

安全の新しい捉え方と レジリエンスエンジニアリング

株式会社 テムス研究所 北村正晴*

司会 それでは時間になりましたので、本日最後の研修会を開催したいと思います。「安全の新しい捉え方 Safety-II とレジリエンスエンジニアリング」というテーマで、株式会社テムス研究所代表取締役所長、国立大学法人東北大学名誉教授の北村正晴先生にお願いいたします。

先生の経歴を簡単にご紹介させていただきます。先生は東北大学大学院工学研究科博士課程を修了し、工学博士号を取得されております。研究分野はリスク評価管理学、大規模機械システムの安全学などの他に、本日の講演テーマとなっておりますレジリエンスエンジニアリング、これは大規模技術システムの安全を一層向上させるための最新の方法論ということですが、その研究と現場への応用を、精力的に進められております。

それでは先生、どうぞよろしくお願いいたします。

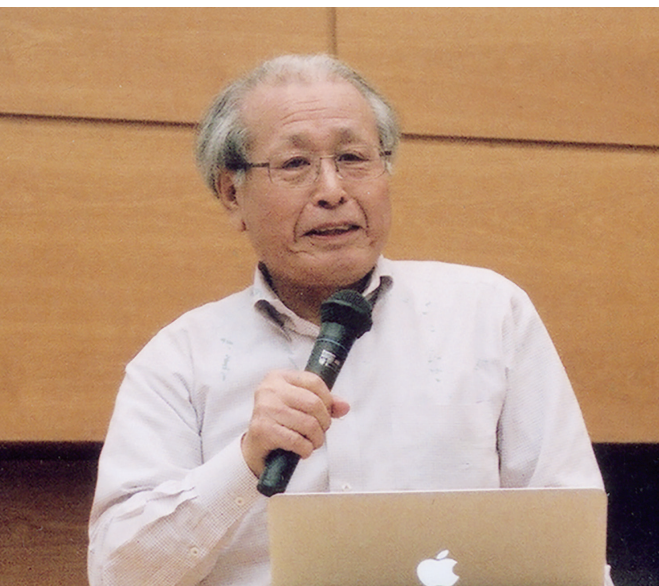
北村 ご紹介ありがとうございます。みなさま、こんにちは。今ご紹介いただいた北村

と申します。先ほどのご講演の積先生のほうから、きわめて現実に即したリアリティのあるお話をたくさんいただきましたが、レジリエンスエンジニアリングはまだ新しい分野なので、そこまで具体的な応用がたくさんあるという訳ではありません。ただ、安全というものの考え方として、こういう面もあるということ、是非お心に留めていただければと思います、今日はお話をさせていただきます（図1）。

この手法については評判が色々です。わかる方はすぐに、「ああ、それは当たり前の事で、きわめて自然な話だから、私は納得した。」とおっしゃっていただけることもあります。その一方で、「レジリエンスエンジニアリングなんてカタカナ名前がそもそも気に入らん。」とか言われる方もおられます。名前の表記は現状のままで勘弁していただきたいと思います。僕もカタカナ言葉だらけで話すのは好きではないですが、一応そういう名前しか、今、日本では通用していないので、なるべくわかりやすくお話しするつもりです。

今現在、レジリエンスという言葉と、レジリエンスエンジニアリングという安全方法論が、国内外で注目を集めております。日本で

*北村正晴（きたむら まさはる）
代表取締役 所長
国立大学法人 東北大学名誉教授



講演する北村正晴氏

は内閣官房が中心になって、国土強靱化行動計画が策定されていますが、その英語の表記はナショナル・レジリエンスです。それから、米国では自然災害やテロ対策までを含む国土の安全とセキュリティ、Homeland Securityですね、この問題に取り組む中心課題として、レジリエンスが注目されています。また EU では、かなり大きい Darwin Project というプロジェクトが走っていますが、その中でも社会にとっての重要なインフラ、いわゆる Critical Infrastructure のレジリエンスということに関する研究が進行中です（図 2）。

そのような訳で、あちらこちらでレジリエンスという単語については目にされることが最近増えて来たのではないのでしょうか。しかし本講演では、レジリエンスエンジニアリングが安全の実現のための新しい方法論であるという位置づけを前提として、お聞きいただきたいと思います。

安全の歴史

まず、先生方には釈迦に説法であることは承知しておりますが、説明の都合上、安全の歴史を振り返ってみたいと思います。

安全設計の方策というのは、歴史的にはさまざまな事故の経験を踏まえながら、多数提唱され、活用されてきていると思います。元々、新しい機械が発明される時には、安全は残念ながら二の次の概念でした。従来の機械よりも格段に高い性能、または従来無かった機能を発揮できる機械が作られることを求められていたと思います。身近な例では飛行機を考えていただいても、もっと昔の産業革命の牽引車である蒸気機関を考えていただいても、社会に定着する過程では事故がたくさん起こっていた訳です。

しかし、そのうちに、設計指針となる経験的知識が蓄積してきました。蒸気ボイラーなどは、多数の事故の経験を踏まえて次第に改良されていると思います。また、材料面での高度化、さらに材料破壊・劣化に関する知識の集積、こういったものがあって、その上で皆様ご承知の様々な安全設計の方法論、高信頼性設計であるとか、フェールセーフ、インターロック、フェールソフト、深層防護云々というのが構築されて来た訳です（図 3）。

この流れに対して、大きなインパクトを及ぼしたのが、1979 年 3 月に米国のスリーマイルアイランド原子力発電所の 2 号機で起こった事故です。ここで、ヒューマンファクターがものすごく大事だということが、原子力の世界はもとより、一般の産業界でも改めて注目されました。

だから、きっかけとなった事故は原子力事故でしたが、エラーの分類学であるとか、ご承知のエラーの分析法、m-SHELL モデルとか、

170805&902日本労働安全衛生コンサルタント会様

安全の新しい捉え方Safety-Ⅱと レジリエンスエンジニアリング

北村正晴

東北大学名誉教授
株式会社テムス研究所 所長
東北大学未来科学技術共同研究センター(NICHe)
シニアリサーチフェロー

1

図 1

1. はじめに 本講義の主題

- レジリエンスエンジニアリングという安全方法論が、国内外で注目を集めている
- 日本：内閣官房が中心となって国土強靱化（ナショナル・レジリエンス）行動計画策定済み
- 米国：国土安全とセキュリティ(Homeland Security)問題の中心課題としてレジリエンスに注目
- EU：Darwin Projectの中で、社会にとって重要なインフラのレジリエンス(Critical Infrastructure Resilience)に関する研究が進行中
- 産業分野（航空、海運、鉄道、建設、石油、医療、消防、防災、原子力、金融）への応用も進展中：なぜ今？

2

図 2

1. はじめに 安全工学発展の歴史

- 安全設計(ハード)の方策は事故の経験を踏まえながら多数提唱され、活用されている
 - ◆ 設計指針となる経験的知識の集積:(蒸気ボイラー他)
 - ◆ 材料面での高度化:製鉄技術の進歩(高炉、転炉、他)
 - ◆ 材料破壊・劣化に関する知識の蓄積(コメット機、他)
 - ◆ 安全設計の方法進歩
 - 高信頼性設計(高品質材料、設計余裕, redundancy)
 - フェールセーフ, フェールソフト
 - インターロック
 - HAZOP, FMEA, FMECA
 - 深層防護
 - 確率論的リスク評価(Probabilistic Risk Assessment: PRA)
 - 自動化の導入

3

図 3

根本原因分析とか、さらに、色々な手順書の考え方とか、訓練、事故調査のやり方なども、色々な形で進展してきたと思います(図4)。

そういう流れがあって、ヒューマンファクター関係がよほど進歩したと思った矢先に、チェルノブイリ事故が起こって、組織風土や安全文化の重要性が言われるようになった訳です。さらに、品質保証とか安全マネジメントシステムなどの現場導入も進捗し、定着していると思います。

さらなるニーズの浮上

では、「それらの方策があれば十分なのか?」と言え、そうでもありません。事故の発生件数は様々な分野で減ったとはいえ、まだまだ懸念される状態だろうと思います。

例えば医療、製薬・薬品、土木・建築、交

通系、それから石油化学工業などでは、少なくとも、事故の発生数は相当減少しています。ただ、事故率の減少が下げ止まっている傾向があるだろうと思います(図5)。

ご承知の通り、航空分野では、100万回の離着陸当たり1回も重大事故は起こりません。インシデントで1万回に1回起こらないという状況が来ていると言われています。ところが、ご承知の通り、ローコストキャリアなどできて、航空の発着便数はどんどん増えている訳です。ということは、事故率が下げ止まっていたのでは不十分です。もし事故率が下げ止まってしまったら、事故の発生数は増大する便数に比例して増えていく訳ですから、なんとかしなければいけないだろうと思います。

