Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-05-04

自然災害への対峙的な防災・減災からの脱却

飯塚, 敦

(Citation)
神戸大学都市安全研究センター研究報告,25:181-190

(Issue Date)
2021-03

(Resource Type)
departmental bulletin paper

(Version)
Version of Record

(JaLCDOI)
https://doi.org/10.24546/81013298

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/81013298

KOBE UNIVERSITY

神戸大学都市安全研究センター
研究報告，第25号，令和３年３月

自然災害への対峙的な防災・減災からの脱却

Moving away from confrontational disaster prevention and mitigation in response to natural disasters

飯塚　敦*1)
Atsushi Iizuka

概要 : 1961 年以降，自然災害における被害は劇的に低減してきた．しかし 1995 年の阪神淡路大震災，2011 年の東日本大震災で，自然災害に対峙する防災減災の限界を見せつけられた．さらには，南海トラフにおける巨大地震の近未来での発生が憂慮されている．防災・減災への考え方のパラダイムシフトが求められる．2016 年，理研 AICS@神戸において，神戸丸ごとシミュレーションが行われた．仮想空間内に神戸の街が再現された．都市デジタルツインである．これによって，多種多様な災害リスクが定量化される．一方で，企業価値の向上に非財務情報が重視されるようになってきた．都市デジタルツインにより，その企業が晒される災害リスクが具体化され，その低減への投資が企業価値の向上に結び付く構図が現れてきた．すなわち，平時の経済活動が国土の強靭化につながる図式である．これによって，防災・減災が，公による受身の防御から民による投資対象となる．このような考え方を処方箋として具体化すれば，自然災害に対峙する防災・減災から共生できる防災・減災を明示できるのではなかろうか．本研究は，企業の投資が国土の強靭化へ導ける ICT 技術活用法を検討するものである．

キーワード：災害リスク，都市デジタルツイン，都市丸ごとシミュレーション，ESG投資

1．　はじめに

1961 年，わが国では災害対策基本法が施行された．それまで地震や台風などの自然災害で多くの人命が失われてきたが，これ以降，このような自然災害による人命等の損失は激減していった（**図−1**[1)]）．ところが，1995 年の阪神淡路大震災の大惨事を経験して，それまでの耐震性能の向上や防災施設の充実といった，「公」主体のハード面の整備ばかりでなく，避難や防災の訓練といった人々それぞれの備えの重視から，公助ばかりでなく，共助と自助の重要性も謳われるようになった．そのような背景の下，またしても，2011 年，東日本大震災で未曾有の惨禍を被った．地震だけでなく，その後の津波や火災の複合が多くの人命を奪った．南海トラフ地震の発生による大

