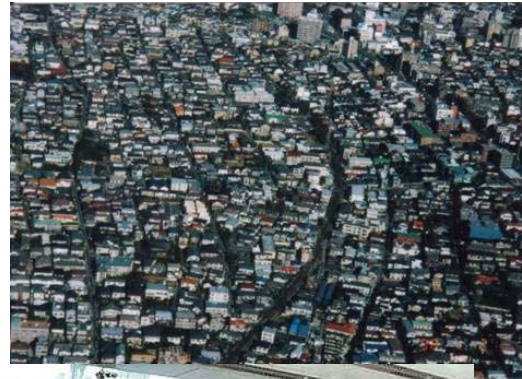


# インフラストラクチャの マネジメントシステム

科学技術振興機構  
CRDS科学技術国際シンポジウム  
2014.2.21

藤野 陽三  
東京大学工学系研究科 総合研究機構



## 社会を支えるインフラ



## 情報・エネルギー配給

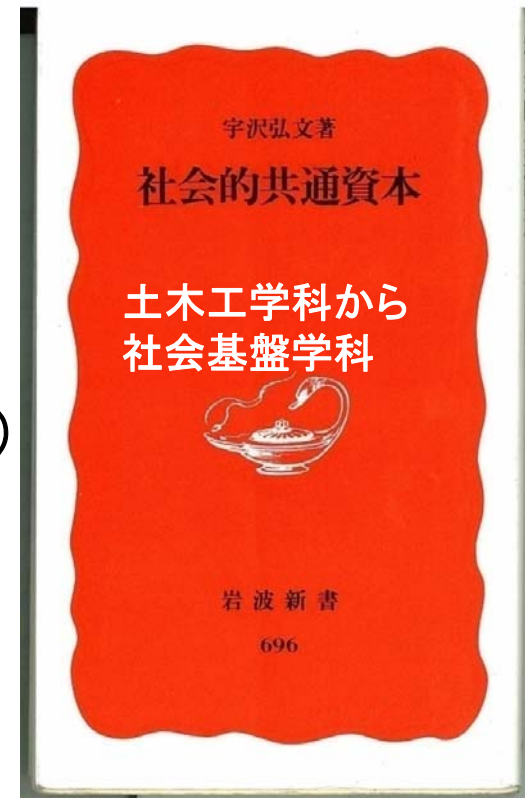


# インフラストラクチャ = 「社会的共通資本」

「みんなが使う、みんなのもの」

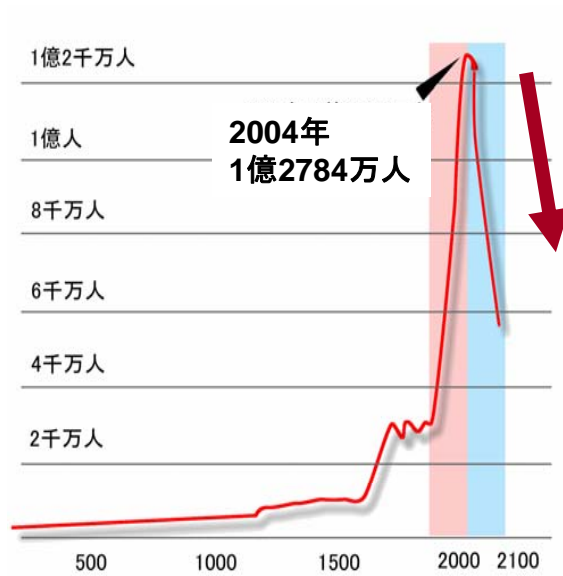
「公」(官ではない) 対「私」  
人間が人間らしく暮らすのに必要なもの(塩野)

- **自然環境**    **サイエンス的要素**  
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**    **工学**  
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)**    **社会科学的要素**  
公共政策, 教育, 医療, 金融,  
司法, 行政

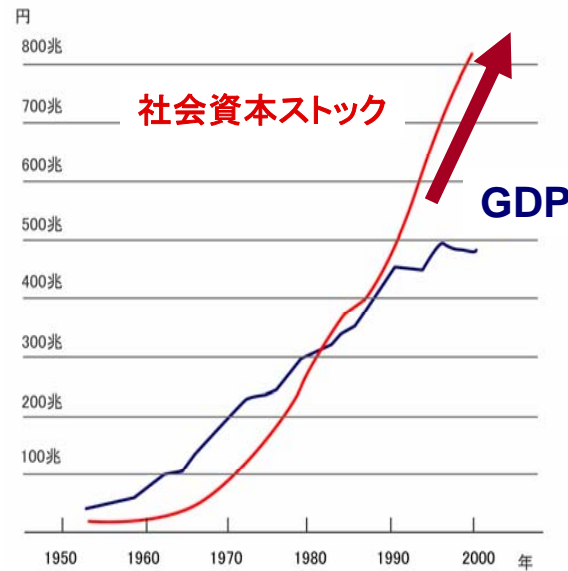


# 転換期を迎える日本

## 人口減



## 膨大なストック



累積 800兆円  
単調増加  
橋 70万  
トンネル数万？

高度成長期の  
膨大なインフラ  
建設

突貫工事  
未熟な技術

高齢化が到来  
不十分な維持  
管理費用

使用中インフラの  
破棄は困難  
今持っているもの  
をうまく修理して  
大事に

量から質へ

## 保全技術の必要性と可能性\*

吉川 弘之\*\*

**Key words:** maintenance, social aspects of technology, maintenance economy, automatic diagnosis, automatic repair, mobile robot.