やはりそこが、肝心のポイントです。先ほど積先生は、「もうこれはだから、ヒューマ

1. はじめに 安全工学発展の歴史

- スリーマイルアイランド(TMI)原子力発電所事故(1979.3)⇒ヒューマンファクター重要性の認識拡大
 - ◆ エラーの分類学
 - ◆ エラー分析法(m-SHELLモデル, 根本原因分析)
 - ◆ 手順書, 訓練, 事故調査分析法など)も現場で活用
 - ◆ 危険予知訓練(KYT), 5S(整理・整頓・清潔・清掃・躰)
 - ◆ 人間信頼性評価(Human Reliability Analysis: HRA)
- チェルノブイリ事故(1986.4)によって組織風土, 安全文化の重要性の認識拡大
- 品質保証や安全マネジメントシステム(SMS)の現場導入も進捗し定着

4

図 4

1. はじめに 安全の現状認識

- 事故発生率は減ったとはいえ, まだ懸念される状態
 - ◆ 原子力, 医療, 薬品, 土木・建築業, 交通(自動車, 鉄道, 航空機), 石油化学工業, 食品, …
 - ◆ 事故発生率の減少が下げ止まる傾向
 - ◆ 交通量は増加傾向⇒更なる事故率低下を期待(航空・海運)
 - ◆ 残っている事故形成要因=ヒューマンエラーが中心(?)
- 新しいタイプのリスクが出現
 - ◆ ネットワーク・情報関連リスク
 - ◆ グローバル化社会起因リスク
 - パンデミック, 世界的金融危機, テロリズム(e.g. A.Giddeens 2003)
- 従来型の安全工学を超える方法論への期待 ↑ ↑

5

図 5

ンエラーだなんて言っているのはダメで、環境から全部変えていかなければいけないのだ。」という趣旨のご講演をされて、それはその通りだと思います。でも、そういうことをわりと先行してやっているはずの航空の世界でさえ、現実には事故やインシデントが起きると、多くの場合に主な原因はヒューマンエラーだと判定されているのが実情です。典型的には、パイロットと管制官のコミュニケーションエラーだと指摘されがちな訳です。ヒューマンファクター分野で何十年の研究蓄積がある一方で、このような認識が支配的であることは非常に残念です。

さらに、新しいタイプのリスクが今出現していることも、ご承知の通りだと思います。非常に大きいのは、やはり、ネットワーク情報関係リスクです。また、社会がグローバル化したことに起因するリスクというのも、当然あります。パンデミックであるとか、世界的な金融危機、また、テロリズムが実態として起こっているのが現状です。

このグローバル化に伴うリスクに関しては、優れた学者さん、たとえば Anthony Giddens という人が、2003 年ぐらいの段階で警告しているのですが、残念ながら、その警告はほぼ当たってきているという現状があります。言い換えれば、従来型の安全工学を超える方法論が、こういう分野では必要とされている訳です。

そこで、私自身は、レジリエンスエンジニアリングがそれに対するひとつの回答になり得るのではないかと考えています。原子力をはじめとする多くの分野の技術者に衝撃を及ぼした、東京電力福島第一の事故が 2011 年 3 月に起きましたが、私自身は、2006 年に海外で出版された書籍を 2010 年ぐらいから訳し始めていて、やっと 2012 年に訳出しました。これがレジリエンスエンジニアリング

に関する、まとまった著作が日本で紹介された最初だと思います。内容はまだ開発途上の段階でしたので、色々わかりにくい所もある本ですが、やはり、新しい学術分野が創生されて行く時期というのは、それなりに面白い内容を含んでいると思います。さらにもう少し実用化に向けた、『実践レジリエンスエンジニアリング』という書籍も翻訳しております（図 6、図 7）。

実装の重要性

ここでは、その基本となる色々な考え方が出て来まして、それから、実装向けの手法も提案されている訳です。私は“実装”という言葉を使います。たぶんご理解いただけると思いますが、議論や方法論が提案されても、それを現場でどう使うかわからなければ、実装されたことにはなりません。だから、実装まで持って行くというのが、私の考えていることです。

ちなみに私、元々大学では通信工学をやっていました。実装というのは、そういう弱电の世界において、電気回路があって、それをきちんと繋ぎ込んで、実際に機能する装置にする作業の部分が実装です。どんなに立派な回路が設定されていたとしても、実装技術が下手だと使い物にならないので、電子回路の大先生が作ったラジオが鳴らないとか、そういうことも起こる訳です。やはり実装の技術はとても大事だと思っています。

もう 1 つ、今日のタイトルに含まれている Safety-II という概念が、この本、2014 年に出版された書籍で、詳しく説明されています。実はレジリエンスエンジニアリングと Safety-II というのは、密接な関係があります。これについてはこの後お話ししますが、この本についても、現在、翻訳、刊行をしています。

レジリエンスエンジニアリングの資料

□ Resilience Engineering, Concepts and Precepts, E.Hollnagel, D.D.Woods, N.Leveson, Ashgate Publishing Co., 2006

- ◆ 北村正晴監訳, レジリエンスエンジニアリング, 概念と指針, 日科技連, 2012
- ◆ 原著刊行から6年後
- ◆ 内容的には開発途上
- ◆ 体系化は不十分
- ◆ 新しい学術分野創成期の知見
＝できあがった理論の学習とは
異なった「知」をもたらす
- ◆ どのような思索を経て生まれたか

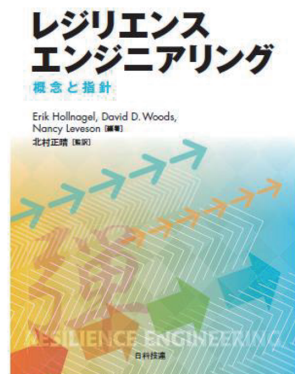


図 6

レジリエンスエンジニアリングの資料

□ Resilience Engineering in Practice, E.Hollnagel, J.Paries, D.D.Woods, John Wreathol, Ashgate Publishing Co., 2011

- ◆ 北村正晴, 小松原明哲監訳
- ◆ 実践レジリエンスエンジニアリング
～社会・技術システムおよび
重安全システムへの実装の手引き,
日科技連, 2014
- ◆ 基本となる4能力, RAGなどの実装
向け手法が提示
- ◆ レジリエンスエンジニアリングのよう
な手法がもたらす問題点について
の言及もprecautionaryに提示
(irony of resilience)



図 7

しかしやはり、実装の部分が弱いという難点があります（図 8）。

この実装についての新しい著作も、今現在翻訳が進行中で年内の刊行が予定されていますが、本日はその内容も含めてお話しします。

「安全」と「望ましい特性」 ～事例から

レジリエンスエンジニアリングが何かという話をする前に、「安全と、それから本当に望ましい特性と、それはイコールでしょうか？」という点について、ちょっと考えていただきたいと思います。具体例からお話します。

私、仙台市在住なので、この JR 東日本の仙台石巻線は大変身近な路線ですが、そこでこういうことがありました。まさに、2011

年 3 月 11 日の日です。震災、大地震が起こった時に、運命が分かれた 2 つの列車がありました（図 9）。

地震が起こるほんの数分前、野蒜駅で上り列車と下り列車が同時に動き出しました。上り列車のほうは駅から 700 メートル進んだ所で、地震が来たために自動停止しました。

JR 東日本さんには、「災害時緊急停止した場合には、乗務員は最寄りの指定避難所にお客さんを誘導しなさい。」というルールがあります。そのため、この上り列車の乗務員の方はそのルールに従って、近くの野蒜小学校という所の体育館に避難させました。ところが、避難して着いた直後に津波が襲来して、何人かの方が被害を受けて亡くなったと思われます。実際には、お届けした所で、JR の乗務員の方は自分の責任を離れた訳なので、最後まで見届けている訳ではありません。し

レジリエンスエンジニアリングの資料

□ Safety- I and Safety- II The Past and Future of Safety Management, E.Hollnagel, 2014

- ◆ 北村正晴, 小松原明哲監訳
- ◆ Safety- I & Safety- II
～安全マネジメントの過去と未来
海文堂, 2015
- ◆ 我々は安全をどのように理解？
- ◆ そもそもどのような安全を目指す？
- ◆ 現代社会の社会・技術システムは
極めて複雑化
その程度は急速に増加中
- ◆ 従来の安全探求手法では限界
- ◆ 新しい安全探求法はどうあるべき？
- ◆ 新しい安全 Safety- II の提唱



