

# 「2020年の東京」に向けた地震問題の点検とOR

東原 紘道

これまで、地震・火山噴火災害対処へのORの適用を考えてきた。ここでは特集の趣旨を考慮して、2020年に向けた首都の地震問題を考察する。多くの読者がOR研究者であろうことを考慮して、現代地震学の理論の支柱である地震波トモグラフィの骨格を説明し、そこから日本の地震学の問題点を見ることにする。結果として首都の地震問題では、脅威となる地震像の絞り込みは当面期待できないこと、したがって全天候型の備え、なかんずく想定できない事象への実践的な構えが重要なことを示すとともに、その際に必要となる論点のいくつかを述べる。

キーワード：首都圏地震、現代地震学、発災対処、多機関連携、最適制御、エキスパートシステム

## 1. はじめに

世界有数の再保険会社である Swiss Re は 2013 年に、世界の 616 の大都市が直面する自然災害の分析の結果を公表した [1]。地震危険度ではダントツの京浜を先頭に本州の三大工業地帯が上位で、ほかに米国 Los Angeles と Asia の大都市が並んだ。使われた手法および評価指標には議論の余地がある。しかし日本はアジアの最強ハブを狙っているのだから、グローバルビジネスに強い影響力をもつ彼らの見方に注意を払う必要がある。何より彼らは高い値付け能力をもっている。大学にいたときに調べたら、わが国の保険会社は、案件ごとにまず彼らに再保険料を照会し、それに自分のマージンを乗せるというやり方であった。つまり日本勢はリスクをビジネスにできていなかったのである。

そもそも自然災害の多い日本にとって、リスクを取るスキルのある保険会社は貴重な存在である。たとえば、日本と同様に地震リスクの高い米国 California 州は、2030 年を期限に大病院の耐震化を義務づけたのだが、大幅に前倒し達成してしまった。鍵は有能な保険会社の存在であった。(米国の大病院は、高額な最新医療設備の導入競争を続けている。大型医療装置の導入時には建て替えが必要なことが多く、しかも相対的に価格の低い建物は更新をやりやすい。その際、資金提供者は必ず付保を要求するから、保険会社が目利きなら、建物の質は確保される。) 日本の建築確認よりずっと強力な審査を、公費なしでやっているのである。

地震の話に入ろう。図 1 は 1978 年に地震予知連絡会が公表した、文字のとおり、観測強化地域は特定観測地域よりも監視、調査と対策が格段に強化される。

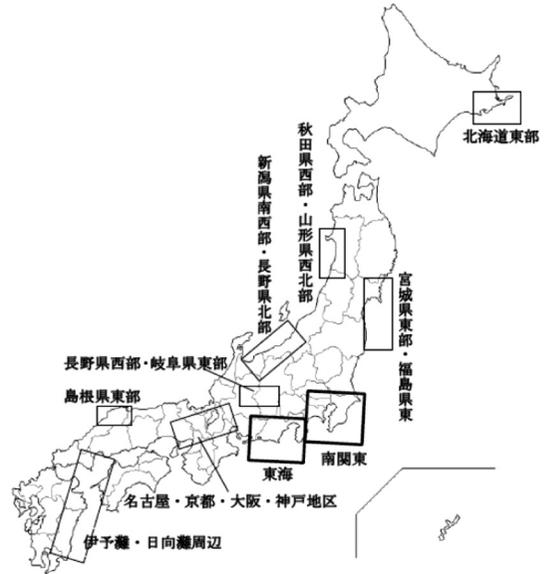


図 1 地震予知連による日本列島の地震危険地域（陸域）

すなわちこの格付けは、行政などの対応の優先順位付けのよりどころを与えるものであり、最も重要な地震危険度の公示になっている。

このときの観測強化の主役は東海であって、これは東海地震が切迫しているとする説が世情を騒がせたからである (1977 年)。これについては 2.3 節で説明する。もう一つが首都圏であって、こちらは事情が異なる。行政側は主に 1923 年関東大震災を想定したとりまとめを考えていたのだが、再来は遠い先とする地震学者の強い批判を浴びた。議論の結果、首都だから地震像の有無を超えて重視すべきということになった。妥当なものだと思われる。

茂木清夫先生 (予知連や判定会の会長を歴任) が 1995 年阪神淡路大震災の後、この予知連見解のそれまでの成績を自らレビューされた (地震研究所の談話

ひがしはら ひろみち  
東京大学名誉教授、地震研究所  
higashihara@peach.ocn.ne.jp

会)。予測の成績はよく、しかも個々の設定根拠は説得的だった（たとえばこの評価は陸域だけが対象と言いながら、薄皮のように福島を海岸を取り込んでいる）。

以下、2節では現在の地震学の観測研究の骨格を概観し、学術的な力量は高いものの、臨床的な判断への適性はよくなく、エキスパートの知見を活用した予知の方法が不可欠なことを示す。さらに4.4節で、この方法をもっと一般的な枠組みの中で考察する。