### 1. 序

技術の発達を調べると、そこには技術固有のオートノミーが存在するように見えることがある。もちろん、技術の発達には経済とか社会の、いわば技術の外の世界からの要求や影響によって進められたと考えられる場合も多くある。恐らく、事実は両方の場合が混在しているのであろう。従って、我々が技術者として、今後の人間にとって技術が何をなし得、また何のために技術が使われるべきかを考えるとき、技術に対して外から何が要求されているのかという視点と同時に、現在我々が手にしている技術はどんな技術であり、またどうなっていくかということ、技術の内側から考察することも大切であると思われる。ここで取り上げるテーマは、保全（メンテナンス）であるが、いわばこの古いテーマをここで新たに取り上げるのは技術の存在様式を考察する過程で生まれた一つの視点であるからである。結論は、保全は新しい位置付けをされ、重要な問題として研究の対象にすべきであるということである。この一文は技術の発達がどのような視点から生まれるのかという一つの試論でもあり、また一つの技術の重要性を主張する方法についての試論でもある。これは技術が何をなし得るかという問に対する一つの答え方であると筆者は考えている。

### 2. 技術を支える思想の軌道修正 「生産から保全へ」

保全（メンテナンス）という言葉は、何となく暗く、後ろ向きで、魅力的でない。事実、製造業においては、保全はその主流ではなかったし、また個人生活においても保全は必ずしも楽しいものではない。国家のレベルでは、環境保護の名のもとに、自然環境の保全についての意識が高まって来たもの、その方向が確定したとは言えず、まだ混乱を残している。特に技術者にとって、保全は、それを自分が全力を挙げて取り組む課題にするためにはもう一つ魅力に欠けるというのが正直な実感であろう。事実、企業において「保全スペシャリスト」が将来を約束されるという例はあまり聞かないし、工学研

\* 原稿受付 昭和57年11月7日。

\*\* 正会員 東京大学工学部（東京都文京区本郷7-3-1）

究においては「保全研究者」の論文生産性は悪いと言われる。

これらには理由がある。保全という問題は、それが明確に意識される場面は比較的限定されていたし、またその持つ意味が十分に明らかにされることもなかった。従って、保全問題の輪郭はあいまいであり、保全の効用を適確に言うことは困難である。このような状況のもとでは、保全にかかわる問題は、それが非常に重大な問題である場合でさえも、問題が局所的なものとしてしか論じられず、技術の全体の中での保全の位置付けという意識を呼び起こすことがなかったのは当然と言える。例えば、スリーマイルアイランドの原子力発電所の事故、航空機の事故、コンビナートや都市高層ビルの火災などは、それが起きる度に、その社会的なインパクトの大きさから当然のこととして、巨大技術の管理の問題、マン・マシンシステムの問題、劣化の予知・発見の問題などとして大きく話題になる。これらはすべて保全問題に深くかわるのであるが、いずれも局所的な改良に帰着するのみで、技術総体における保全の意味を論じるところまでは行かないのが現状である。

企業あるいは工学研究の場において、保全よりもっと魅力的なのが新しい工業製品の開発であり、生産技術の開発である。これらは人々に利便性が高く、かつコストの安い製品を提供して、快適な生活環境を約束する。確かに技術の歴史とは、人が置かれた厳しい自然環境を克服し、人工物による快適な技術環境によってそれを置き換えることを主目標として来たのであるから、工業製品にせよ生産技術にせよ、新しいものを開発することにもっとも魅力を感じるのは正当である。保全は、すでに作られてそこにあるものの、機能低下を回復させるものだとすれば、それは必要ではあるが魅力的でないとするのも当然のことであろう。

