

# DX(多分野のデータ統合) 「都市まるごとデジタル化」

神戸大学 都市安全研究センター

飯塚 敦

iizuka@kobe-u.ac.jp

神戸大学 工学研究科市民工学専攻

竹山 智英

# ICTの最前線 都市デジタルツイン技術



# 参考：社会実装 「都市丸ごとのシミュレーション」技術研究組合

(2019から2024予定)

## 都市丸ごとシミュレーション技術

**異種データ群**  
市町村資産台帳、ボーリングデータなど

広域  
高精度・細密  
多数シナリオ  
リアリティ

**データ処理プラットフォーム (IES: Integrated Engineering System)**

都市モデルの自動構築

地震災害計算 津波災害計算 風水害計算 避難計算

**理研R-CCS**

災害リスク評価 経済リスク評価

(1)地震発生 IES-EARTHQUAKE  
(2)地盤状態変化 IES-DACSAR  
(3)集中豪雨 SCALE-LES  
(4)土砂生産 SPH-DACSAR  
(5)河川堆積、土石流  
(6)避難シミュレーション  
(7)社会シミュレーション エージェントシミュレーション

IES(Integrated Engineering System)

i-constructionから smart cityへ

国交省 JACIC (データライブラリ管理) など

国土交通データプラットフォームの活用

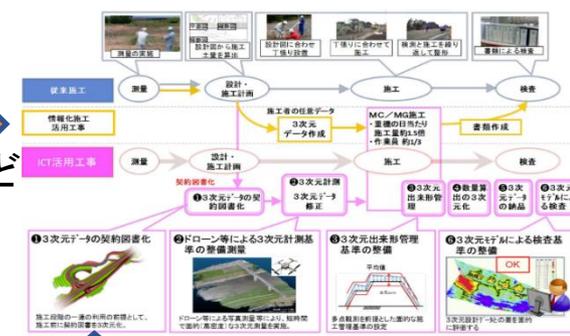
**社会実装 技術研究組合**  
(2019.8設立 @神戸大学内)

- ・協調領域の技術開発
- ・人材育成
- ・公データ利活用推進

参加機関(2020.12現在)

ゼネコン: 鹿島, 大林, 安藤ハザマ, 五洋, 前田, 奥村, 東洋, 浅沼, フジタ  
 コンサル: 東電設計, ニュージェック, アサノ大成基礎, テクニカルシンク, コムスエンジニアリング  
 IT: 富士通, みずほ情報総研  
 インフラ: 首都高速, 阪神高速, NEXCO 中日本  
 損保・金融: 損保ジャパン, 三井住友信託  
 協働: 神戸大, 東大i-con, 理研R-CCS, JACIC, JAMSTEC  
 学識経験者: 神戸大, 兵庫県立大, 九州大, つくば大

技術研究組合法に基づく法人  
<https://cityscalekobe.jp/>



次世代の下支え

SOCIETY5.0  
PRISM, SATREPS  
SIP, Smart City, etc

リスクの定量化



対策工による価値上昇  
**アセット・マネジメント**



新たな市場創生へ

# 都市丸ごとシミュレーション

「都市丸ごとシミュレーション技術」とは  
都市のデジタルツイン

解析モデルが集合した実物と「瓜二つ」の都市モデル  
都市の丸ごとシミュレーション

都市のデジタルインを使う、広域・高解像度シミュレーション

## 多種多様データソース (分散)

IDPなど

### 構造物関連

- ・住宅地図データ
- ・GISデータ
- ・設計CAD図
- ・設計基準類 etc.

### 道路関連

- ・座標/リンク
- ・属性
- ・規格
- ・幅 etc.

### 地盤関連

- ・標高
- ・柱状図, N値
- ・AVS30 etc.

メタデータ自動  
生成・検索  
(探し出す技術)

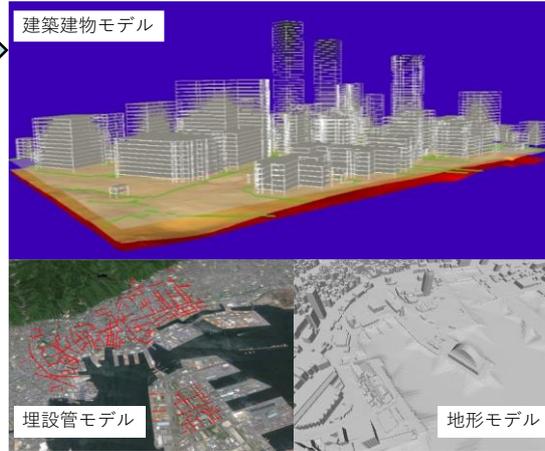
民間地理情報  
行政DB  
モニタリングデータ  
センサーデータ  
(インフラICT)

神戸の街の約42万棟の建物と  
その基礎、それを支える地盤、地  
盤内埋設管を仮想空間内に再現

データ連携(つなげる技術)

国土交通データPF

## 都市デジタルツイン



データ変換  
データ統合  
(使えるように  
する技術)

統合的かつ  
定量的リスク  
評価

広域・高解像度  
多数シナリオ  
リスク定量化  
統合的可視化

## 各種 シミュレーション



地震災害

津波被害

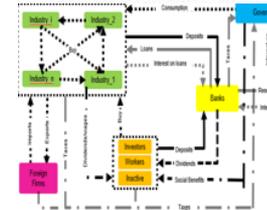
風水害

避難

「公が使える」:行政における効率化(港湾, 道路, 河川のバランスの取れた俯瞰的整備施策の立案), 効率的な国土レジリエンス化の推進.

「民が使える」:シミュレーション統合により, 設計の合理化からコスト縮減, それによる国際競争力の向上, インフラ投資の呼び込みと金融市場の創出, 民間投資による国土レジリエンス化の推進.