## 2. 現代地震学が提供できる情報

OR研究者の便宜を考えて、現代地震学を情報処理の観点から見ることにしよう。地震についてはいろいろな言説が出回っている。しかし柱となる学理の面では、地震学は現代科学技術の正統的な姿をもち、これはORにも通じる普遍性をもっている。

現代の地震学の中核は、グローバルから局地的までいろいろな規模で、地震計のネットワークを運用して地震の波形記録を取得し、それをよく説明する震源過程（後述する）および地震波速度分布をマッピング（ないしイメージング）するCT (Computed Tomography) にほかならない。これは現代の観測研究の標準である間接計測の典型である。

多数の地震計を、研究目的に応じて適切に、展開した観測系を地震計アレイと呼ぶ。考え方としては地震計ネットワークと同じであるが、初期の主流は折れ線状の1次元展開であったという事情がある。データ解析法はどちらも同じである。学術研究目的では、結果が概略予想できることが多く、その場合、それを先読みした1次元展開の効率が高くなる。

地震計アレイのアイデアを強力に追求したのは米国である（この時代をリードした安芸敬一先生、金森博雄先生は主に米国で仕事をした）。理論的な基礎は概ね1960年代に開拓され、1970年代には、近地地震の震源運動および全地球のマッピングが進んだ。

### 2.1 点震源モデル

地殻を弾性体で近似する。近似の適合性はよい。均質等方な弾性体は2種類の波（縦波と横波）をもつ。縦波のほうが速いから、個々の観測データの中では縦波初動のみが無垢、以後は波が重なって濁る。だから地震学は初動の到達時刻を手がかりに成長を始めたのである。もし地震波速度が既知なら震源～観測点の距離がわかる。実際には速度は不均一だし不明だが、多数の観測点で多数の地震を観測すれば、その情報から速度の分布（全地震で共通）と震源位置（地震ごとに異なる）が求まる。

地震波初動は時刻以外にも重要な情報をもっていた：たくさんの観測点の初動の向きの分布を見ると、明瞭なパターンをもっていたのである。これを使って地震学者は、震源は地殻内部でのすべり破壊（二重の偶力）であることを突き止めることができた。点震源モデルの成立である。点震源は震源位置と二重偶力のモーメント（2階テンソル）で記述された。

### 2.2 地震波CT

1964年、日米の研究者が別々に、すべり破壊する1点からの波動放射の式を発表した。これは運動方程式の基本解（外力項がデルタ関数であるときの解）なのだから、断層すべりの逆推定に使えるのは明らかである。具体的には、適切に分布した十分な数の観測点での地震動記録があるなら、そこから震源の破壊運動を推定できる。断層面上の各点でのモーメント放出量の時刻歴を未知量にとると、これを重みとする基本解の線形和で地震動を表わせる。これと観測量が整合するように重みを定めればCTの実現である。

震源の条件を与えて地震動を計算する。これは順解析 (forward analysis) である。解は一意に決まる。一方、地震動から震源を推定するのは逆解析 (inversion) であって、強い不定問題である。数値処理で進められるのはここまでである（ただしこれは原理的な壁ではないから、観測情報の質が上があれば、ブレイクスルーは可能である）。そこで計算の外から制約条件を持ち込んで、解の範囲を狭めていく。多くの例では、①断層は有限の大きさの平面、②破壊は震源点から一定速度で伝播する、と仮定する。

問題は断層面である。点震源モデルが与えるのは破壊開始点位置と（一意ではないが）断層面の方向だけである。そこで本震の後、速やかに地震計アレイを張って余震の震源を求め、モーメントテンソルを参考に、その分布の中に震源断層を引く。このほかにも計算には多くのテクニカルな仮定や近似が入る。

1995年兵庫県南部地震のときは、地震研究所でいくつかのチームが独立に inversion した。使用するデータやモデルの細目が異なるので、震源解の顔つきに相当の違いは生じたが、丁寧に突き合わせると、互いに首尾一貫していた。ところがこの技法が普及した2004年新潟県中越地震では、確認できただけで10以上の震源解が公表されたが、結果はおよそばらばらで、全く両立できない震源像同士が流通していた。それぞれが、信頼性の検証として観測波形とモデル計算波形を並べて見せるだけで、地学・物理学による考察は希薄、適合性について著者の評価すら述べない淡泊なものが多

かった。似ても似つかない答えを弾き出した研究者同士が討議をしたら生産的になっただろうが、それはなかった。

今や震源 inversion は普及し必須項目になっている。しかし一意的な回答を叩き出せるものではなく、恣意性が不可避であるから、解析の適切性の徹底したチェックが不可欠である。