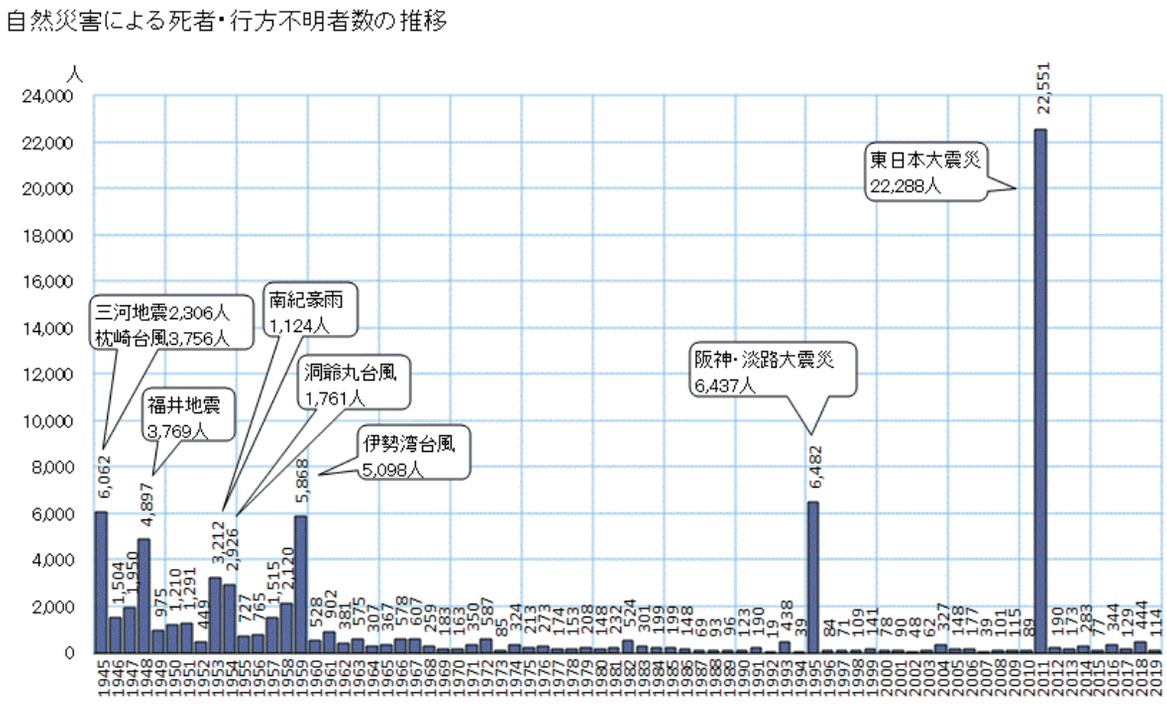


図-1　自然災害による死者・行方不明者の推移 [1)]

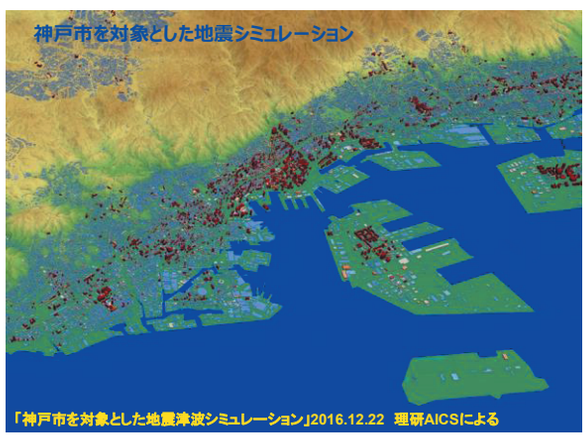
惨事が懸念されている現在，これまでの防災・減災の考え方ではとても覚束ない．防災・減災に対する考え方のパラダイムシフトが求められていると考えられる．では，パライムシフトが示す防災・減災はどのような在り様なのだろうか．

本稿では，都市デジタルツイン技術を用いた都市丸ごとシミュレーション技術を取り上げ，その技術を民間に社会実装することにより切り開かれる新しい防災減災の可能性を論じてみたい．すなわち，公による防御から民による投資が防災減災につながる図式を考える．都市丸ごとシミュレーション技術によって，都市デジタルツイン上で，地震，津波，風水害などによって生じる都市それぞれの構成要素の振る舞いを知ることができる．想定されるあらゆる地震，津波，風水害を模擬できる．これによって想定外がなくなる．スーパーコンピュータや GPGPU（General-purpose computing on graphics processing units; GPU による汎用計算）におけるハードウエアの著しい進歩によって，広域でかつ高解像度のシミュレーションが可能となる．最も画期的なこととして，地震，津波そして風水害などに伴う都市の構成要素の振る舞いが互いに影響し合った複合を知ることができる．そして，それらが定量化され，可視化して表される．このような情報は防災減災の事前防御，緊急時対応，災害後の復旧・復興の立案などに役立つが，加えて，民間企業における平時の経済活動に必要不可欠となれば，平時の経済活動が災害に対する強靭化につながってくる．本稿では，近年の企業の非財務情報の重視に注目し，企業価値の維持・向上へのこのような都市丸ごとシミュレーション技術の必要性を論じる．すなわち，各企業が企業価値を高める（または維持する）努力が災害に対する国土の強靭化につながるスキームを検討する．これによ

