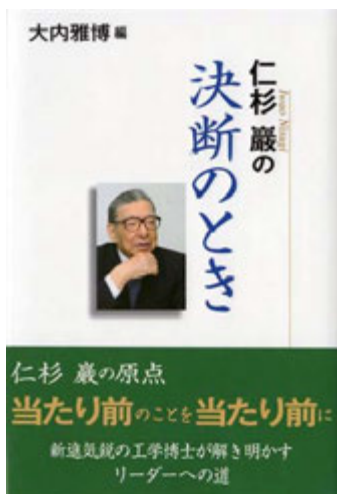
「晩年、静岡県磐田市から青山が台風のために上京し、  
水門に異常が無いことを確認に来た」という (高橋 裕)



### 仁杉 巖 1915- 今でも現役



### 信楽高原鉄道・第一大戸川橋梁 1954年



### 廣井 勇 (いさみ)

工部大学予科、札幌農学校 東大教授  
内村鑑三、新渡戸稲造と同級

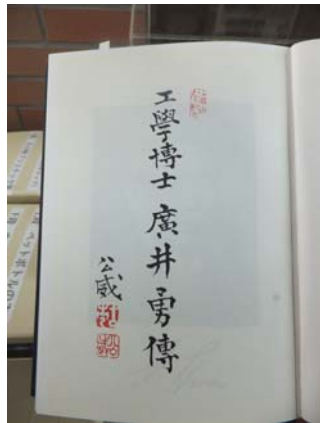
### 小樽港 北防波堤 1909年完成



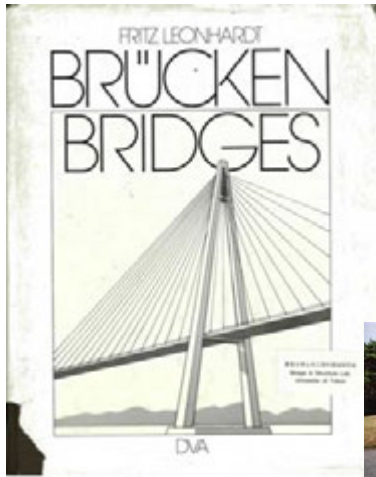
大島先生 加藤さん



100年分のコンクリートのテストピース (6万個)



廣井先生の銅像



三匠



レオンハルトの設計

2重合成桁  
高速鉄道橋

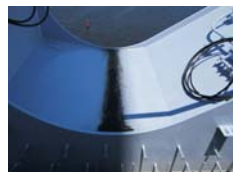


見事な空間



繊細な配慮  
水処理

感銘!





31



32

## 構造物のライフサイクル 計画

### 設計

### 施工 製作

何と言っても初期品質が良いことが大事  
エンジニアの思いが詰まった作品

**維持管理** 上の3要素のツケが回らないように

日頃の維持管理からの知見を新設構造物に  
生かすことが大切

## 青山士は古市公威に感銘を受けたという

公益社団法人土木学会は2014年11月に100周年を迎えます

創立：1914年11月24日（大正3年）

### 古市公威初代土木学会会長の就任演説

土木技術者は  
「指揮者を指揮する人」、「將に將たる人」  
たらねばならぬことを力強く述べ、  
土木学会会員に  
「研究の範囲を縦横に拡張せられんことを、  
そしてそれと同時に  
「その中心に土木あることを忘れられざらんことを」



帝国工科大学初代学長  
貴族院議員

## 「百周年記念事業」基本方針

土木の歩みを振り返り、反省すべきことは反省し、主張すべきことは主張し、今後何をすべきかを考え、具体的な活動を起し、土木学会活動を発展的成長へと転換する機会

### 三本柱

「社会貢献」

「国際貢献」

「市民交流」

### 「社会安全」

尊い命を守る、幸せな生活が送れる、豊かな  
社会の実現に向けた活動を最も重点的に展開する

また、支部活動のさらなる活性化および海外  
支部とのネットワーク強化に力を入れ、土木  
学会の活動を日本全国、世界へと発展させる、  
**市民に開かれた土木**を目指していく

35



土木コレクション  
HANDS + EYES 2014 全国巡回展









ニューヨークの橋



## ニューヨーク市の橋守 ヤネフ博士



1996年ごろの筑波土研でのブリッジワーク  
ショップ以来の知り合い

## 橋が古くなると

—過去の事例から—

ヤネフ「是非、アメリカの例  
から学んで欲しい。」

「作る」時代から「使う」時代  
さらに「マネジメントする」時代

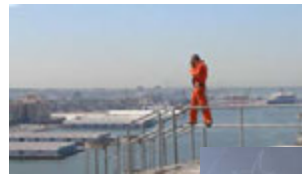
橋梁マネジメント 原本 2007年(訳2009年)



