

レジリエンス・エンジニアリングに基づく自然震災への対応方策*

北村正晴**

1. はじめに

震災はその出自においては自然災害である。しかし現代社会における震災は言葉通りの意味での自然災害の範疇にはおさまらない。自然災害に関して寺田寅彦はいくつも重要な指摘を述べているが、現代において我々が最も注目すべきは、「……いつも忘れがちな重要な要項がある。それは、文明が進めば進むほど天然の暴威による災害がその激烈の度を増すという事実である。」¹⁾ という指摘であろう。文明が進んだ社会における震災は、自然災害と人工物や社会システムの干渉災害とでもいうべき様相を示す。

寺田の指摘は、今回の東日本大震災についても的中している。福島第一原子力発電所の事故は残念ながら典型的な中例である。この事故については原子力に関わってきた筆者として無念の想いと自責の念は強いが、最終的な原因究明は、政府や国会が設置した事故調査委員会の調査などを含めて今後の課題としたい。また事故に関わる重要な要因や原子力技術と社会のあり方についての私見は別稿に示している^{2,3)}。このため本稿では、より人間工学に直結した視点から、震災の中で経験された事例が投げかけている課題の解決策について、ヒューマンファクター研究、とりわけレジリエンス・エンジニアリング研究の応用可能性について考察する。

2. 注目したい事例

2-1. 明暗を分けた津波対策

歴史的に津波被災を繰り返してきた三陸地域では、津

波の恐ろしさの認識は十分に共有されていた。多くの地域では、多額の費用を投入して防潮堤や防潮水門を建設してきた。岩手県宮古市田老地区では、堤防の一部が完成済みであり、1960年のチリ地震津波では的確に地域を防護した。住民は信頼感を込めてこの堤防を「万里の長城」と呼んでいたと報じられている⁴⁾。しかしその堤防も今回の大津波から住民を守ることができなかった^{4,5)}。同様の経験をした地域は少なくない。一方で、岩手県普代村では、村長が周囲の反対を押し切って15メートルもの高さの防潮堤建設を進め、結果として被災をまぬかれている^{5,6)}。これらの事例は総体として、安全のための防護策をどのような基準で選択すべきかという難問を投げかけている。

2-2. 防災組織の安全対策

宮城県南三陸町では、住民を避難させようと、最後まで防災対策庁舎に残った職員二十数人が犠牲になった。職員の多くが防災担当だったという。防災無線を使い住民に避難を呼び掛けた女性職員が行方不明になった悲劇はメディアにも広く紹介⁷⁾されたが、同様な事例は他にも多く知られている。同じ南三陸町の公立志津川病院は5階建ての建物の4階までが水没した。自力歩行困難な入院患者が何人も犠牲となったが、3名の看護師らも殉職した⁸⁾。また津波被災地域全般を通じて、警察関係者、消防関係者の殉職者も多数あったことが知られている。

患者や住民を守ろうとする責任感溢れる行為は尊い。ただ、その犠牲の大きさを考えるとき、安全工学、人間工学が果たすべき責務は何か、改めて考える必要がある。

2-3. 聞こえなかった防災無線

地震発生から津波来襲まではある程度時間があつた。それにもかかわらず津波来襲の警告を受け取ることができなかった住民も多かった。地震のために送信機器が故障した事例、アンテナなどが倒壊して可聴地域が狭くな

*受付：2012年4月20日 受理：2012年5月16日

** (株) テムス研究所

Research Institute for Technology Management Strategy (TeMS)

ったために聞こえなかった事例⁹⁾などが報告されている。また、地震による故障ではなく普段から、風向き、周辺建造物の配置などの原因で聞こえなかった可能性も指摘¹⁰⁾されている。非常時のために設置された防災無線が非常時には機能しなかったという事実は、防災対応機器の設計・運用のありかたに関して根本から検討されるべき示唆を含んでいる。