図 8

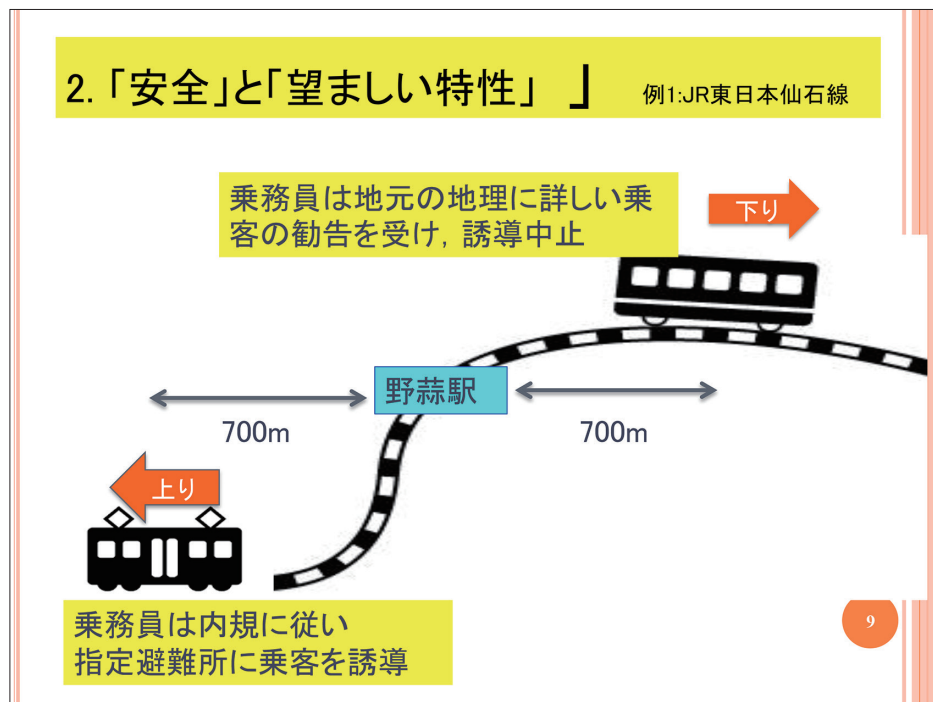


図 9

かし体育館のバスケットボール用のリングまで水が達したという浸水なので、犠牲者は出たと思われます。

対照的に、下り列車では、駅を発車直後、同様に緊急停止し、ルールを守って、乗務員の方は避難所に誘導しようとした訳です。でも、その時、その地区に住む男性乗客の1人が言いました。「ここは、この近所で一番の高台なのだから、下手に避難所に行かないで、ここにいたほうが良い。」と。そういう、ある意味、先を見越した予見的な発言をされました。そこに居た方は、乗務員さんも含め、みなその指摘がもっともだと思って、それに従ったのです。

その結果として、下り線は被害を免れました。上り線は、先ほど申し上げたように、ルール通り行動して被害に遭われた状態になっています。さて、この2つの事象をどう考え

るかということです。一般的に言えば、ルールは守ることが前提です。でも、ルールに単純に従わなかった結果が無事に繋がったという現実もあったのです。

別な例です。これは、まさに3.11の地震発生直後です。私は、東北地方整備局は極めて優れた働きをしたと、感銘を持って見えます。地震発生の直後に、仙台空港の防災ヘリに緊急離陸を指示しました。実際には、東北地方整備局のビルは仙台市内にあって、ヘリの発着場所は空港にあるので、鉄道を使うと30～40分、車でも小1時間ぐらいかかる場所にあります。

本来、委託しているヘリですから、地方整備局の職員さんが同乗されるのが当たり前、そうでなければ飛んではいけないのですが、事態の深刻さを予見した防災課長さんは、「とにかく飛ばしましょう！」と整備局長に

進言しました。そして、整備局長は了解されて、航空会社もまた、そういう緊急要請が来るだろうと思い待ち構えていました。それから、地震の影響で格納庫の扉がなにかに引っ掛かって開かなかったのを、大型カッターで強引に壊して、それで離陸するというような措置をとっています。その結果、このヘリのパイロットさんから大津波の情報や、被害の深刻さを示す第一報が入って来て、その後の方針決定で大きな役に立ったということです(図 10)。

また、東北地方整備局長さんご自身も、優れたリーダーシップを発揮されました。元々、関連している重要な道路である国道 45 号線や東北自動車道、それから重要な橋の機能などをしっかり監視するように指令されました。

「これはもうとんでもない巨大災害だから、今やるべきは復旧ではなくて、啓開だ！」と

判断しておられます。啓開とは、要するに、きちんと道路を復旧するのとは異なり、緊急車両が通れさえすれば良いのだから 1 車線でも良いし、場合によってはガードレールを外してそこから出入りしても良いといった、大胆な措置をやることだと教えられました。

また、この方は、各地方の行政機構にも被害者がたくさんいて、行政機構としてマヒしているだろうということも認識されて、リエゾンに色々な職員を被害が無かった所から派遣するという、素晴らしいイニシアティブも発揮しておられます。こういうのも、いわゆる普通の意味の安全を越えた、望ましい特性と考えられると思います。

また、全然違う分野ですが、石巻日本赤十字病院では、地震が来た段階でやはり体制をスパッと変更して、普通なら患者さんはきちんと 1 人 1 人診てあげなくてははいけないけれ

2. 「安全」と「望ましい特性」 例2: 東北地方整備局

- 地震発生直後： 仙台空港の防災ヘリに緊急離陸を指示
 - 通常は地方整備局の職員同乗が基本。しかし事態の深刻さを予見した防災課長は緊急対処を提案、徳山整備局長了承
 - 受託航空会社の職員は、故障していた格納庫扉をカッターで切断するという定形外対処で離陸を可能に
 - ヘリパイロットから、大津波情報、被害の深刻さ情報第一報入手
- この情報をベースに緊急啓開体制を構築するという対処策



10

図 10

ど、「緊急時はトリアージという措置を行う」という方式に移行しています。トリアージというのはフランスの軍事用語で、「助かる見込みのない人には手を出さない。それから、かなり酷いケガをしているように見えても、すぐに危なくない人にも手を出さない。手当てが必要な人に対象を絞って手当てをする」という分類を行う訳です。

そして、非常にたくさんの来院者に対応し、場合によると、医療法的には許されない臨時措置なども行っています。さらに、一所懸命逃げ込んできた一般の避難者に対しては、「申し訳ないけど、ここは病院だから退去してくれ！」というようなことまで申し上げて、かなり厳しい措置をなさっていたのです(図11)。

職員の食事は抜いて患者への給食を行うとか、そういうことをやった上に、私が感銘を受けたのは、ああいう大災害が来ると必ず、

情報は無くなるものです。防災に慣れていない方は、「情報が来ないが、現地はどうしたのだろう?」とお考えになりますが、情報が来ないということは、危ないということなのです。大被害が起こっている可能性があるから、もうそれは「来ない」なんて言っていないで、“情報を能動的に取りに行くぞ”という決断をされています。

それだけ手の足りない、人がいっぱいいて大変な病院の中から人を割いて、300カ所に及ぶ色々な避難所を見回りに行って、“この先どういう状態の来院患者さんがあるだろうか?”という予見を行っています。

さらに、状態が悪い所には色々な外から、病院の業務を離れて、大型ビニールの容器の発注、それから簡易食料、簡易トイレの提供等、そういうことについても色々なアクションを行っておられます。そして、ちょうど一

2.「安全」と「望ましい特性」 例3 石巻日赤病院

- 石巻赤十字病院(402床)では全職員が速やかに大被害を**予見**。トリアージおよび治療準備を完了。通常緊急来院は日に60件程度、震災2日後には1日1251人の急患来院
- ヘリでの来院64件。ロビーのソファや廊下の床も含め、運び込まれた患者と付き添いの親族らで一杯に
- 医療法的には許されない臨時増床措置で**対応**(検査室などへ)
- 一般避難者には**退去**を説得
- 職員の食事抜きで患者への給食



11

図 11

月後には通常の外来診療に復帰されています(図 12)。

通常の「安全」を超えて

こういった事例から、望ましい特性を考えた時に、今申し上げたような事例は、いずれも普通の意味の安全という概念をかなり超えた行動が行われていると思われる訳です。大災害なんて起こらないほうが良いのですが、たまにはそういうことが起こってしまうのです。そこで、従来の安全とは明らかに異なった内容が必要と思われるが、その本質は何かということを考えてみたい訳です。

先ほど1回もう見ていただいているのですが、あえて繰り返すと、JR 東日本の場合には、起こり得る脅威についての予見がありました。そして、ルールに盲従せず、柔軟に対

処する能力がありました。この赤で書いた所が大事なキーワードなのです。東北地方整備局でも、色々な深刻さの予見、緊急な対処、柔軟な対処、そしてまた別な予見というようなことが行われています。また、当然ながら、人員や機材、まとめてリソースと言いますが、リソースなどの配備にもすごい気を配っているのです。石巻日赤病院でも同じです(図 13)。