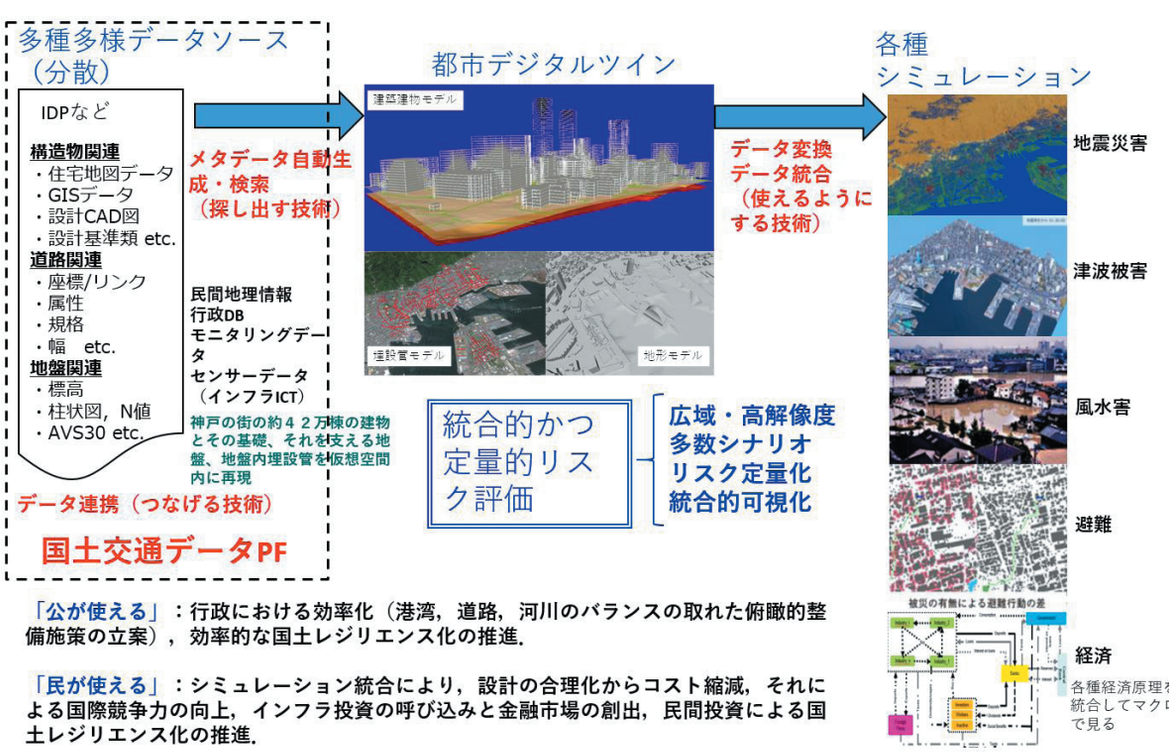
って，防災減災が，公による防御のみならず，民による能動的な社会経済活動によって進展する防災減災のパラダイムシフトを提唱したい．

２．都市デジタルツイン技術

2016 年，理化学研究所計算科学研究機構 AICS（現在の計算科学研究センターR-CCS）では京計算機を用いて，神戸の街丸ごとのシミュレーションが行われた（**図−2**）[2]．一万数千本のボーリングデータから地盤モデルを構築し，約 42 万棟の建物，それら建物の基礎，上下水道などの埋設管がコンピュータの仮想空間内に再現された．そのような都市モデルに対して，地震や津波などの外力を入力すると，その都市のひとつひとつの構成要素がどのように振舞うか，そしてそれらの集合体である都市が複合的にどのように振舞うかを知ることができる．京計算機などのスーパーコンピュータを用いて，高解像度で，多数のシナリオ（種々の地震や津波などの自然災害）に対する都市の振る舞いを知ることができれば，それら自然災害に対する各地点，各建物のリスクが確率として定量化される [6]．しかも想定外をなくせる．もちろんシミュレーションにおいては，都市モデルや用いるシミュレータの V&V（Verification and Validation）が前提となる．



