

東北復興への OR の貢献の可能性と、取り巻く諸問題

東京大学名誉教授・地震研究所 東原紘道

はじめに

東日本大震災からの復興への OR の応用の可能性を考える。筆者は、土木工学の中で長く OR を使ってきた。それも OR を使いやすい都市計画や交通計画などだけでなく、構造物の耐震設計や、構造物と流体あるいは地盤の連成などの力学問題、さらに地震研究所では地球計測部に所属して、理学者と一緒に地殻現象の計測と解析に従事したが、そこでも OR を使ってきた。福島原発事故までの 10 年間は内閣府の原発審査に参加し、そこでも OR 使った。

2004 年から（独）防災科学技術研究所で、医療および自治体の防災性向上に取り組むうちに、OR 学会で安全問題に取り組んでいる研究者集団と知り合い、交流を深めてきた。学会の第 67 回シンポジウム（2012 年 3 月、防衛大）では、“東日本大震災への対応：成功譚と大失敗因の探求”と題して講演した。分析の中心は福島事故にあったが、M9 地震を予想できなかった地震学の問題についても議論した。東日本大震災を語る際にはどちらも欠かせないが、以下の議論では、特に工学的に教訓と見られる事項だけに限定することにする。

大震災の事後対応は次の 3 つに区別される：(1) 被災直後の対処 (responding)、(2) 復旧 (recovery)、(3) 復興 (reconstruction)。このことを図 1 に示す。矢印が推移のプロセスを示し、これに今回の震災の特徴を加えた。これは 2011 年 3 月に開かれた緊急の報告会のために、限られた情報を基に作成したものであるが、重点は外していないと思われる。復旧・復興に取り組む場合、時間軸に照らして現在の立ち位置を確認し過去と将来を見据えることは、方向感覚を保つうえで効果が高い。

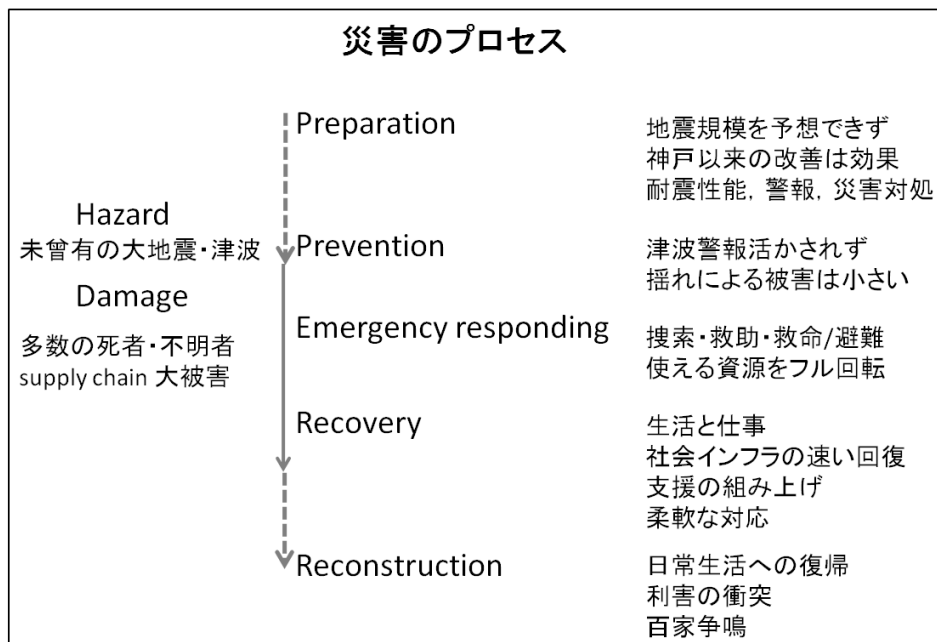


図 1 災害のプロセス

1. 原発事故と地震学の問題

福島第一の事故の TV 報道で国民は、規制庁（＝保安院）や事業者（＝東京電力）からの説明のあやふやさ、出てくる情報の稀薄さに戦慄した。放射能閉じ込めに責任を負うプロの筈の担当者達の、それも上層部分の実態を見せつけられたからである。