2-4. 自律的災害対応活動

海上保安学校宮城分校に所属する飛行教官¹¹⁾は、地震直後に被災状況を確認しようとヘリコプターで仙台空港から離陸した。離陸後、津波の被害を視認した後、着陸場所が見つからず、最終的に陸上自衛隊の飛行場に降りて燃料補給を依頼している。無線の状態が悪く、基地の上層部には連絡が取れない。一方で消防のヘリも同じ飛行場に來ていたが、そちらでは無線が有効であちこちから救助要請を受けている。結局自分の判断で臨機応変に救助活動に従事し、13名を救助したという。救助の意義は大きかったが、厳密に言えば命令された以外の行動であるため、後刻、懲戒ものだという叱責を受けたとのことである。指令システムの非常時運用という観点から重要な問題提起を含む事例と考える。

2-5. プロアクティブな医療活動

石巻市の石巻赤十字病院¹²⁾では停電、断水、ガス停止状態となった。電源だけは自家発電機により復旧した。同病院ではただちに、訓練していた内容に即して外来業務は中止し、トリアージ体制^{*1}を確立した。地域で唯一停電していない同病院には患者に加え避難者も殺到した。当初は緊急避難的に受け入れていたが、避難者数の増大につれ病院機能の維持が困難になり、強く説得して地元バス会社と連携して、自宅や避難所へ送り出している。その後も患者数は増え続け、医薬品不足に加えて水不足、食糧不足も深刻化したが、全員の努力で医療活動を続けた。そのような状態の中、3月17日には、周辺地域およそ300か所の避難所に向向いて、各避難所の状態を確認する作業を実施している。病院で患者を待つだけでは効果的な医療活動はできないと判断し、プロアクティブな情

^{*1}トリアージとは、多数の患者が想定される大規模災害対応時において、救命効果を最大にするため患者を対応緊急度によって分類するやり方。

^{*2}ここで言う悪構造問題とは、時間的余裕がない、状況も目的も時間とともに変動する、決定の誤りは意思決定者や周囲に多大の損失を与える、情報は曖昧さ、欠落、矛盾などを持つ、などの要件で特徴づけられる。このような悪条件の中でもエキスパートは高い確率で問題を解決していることが知られている。

報の収集へと行動範囲を拡大したのである。その結果、食糧事情や衛生環境が劣悪である実態を確認し、地方自治体と交渉して対応策を要請するなど、医療機関の役割を超えた活動を展開した。

これらの事例はヒューマンファクターに関する示唆に富むものであるが、ヒューマンファクター研究自体が近年急速に変容しつつある。次節ではこのトレンドについて概観する。

3. ヒューマンファクター研究の展開

3-1. 研究パラダイムの転換

ヒューマンファクター研究とその応用は、大きなパラダイム転換点にさしかかりつつある。個人のエラーや組織管理上の問題点に着目した研究が中心であった時期が長く続いた。この体系からの大きな視点の変更が、J. Reasonによって提案¹³⁾されている。その特徴は、人間をエラーする存在としてだけでなく優れた危機対応能力を示す存在としてとらえなおす見方である。この視点変更はまた、リスクに満ちた環境で業務を継続しながら優れた安全実績を示す組織に着目する高信頼性組織 (High Reliability Organization : HRO) 研究¹⁴⁾ や、悪構造問題^{*2}に対処するエキスパートの優れた能力に着目する Naturalistic Decision Making (NDM) 研究¹⁵⁾ の目指す方向性とも共通である。この共通する方向性が、Hollnagelや Woodsが提唱するレジリエンス・エンジニアリング^{16,17)} の枠組みに集約されている。