ただしこの非一意性は、およそ間接計測の手法のすべてが避けられない問題である。精密な観測をしてもなお SN 比のごく小さなデータしか得られないから、そこから意味あるシグナルを抽出するためには、仮説の使用も、best fit 論法（モデル計算値と観測値の残差の最小化規範。一種の弱形式である）もやむを得ない。

### 2.3 仮説性の吟味の不足

このような状況であるから、学界での相互検証を活発にしなければならない。しかし日本の地震学では議論が不足している。結果として、仮説性を引き摺り根拠の弱い学説が、十分な吟味を経ないまま生き延び、何とはなく定説みたいになっていく。

東北地方太平洋沖地震のときも、869 年貞観地震については、すでに根拠がしっかりした学説が存在していた。ところが学界の集団知としての認知は遅れ、福島沖に大地震は生じないという“定説”が残っていた。（提案者自身は一つの仮説と認識していたから、それを定説に転化させたコミュニティの内部力学が問題である。）

現在では、全国的な常時観測態勢を維持して大地震とか群発地震を監視し、起きた現象について精査するスキームが確立している。しかしそこまでである。事例の集合に一つ加わっただけのことで、どこまで普遍的で再来性をもつのかといった問いには何も言えない。このため将来予測には役に立たない。

そこで予測には歴史地震記録が不可欠である。歴史資料は数百年を超える（地震動記録は過去 100 年程度）が、大地震の頻度は低い、ごく少ない標本から推論するから、常に読み込み過ぎの傾向がある。偶発的な一特殊解かもしれないものを深読みして一般性を推論する。一事例なら単なる報告に留まるが、一般性があるなら学術論文として成立するので業績として魅力がある。

この場合、仮説性を自覚して扱っているなら、全く正当である。だから問題は学界内部の討議を尽くさない気風にある。世に発展途上の学術分野はごまんとある。完成してからというのでは、いつまでも語れないことになるし、社会還元もできない。だから未完成でも語れる工夫をしなければならない。それには、ばら

ばらの意見を絶えず集約する学界の営みが必要である。（その中で、説明能力の高い論法も見つかるだろう。まず学界で議論を重ね、集約できたものを社会や行政の場に持ち出すべきである。）

首都圏の脅威となる地震は絞れていないが、実は日本全体でも、根拠をもって絞れる地域は少数である。稀少な例は宮城県沖地震である。これは①再来周期が短いので反復性が確認しやすいこと、②地元の東北大学の観測研究能力が卓越していたこと、による。そして東北地方太平洋沖地震の日に、M9 地震の一部分の形になったが、予測どおりに発生した。この予測は地域に訓練を促して、多くの効果があった。大成功といえる。

同じ地震が繰り返す、という人心になじむ考えを固有地震説と呼ぶ。しかしその根拠には疑義がある。最も代表的な南海トラフの巨大地震を考えてみよう。南海地震、東南海地震と言えば“同じ”地震が繰り返していると受け取られている。しかしトラフの物理は複雑で、日本列島下に沈み込むフィリピン海プレートは、自らの一部を付加体として列島に残しつつ（今では列島の主要な構成要素となっている）、一方では列島の一部を剥ぎ取って道連れにする。震源は毎回違っているのである。

史実によれば東南海地震と南海地震は短い間隔で立て続けに発生し、近世以降では、宝永（18 世紀初頭）→安政（19 世紀中頃）→昭和（20 世紀中頃）である。これらの統一的な扱いの最初の研究は古文書ベースで、固有地震モデルによっていた。その価値は大きく多方面で使われ、使われ方も穏やかで弊害は出なかった。

ところが先に述べた東海地震切迫説は、このモデルを引き継ぎつつ、一気に硬性の予測を打ち出した。東海（概ね駿河湾域）の震源は安政で動いたが昭和では動かなかった、と推定したうえで、①昭和で東海域震源は“すべり残った”と解釈し、②すべり残り部分の破壊は切迫している可能性がある、と論じたのである。その後、国策にもなったが、何もなく半世紀が過ぎた。

これには当時から批判が多かったが、学界の議論は低調であった。しかし最近になって、史料を丁寧に読み解き、被害から地震動の卓越周期を推定し、これによって、地震動、地殻変動、津波の発生源を区別し、宝永地震で東海地域の震源は静穏だったとの推定結果が発表された [2]。東海の震源域が破壊しない地震は昭和だけでなく宝永でも起きていたし、後追いで地震を起こすようなことはなかったのだ。従来、吟味が不十分なまま定説みたいに扱われた例に、有力な代替案が成