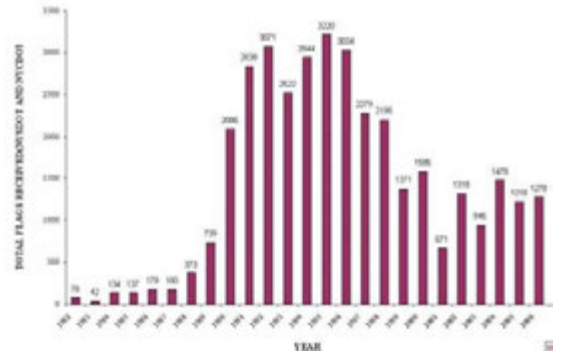
定価 12960円 著者割引10000円

## ヤネフさん(Dr. Bojidar Yanef)

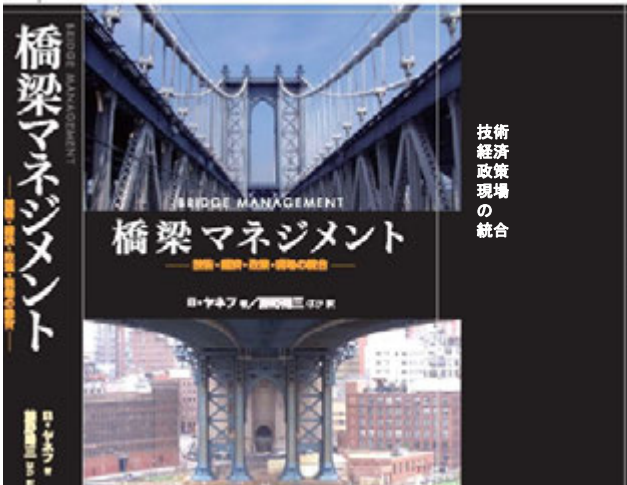
- ブルガリア生まれ 現在65歳かやや上(アメリカには定年がない!)
- コロンビア大学で修士, 博士.
- カリフォルニア大学で研究員(地震工学), コンサルタントを経て
- 1980年代後半にNYCの交通局に勤務 ウィリアムズバーグ橋(吊橋)の閉鎖が起き, NYC交通局に研究開発部門が出来, そこに招かれた.
- 以来, 20年の経験をベースに纏められたのがBMである. コロンビア大学客員教授でもある







NYC (約800橋, 5000スパン)の橋梁のフラグ (Flag)発生数



ENGINEERING      MANAGEMENT

DESIGN                      ↔      PLANNING  
 SOLUTION                    ↔      DECISION  
 CONSTRUCTION ↔      EXECUTION  
 MAINTENANCE ↔      OPERATION

SUCCESS                      ↔      FAILURE

Discontinuity

Time and money degrades projects

工学                      マネジメント

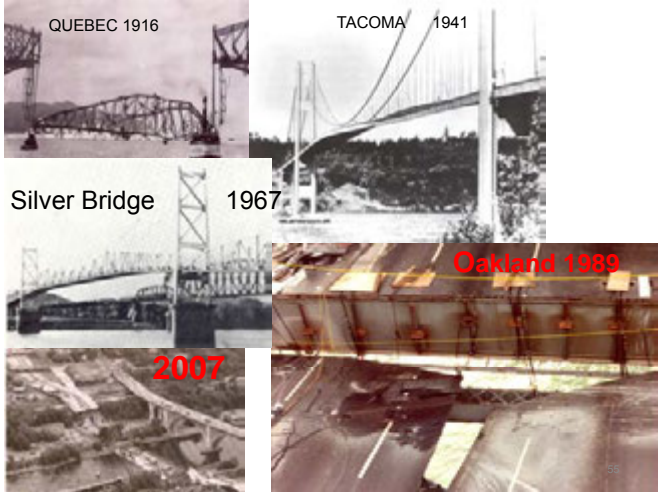
設計                      ↔      計画, 立案  
 解(ソリューション) ↔      決定  
 建設                      ↔      実行  
メンテナンス      ↔      運営  
成功                      ↔      失敗

様々な不連続性(Discontinuity)  
 ニッチ 隙間

時間と予算の不足がプロジェクトを劣化させる



- 付属物      トンネル屋さんの範疇外  
                  施設屋さんにしてみれば専門外



工学

マネジメント

アプローチ:  
ボトムアップ  
領域:  
時間軸:  
目的:  
制約

↔ **トップダウン**  
 構造物 ↔ **社会**  
**即効** + **ライフサイクル**  
**質** + **量**  
**技術** + **お金** + **人間**



SOCRATES  
470 – 399

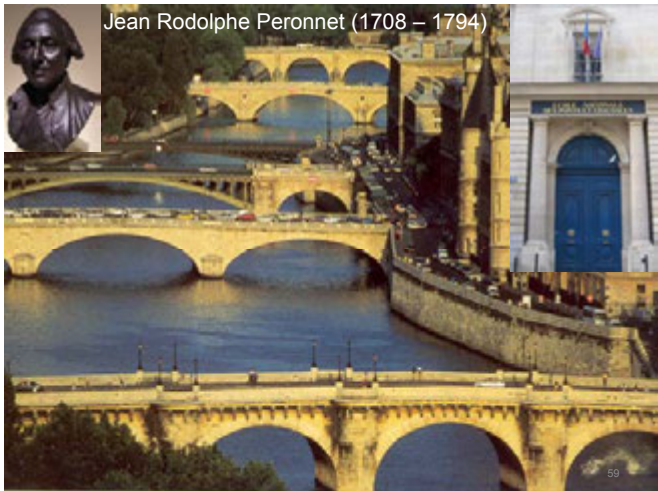
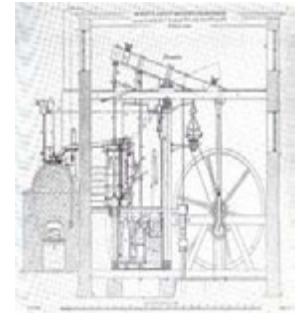
PLATO  
384 – 322  
B.C.