被災の有無による避難行動の差



経済

各種経済原理を  
統合してマクロで  
見る

# 都市丸ごとシミュレーションの特徴

## 都市デジタルツイン上で、いろいろなシミュレーションを行える

### 多数シナリオ

- ・可能性(シナリオ)を網羅できる→想定外をなくす

### 定量化

- ・リスクを比較計量的に定量化できる→リスクの共有

### 広域・高解像度

- ・広域を対象として、空間と時間の違いによる相互比較を可能とする→リスクの比較

### 統合的な可視化

- ・得られる多様な情報を統合的に示せる→合意形成

### 技術的バックグラウンド

- ・スーパーコンピュータのクラウド利用の進展/GPGPU(汎用グラフィックCPU)を用いた大規模並列計算の実用

2020年「京」から「富岳」

- ・多様な解析技術の蓄積

各種解析シミュレーションソフト

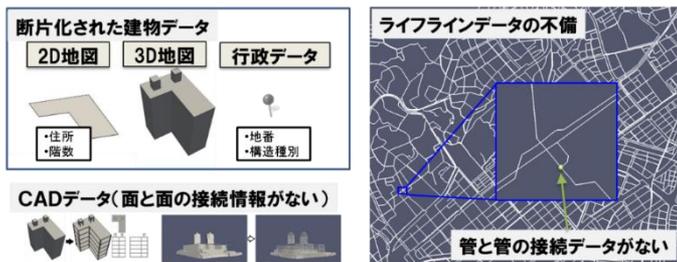
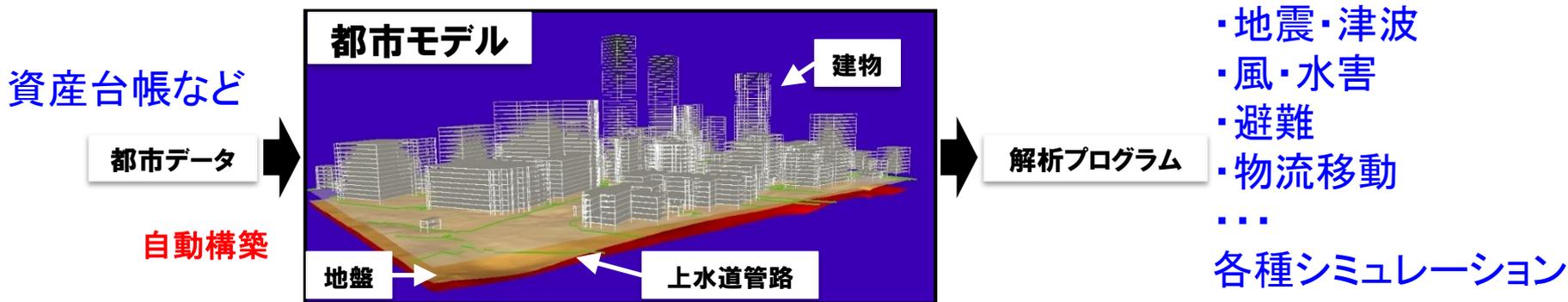
- ・多様なデジタル文書/図面の自動読み込みと都市モデルの自動構築技術の進展

データ変換技術, データ連携技術と3次元可視化技術

など

# 都市まるごとのシミュレーション技術

## 大規模シミュレーションのための次世代都市モデルの自動構築



モデル構築に必要なのは...

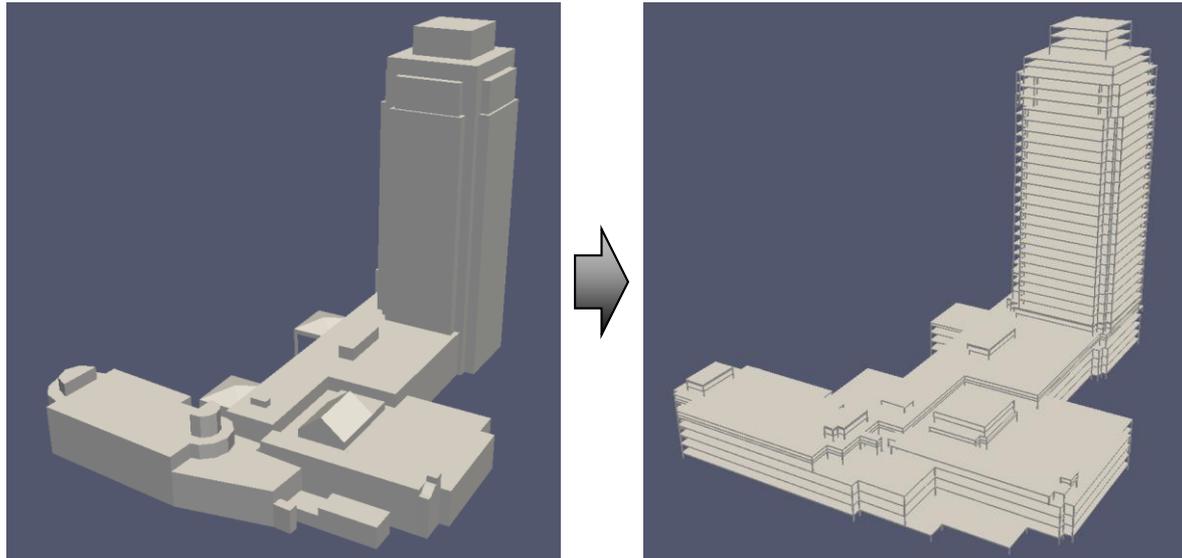
- ・断片化した情報の統合  
(地図情報の要素の関連付け)  
(複数レイヤーをオブジェクトへ)
- ・計算に必要な情報の補完