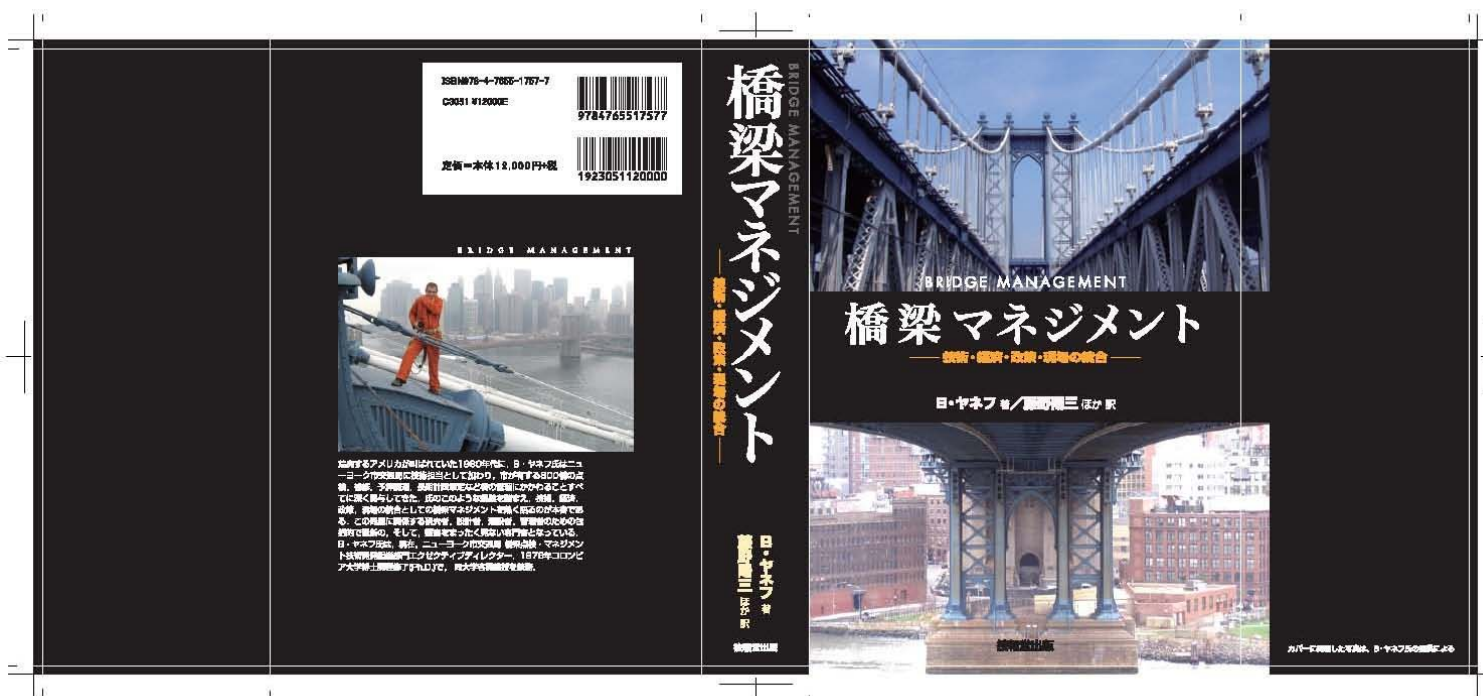
これらは、技術とは快適性を目的として自然を人工へ置きかえるものだとする了解ないし思想に裏打ちされている。しかし、この思想は修正を受ける必要がある。

この思想は、企業における利潤の原理と結合して、大量生産・大量消費の様式を生み出す。特に我が国ではそれを軸にして、最近の「経済大国」へと成長することを可能にしたと言えるであろう。