2008 年に金融危機と闘った米国 Bush 政権の Paulson 財務長官は、「The devil(危険の芽のこと) was in the details, and the details were murky. 」と回顧している。原発も同じことで、危険の芽は details まで切り込まなければ見つかるものではない。責任者なら大局の把握だけで済ましてはならず、details に感応するセンスを身に付けなければならない。同じ内容の指摘は、既に 1995 年阪神淡路

大震災の後で、岡村甫教授（鉄筋コンクリート構造、東京大学）からされたし、東日本大震災でも石橋忠良氏（耐震構造、JR 東日本）が出している[土木学会誌、98-3、2013年]。

耐震リスクの洗い出しの方法は、原発の審査の中で考え続け、大筋は見えてきた。設計計算は本質的に iteration に拠っていて、設計案を繰り返し修正する。つまり変形や応力など計算結果の数値から、設計パラメータを修正（して次のステップに投入）する。その各ステップで煩を厭わず感度分析を行うことがリスク認知のポイントである。数学で言えば、設計パラメータの近傍を観察するということである。解空間のトポロジーを設計の感覚に取り込むと、修正のかけ方が感覚的に分かるようになる。実はこれは力あるエンジニアは昔からやっていることなのだが。建設段階で多い設計変更の際にも、どこをどういじればよいのかがピンと来るようになる。事故が起きた場合でも、原因の特定や対策の案出が迅速にできる。（原発再稼働でされたストレステストも感度分析の1種である。）

“崩れた地震学”，“大震災想定できず反省”。これらは新聞の見出しである。三陸沖から房総沖にかけての地震活動について、国の地震調査研究推進本部の「全国を概観した地震動予測地図」（2010年版）は、三陸沖と宮城沖でM7～8級の発生をマークしていたが、福島地震動予測値は最低レベルであった。図2がそれである。

地震動予測地図の基礎となる長期予測は、過去の発生記録の外挿に拠るものである。その結果、図では、根室沖—十勝沖—三陸沖、宮城県沖、相模トラフ、フォッサマグナー南海トラフが強調されている。しかし理論の性格上、この地図で静穏地域のように表示されても、ただ地震発生の積極的材料の不存在に過ぎないので静穏の保証はない。

推定手法の適用限界については細かく説明が記載されているが、それは専門家でないとなし、よく読むと却って、この計算の根拠が乏しいことが見えてくる。地震動の計算も、あくまでシナリオに依存した1ケースに過ぎず、これを実地に役立てるのは難しい。それに観測データと突き合わせて検証することが原理的にできないものになっている。

この委員会活動の外では、大地震は確実に警告されていた。まず869年貞観地震津波（今回の地震はその再来と見られる）の研究はできていた。陸側の福島は海底下の太平洋プレートの運動に引き摺られて西向きに押し込まれるのだが、2000年代に入り、GPSを利用した陸域の測地データの分析が進むと、陸海2枚のプレートの境界は滑っていないことが分かった。地震を起こすせん断力が目一杯累積していることを意味する。これを大地震の警告とした有力な地震学者もいた。そして東電技術陣は、福島沖を震源とする大津波の内部検討までしていた。しかし、それまでは、福島茨城沖は、海陸プレートの固着が弱くひずみが大きく蓄積されることはないとする、根拠の薄い楽観論がほぼ定着してあって、結局、専門家と行政官はこれを改訂しなかったのである。