図−2　神戸の町を丸ごと地震シミュレーション



図−3　IES の概要

この技術は，東大地震研の堀と市村（堀は，現在，JAMSTEC 所属）を中心としたグループによって開発された IES（Integrated Earthquake Simulator）[3),4)]が高度化されたものである．資産台帳などの行政データ，ボーリング調査データなどの多種多様なデータを読み込み，自動で都市モデルを構築できるようにしたところに，この技術の特徴がある．よって，少々乱暴な言い方を許してもらえば，データさえあれば，場所を問わず，どこにでも適用可能となったのである．しかもコンピュータの環境は，スーパーコンピュータのクラウド利用の進展により，場所を選ばなくなってきた．この都市モデルの自動構築の鍵がデータ変換技術であるが，理化学研究所計算科学研究センターにおける発明である DPP（Data Processing Platform）[5)]によって，都市モデルに限らず，ある目的に対して統合的にデータを扱える自動データ変換システムとなってきた（**図-3**）．DPP を一言で言えば，多種多様な元データ（画像を含む）から，構造化して必要なデータを読む技術と言える．このようにして，IES（Integrated Earthquake Simulator）は，IES（Integrated Engineering System）に進化している [16)]．

IES で構築された都市モデル（都市デジタルツイン）を対象に，例えば，想定されているすべての地震シナリオを入力すれば，その都市のリスクが場所ごとの確率分布として得られるであろう．スーパーコンピュータや GPGPU などを用いれば，それを高解像度にできる．そのリスクの定量化分布は，丁度，気象におけるアンサンブルシミュレーションの高度化と高解像度化が，降雨予測などの天気予報情報に細密性と信頼性を与え，特定の産業分野に限らず社会全体で意思決定に供される重要な情報となったように，各企業において重要な情報となろう．

このような IES 技術を社会実装しようとする機運が高まった．2019 年 8 月に，神戸大学に事務局を置き，「都市丸ごとのシミュレーション」技術研究組合が設立された [13)]．この技術研究組合では，神戸の街に限らず，全国を対象に，国土交通省（国交省）がすすめる国土交通データプラットフォーム（IDP）[7),8)]から，IES に必要なデータを取得できるように，また国交省側からは IES が IDP のユースケースとなるように，技術開発が進められている．すなわち，都市のデジタルツインは IES により国土交通データプラットフォーム等のインフラデータを利用して自動構築される．ここで，各民間企業の構想するビジネスモデルへうまく橋渡しができるように，各社共通となる技術課題を明確にし，それを協調領域と名付け，国交省や日本建設情報総合センター（JACIC），さらには東京大学 i-construction 寄附講座，理化学研究所計算科学研究センター（R-CCS），海洋研究開発機構（JAMSTEC）と連携しながら，技術開発を行っている．なお，この協調領域を広く大きく，各社独自の開発が必要な競争領域を狭く小さくすることが，「使われる」技術とできるかどうかの鍵を握っていると考えている．解決すべき技術的課題の詳細については，文献 9)などを参照されたい．

3．防災減災の市場化－民間投資による国土強靭化のサイクル実現へ

2006 年年金積立金管理運用独立行政法人（GPIF：Government Pension Investment Fund）[10)]が設立された．厚生年金と国民年金の資金の管理・運営を行う機関である．運用資金 100 兆円を超える世界最大規模の投資機関が我が国に誕生したのである．将来の年金給付の財源の運用であるから，中長期的に安定して安全な運用が求められる．この GPIF が「運用資産のすべてに ESG を考慮する」と記者発表を行った [11)]．ESG 投資とは，企業の非財務情報に基づく投資のひとつで，環境（Environment），社会（Social），統治（Governance）の３つの視点を考慮した投資である．2017 年

表-1 GPIF が選定した 2 つの ESG 指数における評価項目 [14)]

FTSE Blossom Japan Index
E（環境）：気候変動、汚染と資源、生物多様性、水使用、サプライチェーン
S（社会）：顧客に対する責任、健康と安全、人権と地域社会、労働基準、サプライチェーン
G（企業統治）：腐敗防止、企業統治、リスクマネジメント、税の透明性
MSCI ジャパン ESG セレクト･リーダーズ指数
E（環境）：気候変動、天然資源、汚染と廃棄物、環境機会
S（社会）：人的資本、製造物への責任、ステークホルダー、社会的機会
G（企業統治）：コーポレートガバナンス、企業行動