# 1983年 学会誌 精密機械

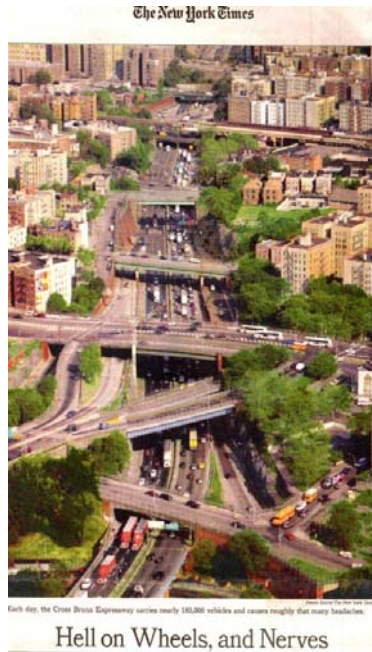
# 「作る」時代から「使う」時代 さらに「マネジメントする」時代

アメリカでは1970年代の重なる事故を経て、  
点検を義務化し、維持管理、補修のサイクルを回してきた。



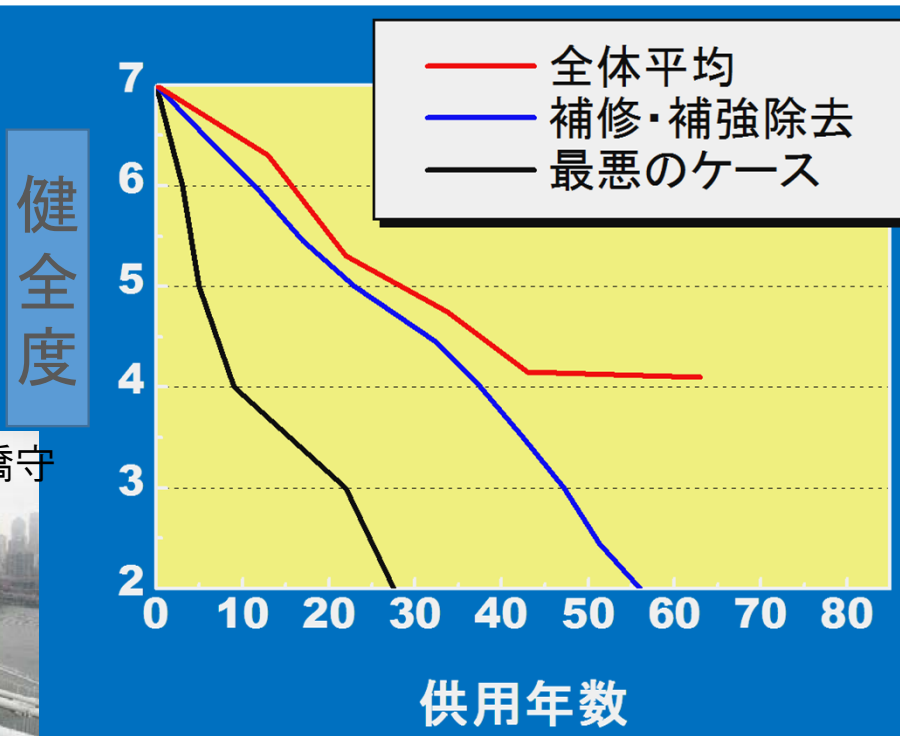
技術・経済・政策・現場の統合

# 研究開発内容



## 劣化の予測

NY市の橋梁の平均劣化モデル  
(Yanev, B., 1997)

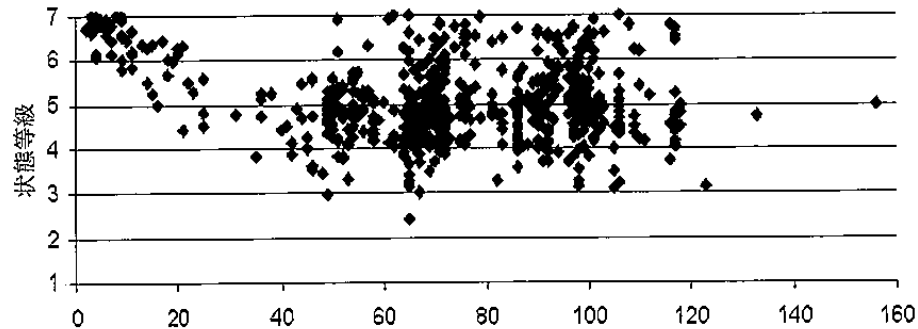


健全度指標＝  
各部位の評価  
の重みつき平均  
(可視化)

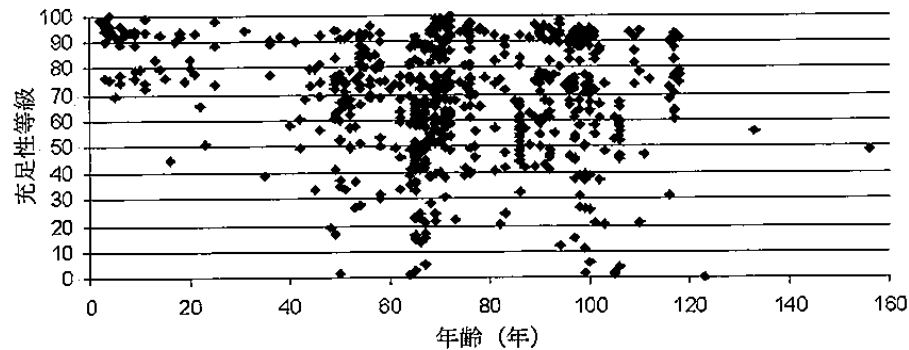
## 構造材料

材料の劣化  
から  
構造性能の劣化  
の予測推定

# ニューヨーク市の橋梁 健全度評価データ



(a) ニューヨーク市の橋梁状態等級 (2005)



(b) ニューヨーク市道路橋の充足性等級 (2005)

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)