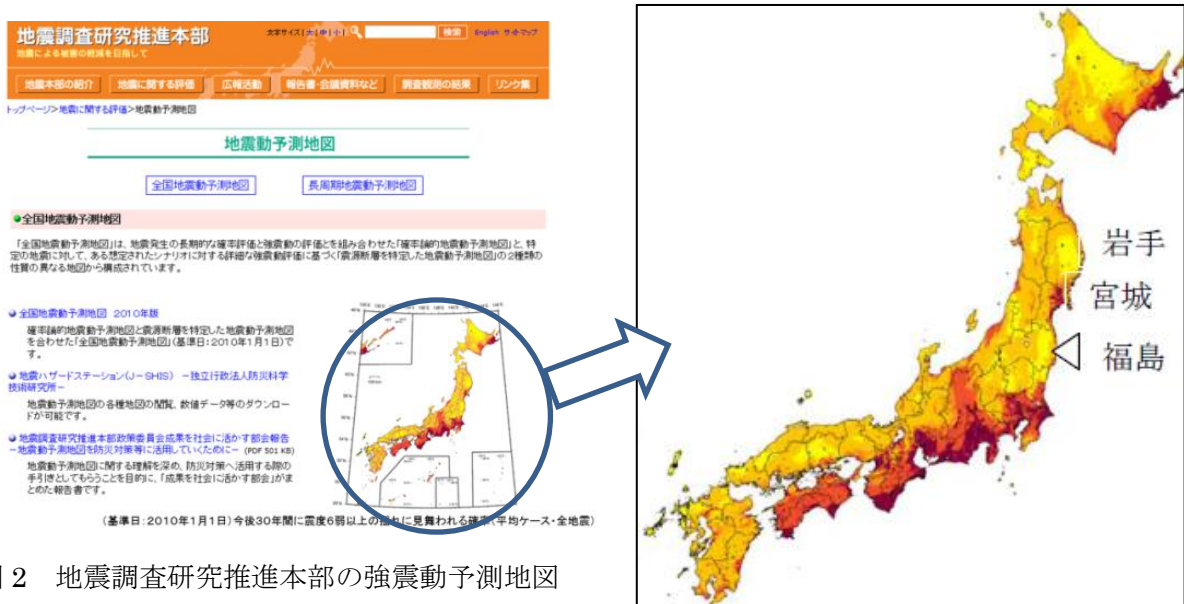


図2 地震調査研究推進本部の強震動予測地図

2. 震災からの回復過程－緊急対処と復旧

発災直後の緊急対処は時間との戦いになり、まさに OR のテーマになる。OR 学会は、2013 年から「安全・安心・強靱な社会と OR」研究部会を設置し、継続的に研究を重ねている（部会長は内閣官房 IT 総合戦略室の神藤猛氏）。筆者も何度か報告を行った。

第 1 回に、伊藤哲朗氏のレクチャがあった。内閣危機管理監として東日本大震災を含む国家の危機管理の指揮経験をまとめた著書 [国家の危機管理、ぎょうせい、2014 年] は、学術的な内容も豊富だったので、その次の報告会では、このレクチャを学術的な姿勢で読解したらどうなるか、という試みをした。図 3 はその中のチャート図である。災害では集団としての人間行動のマネジメントが最重要課題である。そして災害は回帰するプロセスとして理解していく。内容が広汎になっているので、シンポジウムで丁寧に説明したい。

発災直後は手持ちのリソースで立ち向かうしかない。時間が経つと対応が進み、使えるリソースが徐々に拡大する。それとともに人間の方も視野を広げなければならない。（これが復興ともなると、被災地域全体の目配りから国全体の視座も必要になる。それどころか工業製品の重要部品を世界中に供給する工場群が散在する東北地域であれば、グローバルなバリューチェーンまで見通す必要がある。）