以来，GPIF は ESG 投資を開始している．ESG の考慮がその企業の持続的な発展性を測るものとして重要な指標であるとの認識を示したと言える．これによって，世界最大規模の投資機関 GPIF が重視する ESG は，一般投資家にとっても投資判断の重要な指標となった．そのため，各企業にとっては，ESG の達成が企業価値の維持・向上に極めて重要な意味を持つこととなっている．GPIF は ESG 投資にあたって，2 つの総合型指数と 3 つのテーマ型指数の計 5 つの ESG 指数を選定している．その内の総合型指数として選択されているのが，FTSE Blossom Japan Index と MSCI ジャパン ESG セレクト・リーダース指数である [10)]．FTSE Blossom Japan Index は FTSE Russell 社が算出している指数で，日本企業の ESG 総合評価に使われている．MSCI ジャパン ESG セレクト・リーダース指数は MSCI 社が作成しており，ESG を総合的に格付けするのに用いられている．この 2 つの指数の ESG 評価項目を示すと**表-1** となる．ESG の環境（E）には気候変動への偏りが見られ，これは ESG 指数の評価が欧米，特にヨーロッパ先導型であるためと思われるが，それでも災害リスクへの対処が評価項目にあがっていることがわかる．今後，ビジネスの舞台として東南アジアなどの環太平洋造山帯に位置する地域が注目されてくると，当然，地震災害などの災害リスクへの対応は重要な ESG 評価項目とならざるを得なくなるであろう．

都市デジタルツイン上での各種の都市丸ごとシミュレーションは，各企業の災害リスクへの対処を定量的に示すことができるため，その技術の社会実装は重要な意味を持ってくると予想される．各企業においては，都市デジタルツイン上での各種の都市丸ごとシミュレーションによって，ESG 指数の改善を具体的に明示することが可能となり，議決権行使助言会社などによるその企業の評価の向上を助ける．すなわちそれは，その企業の企業価値の向上を意味し，その企業への投資を促すことにつながる．この ESG 指数の達成による企業価値の向上の図式をイメージとして描いたのが**図-4** である．各企業がその企業の企業価値向上のために災害リスク低減に投資を行う．すなわち，「民による国土強靭化」のサイクルが描かれる．このようなサイクルを実現できるカギが，災害リスクの定量化にあって，何らかの投資によってその災害リスクが低減したことが可視的に示せることが重要である．それを可能とするのが，都市デジタルツインの構築を可能とするデータ検索，データ連携，データ統合技術であり，都市デジタルツイン上での各種のシミュレーション技術である．

4.　都市デジタルツインと都市丸ごとシミュレーションを支える ICT 技術

都市デジタルツインに必要なデータが各種のインフラデータである．それらは，多種多様な書式や形態によって，分散的にビッグデータを構成している．これらを統合しようとする環境整備が構想されている．先に紹介したが，国交省がすすめる国土交通データプラットフォーム [7),8)] である．ここには，地理院タイル，電子納品保管管理システム，国土地盤情報センターなどの国土に関するデータ，全国幹線旅客純流動調査などの経済活動に関するデータ，そして気象データや DiMAPS などの自然現象に関するデータ，さらには自治体オープンデータ（CKAN）や民間等が保有するデータと API 連携（異種ソフトウェア間が境界を意識することなく相互利用できる連携）し，多様な用途に広い利活用を目指している．業務の効率化やスマートシティ等の施策の高度化、産学官連携によるイノベーションの創出を謳っている．IES による都市のデジタルツイン構築へのデータ供給元として期待される．では，IES による利活用を考えたとき，どのような技術課題が挙げられるのだろうか．堀が詳しく解説しているが [9)]，大きくは３つの技術項目が挙げられると考えられる．まずひとつは，1)分散型データシステムとの連携である．API の整備と言われるが，この API の中身を具体化しなければならない．次に，2)膨大なデータ群の中から，必要なデータを見つけ出す検索機能の整備である．３つ目が，3)見つけ出した多種多様な元データ群から，IES 上でのシミュレーションに必要な入力データを自動構築する技術である．