ARISTOTLE  
427 – 347



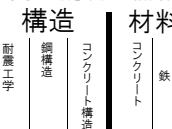
James Watt  
1736-1819

Adam Smith  
1723 – 1790  
"The Wealth of Nations"



Jean Rodolphe Peronnet (1708 – 1794)

研究でも分野毎に「村」単位の縦割組織

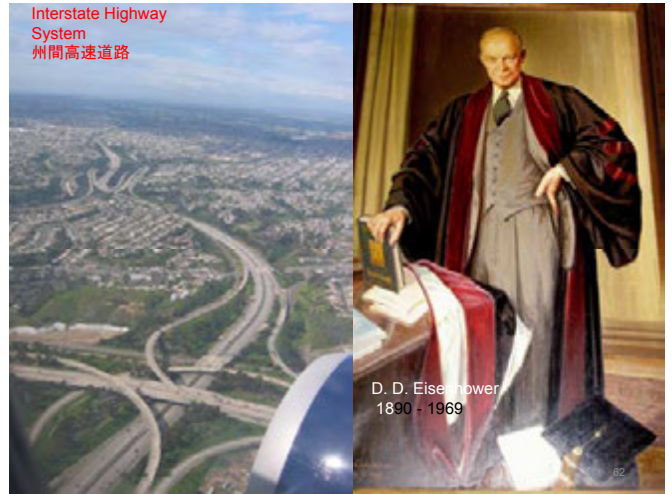
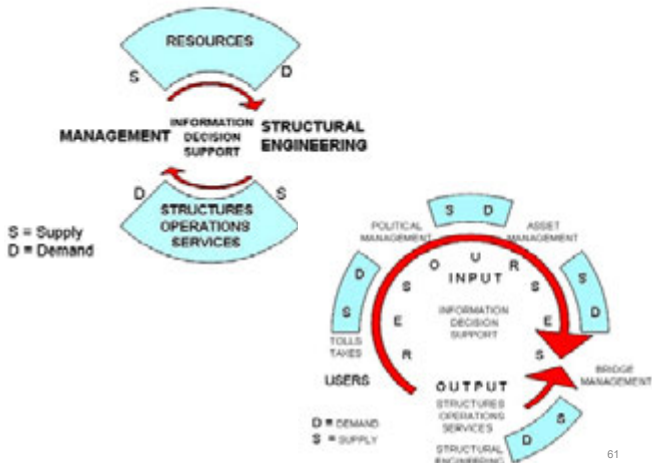


新設インフラの設計、施工  
各部位(鋼、コンクリート、柱、梁...)が分割して仕事ができる。設計基準があれば、ある水準以上のものが出来る

しかし、**既設インフラの評価では**  
 材料の局部損傷  
 全体の強度への影響  
 材料と構造との組み合わせ問題

不連続、隙間がある





### 橋やトンネルなど 特徴

- ・高い公共性 「安全」が期待される 高い安全率
- ・単品性 マスプロ製品とは違う
- ・条件が1つ1つ違う (地盤, 気象, 交通)
- ・長い供用期間 50年 それ以上
- ・(結果として) 高い不確定性 想定外が起こる
- ・取り換えが難しい
- ・長い, 大きい
- ・検査が難しい 現場で検査 使用しながら検査・補修
- ・事故の影響大 大規模/ネットワークの一部

64

### 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)

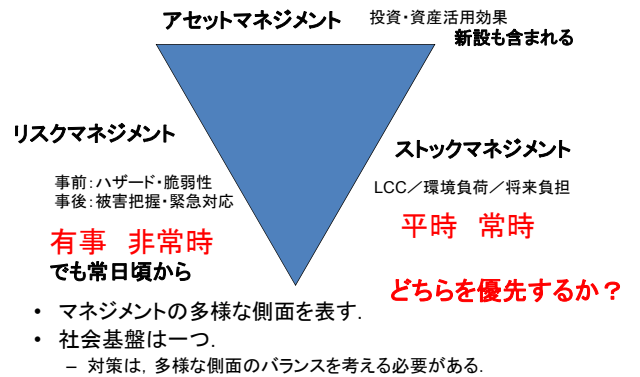
"The unexpected happens, and you'd better prepare (be ready) for it"  
(予期せぬことは起こる。準備せよ)

どうやって?



65

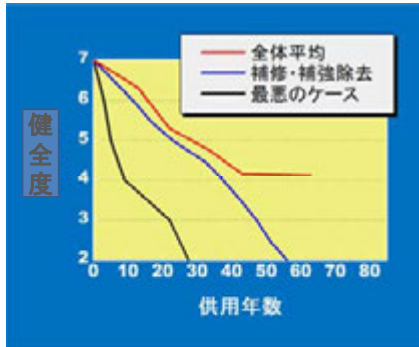
### 社会基盤マネジメントの考え方





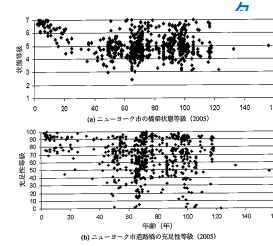
## 劣化の予測

NY市の橋梁の平均劣化モデル  
(Yanev, B., 1997)