## 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

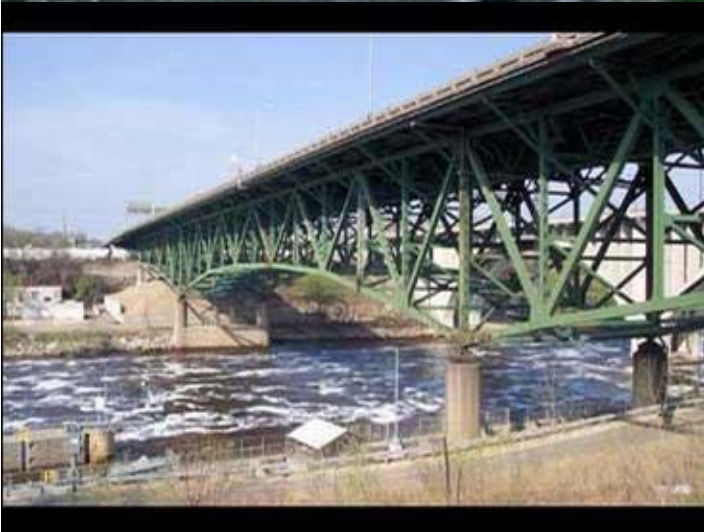


ミネソタ  
2007.8.1



2001から調査  
点検

補強か密な点検  
難しい判断

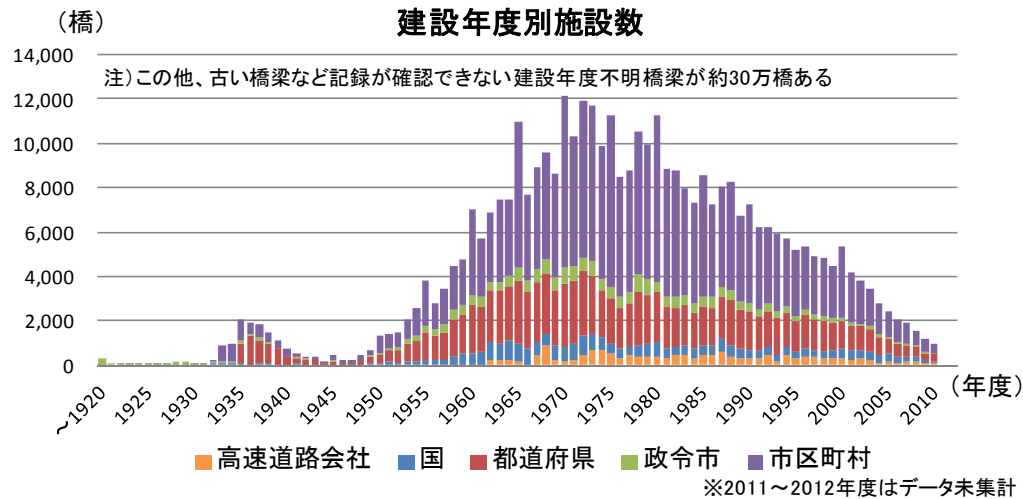




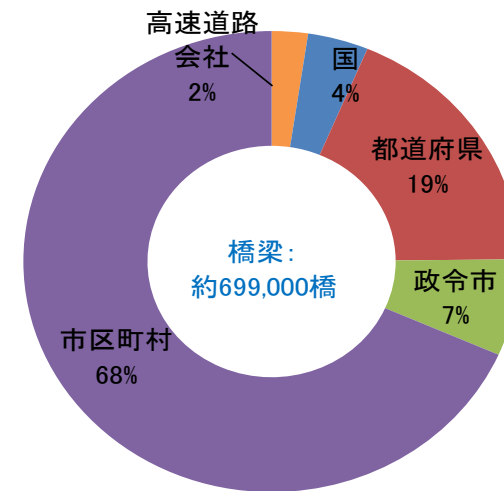
- **付属物** トンネル屋さんの範疇外  
施設屋さんにしてみれば専門外

# 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



日本の橋  
全部だと  
何十兆円??

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5割を超える 1.5兆円はクルマが走行する床版

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

システム制御理論の視点からの  
ストックマネジメントのマクロ分析

阿部雅人<sup>1</sup>・藤野昌三<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社BMC 主幹研究員 (〒261-7125 千葉県美浜区中瀬2-6 WBGマリブクエスト25階)  
E-mail:masao@bhamori.jp

<sup>2</sup>フェロー 東京大学教授 大学院工学系専攻科社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail:fujino@civil.t.u-tokyo.ac.jp

社会基盤ストックの維持管理においては、合理的かつ実用的なストックマネジメントが求められる。しかし、検査・補修の長短時系列データが完備された形では準備されておらず、維持管理による劣化の評価は、仮定に基づく手探りに大きく依存せざるを得ない。そこで、本研究では、システム理論を用いて、劣化ストックを削減するためのフィードバック制御としてストックマネジメントを捉えてマクロ的にモデル化し、断片的ながら存在する既存統計にも適用可能なモデルを構築した。次いで、既存統計を利用してシステムパラメータを同定し、維持管理費と劣化ストックの全体ストックに対する比の関係を明らかにした。さらに、これらの結果に基づいて、維持管理水準のマクロ的推定・評価や、維持管理投資効果、投資水準設定に関する考察を行い、有用な知見を得た。

*Key Words*: stock management, feedback control, system theory, parameter estimation, macroscopic evaluation

# システム制御理論を用いたストック マネジメントのモデル

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u$$

$$u = \mathbf{C}\mathbf{x}$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} s \\ d \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha & \varepsilon_1 \\ \beta & -\beta \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \varepsilon_2 \\ \delta \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = [c_s \quad c_d],$$