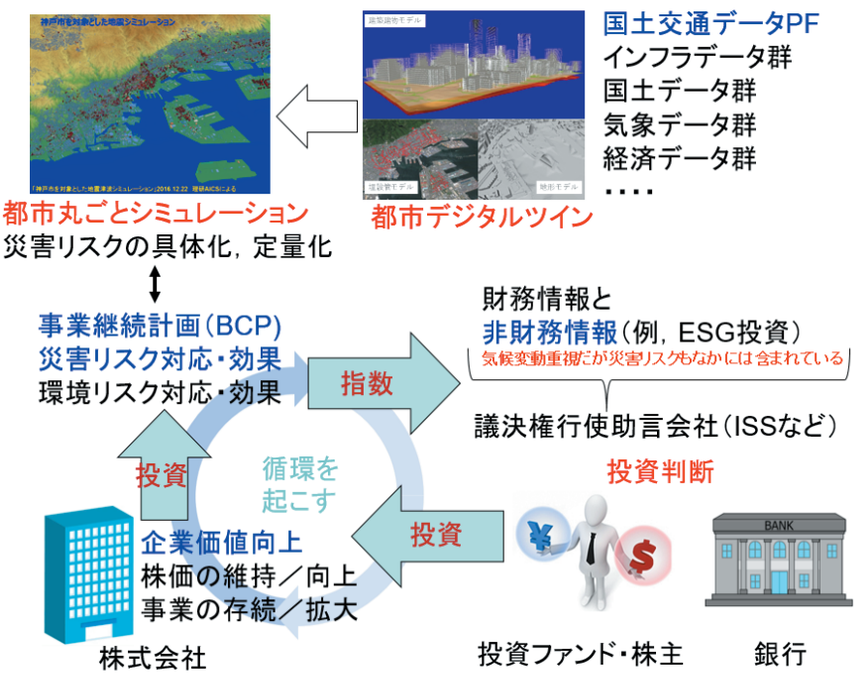


図-4　ESG 投資に基づく「民による国土強靭化」のイメージ

都市デジタルツイン上での都市丸ごとシミュレーション技術を支える要素技術が，データ連携（つなぐ技術），データ検索（探し出す技術），データ統合（使えるようにする技術）であることを述べたが，これらの技術は，都市丸ごとシミュレーションを構想しない民間企業にとっても極めて有用な道具となる．社内データの情報統合・管理，事業推進管理の合理化などの ICT 環境を改善する道具となる．

5.　国際競争の現状と技術の向かう先

GIS や CIM/BIM が 3 次元可視化を可能とし，インフラのあり方や機能の検討に変革をもたらしている．しかし，その先，すなわち 3 次元可視化されたインフラ構造物やその構造物群が未来に

どのような機能変化を生じるのか，災害などに対する性能はどうなっていくのかなどの分析・検討に進まねばならない．BuildingSMART[12)]などの取り組みは，その方向にあると考えられるが，IFC 標準化など，度量衡統一にも似た国際的な綱引きの場となっているようにも見受けられる．このような国際的な綱引きがどのような様態で決着がつこうとも，わが国の ICT 整備には，それらを包含できる「懐の深さ」を持った戦略が求められる．理化学研究所 R-CCS の発明である DPP を用いた API の整備や検索システムの構築，そしてデータ変換／統合技術の整備は，わが国が国際競争力を失わない最適解となっているように感じる．また，欧米の巨大システム会社は，ビッグデータの管理・運用からそれを用いた各種シミュレーションと可視化まで，一気通貫のシステムサービスの提供を競っている．そのようなシステムに頼ることは，大変に便利で楽に製品開発が行えるであろうが，その先には，技術の空洞化と競争力の喪失があることを忘れてはならない．このような一気通貫のシステムサービスを用いても良いが，どの段階でも自由にデータを抽出でき，加工し，独自のシミュレータに供することのできる技術の保持は重要である．これもデータ連携，データ検索，データ変換／統合技術の保持の重要性につながる．上記のような国際的イニシアティブ争奪，システムの寡占を上手くいなし，技術の空洞化を防ぎ，競争力を保持する処方箋は，データ連携，データ検索，データ変換／統合技術の DPP を用いた「非 BIM データの BIM 化」技術への収斂であろう[15)]．過去のインフラデータを資産として，その膨大な資産の利活用を可能とする技術は国際的イニシアティブ争奪を凌駕し，システム寡占を圧倒するからである．