こういうふうにと考えると、私たちは安全を大事だと思っているはずですが、みなさんも思っているし、私も思っています。ただ、その安全とはどういうものか、問い直してみることが必要ではないでしょうか。このような災害時、ある意味では、もう既に安全は損なわれている訳ではないですか。大きな津波が来て2万人の方が亡くなり、たくさんの方が家を追われている。その上、そのまま避難した先でも環境が悪くて、どんどん病状が悪化し

2. 「安全」と「望ましい特性」 例3 石巻日赤病院

- 情報経路が機能せず。300力所を超える避難所の状態不明⇒情報の能動的収集に行く決断
- 手分けして避難所状態確認・評価(=「避難所のトリアージ」を実施)。来院患者の状況予見に活用
- 状態が悪い避難所には、日赤本社を通じて簡易水道(大型ビニールの容器)の設置などで対処
 - ◆ 燃料, 食料, 簡易トイレ等のリソースも能動的に獲得
 - ◆ 一部避難所については遭難や被災の怖れを予見的に懸念。医師の配備を拒否(医師一人が500人救える。遭難したらどうなる)
- 4月11日には通常の外来診療に復帰

12

図 12

事例から読み取れる「望ましい特性」

□ JR東日本仙石線の事例

- ◆ 起こりうる脅威についての的確な**予見**
- ◆ ルールを盲信せず柔軟に**対処**する能力

□ 東北地方整備局の事例

- ◆ 事態の深刻さを**予見**した防災課長は緊急**対処**を提案
- ◆ 航空会社は柔軟な**対処**で緊急離陸を可能に
- ◆ 整備局長は巨大広域災害を**予見**；「復旧」から「啓開」への**対処**変更
- ◆ 現場の職員、民間業者は余震の襲来、津波の再襲来、家族の安否を懸念しながら**人員・機材(リソース)**確保、啓開要請**対処**

□ 石巻日赤病院の事例

- ◆ 情報の**能動的**収集に行く決断＝欠落情報の**能動的**獲得
- ◆ 来院患者の状況**予見**
- ◆ 燃料、食料、簡易トイレ等の**リソース**も**能動的**に獲得
- ◆ 困難にも関わらず、32日目には通常活動に**復帰**

13

図 13

ている方々もいる。“こういう時でも、なお、何かを追求しなければいけない。それがレジリエンスだ！”とご理解いただければと思います。

レジリエンスエンジニアリングへの助走

このような認識が次第に共有され始めました。人間を中心にしてずっと安全問題に取り組んできた、Erik Hollnagel, David Woods, James Reason など、いわゆるヒューマンファクター分野の大先生の方々が、ある時期から等しくレジリエンスに注目し始めています。原子力に加えて、航空、宇宙、海洋、海運、医療、化学、金融、軍事などの広い範囲の安全研究に従事したエキスパートたちが、安全研究の再検討に着手した訳です（図 14）。

基本のスタンスとしては、「やはり従来の失敗に着目した安全だと、限界があるよね？」という言い方になってきています。それからあとは、人間機械系という広い意味でシステム安全を考える事、人間を必ず考える事、そして人間の認知特性や、心理学、組織心理学などの面からも考察を高度化する事です。

そして、繰り返しですが、失敗事例に従来の安全はあまりにも着目してきました。ヒューマンエラーに着目してきました。それは間違いではありません。それは必要なことです。だから、是非誤解を無くしていただきたいのです。私は「失敗事例に着目するのがいけない。」などと言っているのではありません。ただ、「失敗事例だけに着目すると、バランスが悪くなるのではないか？」という懸念を申し上げているのです。

こういう認識が共有化されて、レジリエン

安全工学者(人間に注目する専門家たち)

- Erik Hollnagel, David Woods, James Reason, ら
- 原子力だけでなく、航空、宇宙、海洋・海運、医療、化学、金融、軍事など広い範囲の安全研究に従事したエキスパートたちが「安全研究」の再検討に着手
- 基本スタンス：
 - ◆ 従来の「失敗着目型」安全の限界を確認
 - ◆ 【人間・機械】系としての「システム安全」を重視
 - ◆ 人間の認知特性や心理学、組織心理学などの面からも考察を高度化
 - ◆ 失敗事例だけでなく、成功事例にも着目した考察
- ⇒レジリエンスエンジニアリングへの助走開始
 - ◆ 2,000年代に入って進展. 2,004年に最初の国際会議

14

図 14

スエンジニアリングに向けた助走が開始されたとは思っております。2000 年代に入って進展が始まって、2004 年ごろに最初の国際会議が行われ、その成果をまとめた資料が、私がさっきご紹介した翻訳本の原著になる訳です。

Safety- I と Safety- II

この段階で一度要約します。いわゆる従来の安全ではない、先ほど色々例をお示した望ましい特性に着目しようとすると、どうしても安全の再定義が必要になると思われる訳です。それで、ヒューマンファクターの分野では世界のパイオニアの 1 人である Erik Hollnagel という研究者は、次の概念を提唱しました (図 15)。

従来の安全、ある程度世間的に了解されて

いる安全の概念があるので、それを Safety-I と名付けましょう。その Safety-I では、どちらかという、安全というものは固定的で、望ましい状態を維持する；まずい状態が生じたら、早くそれは無くす；壊れている、あるいは異常を起こしかけているものがあつたら、それは除去する；こういう考え方で実現される安全を Safety-I と名付けた訳です。

例えば、巨大なシステムの代表例である原子力発電所であれば、考えてみると、各施設や装置の構造や機能は確定していますし、その特性も規定されています。だからそこで期待される人間の行動も、きちんと事前に記述できるはずで、つまりはマニュアル化できるはずということになります。「機械がスペック通りに動作をしない、人間がマニュアルに言われた通りのアクションをしないから事故は起こるので、そこを直せばいい」という考

3. 新しい「安全」Safety- I とSafety- II

- 「望ましい特性」の探求は、安全の再定義を要請
。E.Hollnagelは下記の概念を提唱
- Safety- I = (固定的: 望ましい状態を維持)
 - ◆ 望ましい状態を固定的に定義
 - 原子力発電所の各装置、施設構造やその特性は確定
 - 期待される人間の行動も事前明示(マニュアル主義)
 - この視点では「うまくいかなかったこと」の原因究明が基本
- Safety- II = ダイナミックな危機回避/外乱対応
 - ◆ システム(及びその環境)は不変ではなく変化を続けている。変化こそが本来の姿
 - ◆ その変化に対応しつつ、システム動作を継続させることが、前掲の「望ましい」特性=新しい「安全」: マニュアル主義を超える
 - ◆ この視点では「うまくいったこと」の探究が必然

15

図 15

え方を以下では Safety- I と言いましょう。

そうすると、では、Safety- II というのは何か？ これはダイナミックな危機回避、外乱対応です。先ほどの、JR 東日本や石巻日赤病院、そういう対応を含む安全です。そういう安全も考慮に入れるべきではないかというように、考え方が広がってきた訳です。

そこには、システムおよびその環境は不変ではなくて変化を続けている、つまり変化こそが本来の姿だという考え方があります。そしてその変化に対応しつつ、実は、システムの動作を維持させること、継続させることが望ましい特性であると考えerのです。

その Safety- II の具体的なイメージをこの図に示します(図 16)。今、システムの一般的なパフォーマンス指標、生産工場だったら、定格で生産をしている状態がこの高さ一定の直線部分に対応しています。発電所なら、や

はり定格の発電をしている状態がこの直線部分に相当します。この状態で大きな外乱が来て、パフォーマンスが階段状に低下しています。つまり動作が大きく劣化しました。レジリエンスというのは、故障に対する抵抗力と回復力と両方含めた概念と考えてください。

そうしますと、レジリエンスに欠けるシステムでは、この図の曲線部のようにいよいよパフォーマンスは低下していく。レジリエンスが劣るシステムでは、なんとかパフォーマンスを回復しようとするが、元々の高いレベルに戻らなくなってしまう。レジリエンスが高いシステムでは、パフォーマンスを戻すのも早いし、より高いレベル・元のレベルまで戻せる。「これがレジリエンスの違いである」とイメージ化しているのがこの図です。