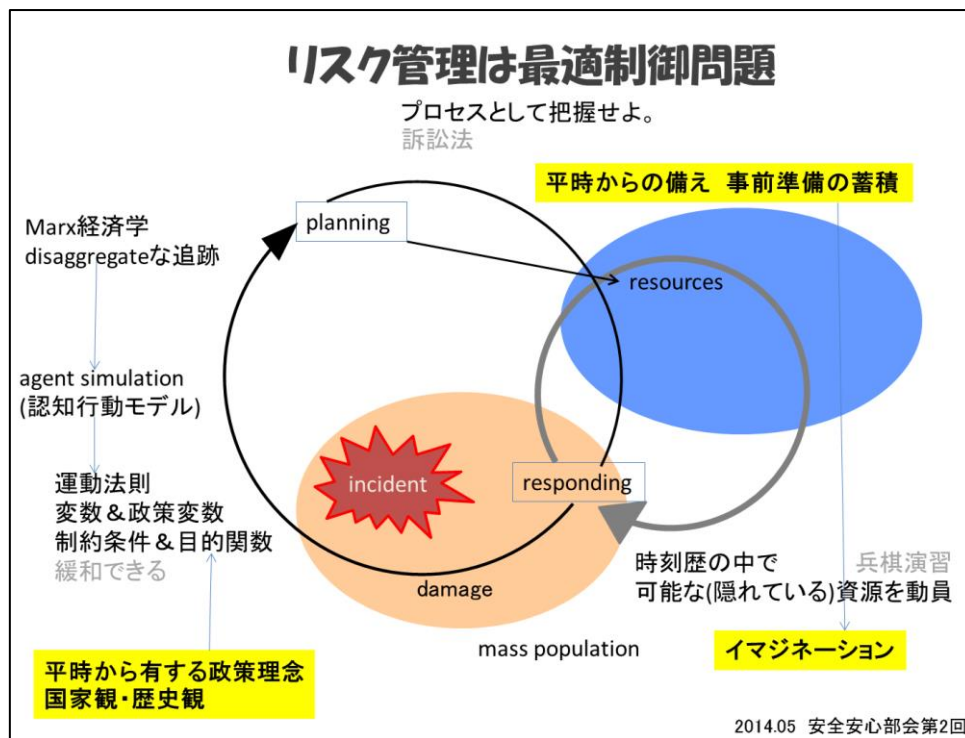


図 3 災害のプロセスの理解

日本の地震対策は長い間、外国の研究者から、被災後のマネジメントを欠いていると批判されてきた。対処研究の本格化は実に 1995 年阪神淡路大震災からである。警察、消防、自衛隊など緊急対処部隊、災害拠点病院網と DMAT などの救命救急力が整備されて、2004 新潟県中越地震から実働が始まり、東日本大震災までに、相当の経験を積むことができた。

以上の経験を踏まえて、震災対処 OR の将来を論じたのが、2016 年春季研究発表会での“2020 年に向けた首都の地震問題への対処と OR”であり、これの詳細な説明は学会機関誌 4 月号の特集「安全・安心・強靱な社会を実現するための課題と OR」に掲載されている。これは震災対処の準備を扱ったものである。現在の東京では巨大な都市改造が進められている。それは未来への備えであるが、アイデアや結果は、東北地域の復興過程を考えるにも参考になると思われる。

まず「2020 年の東京への備え」は、日本の経済力（と言うより国力）の成長の波を立ち上げる官民挙げての挑戦である。後で紹介する“戦後の大成長の 3 段階”に似ているが、より厳しい。筆者の世代は、1964 年第 1 回オリンピックを経験し、その準備となる都市計画の大事業を目の当

たりにしたが、高度成長期、いわば圧倒的な成長の現実が先にありきであった時代と、長い低迷から抜け出ようとする今とでは、様相が全然違うことを痛感する。それでもオリンピックの先を見据えた費用対効果の厳しい問い詰め、自然災害やテロからの安全、省エネ省資源、高齢者や子育て家庭の支援、国際ビジネス取り込みなどを意図して、たくさんの企画が、複合的な目配りで、しばしば挑戦的な新機軸で進められるさまは、一つの圧巻である。

日本社会の震災からの回復力は世界に知られている。その鍵は復旧にある。まず社会インフラの回復の速さがある。明治の富国強兵時代から、戦後復興・高度成長時代を通して整備を重ねてきた道路・鉄道・海運などの公共交通は、官民のチームワークがよく、修復の前倒し達成を競い合うのが常である。電力、水道などの lifeline も官民連携で迅速な応援が展開される。自治体同士でも応援体制が普及し、給水車派遣から行政事務の肩代わりまで行う。平素は法令と前例で動きの重い国と自治体の役所も、緊急時の裁量の拡大を活用して、大胆機敏に特例措置を繰り出して応援する。

さらに連携態勢はビジネスでも進んでいる。被災して部品を納められなくなった下請け会社が、顧客に迷惑をかけられないと、ライバル社にノウハウを明かして仕事を譲り渡す。これは日本では珍しくないのだが、欧米の専門家は一様に驚く。このサプライチェーン問題と BCP 問題は既に中越地震で姿を現していたが、供給先が地球規模に広がると、復旧の遅れは企業の信用と国際競争力を破壊し、ひいては一国の経済力をも揺さぶる。例えば阪神淡路大震災で、神戸港はシェアを釜山港などに奪われてしまった。