67

## ニューヨーク市の橋梁 健全度評価デー



大きなバラツキ

点検結果から、劣化傾向を推定  
(理論的予測は極めて難しい)

## George Washinton 橋



1931年完成  
建設費 5900万ドル  
現在はレーンが追加され2  
0車線

1992-199? 大規模補修36  
00万ドル  
通行量4.7ドル  
年間収入約200万ドル  
通行料金を補修に充て  
状態は良好

## イースト川橋梁群の改修費用見積もり

ブルックリン橋 464 (百万 \$) (ほぼ億)  
マンハッタン橋 788  
ウィリアムズバーグ橋 989  
クィーンズボロ橋 741

新設より高くつく



## 都市内高速道路の 維持管理費用に関する調査研究

—首都高速とニューヨークを例として—

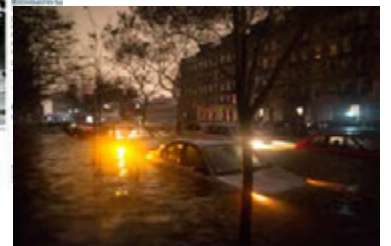
2013年2月卒業審査  
橋梁研究室4年  
高田修太

(指導教員: 藤野陽三教授)

## ハリケーン サンディ 学生さんと助教がNYCへ 2012年10月 ニューヨーク市などを襲う



停電等  
8000億円のロス



ワシントンポスト  
2012年10月29日  
記事



東京の巨大地下タンク(首都圏外郭放水路)

670,000m<sup>3</sup> 200m x 200m x 20m (2006年)  
100年に一度の洪水に対応 工費2300億円

無駄と余裕は  
紙一重  
安全率=無駄?

「必要な無駄」の  
価値の可視化



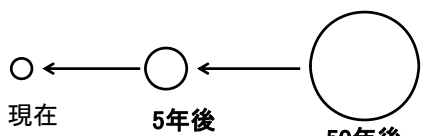
社会的割引率  
Social Discount Rate

植田和弘教授  
(京大経済)



3~5%

将来起こること(支出)を小さく見てしまう



補修 今やるより後回し  
SDRは0%で(ヤネフ)



想定外とは  
ありうること。

2008年のリーマン  
ショックを予想した

黒い白鳥  
事前に予想できず、  
起きたときの  
ショックの大きい事象

無駄の大事さ (想定外への用意)

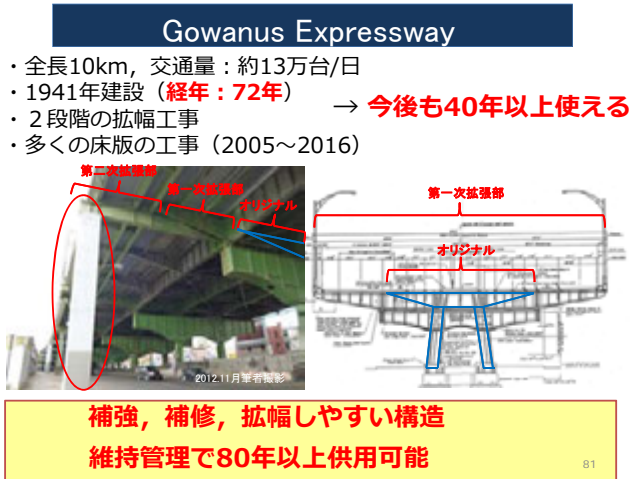
母なる自然は無駄が好きだ。守るための無駄

人間の身体には、目は二つ、肺も二つ、腎臓も二つ、  
脳まで二つある

まったく逆方向の無駄が浅はかな最適化だ。  
経済学は大部分が浅はかな最適化の上に立ち...

「成功」報酬をもらえる人に原子力発電所を経営  
させてはいけない。(メンテも似たところがあるかも)





- 比較**
- NYC
    - 800橋 5000スパン 150万㎡
    - 橋梁への予算(ほとんどが補修費) 500億円
  - 首都高速道路
    - 面積: 約540万㎡(内橋梁面積約400万㎡)
    - 維持管理費: 約570億円