データ駆動型技術開発

つなぐ技術  
探し出す技術  
使う技術

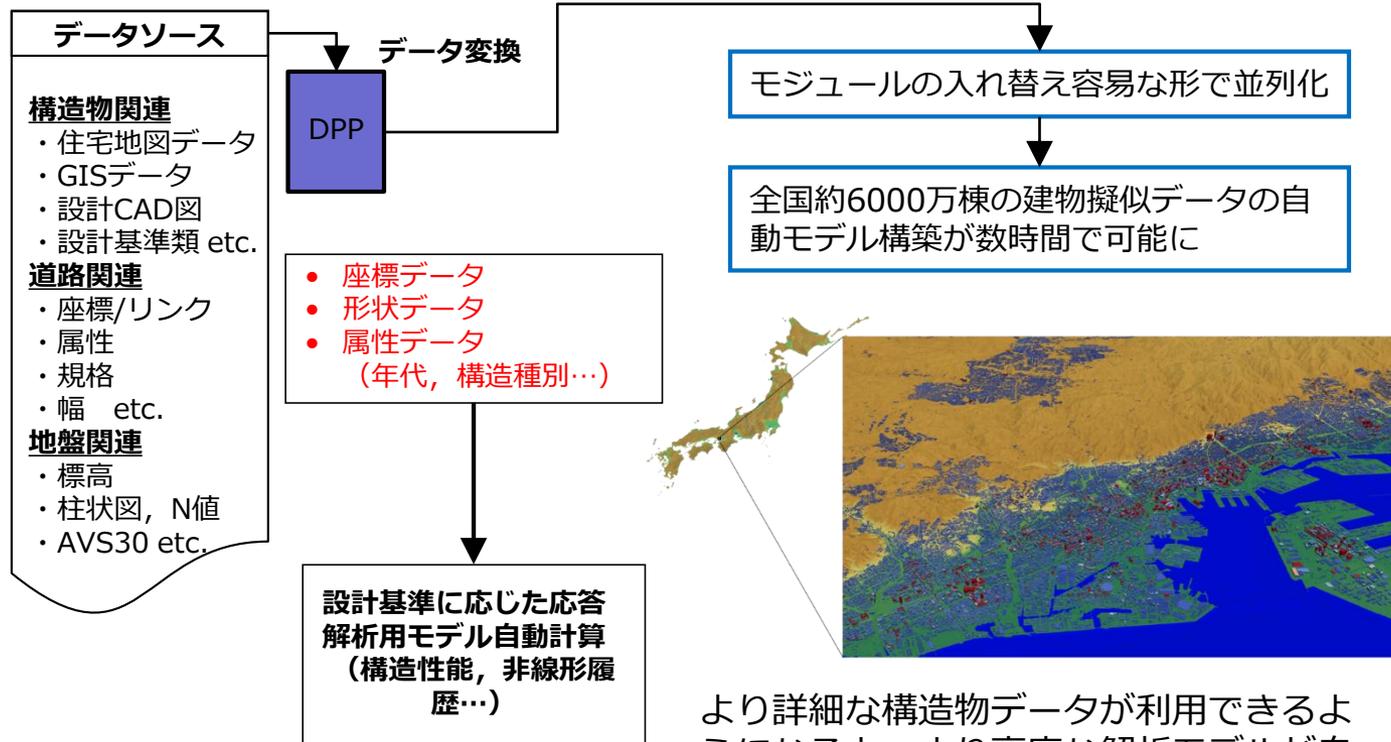
## 建物の自動同定技術

Use of 3D map: Application example of template fitting



Comprehensive city model automatic construction by Ohtani & Hori of AICS

# 都市モデルの高度化(1)

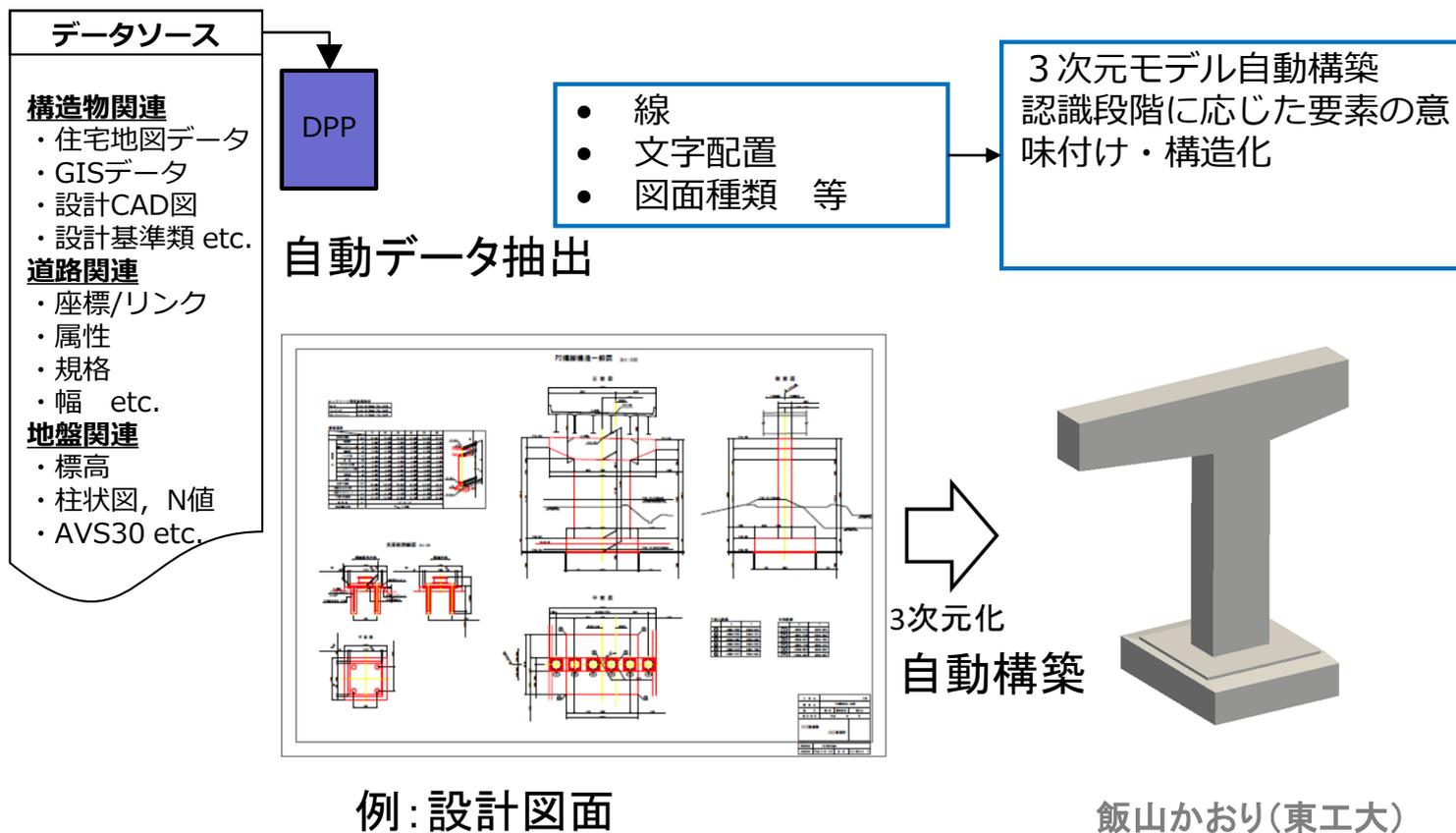


より詳細な構造物データが利用できるようになると、より高度な解析モデルが自動構築され、より信頼度の高い地震応答解析が全国一律で実現

飯山かおり(東工大)