3-2. レジリエンス・エンジニアリング

レジリエンス・エンジニアリングの対象は「人間・機械・環境」系として定義される技術・社会システム (socio-technical system) である。対象システムを構成する「人間、機械、環境」の要素はいずれも動的に変化を続けているが、システムはそれらの変化に適応しつつ動作を継続している。大規模な変動や外乱が生じて、従来までの動作を継続できなくなった場合においても、決定的な破局状態は回避しつつシステムとして稼働を続けることができる。その際には、状況に応じて活動目標の優先度を能動的に修正することで稼働を継続している。これらの要請に答えている場合に、このシステムはレジリエント性を有している、またはこのシステムはレジリエントシステムであると見なす。

レジリエントシステムの実現方法については現在も研究が進展中であるが、以下の4機能は必須の要件とされて

いる。

- ①対処：直面する事象に適切に対処できる。
 - ②モニター：近く脅威になる事象の監視ができる。
 - ③予見：より長期的な時間スパンで生じる脅威や好機を認識し準備できる。
 - ④学習：経験された事象からの的確に学ぶことができる。
- さらにこれらの機能に随伴する要件として、次の能力も重要とされている。
- (a) リソース管理：対処のために必要なリソース（機器・装置、資材、予算、人員など）を状況に応じて適切に配備できる。
 - (b) プロアクティブな行為選択：対処、モニター、予見などの行為を状況に対する受動的反応としてだけでなく、より能動的・目的駆動的に実施できる。
 - (c) 成功経験の活用：失敗事例に加えて成功事例からの教訓を獲得できる。
 - (d) 的確な「気づき」：環境の変化や機器故障などの予兆を感知し正しく解釈できる。

前節2-1～2-5に示した事例や、その他さまざまな震災時の経験事象に含まれる課題に対して、レジリエントシステム実現のための機能や能力を活用することで、優れた対処方策を提案できる可能性が期待できる¹⁸⁾。

4. レジリエンス・エンジニアリングからの示唆

事例に含まれる課題とレジリエンス・エンジニアリングの関係付けについて以下に記す。事例2-1、2-2が示している課題は、「想定外」事態への対応のあり方である。田老地区の「万里の長城」や南三陸町の3階建て防災対策庁舎などは過去の経験ベースでは信頼できる対策であった。しかしその備えの上に、この対策が無力化する事態はなにか？という予見や「気づき」能力の充実と、その際のバックアップ方策はどうあるべきか？と考えた上での破局状態回避のための手段を導入することが今後のための教訓であろう。今回は津波の防御に成功した普代村においても同様な考察は欠かせないはずである。

なお防災関連業務の従事者については、状況に応じて自律的な避難行動を積極的に許容することを含めた行動目標の優先度選択規範の充実と、その行動を可能にするためのリソースの配備が強く望まれる。

事例2-3については、レジリエントシステムの要件であるモニター能力の充実が対応策である。安全確保のためのシステムでは特に、システム自体（この例では防災無線）の健全性をモニターすることの重要性を強調したい。

事例2-4は意思決定における集中管理方式と自律分散方式の相克の例である。現実には通信チャンネルが機能しない状況がありうることは予見できるはずである。それゆえ、そのような事態に対しての目標優先度付けや自律的対処に関するガイドラインを事前に策定しておくことが望ましい。このような事前準備があれば、現場担当者のジレンマを軽減して直面する課題解決により優れたパフォーマンスを発揮することが期待できる。

事例2-5は、的確な状況対処によって破局状態を回避しつつ、プロアクティブに目標の優先度を評価して事態のモニターを実施し成果を挙げるという、高いレジリエント特性を発揮した成功事例である。このような成功事例についての学習が広い範囲で共有されることを期待した。以上、具体的事例に関係する課題の解決、ならびに教訓の獲得（学習）に関連付けてレジリエンス・エンジニアリングの果たす役割を紹介した。