精密検査を受け  
本格治療, 手術し  
首都と日本の道脈に  
ふさわしく  
お化粧も少し

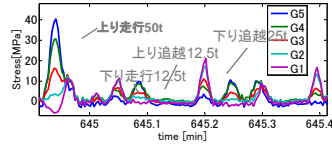
85

目的①

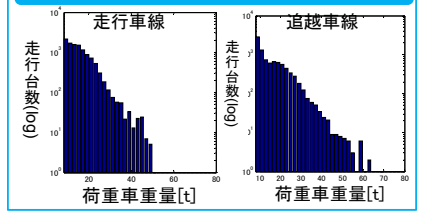
疲労寿命推定:交通量推定

10

対象橋梁の24時間応力計測データ  
(2010.3.4(火)~5(水))の利用



日あたりの車両重量ごとの交通量を推定



### 首都高速道路構造物の大規模更新のあり方 に関する調査研究委員会 平成23年3月から

- 委員長 涌井 史郎 東京都市大学環境情報学部 教授
- 委員

秋池 玲子 ポストンコンサルティンググループ  
パートナー&マネージング・ディレクター

石田 東生 筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授

勢山 直 (独)日本高速道路保有・債務返済機構 理事長

藤野 陽三 東京大学大学院工学系研究科 教授

前川 宏一 東京大学大学院工学系研究科 教授

真下 英人 (独)土木研究所道路技術研究グループ長

三木 千壽 東京都市大学総合研究所教授

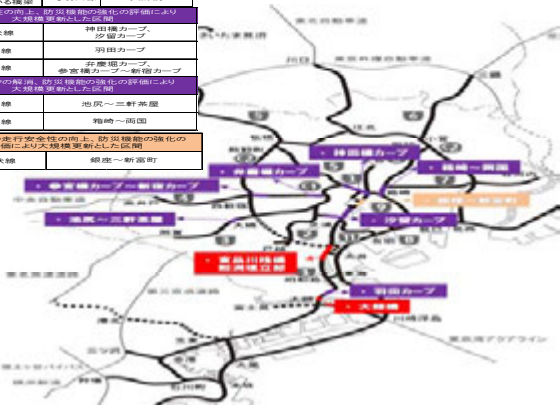
初回 24年3月 5,6,8,10,11月 笹子・選挙 25年1月提言



- 付属物 トンネル屋さんの範疇外  
施設屋さんにしてみれば専門外

○ 大規模更新の実施区間は、約16km(検討区間の約3割)

今後の維持管理上の課題から大規模更新となる区間		
接続構造	1号羽田線	東品川接続
護岸埋立構造	1号羽田線	駒澤埋立部
環状部と放射線部が 多数発生している区間	1号羽田線	大崎橋
走行安全性の向上、防災機能の強化の評価により 大規模更新が検討される区間		
駅心環状線	神田線カーブ、 茗荷谷カーブ	
1号羽田線	羽田カーブ	
4号新環線	千鳥橋カーブ、 赤塚環状カーブ-新環状カーブ	
防災ネットワークの解消、防災機能の強化の評価により 大規模更新が検討される区間		
3号池袋線	池袋-二軒先線	
6号有馬線	有馬-国府	
駅心環状線	総武-新大塚	



## I. 委員会構成

委員長 中村英夫 武蔵工業大学学長

委員 芥川麻実子 (株)モグ・ネットワークス代表  
池田尚治 横浜国立大学名誉教授  
大石久和 国土技術研究センター理事長  
今田徹 東京都立大学名誉教授  
藤野陽三 東京大学教授  
三木千壽 東京工業大学教授

90



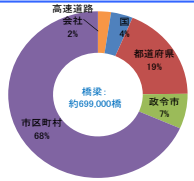
## ネクスコ系

- 高速道路の長期資産...
- 大田, 宮川, 西村, 藤野 外部委員
- 長尾, 吉川(猪熊), 牧浦(ネクスコ委員)
- 平成24年11月(10月末)初回の委員会

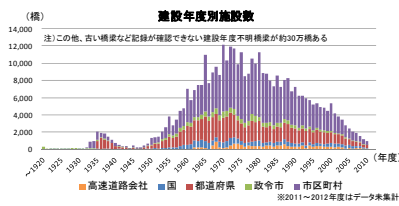
## 背景

道路橋梁を例にとると、全道路橋(橋長2m以上)は約70万橋あり、高度経済成長期に建設のピーク。また、都道府県、市町村が管理する橋梁が全体の約95%。

道路管理者別ごとの施設数



高速道路会社の道路施設(資産45兆円)の大規模更新・修繕費今後15年に3兆円 うち橋梁関係2兆円を超える ほとんどが床版

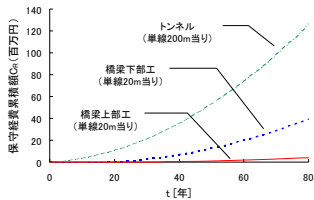


注)平均年齢は、建設年度が把握されている施設の平均

出典:国土交通省資料

	項目	主な対策	延長 <sup>※1</sup>	概算事業費 <sup>※2</sup>	
大規模更新	橋梁	床版	床版取替	約 230km	約16,500億円
		桁	桁の架替	約 10km	約 1,000億円
	小計		約 240km	約17,600億円	
大規模修繕	橋梁	床版	高性能床版防水 など	約 360km	約 1,600億円
		桁	桁補強 など	約 150km	約 2,600億円
	土構造物	盛土・切土	グラウンドアンカー 水抜きポーリング など	約 1,230km	約 4,800億円
	トンネル	本体・覆工	インバート など	約 130km	約 3,600億円
	小計		約 1,870km	約12,600億円	
合計		約 2,110km	約30,200億円		