6.　防災減災のパラダイムシフト

以上の所論により，都市デジタルツイン上での都市丸ごとシミュレーションの実施を可能とする周辺技術を社会実装することにより，民間企業がその企業価値を高める行為を国土強靭化につなげて行けることを述べた．平時の経済活動が国土の強靭化につながるのである．これによって，防災減災は公による防御から，民における経済活動にも支えられるものとなり，かつ民においては，ESG 指数による企業価値の向上のみならず，ICT 基盤技術の実装により，社内の情報統合・管理や事業推進管理の生産性向上にも資するものとなる．すなわち，災害に対峙して闘うから，災害をうまくいなして実を獲る防災減災のパラダイムシフトを想起することができる．この平時の経済活動を国土強靭化につなげ，その国土強靭化の過程で「実」を得る防災減災のあり様を「自然災害との共生」と言えるのではないだろうか．自然災害との共生としては，古代エジプトのナイル川の氾濫制御や，わが国では信玄由来と言われる霞堤によって氾濫から肥沃な土壌を獲得した事例が思い浮かぶ．都市デジタルツイン

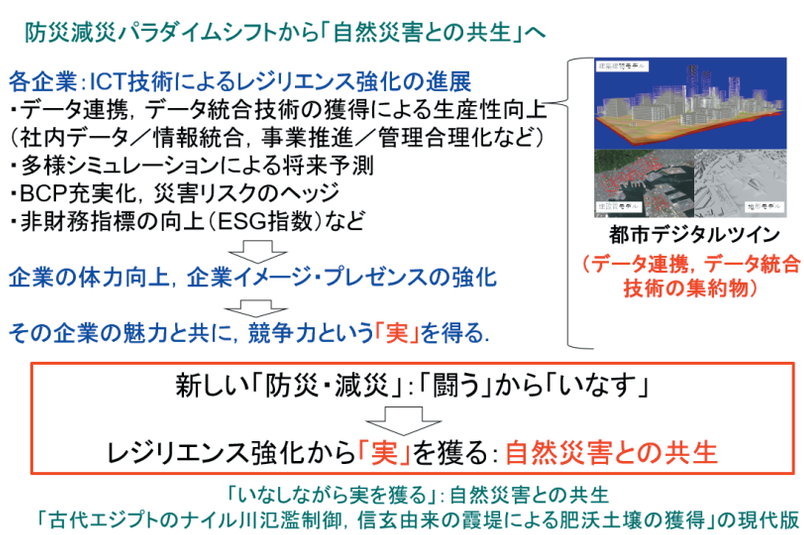


図-5　現代版「自然災害との共生」

上での都市丸ごとシミュレーションに代表される ICT 技術の社会実装は，このような過去の事例の現代版と理解されよう（**図-5**）．これによって，自然災害に対峙する姿勢から脱却し，大規模複合災害に官民一体となって備える機運がごく自然に醸成されるのではないだろうか．

7. おわりに

幕末から明治維新を主導したのは，薩長土肥，特に薩長と理解されている．この内の長州は，関ヶ原の合戦の後，取り潰しは免れたが，防長 2 国に押し込められ，江戸期は辛苦をなめた．江戸中期には，年間予算の 24 倍もの財政赤字を抱えていたという．この財政赤字を払拭し，維新革命の原資を蓄積できたのは，俯瞰的にして詳細な領内の情報把握にあった．領内全村の基礎台帳を基にした防長風土注進案によって情報の統合とその可視化がなされた．この情報の統合と可視化が，地に足のついた振興を可能とし，幕末の活動の原資を与えた．一方の薩摩は郷中教育に優れていた．仮想問答を課すことによって，想定外をなくし，臨機応変な危機対応を可能としたという．すなわち多数シナリオの準備である．この情報統合と可視化，多数シナリオは，都市デジタルツイン上での都市丸ごとシミュレーションにも備わっている．閉塞感に苛まれる現代，都市デジタルツイン上での都市丸ごとシミュレーションが，この閉塞感を打ち破ってくれることを期待している．南海トラフの脅威に苛まれる中，平時のいつもの経済活動が実は国土の強靭化に進んでいるとなれば，これほど勇気づけられることはない．国民が一丸となって防災減災に向かう機運も高まる．災害から人々の命と生活，コミュニティーを守るのが社会の第一義の目標だと認識できる．