# 都市モデルの高度化(2)

## 設計図面からの3次元構造体自動構築

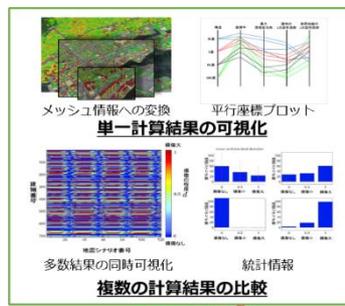


# 異種シミュレーション連携

IES: Integrated Engineering System

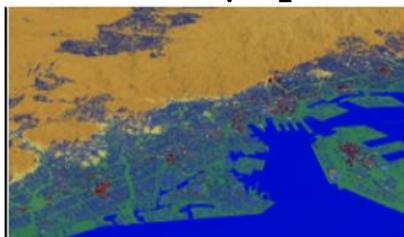
## 異種データ群

市町村資産台帳など



- 民間地図情報
- 行政データベース
- モニタリングデータ
- センサーデータ

IES



地震災害計算



津波災害計算



風水害計算

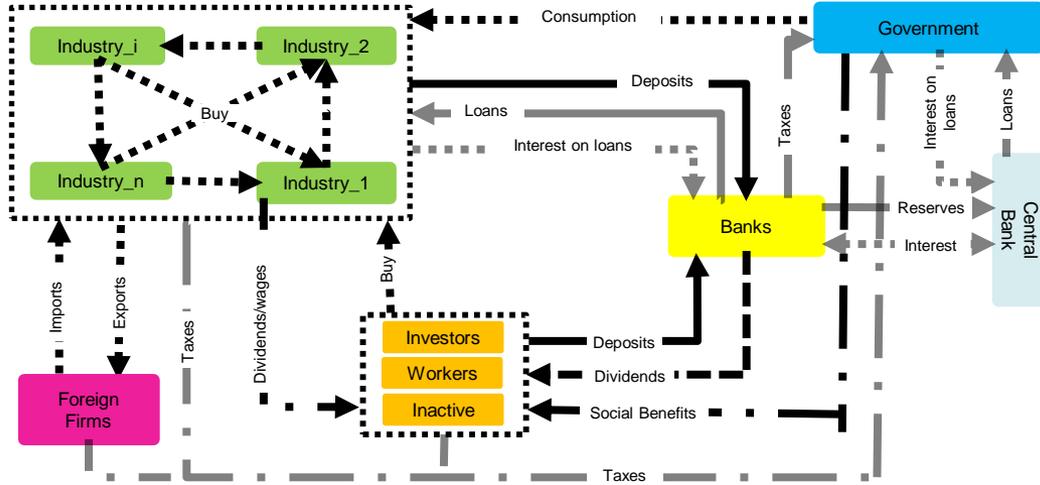


避難計算

# その他:HPC-eMAS (「都市丸ごと」を対象にMICROからMACRO)

## MASを経済シミュレーションに拡張

- ミクロ経済の支配方程式群を精緻に解析
- 企業・銀行・個人等, 多種多様なエージェントの設計と実装



## 経済活動を行う多種多様なエージェントとその関連

$$Y^G(t) = \underbrace{(\tau^{SIF} + \tau^{SIW})\bar{P}^{HH}(t)}_{\text{Social security contributions}} + \underbrace{\sum_{h \in HH^e(t)} w_h(t) + \tau^{INC}(1 - \tau^{SIW})\bar{P}^{HH}(t) \sum_{h \in HH^e(t)} w_h(t)}_{\text{Labour income taxes}}$$

$$+ \underbrace{\tau^{VAT} \sum_h C_h(t) + \tau^{INC}(1 - \tau^{FIRM})\theta^{DIV} \left( \sum_i \max(0, \Pi_i(t)) + \max(0, \Pi_k(t)) \right)}_{\text{Value added taxes}} + \underbrace{\tau^{INC}(1 - \tau^{FIRM})\theta^{DIV} \left( \sum_i \max(0, \Pi_i(t)) + \max(0, \Pi_k(t)) \right)}_{\text{Capital income taxes}}$$

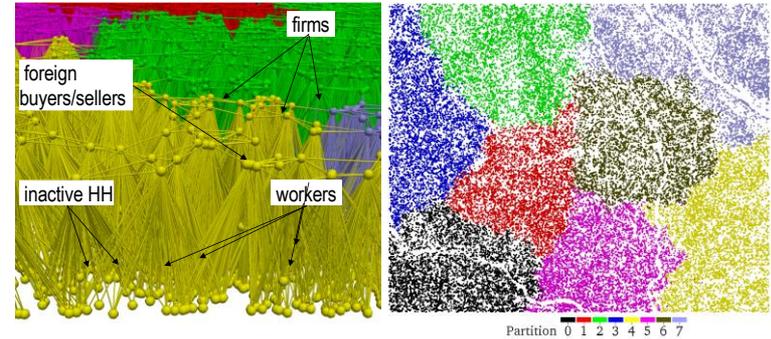
$$+ \underbrace{\tau^{FIRM} \left( \sum_i \max(0, \Pi_i(t)) + \max(0, \Pi_k(t)) \right) + \tau^{CF} \sum_h I_h(t)}_{\text{Corporate income taxes}} + \underbrace{\tau^{CF} \sum_h I_h(t)}_{\text{Taxes on capital formation}}$$

$$+ \underbrace{\sum_i \tau_i^Y P_i(t) Y_i(t)}_{\text{Net taxes/subsidies on products}} + \underbrace{\sum_i \tau_i^K P_i(t) Y_i(t)}_{\text{Net taxes/subsidies on production}} + \underbrace{\tau^{EXPORT} \sum_i C_i(t)}_{\text{Export taxes}}$$