## LCCの統計的最適化

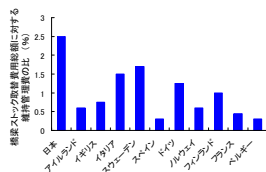


累積維持管理費用=2次曲線

$$C_R = c_m t^2$$

初期費用=維持管理費用が最適寿命を与える

$$C_R(t_{opt}) = c_m t_{opt}^2 = C_I$$



- 100年寿命なら、平均年1%
- 取替を含めれば年2%
  - 実績値と整合的

## 題名

卒業論文

### 橋梁維持管理の必要性の定量的検証 およびそのためのデータ構造の提案

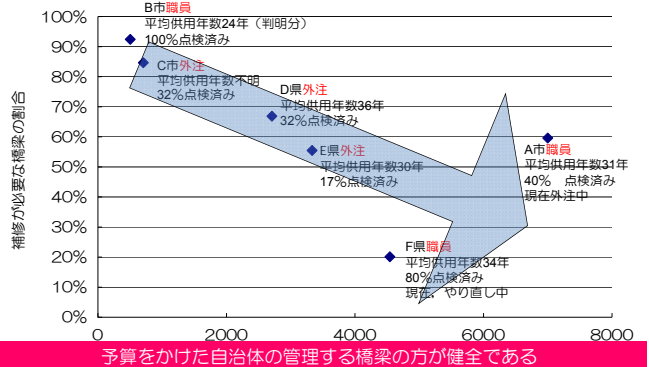
Quantitative Verification of Necessity of  
Bridge maintenance  
and  
Proposal of data structure for it

2004年

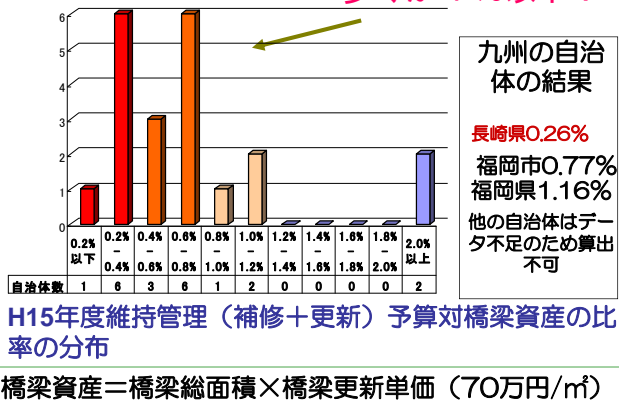
稲垣 博信

4. 判断基準による補修計画（マクロ的アプローチ）

### 予算と健全度の関係



多くが1%以下！



### ミネソタI35 崩壊前の姿



- 競争設計時代の橋  
軽いことは合理的
- ヨーロッパでもこの時代のは問題が多い

### 崩壊の様子



- 徹底した情報公開 報告書 図面 他

設計ミス 薄かったU-10 ガセット 2003年撮影  
 写真でも面外変形していた  
 それには気がついていても変化しなかったのですのまに



<http://www.startribune.com/local/16927626.html>



点検 人による目視



## 点検

近接目視が原則

見られるところを見る。  
見られないところは見ない。

点検を何度しても見られないところ  
は見ない。かなり多い部分では？  
(想定外の温存)

見られないところも見る点検の必要性  
30年(例えば)ごとに一度の  
徹底的詳細点検

103

## 維持管理に関する事故

- 1967年 シルバー橋
- 1983年 マイアナス橋
- 2006年 ケベック・コンコルド橋
- 2007年 ミネソタ・ミシシッピ川橋

- 冗長性の低い構造+メンテナンス
- 「古いもの」ではなく「悪いもの」
- ライフサイクルマネジメントや維持管理体制にフィードバック
  - Fracture Critical Bridge (FCB)



## 点検

劣化、損傷を見つけること  
構造物の変化を見る

それだけか？

新しい課題

もともと悪いところを見つける。

**診断** 性能を評価する

105

## 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) 2007年から-

- 点検・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

EUでも同じような  
研究開発プログラムが



## Common Problems in Concrete Bridge Decks



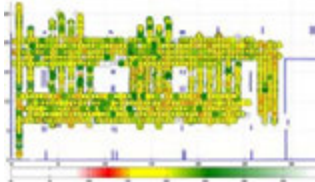
## Non Destructive Evaluation (NDE) Methods



BETOSCAN-system (BAM and Fraunhofer Institute in Germany)



Idea: Simultaneous measurement of all key parameters over the whole surface of concrete decks by robot to detect possible void, delamination, corrosion, etc.

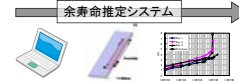


Ultrasonic thickness measuring of a concrete plate

### 非線形疲労応答解析に基づく コンクリート系橋梁床版の余寿命推定システム



概要



国研研HPより

コンクリートの疲労破壊過程を再現できるFEM解析技術を実構築に拡張し、既存の目視調査法と数値解析を合わせた統合シミュレーションシステムを構築する。

平成22年度

平成23年度

#### 1. 解析モデルの検証と高度化

1-1 既存構造物の余寿命推定手法の開発  
損傷を与えた構造物の疲労実験と再現解析

1-2 補強工法の延命効果推定手法の開発  
異種材料の境界面モデル拡張と検証実験

#### 2. 統合システム構築

既設床版の余寿命推定と補強延命効果シミュレーションシステムの構築

- 過去の環境条件と荷重履歴を等価置換
- 目視調査・簡易計測と数値解析との統合
- 実用化対応型インターフェースの開発

平成22~23年度課題 代表者 東京大学 前川宏一

## 平成26年度重点課題 (総合科学技術会議)

- 環境・エネルギー
- 健康・高齢化社会
- インフラの安全, ICTの適用  
センサー, ロボット, ビッグデータ  
次世代インフラ

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム  
10課題のひとつ  
インフラの維持管理, 更新, マネジメント技術