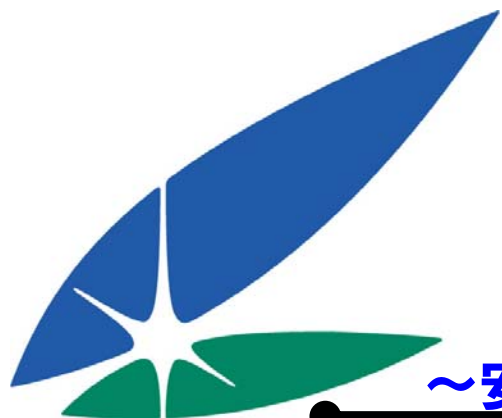
$s(t)$ : 全ストック,  $d(t)$ : 劣化ストック,

$u(t)$ : 維持管理・取替費用

---

# 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

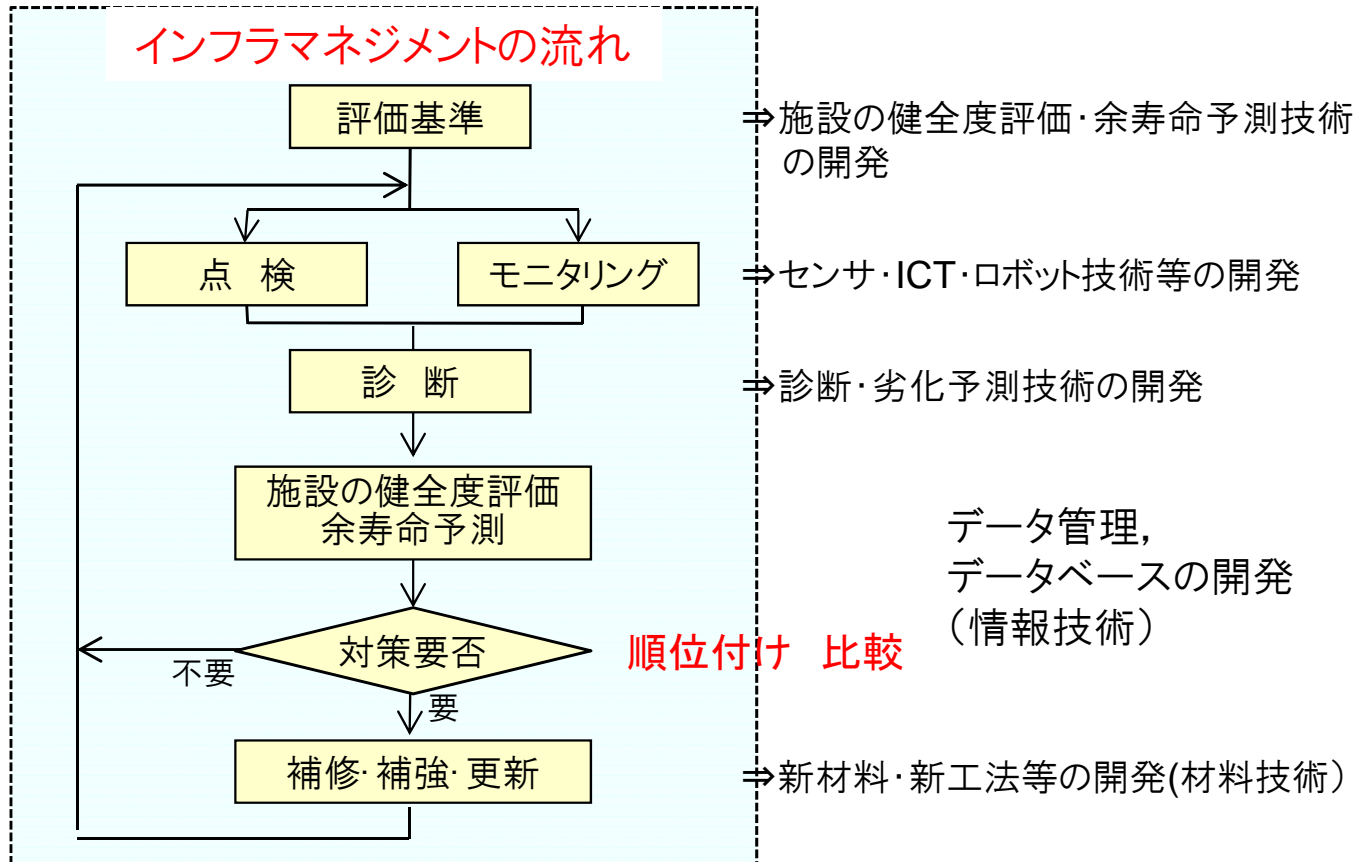


**インフラの維  
持管理・更新・マネジメント技術**  
～安全で強靱なインフラシステムの構築を目指して～

---

内閣府 政策参与  
藤野 陽三

# インフラ維持管理フローと要素技術開発



# 研究開発内容



ロボット

(機械支援)