話がちょっと複雑なのは、最初はこういう外乱が入って回復する能力だけがレジリエ

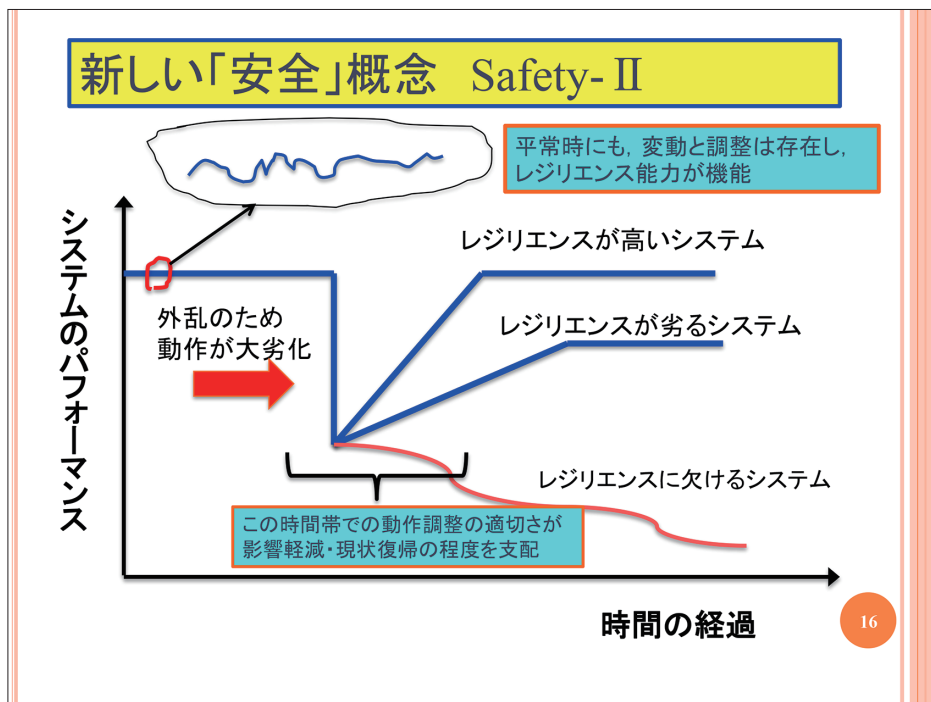


図 16

スで、そういうのを実現するのが Safety-II だというふうに理解されていきました。でも、そこに留まらないのです。この定常部分の拡大図を見てください。

システムにはいつだって外乱があります。完全に一定状態など無いのです。必ず色々な外乱があり、変動があります。そのため、実はパフォーマンスが一定に見える図 16 において、赤い曲線で囲った部分でさえ変動しています。「その変動に対して、色々な調整を行って、それで、一見すると平穏無事な動作を実現しているのがレジリエントなシステムです。」というふうに、見直しが行われたのです。

そして、こういう所に対してきちんと適応できるシステムは、そういう能力を発揮すれば、こういう大きな外乱に対しても早く回復できます。だから、レジリエンスはここにも

あるし、ここにもあるのだという形で、Safety-II とそれが実現するレジリエンスという概念が次第に固まってきた訳です。

異常時着目から正常時着目へ

ここで我々が対象とするシステムを、業界用語ですけれども、“社会技術システム、ソシオテクニカルシステム”と呼ぶことにします。今まで例として示した JR 東日本、東北地方整備局、石巻日赤病院、さらには列車や航空機、原子力発電所など、みんな社会技術システムです。わざわざ社会技術システムと名付けている理由は、その組織としての社会的な在り方と技術の在り方が密接に関連しているからで、片方だけ考えても安全は向上しないので、社会技術システムという言い方をするので。

さて現在、事故の発生率は、ある段階まで顕著に低下しています。たとえば、航空の分野で言えば、世界で離着陸 100 万回あたりの全損事故件数は 1 件よりもずっと少ない値です (図 17)。

ここで見方を変えてみます。事故とは別に、非常に多数回起こっている、正常なミッション遂行があるはずで、例えば航空の例では、事故ではなくインシデントでも 1 万回に 1 回も生じてはいません。この状況をこの円グラフに描くと、事故やインシデントに対応する事象の発生割合は、本当に線 1 本になってしまう訳です。よろしいでしょうか (図 18)。

石油化学工場や金属関係の工場等でも、事故やインシデントの発生割合は、ほぼこのようなレベルに達していると思います。人が死ぬような事故が操作 1 万回に 1 回未満とするならば、事故の生起割合はこの線 1 本で表現

されてしまいます。そして今、世の中で行われているのは、その事故なり失敗事例、不適合、重大な不適合があれば、この線の部分に含まれる現象群や行為群が詳細に吟味されて、対策が講じられる訳です。

でも、この大きな部分についてはどう考えることが合理的なのでしょう。1 万回に 9,999 回の良好事例に相当する部分です。この部分については、「うまく行っているのだから、特に気にしなくても良い」とお考えになっているかも知れませんが、「本当にそれで良いのでしょうか？」というのがここでの重大な問題意識なのです。

調整の重要性

具体例として、航空の例でお話をさせていただきますと、平常時のミッション遂行は無

新しい「安全」概念 Safety- II

□ 平常時変動とそれへの対応調整の意義

- ◆ 様々な安全向上努力の結果、社会技術システムの安全性はそれなりに向上
- ◆ 事故の発生率は顕著に低下 (交通, 建築, 医療...)
- ◆ 「失敗に着目する安全対策」: 一定の成果
- ◆ その結果, 航空機分野では, 世界で離着陸 100 万回あたりの全損事故件数は 1 件に満たない
- ◆ 問題の設定によっては, 事故件数は評価できるが, 事故発生率 (頻度) の評価は困難 (例: 赤信号無視)
- ◆ いずれにしても, 異常・故障一回に対して多数の「正常」なミッション遂行がなされている
- ◆ この「正常」なミッション遂行には目を向けなくていいか ?¹⁷

図 17

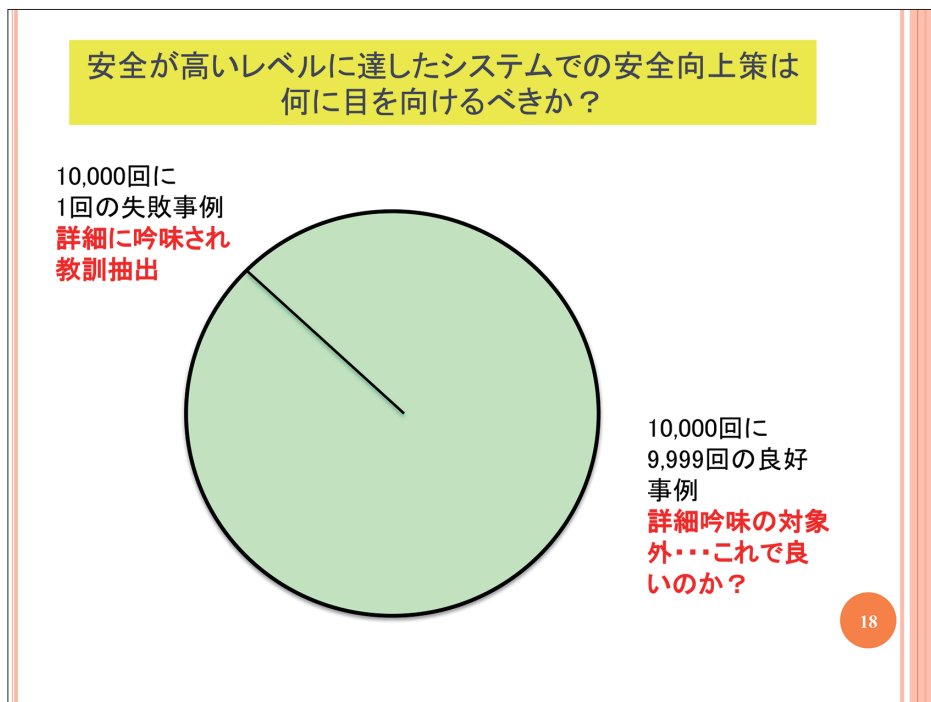


図 18

事に見えても、様々な外乱や変動に適切に調整対処することで実現されていることは間違いありません。例えば、地上滑走から離陸、上昇、水平飛行、そして降下、着陸、滑走、駐機まで、各段階でコックピットのクルーと航空管制官の間できわめて多くの会話や調整が為されています（図 19）。

それらの調整行為全てを、事前に手順書化することなどできるはずはありません。「この飛行機ならばどのくらいの時間滑走して飛ぶはずだ」と言っても、その同じ飛行機が国内線向きなのか、国際線向きなのかで、積んでいる燃料の量も違う、重量も全く違います。そうすると、水平飛行の指定高度まで上がって行く時間も違うというようなことも起こります。それらすべての状況に注意しながら、調整、アジャストメントが行われています。

この調整行為は、程度の差こそあれ、どん

な産業でもなされているというのが、この Safety-II とレジリエンスエンジニアリングを考えている人たちの、基本的な着眼です。人間がマニュアル通り、言われた通り、指示書通りやっているだけで動いているなんてシステムがあるのでしょうか。やはり、調整行為は活用されているはずで、その調整が非常に大きい意味を持っているのです。