ミクロ経済で確立された支配方程式群の実装  
 ←国の税収に関する支配方程式  
 ←企業・銀行・個人に対し支配方程式を実装

## HPC-eMASの高速並列化

- 高密度・中央指向の連結
- ロードバランスの改良
- 最新C++ライブラリの利用



労働市場の仮想グラフに基づく全エージェントの適切な分割

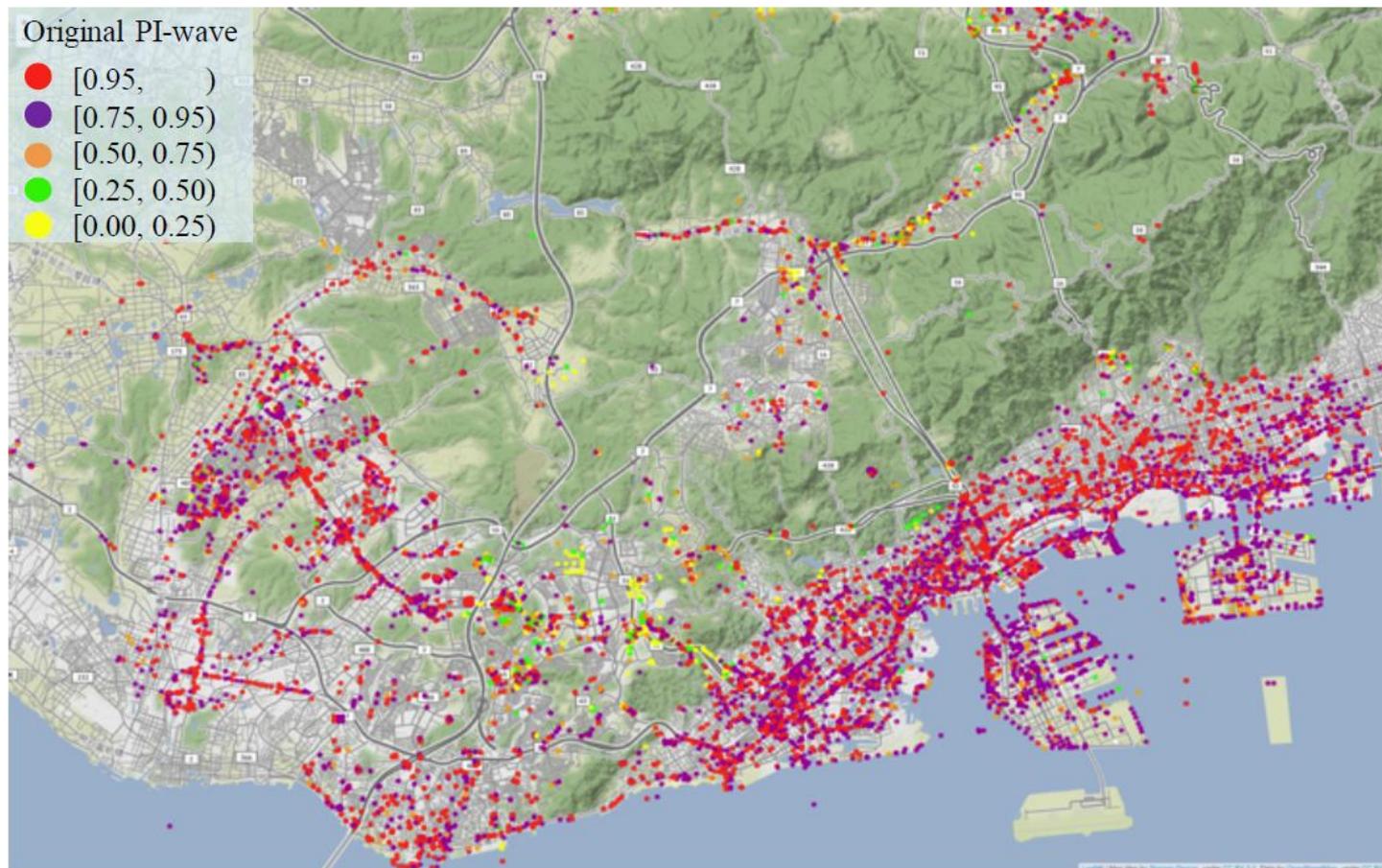
問題設定: 20期間, 10,000,000エージェント, Reebush (東大)

# MPI processes	Run-time per iteration(s)	Strong scalability
4	44.5	
8	26.0	85.7%
16	18.3	70.2%
32	15.2	60.2%
64	13.2	57.4%

## Reebushでのストロングスケールビリティ

- 全日本フルスケール, 10年間計算を5時間
- 他のコードでは2~3か月

# シミュレーション例：液状化リスクの定量化



1995 Hanshin-Awaji Earthquake, input wave observed at Port Island (PI-wave)

(Chen,J., O-tani,H., Takeyama.T., Oishi,S. and Hori,M.: Toward a numerical-simulation-based liquefaction hazard assessment for urban regions using high-performance computing, Engineering Geology, Vol. 258, No.14, 2019)