注目すべき新戦力もある。例えばやはり中越地震の時から注目されていた宅配便とコンビニは、発災後早期から営業を再開した。この速さは何よりの貢献である。重要なことは、企業の採算構造の範囲内でサービスできたことである。災害時には、しばしば切羽詰った人海戦術が取られる。背に腹を代えられないことも多い。しかし雇用の問題は金銭だけでないので、その点でも、被災地に日常の必需サービスを商業ベースで届けられる業態は高い価値がある。

3. 復興

復興は長期にわたるプロセスである。往々にしてそれは遅々としたものに見える。しかしそれが当たり前である。復興の行く先である娑婆世界はもともと煩惱や苦しみに満ちた世界であり、人の慾や思惑が入り乱れる世界である。人々のココロも解放されて主張が強くなり、復興の一つ一つの局面で合意形成に手間どる。しかしこれは人間らしさへの復帰の一里塚ではある。

さて東日本大震災の復興プロセスについて考える前に、取り巻く情勢を見ておく必要がある。著名なフランスの社会学者 Emmanuel Todd 氏は被災地を廻って、もの静かだが逞しい共助の様相に感銘を受け、深い共感を表明している[トッド 自身を語る、藤原書店、2015年]。その通りで、日本社会は、被災した地域や人への配慮と支援を手厚くしてきた。被災地内でも助け合い、苦勞している人への支援を惜しまない。ただしこれまでは、国の懐は心配しなくていいという暗黙の大前提があった。筆者の世代は、高度成長する日本の目くろめく活力を目の当たりにしてきた。その活力は、1959年伊勢湾台風などの大災害の復旧・復興を難なくこなしてきたし、復興投資は経済活動を刺激し、経済を早々に回復するばかりか、成長を加速するのが常であった。このため豊かさは長く自明視されてきたものだが、今やそれが揺らいでいる。実は既に1995年阪神淡路大震災でも兆しは見えていたのだが。

“中所得国の罣”という言葉がある。一時期、成長の旗頭ともてはやされた BRICS 諸国はどこも、この罣から抜け出せずむしろ留まり続ける懸念が出ている。“韜光養晦”で富裕化に舵を切った中国でも遂に高齢化が始まり、“未富先老”の恐怖が語られている。ところが日本は、敗戦の壊滅状態からスタートしながら、三段ロケットのようにこの雲を突き抜けてしまった。

戦後復興と高度成長まで順調に進み、世界の奇跡と言われたが、Nixon ショック(1971年)とオイルショック(1973年)で、円の対ドル価格と石油価格が何倍もの上昇に見舞われ、「さしもの旭日も沈む」と世界中で語られたものだった。日本の経済学者はマイナス成長の恐怖を語り、社会にパニックが走った。既に社会の高齢化は見えていたし、狭い国土の環境劣化も凄まじかった。人々は国の失速を肌で感じたのである。ところが、日本社会はもう一段の成長をやったのけるのである。それも何と環境保護、省エネ省資源、というそれまでの日本の成長制約をビジネスにしたの

である。この起死回生の逆転劇は、今も反芻すべき教訓をたくさん含んでいる。

高度成長の時代は、景気の落ち込みがあってもすぐに輸出増で補った。今回は政策的に円安を実現し、大企業は輸出で大きな収益をあげた。金額そのものは昔より積み上がっているのだが、あの力強さはない。成長投資も賃金上昇も限られており、「大企業だけが潤っている」という批判は強い。(もっとも、この企業行動もやむをえない面はある。グローバル産業の目まぐるしい興廃は、凋落があつと言う間に起きる競争の熾烈さを窺わせる。従業員の雇用を維持できなくなるとは元も子もない。そして影響は下請け企業に連鎖する。)