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)  
研究開発計画案中間発表

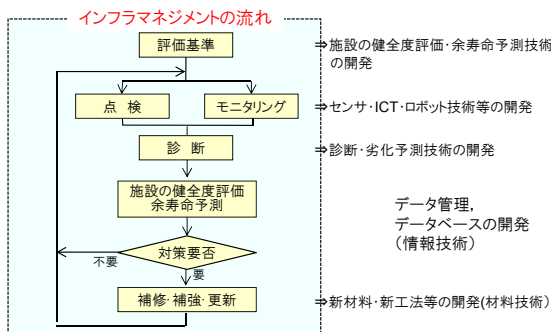


インフラの維持管理・更新・マネジメント技術  
～安全で強靱なインフラシステムの構築を目指して～

内閣府 政策参与 プログラムディレクター  
藤野 陽三

## 研究開発内容

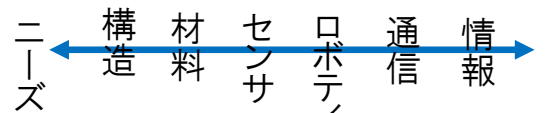
インフラ維持管理フローと要素技術開発



回るようにするためのアセットマネジメント(技術)

## 研究開発内容

### ・インフラ



言葉の違う村々 通訳の育成が必要

使いたくなるシステムをつくる  
それが“イノベーション”

## 土木 = 「社会的共通資本」

「みんなが使う、みんなのもの」  
「公」(官ではない) 対「私」  
人間が人間らしい生活を行うに  
欠かせないもの (塩野七生)



宇沢弘文



### ・ 自然環境

大気, 水, 森林, 河川, 湖沼,  
海洋, 沿岸湿地帯, 土壌

### ・ 社会的インフラストラクチャー

道路, 交通機関, 上下水道,  
電力・ガス 所謂「社会資本」

### ・ 制度資本(システム)

公共政策, 教育, 医療, 金融,

幅の広さ

公益社団法人土木学会は2014年11月に100周年を迎えます

創立: 1914年11月24日 (大正3年)

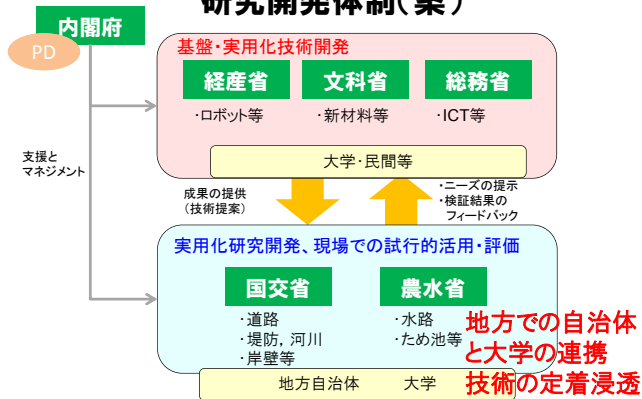
### 古市公威初代土木学会会長の就任演説

土木技術者は  
「指揮者を指揮する人」, 「將に將たる人」  
たらねばならぬことを力強く述べ、  
土木学会会員に  
「研究の範囲を縦横に拡張せられんこと」を、  
そしてそれと同時に  
「その中心に土木あることを忘れられざらんこと」を

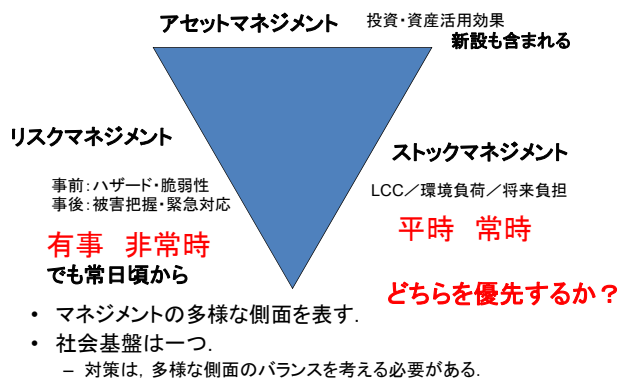


帝国工科大学初代学長  
貴族院議員

## 研究開発体制(案)



## 社会基盤マネジメントの考え方



## Loma Prieta 地震, 1989



インフラ, 特に橋の被害



## Loma Prieta 地震, 1989

*"Unbelievable damage!"*

日本ではありえない 想定されない  
*This kind of damage would not be expected in Japan"*

日本の国際的に著名な地震工学者の言  
カリフォルニア運輸局は地震レトロフィットに励んだ  
ハウズナー名誉教授委員会

報告書 *Competing against time*  
時間との闘い





## Northridge EQ, 1994.1.17



1989年以降, 耐震補強を進めた。  
 済まないものは同じように被害を受けた。  
 済んだものはOK 大きな教訓。

## Preparing for the Unexpected

Hiroo Kanamori  
 California Institute of Technology

想定外に準備しよう  
 1995年

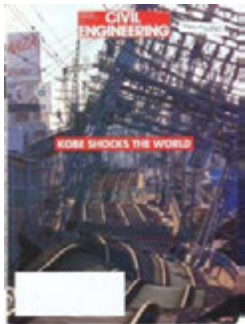


(This talk was presented at the Luncheon of the SSA-ESM Joint Symposium, April 7, 1994. It has been slightly edited for publication.)