この分野では、想定されている業務、Work-As-Imagined（略して WAI）、それから実際に実行されている業務 Work-As-Done（略して WAD）は同じではないという見方がとられています。だから、先ほどの図 16 でいうと、この水平な直線部分でも調整は入っているのです。また階段状の動作劣化が起きている最中やその後でも、やるべきことは基本的には調整だと考えるのです。そして、Work-As-Done、すなわち実際になされて

新しい「安全」概念Safety- II

- 平常時変動とそれへの対応調整の意義
- 平常時のミッション遂行は(無事に見えても)様々な外乱や変動に適切に調整対処することで実現されている
 - ◆ 航空機運航の例;地上滑走から離陸, 上昇, 水平飛行, 降下, 着陸, 滑走, 駐機まで, 各段階でクルーと航空管制官の間で様々な調整がなされている。
- 産業分野によって差異はあるが, 調整は必須
- 「想定されている」業務(Work-As-Imagined: WAI)と「実行されている」業務(Work-As-Done: WAD)は同じではない! 後者には調整が常に存在

19

図 19

いることが大事なのだというのが, Safety-II の考え方です。

安全に関与する人々の範囲

ここでもう1つ, なぜ Safety-I の他に Safety-II を目指すのでしょうか。「大外乱に対しての抵抗力と, それから平常の調整と, 回復力と, みんな大事です。」という話をしましたが, もう1つ大きな要因があります。これは, 私は非常に大事だと思っているのですが, Safety-I だけを重視すると, 安全向上というとても大事な目標が, 最前線の要員だけに集約されて来る傾向があるのです。

要するに, 事故が起こるのは現場ですから, たとえば航空機の事故が起これば, やはり一番責められやすいのはパイロットと航空管制官です。実際には飛行場の全体構造に難があ

るとか, 飛行場の無線の鉄塔の設置場所が悪いなどということがありえるはずですが, そこに目を向けた対処をしようとする, 大きな経費が掛かるでしょう。一方で, パイロットや管制官に対して「コミュニケーションをしっかりとくれ!」と要請するほうは, コスト的には負担が小さいでしょう。この事情を要約すれば, Safety-I の見方に立つと最前線, 英語で Sharp end の運転員やオペレーター, 仕事をしている人に集約がされてしまいがちということになるのです(図 20)。

そこで, このような視点から, James Reason, ヒューマンファクターやヒューマンエラー等に対して, 非常に大きな貢献をした Reason 先生は, 「そもそも, 社会あるいは組織にはバイアスがあって, 最前線の運転員に責任を集約したほうが一番いいという, 最小努力の原理, それから管理的利便性の原則, これが

Safety- II を目指す事の意義

- Safety- I だけを重視すると、安全向上という目標が最前線(sharp end)の運転員に集約されがち
 - ◆ James Reason (Reason, 2008)は、このバイアスを、最小努力の原則 (the principle of least effort) および管理的利便性の原則 (the principle of administrative convenience)と命名
- Safety- II は、その定義から、システムが変化する状況下でも動作継続できることを要請
 - ◆ 組織としての安全追求体制を整備すべきことを要請
- 安全の定義としてはこの方が現実性、実用性が高い: 倫理的にも妥当性を有する

20

図 20

働いているから注意すべきだ。」と指摘しておられるのです。つまり、管制官が「申し訳ない、私がおっと気を付けます。」と言ってくれたら、組織には好都合になるのです。そうではなく、たとえば「飛行場の基本的な設計が悪いし、無線通信方式が悪い。無線が混信しやすい状態になっていて、2つの飛行機から呼び掛けると、無線がノイズになり交信が困難になる。この問題に対処してくれなくては困る。」などと言うと、それは膨大な経費の投入を必要とします。だから組織としてはその方向を歓迎しません。こういうバイアスがあるのだということを、Reason 先生は強調されているのです。

一方で、Safety-II まで考えると、人間がやっている調整があるのが当たり前で、正常な時の微小調整も、大外乱が来た時の大調整も含めて、しっかりやって欲しいです。この

立場に立てば、これはどうしたって、組織として安全追求体制を整備すべきことになるでしょう。安全の定義としては、このほうがリアリティがあるし、私は倫理的にもそのほうがありべき姿なのではないかなと思います。つまり、Safety-II を目指すということは、安全を単に現場だけの問題に限定しないという、非常に重要な意味があると思うのです。この事情を模式的に示すと、図 21 のようになります。

もう1つ、人間という存在をどう見るかということもあると思います。Safety-I の意味での安全を目指す、基本的には悪い所を取り除くか改善するという答えになります。「ヒューマンエラーをしたら、その人間をもっと教育訓練をやって直す」、こうなってしまいう訳です。

しかしそういう見方は、Safety-I 的な見

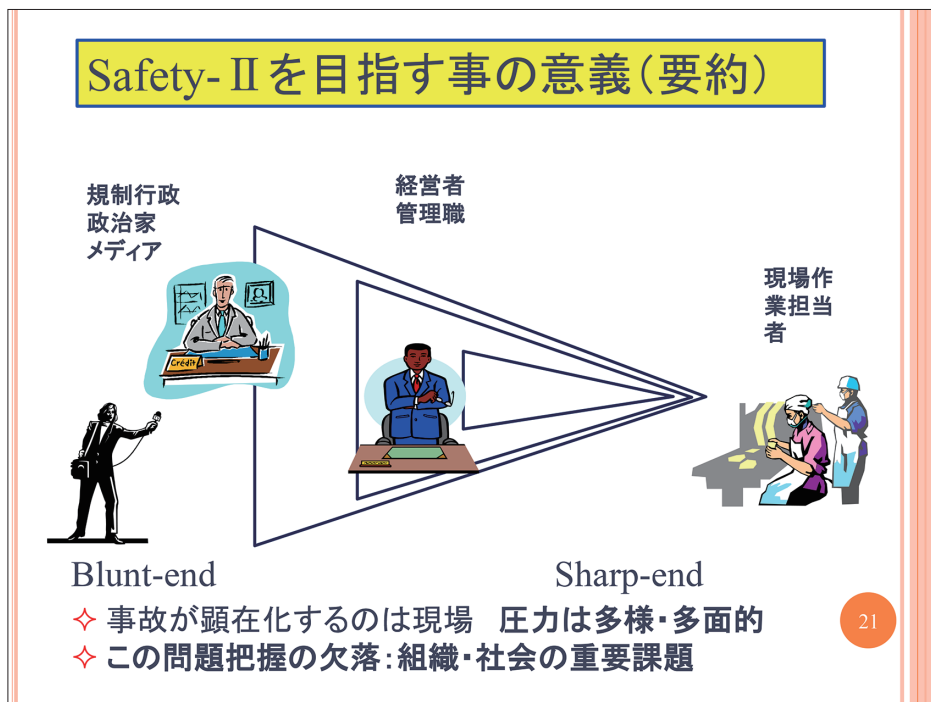


図 21

方です。人はエラーを犯す要素とされます。そして、実際、原子力やいろいろな分野で、産業安全に使われている Fault tree-Event Tree 方法論などでも、人間はエラーを扱う要素として、ヒューマンエラー確率で表現されている訳です（図 22）。

それは、そういう面が無いとは言いません。そういう面は確かにあります。しかし私自身、Safety-Ⅱの意味での安全を目指す活動においては、人間は能動的にシステムの動作継続を図る有能な行為者としても扱われることになるので、このほうがより人間的かなと思っています。

すなわち、事故調査に関しても、Safety-Ⅰでは、動作に失敗した機器や人間が関心の対象となりますが、Safety-Ⅱでは、人間、組織の全体的な貢献、寄与の内容にも関心が向かうのです。

さきほどの図 21 に戻ってみれば、事故が起きるのは当然ながら現場です。だから、どうしたってここが責められやすいのですが、ここには色々な、この三角形の先端で表現された圧力が及んでいて、だからこちらを Sharp-end と名付けた訳です。反対側を Blunt end と言います。Sharp-end とは鋭角という意味ですね。三角形の鋭角にとがっている部分、対して Blunt は鈍いほうです。それで、事故が顕在化するのは現場ですが、圧力は経営者や管理職からの圧力、規制行政や政治家や、メディアからの圧力なども、みんな現場に来るのです。

このように認識すれば、ある事故の対策として、右の方だけを見てもダメで、左の方も見なくてはダメというのは、きわめて自然に思われるのです。

Safety- II を目指す事の意義

- Safety- I の意味での安全を目指す活動においては、故障や異常を起こす機械的要素の同定と保守・保全が中心：人間はヒューマンエラーを起こす要素として扱われがち
- Safety- II の意味での安全を目指す活動においては、人間は能動的にシステムの動作継続を図る有能な行為者として扱われることになる
- 事故調査に際しては、Safety- I では動作に失敗した機器や人間が関心の対象となるが、Safety- II では人間・組織の貢献内容にも関心が向かう点が特徴