経済成長が不可欠なことは今や国を挙げてほぼ共通の認識になっている。被災3県の復興計画を見ても、産業政策重視が際立っていて、自らの成長をめざす決意が響いてくる。復興の中心課題は住む人の生活再建であるが、その中心課題は雇用を作り出すことと、人口の疎な地域の生活サービスの確保である。現代日本人の生活は、実は社会の厚いセーフティネットに支えられている。そしてここには多くの工夫の余地が残されている。例えば交通、つまり人々の mobility (移動する力) の大幅な向上が、2020年の東京に向けて着手されている。その波及効果は大きい。例えば医療サービスに相当の寄与が見込まれる。また、ネット通販や宅配にも、現時点では見通し切れないほどの大きな可能性がある。これはほんの一例に過ぎない。

現在、復興地には、全国から研究者や企業が多数入り、産業創出と生活再建のいろいろな試みがされている。公的あるいは金融的な支援メニューも多く用意されており、起業のチャンスが高くなっている。収益志向であれ NPO であれ新事業のアイデアが出されるならば、その実現に向けて、マーケティングなどの準備やビジネスのデザインと実装へと、雇用の裾野が増える。起業は一本調子で行くことはなく、試行錯誤を繰り返す一つのプロセスになるから、コストの見積、効果の予測、アイデアの売り込みから実施と、PDCA サイクルを何度も回す。

都市や地域の社会基盤の復興過程は、土木工学がこれまで積み上げたノウハウを活用できる場でもある。近代の土木工学 civil engineering は、読んで字のとおり市民生活のための(つまり non military の)工学として18世紀のフランスの市民革命期に形をなした。構造、地盤、水、衛生、交通など市民生活のための何でも屋である。米国は同時テロの後、巨大な Homeland Security 省を作ったが、その業務内容は Mississippi 川の橋梁の崩壊の広域影響の予測など、当然ながら日本の土木屋がやっていることと重なり、やはり当然ながら、リスク対処計画に OR 技法が多用されている。東北の復興のいろいろな所でも、OR 技法が活用されているのを見聞する。これを逐一紹介することはできないが、一つの問題を提起したい。それはビッグデータ(短く BD と呼ぼう)時代への取り組みである。現在の復興の一つの鍵は IT にあるが、その中でも BD の使いこなしは、OR にとって重要な仕事になると見込まれるからである。

4. ビッグデータがもたらす恩恵

BD は既に、私達の周囲にひしめき合っている。メディアはセンセーショナルな記事を好むので、BD は、「囲碁に強い AI」などと関連付けて語られ、特別なものとの印象が流布しているが、実際は身近で、多くは、従来から存在するデータが、計測・通信の発達で、多点・多項目・連続記録となった結果 BD 化したものである。特に高画質動画の影響が大きい。気象、医療がその例である。地球圏も人体も本当は複雑系であり未解明の問題は多いから、BD 化はイノベーションを引き起こすだろう。

単に量だけでなく、質が画期的に変化することも重要である。例えば交通の実態調査では、移動する人やモノのそれぞれの移動単位 (trip) の膨大な起終点 (OD) 調査が必要で、かつては人海戦術で計測および集計をやっていた。現在なら自動車移動は、GPS によって、個々の移動の時空間履歴を把握することができる。と言うか自動車そのものが IT 化の最前線になっている。鉄道は、カードの普及によって、個々の乗客の動きを知ることができ、集まる情報は格段に精密になってきて、新しいサービスも始まっている。

指定統計など法定の調査には、OD 調査のように大きなものがたくさんあり、どれも IT 化が現在進行中である。これらに利活用の刷新の波が起これば、公共政策や民間の活動への効果は大きい。OECD が提唱する難問「デジタル政府」にとっても強力な助っ人になるだろう。利用は、まずは在来サービスの確保を大前提に慎重に拡大されるだろうが、システム構想は大胆に進めら

れるだろう。どこの国の政府の仕事も急膨張している。抜本的な IT 化がなければパンクすると OECD は危惧している。容量を越える前に生産性は落ち始めるだろう。要注意である。

一方、グローバルな製造業は収益源を売り切りから、販売とメンテナンスとのパッケージに移している。例えば米の GE は、世界中を飛んでいる自社製エンジンの運転状態を常時モニターし、結果を分析して顧客サービスの向上に使うとしている（米国は、Afghanistan で多数の無人機を、米本土の基地から遠隔操作し、偵察からピンポイント攻撃までこなす技術を持っている）。顧客の利便性とコスト圧縮が見込まれることから、他業種までが急ぎ追走している。