立することを示したことは、日本では稀なタイプの重要な貢献であり、南海トラフの議論が活性化されることが期待される。

### 3. 地震対策

首都圏や南海トラフの大地震に対して、国は被害想定をまとめている。これによって対策に大枠が与えられる。しかしそれ以上のものではない。想定は粗く、全体に安全側（過大側推定の積み上げ）にできており、そのまま計画策定に使えるものではない。

阪神淡路大震災の後、防災専門家は、自助>共助>公助を強調した。そのとおりである。しかし自助・共助のレベルでは行動が精細になる分、想定を精度を上げないと動けない。そのためには想定研究を繰り返し、リスクを洗い出す。首都圏は固有地震像すらないのだから、地震想定は広くとる必要がある。

#### 3.1 発災対処

地震対応のプロセスの中では、応急対処が最も基本となる要素である。大都市の被害は、地震・津波から生じる一次被害よりも、対処の良し悪しのほうに左右される。しかも応急対処では、新規の対応力を作り出す時間はなく、手持ちのリソースで最善を尽すしかない。ある意味で単純なのである。準備期間での事前研究にあっても、応急対処の訓練と想定研究のコンビネーションが大切である。首都圏のように地震を特定できない場合、想定研究のケース数が多くなるが、地震像が明確な場合でも想定外事態は生じるのだから、地震を特定しない準備は必ず必要である。

ちなみにテロや破壊工作では、そもそも弱点が狙われるので、地に足がつかない (black out) 状態が続く。盧武鉉大統領時代に、在韓米軍に対する韓国民の反発が高まり、米軍はその展開線を南に下げたことがある。その時期に米紙で報道された計画案には、北からの攻撃への対処 (responding) の前段に“呑み込み (absorption)”を置いていた。ただ凌ぐしかない時期を視野に入れている。自然災害にも black out はあるので、absorption は避けられない。

イラク戦争準備時期の米国では、イラクの WMD (Weapons of Mass Destruction, 大量破壊兵器) より、もう一つの WMD (Weapons of Mass Disruption, 大量攪乱兵器) のほうが危険だとする声があった。中国発の cyber 攻撃が議題になり始めた時期で、電力網などの脆弱性を心配したのである。

この種の攻撃は人間集団の混乱と麻痺を狙う。パニックしている群衆のケアは、人類が長く苦勞してきた難

題である。ところが最近、災害時の群衆の管制 (mass control) が現実のものになりつつある。これについては 4 節で触れる。

#### 3.2 行動モデル

発災対処の研究では人間行動が主テーマになる。被災側の行動については 4 節で触れる。対処側は警察、消防、自衛隊、医療などプロ集団であり、日頃から想定研究と訓練に励んでいる。私は防災科学技術研究所で神藤猛さんたちと災害医療問題に取り組み、最適制御のロジックを使った agent モデルを試してみた。最適制御のロジックを使う。人間は（少なくとも主観的には）自分の行動を最適化しようとするところから最適制御の理論は、行動モデルの基礎となりうる。最終解に至れなくても、定式化の段階だけでも、問題の構造を俯瞰し洞察することができ、見通しをつける役に立つので、実用的でもある。

それと並行して、対処者、たとえば医療関係者の判断・行動の観察に努めた。結論を言えば、既存の agent モデルは賢くなく、現実の医療者をととても模擬できない。彼らの行動は創発に満ちている。たとえばトリアージという緊張の高まる時点で医師はトリアージだけに専念すればよく、その他の条件にまで心を砕くことは免除されている。ところが実際は、患者の行く末、たとえばどこに受け入れてもらうのが適切かまで一気に判断している。そこには医師の誰がいるから大丈夫、といった勘定まで済ませているのである。

このような創発的な行動は agent に行動メニューを内蔵させるとか、Neumann 型逐次処理で表現することはできない。しかし思うに、これこそ人間行動モデリングの根本課題である。チーム行動、中でもリーダーやキーパーソンの行動、そして現場力、といった災害対応の最重要テーマも同様の難しさをもっている。

#### 3.3 多機関連携問題

千葉大学の看護学研究者は、自衛隊・警察・消防と多機関連携という重要問題に取り組んでいる。OR 学会の「安全・安心・強靱な社会と OR」研究部会（以下、安全部会と略称）で報告があり、それぞれが苦心しているのがうかがえた。その中で、「機関同士で言語から違う」との指摘があり、皆が頷いた。

ただしそれはわかっていたことである。言語は、それぞれの機関の深層からの思考やフィーリング、つまるところ文化を反映している。同じ日本語で同じ単語だというので油断してしまうが、専門が異なれば違って当たり前なのである。取り組む課題、それに適した行動規範、組織編制から慣行まで、つまり何もか