22

図 22

レジリエンスエンジニアリングの視点

さて、では、もう少し具体的にレジリエンスエンジニアリングでは何をどうすべきかを考えましょう。今まで背景の話をしましたが、では具体的にどうするかという話をしないと不親切になると思います。

繰り返しますが、レジリエンスエンジニアリングというレジリエンスは、弾力性、復元性、強靱さなどを総合した概念です。そしてここでは、完全な形を固定的に考えず、常に生じる外乱、大規模、中規模、小規模な外乱に適切に対応する能力、この重要性を強調した概念です。そして、その結果として実現される姿が、Safety- II だというふうに考えます（図 23）。

レジリエンスエンジニアリングの立場で言うと、社会技術システムは以下のような特性を持つ捉え方をいたします。もうこれは繰り返し申し上げているように、「そのシステムも、それを囲む環境も変化を続けている。変化していて当たり前だ」と捉えます（図 24）。

航空機の場合だったらわかりますよね。飛んでいる途中、一見同じ高度を水平飛行しているように見えていても、気象も変わるし、気圧も変わるし、風が変われば対地速度も変わりますし、色々なことが起こります。それから当然ながら、自分の進みたい経路の近くを横切ろうとする飛行機もありえます。空港が近くなってくると、一列に並んで下りて行かなくてはいけない場合もありますが、それを乱すような動きをする他機もいるということで、一見無事に定時運航していても、調整行為がとても多数必要であるという事情は、

4. 新しい安全の実現法 ～レジリエンスエンジニアリング

- 社会・技術システムの高い安全性を実現するには、これまでの事故原因分析＋原因除去(find and fix)方式では不十分であり、新しい手法が必要
- その手法の有力な候補として、近年、欧米の組織安全研究者の間で注目を集めているレジリエンスエンジニアリングという方法論
 - ◆ レジリエンス＝弾力性、復元力、強靱などを総合した概念。完全な形(望ましい安全性)を固定的に考えず、常に生じる外乱に適切に対応する能力の重要性を強調した概念
- システム能力を表す概念として、Safety-II との整合性が良好

23

図 23

4. 新しい安全の実現法 ～レジリエンスエンジニアリング

- 社会・技術システムは以下のような特性を持つという捉えかたをする
 - a. 対象システムもそのシステムを囲む環境も変化を続けている。変化していることが常態
 - b. そのため対象システムの状態に関して完全な情報を獲得することはできない。限定された合理性(Bounded Rationality by Herbert Simon) の範囲での意思決定、あるいは効率性と完全性のトレードオフ(Efficiency Thoroughness Trade Off: ETTT)³⁾ の下での判断で対応するのが常態

24

図 24

おわかりいただけると思います。

そして状態が常に変化しているということを、別な言い方をすると、私たちはそのシステムの状態に関して、完全な情報を獲得することはできないということになります。これを、限定された合理性 Bounded Rationality と、ノーベル経済学賞を受賞した、そして人工知能でも有名な Herbert Simon 先生が言っておられます。「実際の世の中では、限定された合理性の下で、意思決定は行われざるを得ないのだ。」と。また、先出の Erik Holnagel 先生は、「人間はいつも効率性と完全性のトレードオフの下で判断せざるを得ない。」ということを行っています。

さらに、レジリエンスエンジニアリングでは、システムにとって重要な課題は、変化する条件下でも動作を継続することであると考えます（図 25）。

色々な分野で、原子力の分野も、航空の分野でも、安全最優先という標語を聞きますが、これはちょっと注意して使う必要があります。お客さんに対しては、安心して欲しいから、「安全最優先」と言っても良いです。でも、本当に現場で技術者や管理職の方々、例えば、所長さんや技術部長さんがやっているのは、安全最優先ではなくて、動作の継続最優先なはずです。

これを言うとき「お前は安全最優先を軽視するのか」と、怒る人もおられます。しかし実際に安全が損なわれたら、動作の継続はできないではないですか。ですから、安全最優先というよりも、動作の継続最優先が良いのです。ひねくれた言い方をすれば、文字通りの意味で安全最優先と言うのであれば、原子炉はやはり止めれば良いし、飛行機は飛ばなければ良いし、列車は走らなければ良いことに

4. 新しい安全の実現法

～レジリエンスエンジニアリング

- c. システムにとって重要な課題は、変化する条件下でも動作を継続すること（レジリエント動作）。目指すべきことは、動作の継続であり安全最優先が目的ではない。ただし安全は動作継続のための重要な要件である
- d. 危機的状態(crisis)を含めて動作を継続するためには、危機的状態の生起以前の段階、進行中、そして危機が過ぎた後(prior to, during, after)におけるシステムの働き(functioning)を適切に調整(adjustment)できねばならない

25

図 25

なります。しかし、そんな論じ方はあり得ないでしょう。きちんとビジネスとしては成立して、一定の利益を上げて、なおかつ安全を守ること、それによって動作またはオペレーションが継続する、それが大事なのだというふうに思います。

レジリエンスを発揮できるための能力

では、そういうことをできるシステム、そういうレジリエントなシステムはどういう能力を持っていないといけないのでしょうか。レジリエンスエンジニアリングの世界では、「以下申し上げる4つの能力を持ってください。」と言っています(図26)。

1つ目は、今起こっていることに直ちに何をするべきか、対処できること。2つ目は、

対処しつつ、事態の進行を何に注意を払ってきちんと監視しているべきか、それができること。さらに3つ目は、監視と違い、もう少し先をどうやって予見できるか、先を予見できること。そして4つ目は、色々な過去の成功と失敗から学習できること。「対処できる、監視できる、予見できる、学習できる、これがレジリエントシステムの必要な要件です。」ということが、レジリエンスエンジニアリングの教えていることの一番の根幹です。図式的に描けば、この4つの能力があれば、レジリエントシステムは実現できることになります(図27)。

要点だけを言えば、これだけのことです。ただ、このような4能力があればレジリエントになるのか、本当にこれらだけが必要十分条件なのかと疑問を感じるかも知れません。この点については、こんな例が示されていま

4. 新しい安全の実現法 ～レジリエンスエンジニアリング

- システムをレジリエントにする方策(Hollnagel and Woods)
- システムは次の能力を備えていること
- 能力1: **対処**できる(Responding): 今直ちに何をすべきか知っている
- 能力2: **監視**できる(Monitoring): 事態の進行を何に注意を払って監視すべきか知っている
- 能力3: **予見**できる(Anticipating): さらにこの先どのような脅威と好機が出現しうるかを知っている
- 能力4: **学習**できる(Learning): 過去の成功と失敗双方からどんな教訓を引き出すのか知っている
- REにおける主要4機能(または4能力)

26

図 26

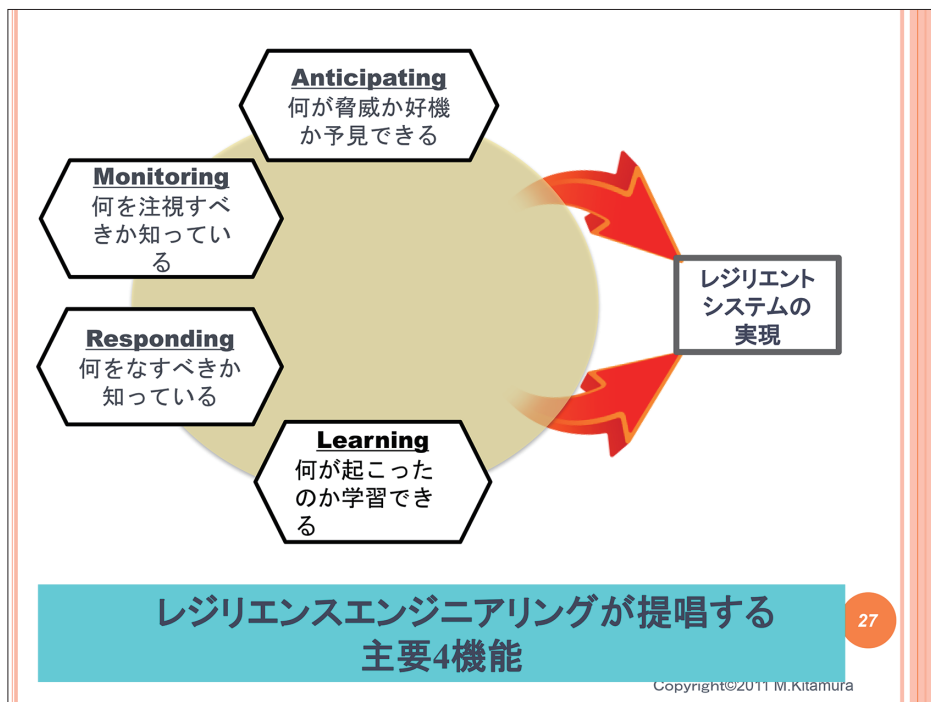


図 27

す。

激流の中を船が今一所懸命下っているとします（図 28）。

安全に航行するために、どんな能力が必要でしょうか。やはりまず、現在の場所、流れの状態、直面する危険などを認知し、対処できる Responding 能力が、まずは絶対必要なのではないのでしょうか。今起こってきている直前の危険に対応しながら、自分の船をひっくり返したらいけないし、オールを離してもいけない、そういう処理をきちんとやっていないといけないでしょう。