そして SNS とスマホの相乗効果。かなり前になるが、Google 社が、SNS の通信ログから、インフルエンザの初期発生 (outbreak) の地域を特定した、との報道が米紙にあった。それはキーワードを使って拾い出す、分かりやすいものであったが、今は深層学習・機械学習でずっと進化しているだろう。このやり方は、災害など公衆の安全のために有望である。我が国でも、災害や感染症への利用が、政府系機関によって検討されている。1997 年に塩野宏教授（行政法、東京大学）は、『情報公開法』を明治以来の「国の行政の革命」と言ったが、BD 化は情報化にとってかんじん要のコンテンツを充実するもので、まさに平成の革命と言えよう。

重要なことは、これらの基幹データでは、在来の解析技法で行ける部分が圧倒的に大きく、現在成長途上の深層学習や機械学習などの未踏技術は必要でないことである。（深層学習のアプローチは興味深いし、事実、OR 分野でも検討が進んでいる。いずれは併せ技になるのだろう。）在来の解析技法で行ってもなお、大きな付加価値が見込める。例えば BD が、集計による情報欠損のない個別データであるということである。これを非集計 (disaggregate) データと呼ぶ。

これまでは、大型のデータ集合は早々に集計されて、ごく少数の統計量だけが判断や説明に使われた。つまり集計データが解析のスタートラインであった。しかし集計データでは、特異なデータは薄められ見えなくなる。（インフルエンザの初期発生などは見えようがない。）もう一つは、アンケートという定番から解放されることである。これまで、集計の壁とアンケート法の搔痒隔靴に囲まれてきた経済学や社会学では、それから解放された「社会実験」が活発になっている。

最後に、最近のスマホは、持ち主の利用歴からその消費性向などを静かに学習している。そして売り込んでくる。存外に打率がいい。だから別に大企業でなくても、街中の小ぶりのお店であっても、スマホその他によるネット経由で顧客情報を収集・分析でき、連絡を取ることさえできるから、GE の革新の精神を自分のものにするのは容易になってきている。今は明らかに百花斉放の時代であり、OR にとってもビジネスチャンスと言う他はない。

それでは、急速に広がる BD から、価値ある新情報を取り出すにはどうすればよいだろうか。もちろん解答はこれからであるが、BD に対しても柔軟に対応できる一般的解析戦略がある。それが **modelling & simulation** である。これは複雑な問題を反復戦略(iteration)で解く。

構造物の設計を例に考えてみよう。設計の基礎となる力学理論は完成されているが、その公式から設計が出来るわけではない。ある構造系が与えられるなら、力学ができるのは、これに作用する外乱が引き起こす構造系の応答 (変形や応力) を算出することだけである。しかし設計では、外乱の範囲と許容できる応答範囲を設定し、それを満足するように構造諸元を決めなければならない。反復戦略を使い、構造諸元を仮定して初期値として **simulation** し、結果を吟味して改善の余地があれば初期値を修正して、計算ループに戻る。設計以外でも以下の例のように多彩な使い方ができるが、基本となるスキームは同じである。

- ・ **calibration modelling** で設定されたパラメータ群の数値決定。
- ・ 同定問題 例えば原子炉が地震で損傷した時、それがいつ何で起きたかなど事故の再現
- ・ 最適制御 リアルタイムで **simulation** できるなら物理系を制御できる。実時間とは切れているが逐次計算プロセスもまた適用対象になる。
- ・ 間接計測 重力波検出など現代の複雑な観測はすべてこれであるが、それは **modelling & simulation** の一種である。

これらを一括して言えば逆解析の問題である。もう半世紀も前になるが、全国の大学で、数理工学とか計測・制御を掲げる学科がたくさん生まれた時期がある。OR で活躍している人にはそこ出身の人も多いだろう。その甲斐だろうか、今や逆解析の普遍性は、文理の別なく広く認知されている。医師も法曹も逆解析能力をコアに、夫々の専門知を構築しているのである。