5. おわりに

本稿での紹介事例が含む課題が人間工学の範囲外のものと感じた読者もおられるかも知れない。だが、人間工学の本来の目標を見直してみたい。「人にやさしい技術、使いやすい機器、生活しやすい環境をつくるために生まれた人間工学は、今ではいろいろな分野で広く応用されています。……（以下省略）」という文章が本学会HPに見られる。この文章を言い直せば、「人間工学は『人間・人工物・環境』のインタラクションを適切に設計して人間の生活をよりよいものにすることを目指す学術分野である」ということになろう。「人間・人工物」のインタラクションについては、人間工学の初期から、対応する研究が行われてきた。「人間・環境」のインタラクションについても、人間活動の場としてとらえる見方や、実環境を情報的に強化するAugmented Realityなど、注目すべき研究はなされている¹⁹⁾。

ただこれまでは、対象とする「環境」については、「平常時の環境」を想定した研究が多数であった。実際には人間の生活は自然災害と無縁ではありえないし、大規模停電やネットワーク障害、携帯電話の通話障害などは、自然災害と無関係にも生じうる。それゆえこれからの人間工学には、自然災害も含め「異常時または非常時の環境」までを視野に入れた「人間・人工物・環境」のインタラクション適切化という視点が強く望まれる。本稿で例示した事例からは、この視点に立つての人間工学、特にレジリエンス・エンジニアリング応用の実効性が示唆される。本誌の読者諸賢によるそのような方向への活動

展開を期待したい。

参考文献

- 1) 寺田寅彦：天災と国防，地震雑感／津波と人間，寺田寅彦隨筆選集，中公文庫，67-78，2011.
- 2) 北村正晴：福島第一事故からの「学び」，日本原子力学会誌，53 (6)，406-408，2011.
- 3) 北村正晴：原子力リスクとヒューマンインタラクション，ヒューマンインタフェース学会誌，14 (1)，9-14，2012.
- 4) 津波「50年の努力」砕く，読売新聞，2011年4月3日.
- 5) 津波：先人の警告生かされたか，河北新報，2011年4月10日.
- 6) 15メートル堤防・水門 村救う，読売新聞，2011年4月4日.
- 7) 最後まで避難呼びかけ，職員二十数名いまだ不明，河北新報，2011年3月16日.
- 8) 証言／75人死亡・不明 公立志津川病院／動けぬ患者，迫り来る水，河北新報，2011年6月7日.
- 9) その時 何が (17) 防災無線「聞こえなかった」(宮城・山元)，河北新報，2011年6月2日.
- 10) 防災無線が聞こえない，クローズアップ東北，NHK，2012年1月13日.
- 11) 小林和弘：ヒューマンファクターの視点から見た東日本震災. 海上保安学校宮城分校教官 小林和弘氏講演記録，
<http://www.ergonomics.jp/local-branch/tohoku/>.
- 12) 朝倉徹：ヒューマンファクターの視点から見た東日本震災. 石巻赤十字病院副院長 朝倉徹氏講演記録，<http://www.ergonomics.jp/local-branch/tohoku/>.
- 13) J. Reason：The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents, and Heroic Recoveries, Ashgate Publishing Company, 2008；(邦訳) 佐相邦英監訳：組織事故とレジリエンス，日科技連，2010.
- 14) K. H. Roberts, R. Bea：Must accidents happen？Lessons from high-reliability organizations, Academy of Management Executive, 15 (3)，70-78，2001.
- 15) C. E. Zsombok, G. Klein, (Eds.)：Naturalistic Decision Making, LEA, 1997.
- 16) E. Hollnagel, D. D. Woods, N. Leveson, (Eds.)：Resilience Engineering, Concepts and Precepts, Ashgate Publishing Co., 2006.
- 17) E. Hollnagel, J. Paries, D. D. Woods, J. Wreathall：Resilience Engineering in Practice, Ashgate Publishing Co., 2011.
- 18) 北村正晴：レジリエンス・エンジニアリングの産業安全向上への応用，ヒューマンインタフェース学会誌，14 (2)，2012 (刊行予定).
- 19) 平沢尚毅：情報社会人間工学研究部会のこれまでの歩み，人間工学，47 (4)，121-126，2011.