もが違ふ。用語の統一は容易でなく、かつ危険すらありうる。

30年も前に、地震工学の国際会議の事業として、ホスト国日本が各国の耐震規定集を編集したことがある。ところが、肝心の日本の規定が群を抜いてばらばらであった。何とかならないかということでチームが作られて検討した結果、お構いなし、となった話である。地震動は複雑な顔つきをもっている（最大加速度とか震度とかの指標で表現しきれものではない）。軟弱地盤が通例の港湾設備と、堅固な岩盤に作られるダムでは、同じ地震動でも見処が全く異なるのはもっともである。これを全員が納得したのである。

司馬遼太郎の『坂の上の雲』に出てくる秋山真之は、日露戦争後、作戦の神様と言われるに至るが、彼自身は「自分がこの戦争で国に奉公したのは戦略・戦術ではなく戦務であった」と言う。そして彼の言う戦務とは、命令の書き方や部隊編制などを指す。

歴史学者の島田謹二は、『アメリカにおける秋山真之』において、真之（経済上の理由で海軍兵学校に入ったが、その前は、学友の正岡子規と共に東京帝国大学の文学部に進もうとしていた）を文学史として扱ったと言っている。明治の文学の才能は、多く官吏になり軍人になったこと、それにもかかわらず日本の近代文学史が文壇史であることを批判してのことである。国民が食うものも食わず買入れた新鋭軍艦を任された明治海軍は、ソフトもしっかり作ったのだ。和文の調子を活かしつつコミュニケーションに適した多くの新語が作られ、真之はそこに自分の最大の貢献を見ているのだ。これほどに言語は連携の大命題なのである。

### 3.4 レジリエンスとは

New York Times は 2005 年 Hurricane Katrina の直後、旅行中に被災した老 New Yorker カップルを取材している。苦労談を探る質問に夫人は即座に “We’re New Yorker.” と答え、男性がすかさず “We’re resilient.” と補った。いい根性である。このようにレジリエンスには、撃たれてもしぶとく立ち上がってやり返す感じがある。

一方、日本では、2012 年笹子トンネル事故以後、頑健な国土をめざす動きが高まり、内閣官房のネット画面でも、国土強靱化（ナショナル・レジリエンス）が謳われ、人命、国家および社会の重要な機能、国民の財産および公共施設を守り、迅速な復旧・復興を可能とする、ことをめざすとしている。このレジリエンスは New Yorker が発したレジリエンスとは異質のものである。

1923 年関東大震災の被害写真を見ると、建物や道路など当時の社会インフラの貧弱さがわかる。太平洋を挟んで日米の緊張が高まる 1920 年代、日本は軍備強化に突き進んだが、その陰で民生は貧弱だったのだ。とはいえ先人たちは、敗戦の谷間も越えて戦後復興、高度成長、列島改造とまさに国土強靱化に邁進してきたし、これは今更高調されるまでもなくわれわれのオハコなわけだ。しかし災害対応では、この種の「頑健さ」では尽くせないものが必要であって、狭義のレジリエンスとはそういうものなのである。

あの New Yorker 夫婦に限らず、米国にはレジリエンスを重んじる気概があるようだ。ガダルカナル戦で米側を苦しめた田中頼三提督は、戦後、その敗因分析を請われて、“We stumbled along from one error to another, while the enemy grew wise.” と総括している [3]。欧州戦線での米陸軍も同様の評判をとっている。レジリエンスの知力面の鍵は修正能力であることが窺われる。確かに彼らは想定外事態（戦争では常態なのだが）への対応に長けている。もちろん米軍の余裕の背景にある物量の豊かさは大きいのだが、しかし日本は太平洋戦争第一段終了時の優勢下でも、想定外（の大成功）に戸惑ってしまい、早々に迷走を始めたのではなかったか？

災害時でも想定外の事態が多発する。しかし事態が発生してしまえば、状況は明瞭にもなるのだから、新たな局面に迅速に対応していくことは不可能ではないはずである。ところが米国のニミッツ提督は、日本（海軍）の基本的な欠陥を、バランスを欠くことだと見ていて、必ずそこを突いた。災害対策の傾向にもその欠陥が見られる。予防に熱心だが、それが破られる想定から修羅場の準備、さらに言えば修羅場を具体的につめて考えるのが苦手らしい。（司馬遼太郎やカルロス・ゴーンは、そのような場面での日本人の「思考停止」を指摘している。）

予防か修羅場準備か、は二律背反ではない。マリアナの米海軍は大量の強力戦闘機と近接信管付き高射砲で磐石の予防線を誇ったが、同時にダメージコントロールを熱心に開発した。

被災地もまた修羅場になる。ところがわれわれは、修羅場に備えるのが苦手なのである。福島第一原子力発電所における関係者の不覚ぶりは、残念ながら日本では特異例ではないのである。先の戦争でもわが国は、空襲避難計画をもたないまま戦争を始め、もてないうちに壊滅した。それどころか震災の修羅場対処の本格的な取り組みが始まったのは実に阪神淡路大震災の後