SIP(レジリエントな防災・減災  
機能の強化)と連携

点検

補修工事

計測との連動

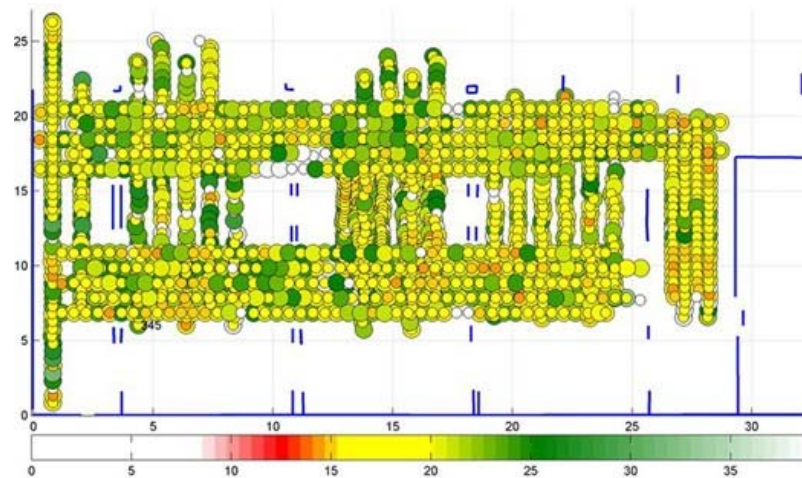
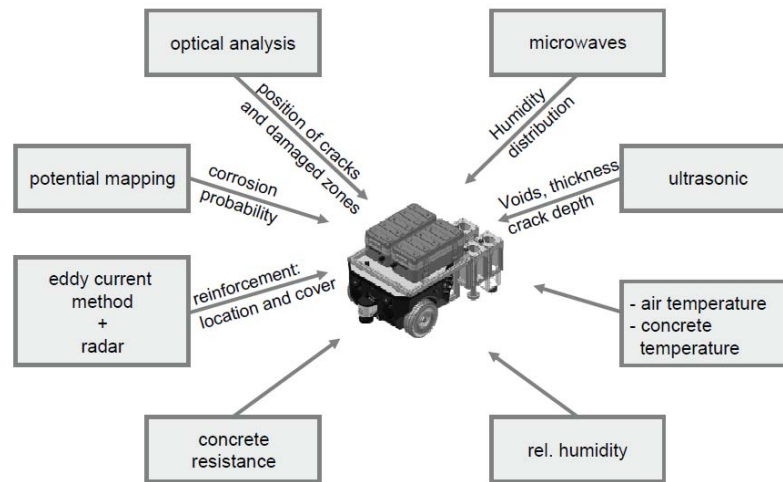
無人化

実用重視の

立場



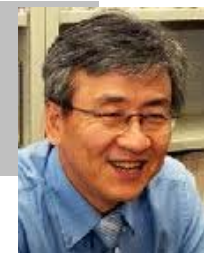
## BETOSCAN-system (BAM and Fraunhofer Institute in Germany)



Ultrasonic thickness measuring of a concrete plate

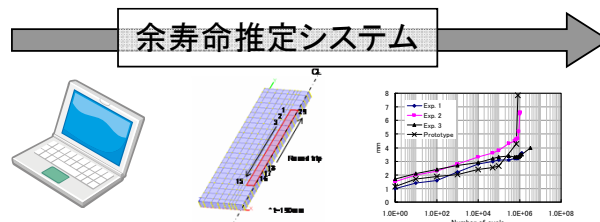
Idea: Simultaneous measurement of all key parameters over the whole surface of concrete decks by robot to detect possible void, delamination, corrosion, etc.

# 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



前川教授(東大)

## 概要



国総研HPより

コンクリートの疲労破壊過程を再現できるFEM解析技術を実構造に拡張し、既存の目視調査法と数値解析を組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

### 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

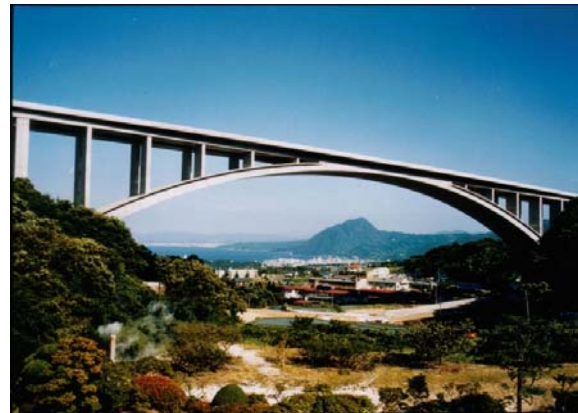
平成23年度

### 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



研究でも分野毎に「村」単位の縦割組織

## 構造

## 材料

耐震工学

鋼構造

コンクリート構造

コンクリート

鉄

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.