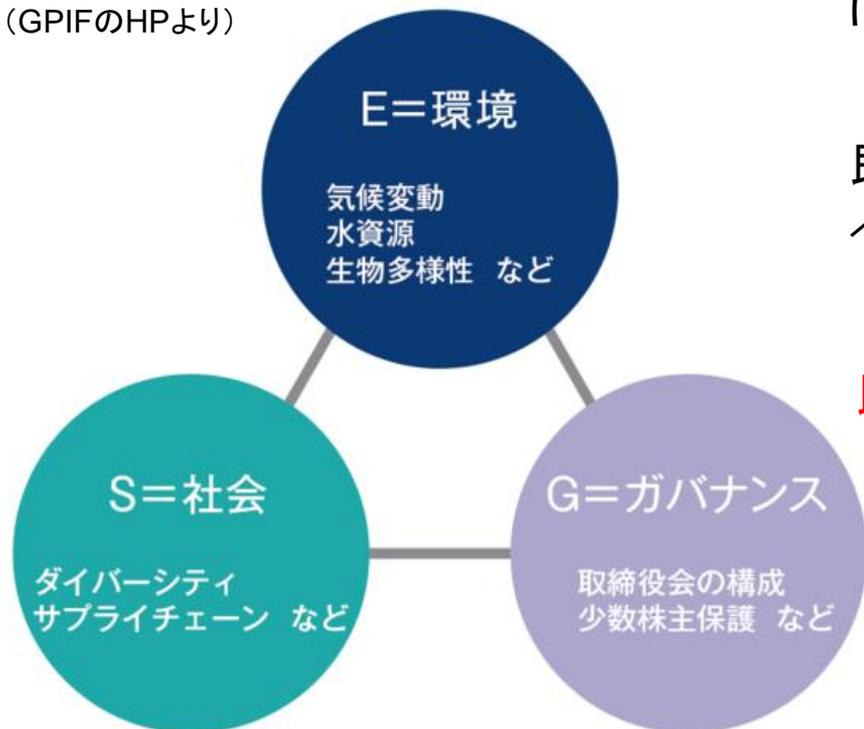
# 防災減災の市場化とは何か？

ヒント：非財務情報，ESG投資「SDGsを志向」

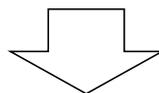
GPIFは運用資産，すべてESG考慮（日経新聞2020年3月3日）

## ESGに関する要素の例

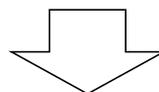
(GPIFのHPより)



ESG指数の「災害リスク」  
に注目



民間企業は企業価値維持  
／向上のために投資



民による国土強靱化につなげる

都市丸ごとシミュ  
レーション技術を  
活用

すなわち、  
防災減災の市場化  
防災減災のパラダイムシフト

E環境の指数に災害リスク低減も  
明記されている(補足資料参照)

**GPIF: 年金積立金管理運用独立行政法人** ← 世界最大の投資機関誕生  
**SDGs: 国連が定めた持続可能な開発目標**

# 災害リスク投資が企業価値の向上(株価)に直結

## 年金運用機関GPIFが「ESG投資」を重視

GPIF, 160兆円の運用資産、すべてESGを考慮(日経新聞)

GPIFの判断:

- ・“企業の持続的な成長”“安定した運用”につながる
- ・『ESG』の取り組みを強化 → 企業価値向上 → 長期的投資リターン

ESG: Environmental, Social, Governanceの頭文字

投資家が投資先の価値を測る指標. ESGによって非財務情報を考慮.

先はSDGsに至る

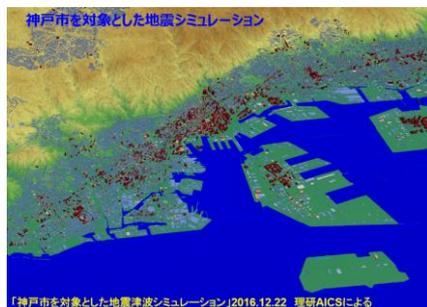
ESG指数: Eでは「気候変動」に偏りが見られるが, 自然災害によるリスクも一部に指摘(サプライチェーン, リスクマネジメント, 災害マネジメント)

- ・FTSE Blossom Japan Index
- ・MSCI ジャパン ESG セレクト・リーダーズ指数
- ・MSCI 日本株 女性活躍指数(WIN)
- ・S&P/JPX カーボン・エフィシエント指数
- ・S&Pグローバル 大中型株カーボン・エフィシエント指数(除く日本)

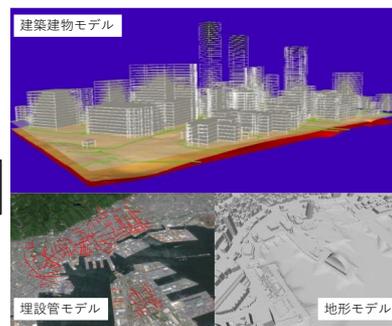
GPIF: 年金積立金管理運用独立行政法人

# 民による国土強靱化投資を実現

注意：民間企業にとって、それぞれが必要とするシミュレーションを効果的に行える。必ずしも、「都市丸ごと」を行わねばならないということではない。



都市丸ごとシミュレーション  
災害リスクの具体化，定量化



都市デジタルツイン

国土交通データPF  
インフラデータ群  
国土データ群  
気象データ群  
経済データ群  
.....

災害リスクの低減  
すなわち、  
民による  
国土強靱化

事業継続計画 (BCP)  
災害リスク対応・効果  
環境リスク対応・効果

指数

財務情報と  
非財務情報 (例, ESG投資)  
気候変動重視だが災害リスクもなかには含まれている

議決権行使助言会社 (ISSなど)

投資判断

投資

循環を  
起こす

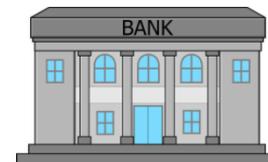
投資

企業価値向上  
株価の維持／向上  
事業の存続／拡大

株式会社



投資ファンド・株主



銀行

# 民による国土強靱化投資を実現するためのICT整備

## 国土に関するデータ

- ・地理院タイル
- ・社会資本情報プラットフォーム
- ・国土地盤情報センター
- ・電子納品保管管理システム
- ・My City Construction(東京都)
- ・自治体維持管理DB
- ・国土数値情報
- ・3D都市モデル
- ・海しる
- ・・・・