からなのである。おそらく単に怠慢で片付けられない精神風土の要素があるのだろう。

### 3.5 訓練の意義

レジリエンスの議論から、対処能力には発災後の伸び代があることがわかった。安全部会で紹介された『国家の危機管理』を詳細に読むと、発災後の伸び能力を身に付けることこそが訓練の目的ではないかとすら考えさせられる [4]。

わが国の防災訓練には、シナリオどおりに動く儀式的傾向がある。外国人に「振り付けつき (choreographed) にする効用は？」と真顔で尋ねられたこともある。もちろん用意周到な自衛隊による筋書きに沿った訓練、たとえば手順および装備の動作確認などは当然必要である。しかし、発災対応訓練の眼目は人間開発である。

第一は、時間軸の中で思考する／できる感覚を身に付けることである。現場の指揮は、時間切迫の圧力と重要情報欠落の恐怖の中で強行される制御問題である。これを平然とこなす感覚は生来の資質だけでは難しい。秋山真之が留学した 19 世紀末には、米国はすでに兵棋演習のアイデアを樹立してあった。そのリアリズムの認識の先進性に驚く。(真之もしっかりマスターして帰った。)

兵棋演習は、将棋のようにコマを使って、戦況をシミュレートする演習技法である。『坂の上の雲』は、コマがちゃんと軍艦の形をしていたこと(実はこれにも意図はあったのだが)を面白がっているが、手立ては素朴でも、不確実下での決断をリアルタイムにやらせるという急所は、現代の高度な技法と異ならない。

演習には、プレイヤーである対戦 2 チームと、統裁チームが参加する。統裁チームが演習のシナリオを想定する。対戦する各チームは、それぞれが現実取得できる情報だけをリアルタイムで知らされ、時々刻々に判断を下していく。その結果を統裁チームが即座に客観的に評価し(確率現象ならサイコロを振って)、たとえば「日本軍艦吉野が大破」などをプレイヤーに通知する。

この種の演習では、①経験ない者は状況に飲まれてしまい、惨めな失敗を犯す一方で、②演習を積むと、(本人の適性もあるとはいえ)それなりに地に足のついた判断ができるようになる。つまりこの技法は、艦隊運用法の得失などを実験的に試すことだけでなく、参加者個々の成長、つまり沉着に状況を読み創造的な手を繰り出す能力を養成することができる。3.4 節で紹介した太平洋戦争での米海軍のレジリエンスにも寄与したと考えられる。

第二は想定外への適応力の体得である。『国家の危機管理』にはそのためのヒントがたくさんある。自然災害の訓練では、有用な対応リソース(ヒトとモノ)を見つけ、これを活用する思考回路の獲得が重要である。これまでの震災でも、動員すべきであった有力な対応リソースが眠ったままの事例は多い。また、災害に特化していない汎用のリソースのほうが、概して高い利用のポテンシャルをもっている。だから、発災後に、うまい対処策を発見できるチャンスは小さくないし、そうやってこそわれわれの社会は真にレジリエンスを体得できるのだろう。

## 4. OR の方向

インターネットを軸に圧倒的な技術革新が進行している。たとえば、ビッグデータは大規模な集団行動の分析に有効であり、事実、マーケティングへの利用が進んでいる。明治維新における文明論議のチャンピオンであった福沢諭吉は『文明論の概略』で、何と社会現象に法則性があること、そしてそれは統計分析(つまり大数の法則)によって認識できることに驚いている(巻之二)。ところがビッグデータはさらに新たな地平を切り開きつつある。

それは、使えるデータが集計(aggregate)から非集計(disaggregate)へ移行することによる。たとえば経済学は、人間集団の行動の法則に取り組んでいるのだが、これまでその手がかりは集計データであった。集計データ分析は動向を検出する能力が低い。大試料論の宿命である、特異サンプルの隠蔽がある。しかし特異サンプルには、重大な変化を先行的に反映しているものがある。だから、重要なヒントを浮き彫りにする可能性を秘めているのである。

とは言うものの、オフライン解析に留まるのではあまり面白くないのだが、これがリアルタイムにできるなら話は変わる。フィードバックすることで、混乱する被災現場の群衆の動きを管制する可能性が出てくるからである。それも情報だけでなく、たとえばプラグイン電気自動車なら人やモノも動かせる。これは被災対応現場のゲームチェンジャーになるだろう。(結局、これらの変革はネットというハードと制御というソフトに基礎をもっている。)

### 4.1 IT システムの現場改良

災害対処では IT システムが多用される。しかし自治体など現場の実態は、商用で開発された製品が能書きベースで売り込まれるものがきわめて多い。それらは、いざ鎌倉で無能を露呈する。平時は寝かせている