金森博雄 (カリフォルニア工科大学名誉教授 元東大地震研教授 34歳で教授)

Living in California means living with earthquakes. During the last decade alone we have experienced several damaging earthquakes, some of which have come as big surprises. We were surprised by earthquakes without surface break, surface break without much seismic radiation, and a south-dipping fault in an area of primarily north-dipping structures. Why were we taken by surprise? We were surprised primarily because the duration of our data base is so short compared with the time scale of earthquake recurrence. This is a "deductive" approach in which we use some theories or inferences drawn from something familiar. In science, we take this approach frequently, often with a good success. In engineering practice, however, people seem to be reluctant to take such an approach, probably because of conservatism and difficulty in convincing their clients of the validity of such a deductive approach. This is understandable, such conservatism may be inevitable in dealing with the real world rather than academia. Under these circumstances, an

*Seismological Research Letters, 1*



1995.1.17 阪神大震災  
 耐震補強に目覚めた  
 既存不適格に要注意

## 2011年3.11 地震



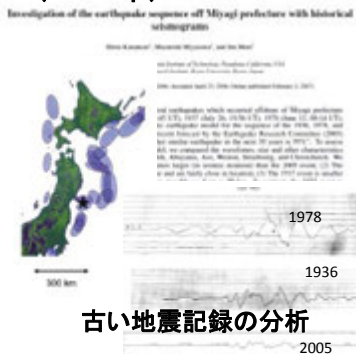
1978 宮城県沖 EQ.

M=7.4

金森説/理論 1980年

「古いプレートでは大きな地震は起きない」(平均)

## 金森博雄先生の論文 (2006年)



(1) Three motion is which was analysis  
 (2) The accumulated strain will be eventually released by either **large megathrust events, large tsunami EQs, or large silent EQs.**



世界のリーダー  
 カリフォルニア工大  
 (元東大地震研)

巨大地震の発生を示唆 (金森先生には想定内)

古い地震記録の分析

エネルギーの放出は十分でない. 蓄積している

## 高速道路 耐震補強の効果

2週間後の3月25日には全面開通  
 いくらぐらいのメリット?

高速道路の被災状況と復旧状況

世界が驚愕した日本の高速道路。わずか5日で緊急復旧した常磐道のり面の崩落

仙台東部道路 仙台港北IC~仙台東ICの橋梁ゴム支承の破断 常磐自動車道 いわき芥菜IC~いわき湯本ICの切土のり面の崩落



## 鹿行大橋



- 新橋に掛け替える工事を行なっている。
- 走行中の車両が複数転落
- 昭和43年6月完成、国道354号
- 桁が落下し橋脚が2本失われる。落下橋は60m程度。手前の橋脚は沈下、ミグ方向に移動

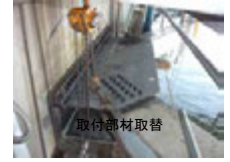
産総研(吉見ら)茨城県内の地震被害概況調査

## 荒川湾岸橋(1975年)耐震補強工事中

構造部材を接続する部材が破断している箇所について取替えを実施



取付部材(横支材・下横構)の損傷



取付部材取替



取付部材(横支材・対傾構)の損傷



取付部材取替



桁、塔が60cmも揺れた

自動車の転倒  
付属物の問題



1995 兵庫県南部地震  
3台のトラックが転倒



## 技術の進歩

今は使われない、許されない構造、  
ディテールは多い  
古いのは**脆弱性**が高い構造である場合が多い

これらは「**既存不適格**」ではないか？

技術基準の改定を定期的に行い、  
脆弱性の高いものを明確にする必要がある。

それには点検・モニタリングと診断が必要！

130

## 20年間時限つきキャンペーン 2009年のスライド 「強い日本に向けての強靱な国土造り」

(よいキャッチを考えたい！)

人口減、高齢化が本格化する前に、  
インフラの足腰を強く。 都市も地方も

今、やればこれからの50年が安心

補修技術、点検技術  
図面にさかのぼって  
モニタリング技術の活用  
すべてのインフラの脆弱性の一斉点検診断が  
欠かせない。 そして 補強、改修、更新

131

10/11/04/30 Seismologist reflects on his firsthand...  
CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

03/31/11 Prof Kanamori 金森教授

Seismologist reflects on his firsthand experience of the Japanese earthquake



Eminent seismologist Hiroo Kanamori, Caltech's Smits Professor of Geophysics, Emeritus, has been studying the movement of the earth his entire career. On March 11 he was in Tokyo, experiencing firsthand the largest earthquake in the country's recorded history.

Kanamori emphasizes that the rapid dissemination of information after a big event is extremely important to warning systems for tsunamis and other earthquakes. He says that information needs to be collected on the spot. "Warning systems often fail during a natural disaster. This requires good coordination between different countries."

謙虚に

"In our science, it's very difficult to prove anything because you can't experiment. You have to rely on nature," he says. "Whatever happens in nature, you cannot predict 100 percent, so building robust infrastructures using rapid reliable information to prepare for the unexpected is very important."

132

講演のファイル, 本購入希望の方は  
[fujino@ynu.ac.jp](mailto:fujino@ynu.ac.jp) まで  
[fujino@bridge.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:fujino@bridge.t.u-tokyo.ac.jp) でもOK

ご清聴ありがとう  
ございました.