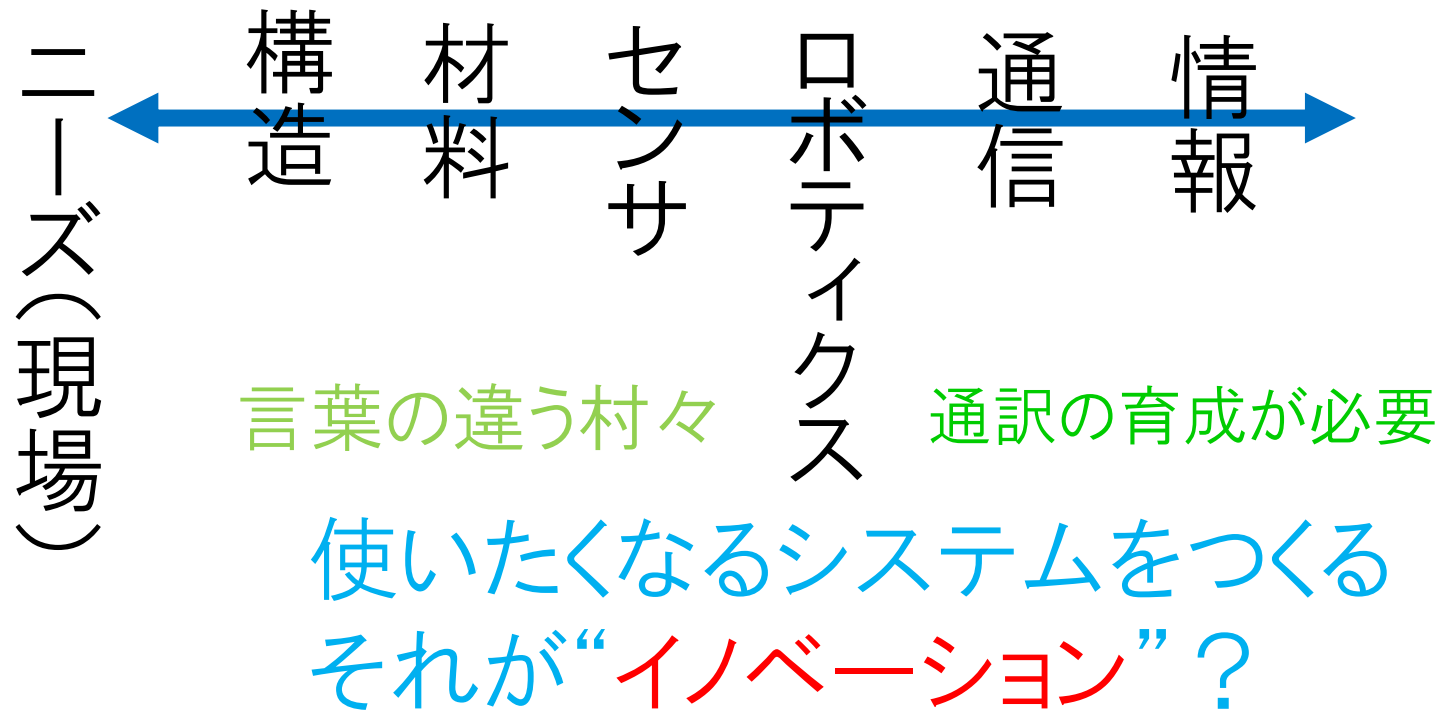
しかし, 既設インフラの評価では

材料の局部損傷 →  
全体の強度への影響

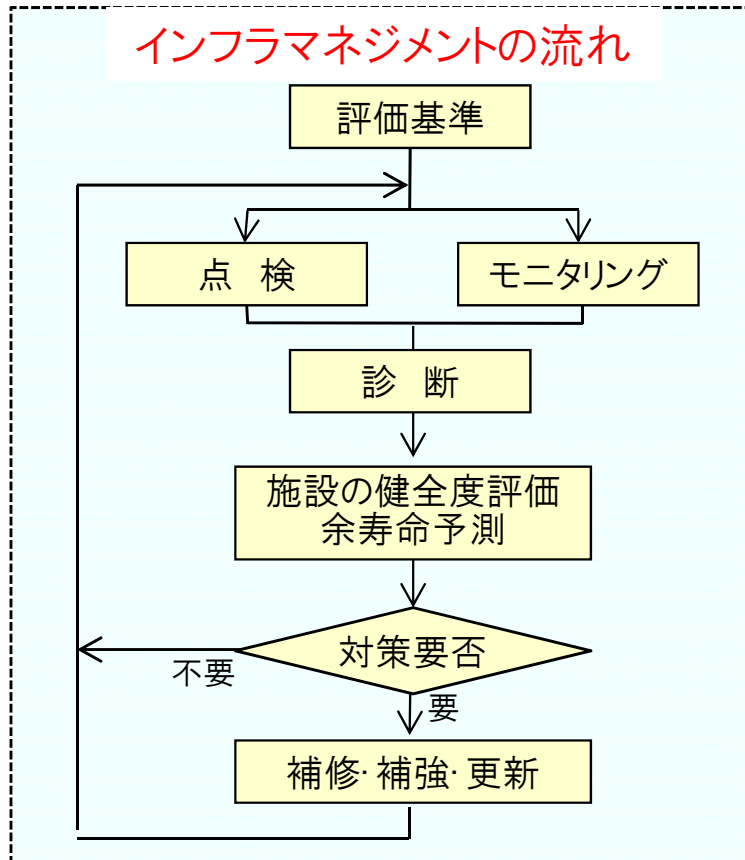
材料と構造との組み合わせ問題

# 研究開発内容

## •インフラ



このサイクルが  
回るためには



技術 SIP ほか  
資金(お金)

新設から維持管理へ  
順位付け(評価スケール)  
違うものの比較(マネジメント)

人(管理者) 一つ一つは小さい  
総合的 教育の必要性  
法律, 入札・契約方式

情報 設計・補修情報  
過去の経験, 事例