ものを突然引っ張り出すのだし、導入時の担当者はとくに異動しているのだから当たり前である。

有事での即応力の鍵は人間にある。機械も平時から使い込むと、使う人間の発想が引き出され、運用の工夫、さらには装置の改良も進む。防災科研時代の災害対応 IT ツール開発では、user-driven (自治体向け) あるいは user-born (大病院向け) を掲げて、努めて相手の土俵に上がって仕事をしたが、その理由がこれである。

事前に売り込まれる IT システムは、概してラボ内の発想によっているから、いざ発生した個々具体的な災害で、初めて出くわした事態にピタリくることはむしろ稀である。したがって、発災後速やかにシステムのフィッティングをしなければならない。

自治体や病院は、発災後に膨大なデータ処理を強いられる。データベースそのものはすでにもっているのだが、たとえば上位機関が求めるフォーマットに従うためだけに、しばしば人海戦術を余儀なくされる (ソフトを一捻りすれば済む話だが)。発災後の速やかなオンライン対応の効果は非常に大きい。東日本大震災で大きな使命を果たした石巻赤十字病院に、Google のエンジニアがやって来て、医療者から取材して迅速にシステムを組み上げた報告がある [5]。これは将来性の大きい試みである。

## 4.2 最適化問題

オペレーションは時刻歴の現象である。そして OR は最適化問題でもある。言い換えれば OR は本質的に最適制御問題である。

現象を支配する法則があり、制約条件と目的関数がある。現象を記述する変数と操作できる変数があって、前者を望むように制御するべく後者を決定したい、という二段構えの inversion なので計算困難なものが多い。最後まで解ける問題はごく限られてくる。

一方、人間行動を扱う問題では、行動の自由度が格段に広がるから、解が求まるまで問題を単純化、とはいかない。(経済学では長く極端な単純化を余儀なくされ、当然、予測は当たらなかったわけである。) そこでこの際、解にたどり着く、という条件を外し、その代わりに、実世界を模擬する自由度を大きくする。大塚久雄『社会科学の方法』が、“経済過程をモデル化してアポリアに遭遇すると、ブルジョア社会の現実の人間のふるまいに立ち戻ってアポリアを越えて行った” と言う K. Marx に倣うわけである。

安全部会では、待ち行列について防衛大学の佐久間大さんの報告があった。待ち行列は、多くの現象に

基幹要素として含まれるテーマである。たとえば神藤さんが取り組んだトリアージ過程は待ち行列として捉えることが可能である。

これを Marx 流に見るならば、絶え間なく運び込まれる被災者のフローがある。被災者の態様は多様でたくさんの属性をもっている。狭義のトリアージは第一歩に過ぎず、分岐や合流を含む系統図に沿ってたくさんの処置/サービスの連鎖が続く。一つひとつの処置は待ち行列問題をもつ。しかし災害対処では、想定外事態の発生や臨機な対処が多発するので、絶えず全体を睨んで調整せねばならず、大域的な扱ひが必要になる (個々の待ち行列問題が干渉し合う)。したがって救命サービスの運用は、たくさんの待ち行列を要素とする系列の最適制御問題と捉えることになるわけである。

もう一つの例として、病院ナースの勤務表の最適化問題を考えてみよう。災害医療の研究の中で調査をしたが、どこでもナース長は勤務表作りで苦勞をしていた。市販ソフトはあるのだが、利用は進んでいなかった。(今では当然だと考えている。)

安全部会で成蹊大学の池上敦子さんの報告を聞いたのを機会に、自分の考えを再検討し始めた。まず急激な想定外の状況変化への対応の過程を考えたい。そして制約条件と目的関数を拡張したい。

目的関数に反映したい要件は多い。そもそもナース長は非常に多項目をこなしている。病院ナースを魅力ある職種にするために、たとえば子育てとの両立の容易さとか退職者がムリなく再登板できることも必要であるし、勤務表を使えば、病院の経営者が、自院のナースのパフォーマンス (費用対効果) を計測できることも、病院経営が健全で持続的であるために必要である。

制約条件と目的関数は絡み合っていて、互いに浸透し合う。それでいて制約の式表現を少し変えると、問題の数学的性質がガラリと変わり、解への寄せ方も変わる。有限要素法などの計算技術で開拓された豊富な変分法を利用することも必要である。

一方で、Marx 流に見ると、ナース長は常時たくさんの問題を抱えていて、それらを全体として並行処理する中で、時宜に応じたファジーな、デリケートな解決を重ねていることがわかる。(江戸の問題を長崎で解決している!)