## 経済活動に関するデータ

- ・全国幹線旅客純流動調査
- FF-Data(訪日外国人流動データ)
- ・・・

## 自然現象に関するデータ

- ・気象データ
- ・水文地質データ
- ・DiMAPS
- ・・・

## 他省庁システム

- ・SIP4D
- ・農業データ(WAGRI)
- ・・・

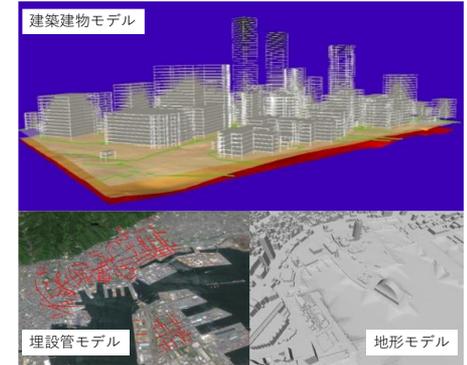
多種多様な分散型データベース

行政利用  
効率化

国土交通データプラットフォーム  
検索 可視化(GIS) 統合利用(BIM)

## 技術のキモ

- ・データ連携(つなぐ技術)
- ・メタデータ自動作成(探し出す技術)
- ・データ統合(使えるようにする技術)



都市デジタルツイン

都市丸ごとシミュレーションにより、

- 災害リスクの可視化
- 被害想定 of 精緻化
- 物流の可視化
- 人の動きの可視化

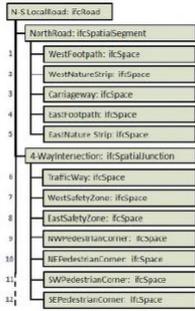
ICT整備による国土強靱化へ

## ■求められるアクション

1. インフラデータPF(国土交通データPF)の整備とデータ連携
2. 都市デジタルツイン技術の社会実装
3. 災害リスクの非財務指標へのしっかりとした反映
4. 都市デジタルツイン技術を担う技術者教育

# 補足：国際動向 BuildingSMART (BIMの国際標準化)

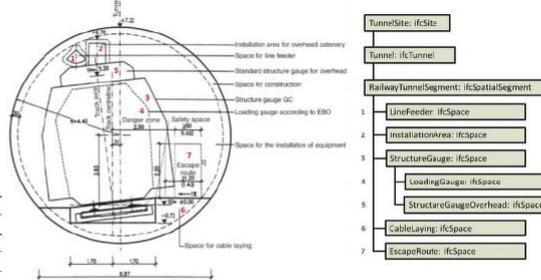
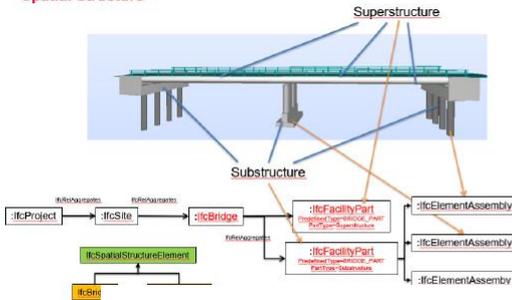
- 建設業界に携わる北米12の会社によって設立
- ソフトウェア会社と共に建設業界にIFC標準を促進 (BIMはIFC標準のモデリング)



道路の空間構成

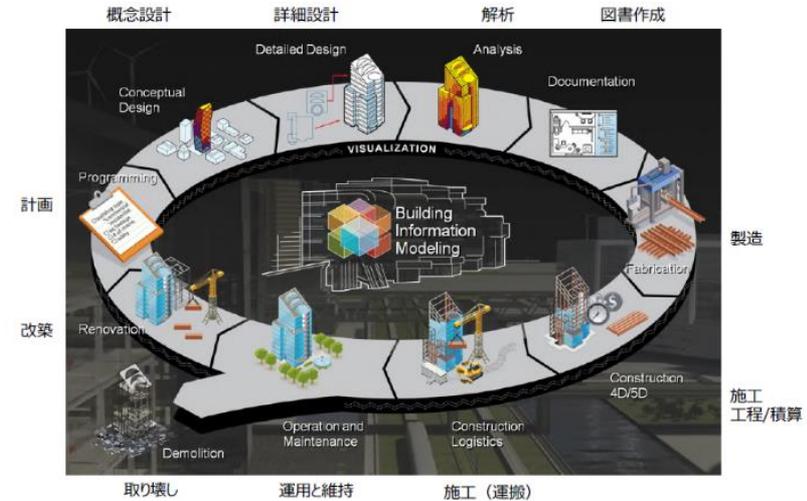


港湾の空間構成



IFC (ISO化)による「度量衡」統一, 国際競争? しかし欧米主導, 中国台頭

## BIMの概念



IFC標準のBIM仕様のインフラデータに対して, 計画から取り壊しまでの, 全過程に業務用ソフトウェアのパッケージを提供

- 手作業を極力, 除くことで, 各過程の生産性向上
- 全過程のデータを一体管理・利用することで, 建設全体の効率化

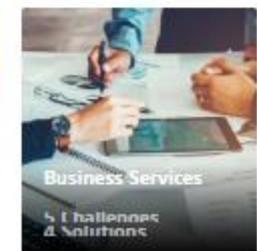
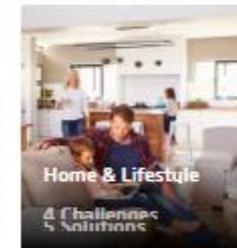
# 補足：国際動向 ソフトウェアパッケージ(囲い込み)