参考文献

1) 自然災害による死者・行方不明者の推移，http://honkawa2.sakura.ne.jp/4365.html
2) スーパーコンピュータで神戸の町を丸ごと地震シミュレーション（2018 年 7 月 31 日放送），YouTube, https://www.youtube.com/watch?v=XXUg9NwI9Fo&t=130s
3) 市村 強・堀 宗朗・篠竹 英介 : GIS/CAD と大規模数値シミュレーションを用いた広域震災想定シミュレータ、地質と調査、No.4、pp.28-33、2006.など
4) Hori,M., Ichimura,T. and Oguni,K. : Integrated Earthquake Simulation, Estimation of strong ground motions and structural response, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, Vol.81, pp.331-339, 2006.など
5) O-tani, H., Chen, J., Fujita, K. and Hori, M. :A Data Integration Framework for Urban Area Disaster Simulations.” 6th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPDYN2017), Rhodes Island, Greece, June 2017. (KEYNOTE), 2017
6) 飯塚 敦 :都市デジタルツインによる防災減災パラダイムシフト，土木構造・材料論文集，招待論文，一般社団法人九州橋梁・構造工学研究会，2021（in press）
7) 国土交通省，国土交通データプラットフォーム，https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000066.html
8) 国土交通省，報道・広報，https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000592.html
9) 堀 宗朗 : インフラデータプラットフォーム，都市デジタルツインの構築，デジタル革新と基礎工，基礎工，Vol.49，1 月号，2021
10) 年金積立金管理運用独立行政法人（GPIF）: https://www.gpif.go.jp/
11) 例えば，日本経済新聞，https://www.nikkei.com/article/DGXMZO56060010W0A220C2000000/，

2020 年 3 月 3 日
12) BuildingSMART，https://www.buildingsmart.org/
13) 都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合，https://cityscalekobe.jp/
14) 例えば，《ESG 投資の参考に》ESG 指数 6 選をそれぞれ解説，Lifeee HP, https://lifeee.tokyo/esg-investment/stock-investment-trust/index-esg/
15) 堀 宗朗・大石 哲：私的討議，2020
16) 大石 哲ら，総合防災・減災研究チーム，理化学研究所計算科学研究センター，https://www.r-ccs.riken.jp/jp/overview/lab/cdmrru.html 内，アニュアルレポート，2012-2018

筆者：*1) 飯塚　敦，都市安全研究センター，教授

Moving away from confrontational disaster prevention and mitigation in response to natural disasters

Atsushi Iizuka

Abstract

Since 1961, the damage caused by natural disasters has been dramatically reduced. However, the Great Hanshin-Awaji Earthquake in 1995 and the Great East Japan Earthquake in 2011 have shown the limits of disaster prevention and mitigation in confronting natural disasters. Furthermore, there are concerns about the occurrence of a huge earthquake in the Nankai Trough in the near future. In 2016, a simulation of the entire city of Kobe was conducted at the RIKEN AICS@Kobe. The city of Kobe was reproduced in a virtual space. This is an urban digital twin. In this way, various disaster risks can be quantified. On the other hand, non-financial information is becoming more and more important for improving corporate value. With the urban digital twin, the disaster risks to which a company is exposed can be concretized, and investment in disaster risk reduction can lead to an increase in corporate value. In other words, economic activities during normal times lead to the strengthening of national land. Economic activities during peacetime lead to the strengthening of national land. In this paper, we propose a new approach to disaster prevention and mitigation, which is based on the idea that disaster prevention and mitigation is not a matter of confronting natural disasters but of living together with them. This study examines the use of ICT technology to make corporate investment lead to the strengthening of the national land.

©2021 Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, All rights reserved.