逆説的に見えるが、いろいろな問題を抱えているからこそ状況の急変に順応できている、という事情が窺われるのであって、このような並行処理型の知力は 3.2 節で見た創発行動のものと同質のものであり、その解明

は勤務表モデルの研究にも資すると思われる。これはまた、4.4節で述べるエキスパートの練達 (expertise) の本質に触れるものでもあって、人間の行動モデリングの中で最もチャレンジングかつスリリングな課題である。

### 4.3 forward化

オペレーション (つまり人間行動) の問題では、制約条件や目的関数が複雑だから、inversion をめざすと、計算量の膨張どころか、おそらくアルゴリズム構築もできないだろう。そこで、inversion 部分までコンピュータにさせるのをやめ、forward 問題の解をたくさん打ち出させることを考える。

inversion を代替するには、論理上は無数の forward 問題を計算しなければならない。しかし、分析者が問題に精通しているエキスパートならツボがわかり、少数のケースで判断がつく。これは顕著な“事実”である。(私の場合は原発の審査など構造設計で詳細に確認したほか、前述の茂木先生ら地震予知連のエキスパートや法曹界、それに救命臨床医の人たちを観察した結果でもある。)

この方法では、解は一発回答ではなく、相当数のテスト結果の集合をもつが、この集合の各要素は、逐次近似の連鎖の中で、前ステップの結果を使って、熟練者の頭脳が当たりをつけたものである。つまりこの集合は、Monte Carlo 法のような単なる集まりとは全く異なり、ずっと大きな情報量をもっているのである。

解を求めることより、逐次近似の履歴を通して解のいる空間の構造を把握できることが重要である。なぜなら、解だけでなく解の周辺の状態も把握できていることで、想定外の外乱ないしは損傷がどう波及しうるか、などのきわめて実戦的な判断能力がセンスとして形成できるからである。

### 4.4 地震学の社会貢献の向上の鍵

たとえば、典型的な専門職である法律家や医師は、若いときに因果連鎖の事例 (forward 問題) の膨大な暗記を通してきている。しかしそれは仕込みに過ぎず、彼らが社会から高い見返り (報酬と社会的ステータス) を与えられる専門性は、その後醸成されるものである。依頼人が直面する苦境から原因を割り出し、そこから最適な行動をとれることである。

これは一つの最適制御であり inversion である。社会の現場で知力を要する仕事の芯には必ず inversion が潜んでいる。しかもプロはこれを感覚的な形 (たとえば勘) で蓄えていて、しばしば即答で答えを出す。常に

時間との勝負になる仕事への見事な適応というほかない。このように経験と勘は圧倒的なプレゼンスをもっている。

実世界には計算で詰め切れないものはたくさんある。そしてそこにエキスパートの出番がある。1964年東京オリンピックのために作られた国立代々木競技場は、丹下健三教授の意匠が、吊構造が自然には作れない形状であったため、関係者は大変苦勞をした。膨大な計算を要し、このことを新聞は「設計の主演はコンピュータ」と喧伝した。ところがどっこい、当時のコンピュータが計算できたのは実はやっと平面板止まりであった。多数の平面板の計算結果を曲面構造までに縫い上げたのは、設計を担当した坪井善勝教授と清水建設の技術者の頭の中であったのだ。

最後に地震学に戻ろう。現在の地震学の水準では、地震の発生を客観的な手続きだけで予測するのはムリであり、予知連のようなエキスパートの頭脳による知識統合 (synthesis) が必要である。

ただし synthesis 自体には革新要素はない。観測情報の革新が必要である。地球物理学から遠くない重力波観測では、宇宙を握っているアメリカに対し、日本は神岡の地下に潜って奮闘し、ノイズとなる微弱な地球振動の検出と消去に力を注いでいる。地球物理学者にとっては、これはノイズどころか本命のシグナルなのだから、無関心ではいられまい。現在の地震観測のハードウェアは性能不十分で、しかも開発も低調に見える。宇宙線や、自然界には存在しない精密な人工地震波、さらにはもっと多様な物理の利用を精力的に試し、地殻に切り込む必要がある、と思われる。

謝辞 紙面の関係で端折らざるを得なかったが、ナース勤務表については、武蔵野赤十字病院・看護部の梅野直美さんと宮本加奈子さんから話を伺うことができ、貴重なヒントが得られた。ここで感謝したい。もちろん本文はあくまで筆者個人が理解できたことと現場から学んだ結果をまとめたものである。

### 参考文献

- [1] <http://www.swissre.com/japan/>
- [2] 瀬野徹三, “南海トラフ巨大地震,” 地震 第2輯, 64, pp. 97–116, 2012.
- [3] S. E. Morison, *The Two-Ocean War*, Little, Brown, p. 211, 1963.
- [4] 伊藤哲朗, 『国家の危機管理』, ぎょうせい, 2014.
- [5] 石井正, 『石巻災害医療の全記録』, 講談社ブルーバックス, 2012.