## ダッソー・システムズ

1981年 設立  
 1981年 IBMとのグローバル・アライアンス開始  
 1992年 CADAMを買収し、Dassault Systèmes of America Corporationを設立  
 1994年 日本法人 ダッソー・システムズ株式会社を設立  
 1997年 SolidWorks社を買収し、ブランドに加える  
 1998年 Matra Datavision社の事業からEUCLID、STRIM、STRIMFLOWを買収  
 1998年 IBMのProduct Data Management(PDM) 事業を買収  
 1999年 SmarTeamベンダーのSmart Solutionsを買収し、ENOVIAブランドに統合  
 2000年 Deneb、Safework、DELTAを買収・統合し、DELMIAブランドを設立  
 2000年 Spatialを買収  
 2005年 Abaqusを買収し、SIMULIAブランドを設立  
 2005年 Virttoolsを買収  
 2006年 MatrixOneを買収し、ENOVIAブランドに統合  
 2006年 Dynasimを買収し、CATIAブランドに統合 (DYMOLA)  
 2007年 Seemageを買収し、3DVIAブランドに統合 (3DVIA Composer)  
 2007年 ICEMを買収し、CATIAブランドに統合  
 2008年 Engineous Softwareを買収し、SIMULIAブランドに統合  
 2010年 IBMのPLM事業部を統合  
 2010年 Exaleadを買収  
 2010年 Geensoftを買収し、CATIAブランドに統合  
 2011年 Intercim LLCを買収し、DELMIAブランドに統合  
 2011年 Enginuity PLMを買収し、ENOVIAブランドに統合  
 2011年 Simulayt Limitedを買収  
 2011年 Elsysを買収し、CATIAブランドに統合  
 2012年 Netvibesを買収[22]  
 2012年 Getcom Software internationalを買収し、GEOVIAブランドを設立  
 2013年 FE-DESIGN GmbHを買収し、SIMULIAブランドに統合  
 2013年 Archividéoを買収  
 2013年 SIMPOEを買収  
 2013年 アプリソを買収し、DELMIAブランドに統合  
 2013年 SFE GmbHを買収  
 2013年 Safe Technology Limitedを買収し、SIMULIAに統合  
 2013年 RTT AGを買収し、3DEXCITEブランドを設立  
 2014年 アクセルリス社( Accelrys, Inc., NASDAQ: ACCL)を買収  
 2014年 SIMPACK AGを買収し、SIMULIAブランドに統合  
 2015年 Modelon GmbHを買収

## Transforming Industries, Markets and Customer Experiences

Every day our customers turn industry challenges into business opportunities and deliver value to their customers. The 3DEXPERIENCE® platform connects Knowledge and Know-How: by combining application, content and services, it helps you create unique and disruptive innovations thanks to a rich portfolio of Industry Solution Experiences.



便利, しかし, パッケージ化による囲い込み! →技術の空洞化→競争力の喪失

# エピローグ

司馬遼太郎(1996年没):戦国, 維新の小説を通して, 戦後の日本人に自信と誇りを取り戻させた. しかし, 晩年に次の言葉を残している. 「自分の作品は, 22歳の時(終戦時)の自分への手紙. いま, この国は滅びに向かっている, 昭和のはじめ以上の危機と思う」

## 再び, 日本に自信と誇りを取り戻す!

長州藩 年間予算24倍の財政赤字(銀9万貫)

**情報統合・共有**「防長風土注進案」(全村の基礎台帳など)

→地に足がついた振興(幕末の活動を可能にした)

御前仕組方(プロジェクトチーム, 一般会計)

撫育方(特別会計)

越荷方(通商)

薩摩藩 郷中教育

仮想問答(**多数シナリオ**)→想定外をなくす, 臨機応変な危機対応

会津藩 社倉制度(**備え**)

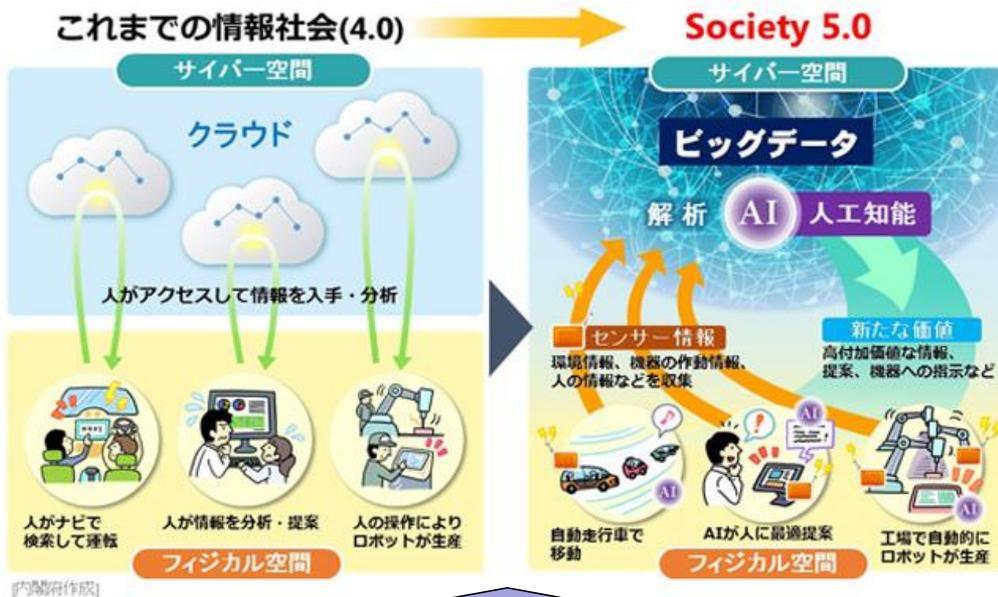
都市デジタルツイン→都市丸ごとシミュレーション

現代的な「情報統合・共有(可視化)」, 「多数シナリオ」, 「備え」を与える.

本題は以上です.

以降は, 参考資料

# 内閣府HP Society5.0



← サイバー空間



「デジタルツイン」が必要

← フィジカル空間

経済発展と社会的課題の解決を両立するSociety5.0へ



IoT、ロボット、AI等の先端技術をあらゆる産業や社会生活に取り入れ、格差なく、多様なニーズにきめ細かく対応したモノやサービスを提供

「Society 5.0」へ

経済発展と社会的課題の解決を両立

「デジタルツイン」を支える基盤技術が

- ・分散型ビッグデータのデータ連携(つなぐ技術)
- ・メタデータ自動作成(探す技術)
- ・データ統合(使う技術)

これらによって、「国土交通データPF」は社会インフラとなる

## 参考：データプラットフォーム開発の人材育成イメージ

---

### ◆指導技術者群

- インフラについて詳細な知識を持つ
- オントロジー指向プログラミングに対する詳しい理解がある
- C++でライブラリを書くことができる

### ◆高級技術者群

- インフラについて詳細な知識を持つ
- C++でプログラミングが可能

### ◆技術者群

- 工学部卒程度の工学に対する理解がある
- CADをある程度使うことができる
- スクリプト言語でCUIのスクリプトを書くことができる