でも、時々刻々きちんとやるだけではなく、さらに、未来について起き得る状況を推測し備える、これも必要です。例えば、しばらく先に行くと、そこに岩が見えるとか、逆に浅瀬が見えるとか、淀みがあるとかとなったら、そういうのを監視しながら、Monitoring

しながら対応するのです。そういう監視行為をしながら、でも一所懸命オールは動かし、自分の姿勢を調整し、沈没しないようにがんばるのです。衝突しないようにがんばるのです。

さらに Anticipating というのは、もっと長期の予見です。今こんな流れの状態だけど、この先もっとひどい流れになるのか、あるいは、この後流れは緩くなると。色々な予測をしながら、実際の運転行為は行われているはずです。

そして、そういう能力や知識というのは、過去の教訓を記憶し利用している、Learning が行われているはずと考え、これはある意味では、制御システムみたいな所もあります。観測し、先読みしながら制御していると読むと、制御系がきちんと動作を維持する、そのための条件というふうにも読めるのです。

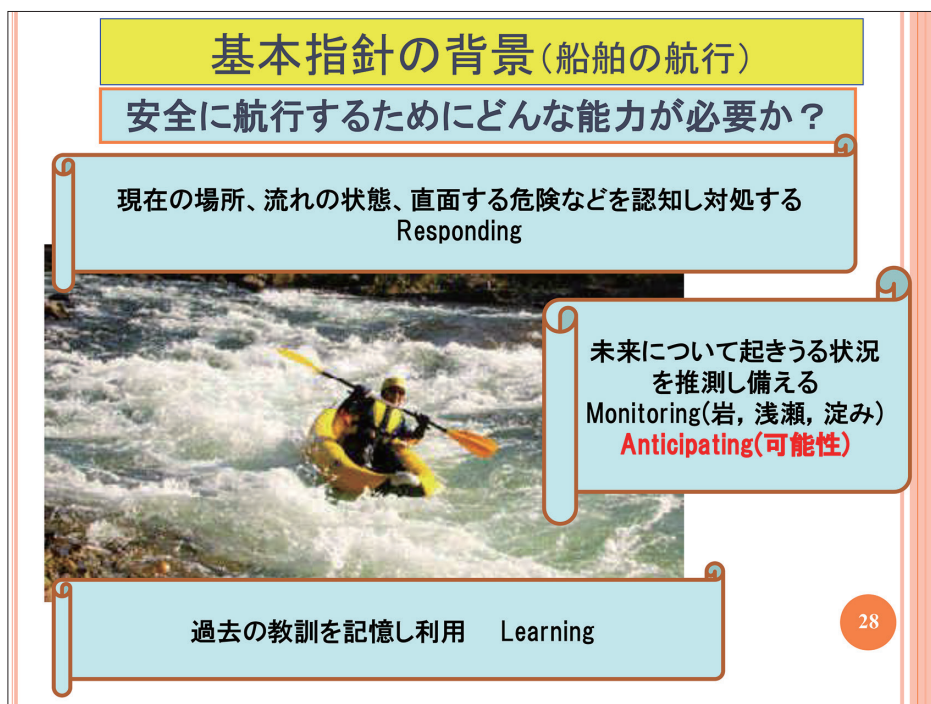


図 28

単なるフィードバック制御ではなくて、先読み制御まで含んだ制御システムであると読むと、「では、レジリエンスエンジニアリングは制御がずっと維持できる条件なのか?」という読み直しもできるのです。

これを1回だけやるのではなくて、時々刻々繰り返し、繰り返し行うことで、安全はそれなりに保たれて行くはずです。こういうことができていれば、仮にこのボートが1回転覆しても、がんばってこの先30秒息を止めていれば淀みが来るから、そこで落ち着いて立ち上がろうとか、色々な事を考えることもできるはずです。故に、この4つの能力がカギであるという提案は、的外れなことを言っている訳ではないことがわかりいただけるでしょう。

もうひとつの例を見ていただきましょう(図 29)。このスライドは電力供給の中央給

電指令所や機関系統給電所の例ですが、やはりここでも、現在の需給とか、系統の状態とか、直面する危険などを認知して対応する Responding と、それから未来について起き得る状況を推測し、備える Monitoring, Anticipating ですね。それから Learning というのが、これがやはり、時々刻々繰り返し、なされていることは容易に理解いただけると思います。これらの例を参照しても、前述の4能力の発揮を通じて、システムのレジリエンスは維持できることがご理解いただけると思います。

補完的要件

この4つの能力がカギですので、ここだけでもまずご理解いただけると、大きな骨子は押さえていただけたことになると思います。



図 29

ただ、この4つの能力がきちんと機能するためには、もう少し、その4つの能力を補足するための要件も明記したほうが良いでしょう。それがこの図です(図30)。色々な論文や研究報告から、私が整理して4つにまとめているのです。

前述した「対処する」ことについても、変化への気付き能力はどうしても必要です。監視する際も、対処する際も、気付き能力は必要です。制御だとするならば、ある制御を働かせる、そのきっかけが必要です。また、制御と別に防災の様な状況を考えたら、当たり前ですが、リソース即ち、装置、機材、物資、人員などの蓄え、配備が無ければどうにもなりません。

東京電力の福島第一原子力発電所で、最後まで残って故吉田所長と共に作業した方が、私の今の研究仲間なのです。彼は、「1日あ

たりの飲用水がペットボトル1本未満だった。」と言っています。それから、食べ物はカンパンあるいはカップ麺、これも1日1個程度。そんな状態に人間を放置して働いてもらうことなど、あってはならないでしょう。だから、ロジスティックスという意味でのリソース確保もとても重要です。

また対応をどうせするのなら、受動的に、事が起こってから対応するのではなくて、プロアクティブに対応することが重要です。それから、前にも述べたように、失敗事例だけではなくて良好事例も対象とした学習をしていただくことが必要です。

以上を要するに、4つの能力と4つの補完的要件があります。これが、レジリエンスエンジニアリングの勘所です。4能力プラス4要件です。こう言うと、「そんな4つと4つで8つも覚えるのは面倒だ。」という人がた

4. 新しい安全の実現法 ～レジリエンスエンジニアリング

- システムをレジリエントにする補完的要件(4能力が実効性をもつために)(北村)
- 要件1: 変化への「**気づき**」(noticing)能力
- 要件2: **リソース**(装置, 機材, 物資, 人員など)の確保
適正配備, そして柔軟な運用,
- 要件3: 受動的+**能動的(プロアクティブ)**対応の重視
- 要件4: 失敗事例だけでなく**良好事例**も対象とした学習を
- 一言で集約すれば, 警戒を怠らない心構え
(constant sense of unease)を持つこと

30

Copyright©2011 M.Kitamura

図 30

まにいますが、その時には、「では、これだけ覚えてください。」と私は申し上げます。一言で要約すれば、警戒を怠らない心構え、英語で constant sense of unease と表現されています。“もう大丈夫、ウチの機械はこれで安定に動く、ウチの工場はもう大丈夫。”などと思った時に、もう、危険は迫っているのです。だから、そんなふうには思わないでください。

ですから、一言で言えばこのようになります。しかし、それではちょっと簡略化のし過ぎです。やはり 4 能力プラス 4 要件が重要だということにご理解ください。これが、レジリエンスエンジニアリングの枠組みです。模式的には図 31 のように表現されます。

実装のための具体策

ここまでは、基本的な考え方です。「だから、みなさんそれぞれの組織に帰って、もしレジリエンスが大事だと思うなら、4 能力と 4 つの補完的要件をちゃんと強化してくださいね。」という、「それはわかったけれど、強化するためには、なんらかの測定か評価できないとダメだろう。」という声を聞くことがしばしばあります。それをやる方策が実装です。

レジリエンスエンジニアリングが主張する能力を評価することが必要です。そのためには、基本 4 能力、それからその能力が効果的に機能するための補完的な要件、これがどのようなレベルにあるかを評価すれば良いだろうというのが、実装のヒントです。よろしい

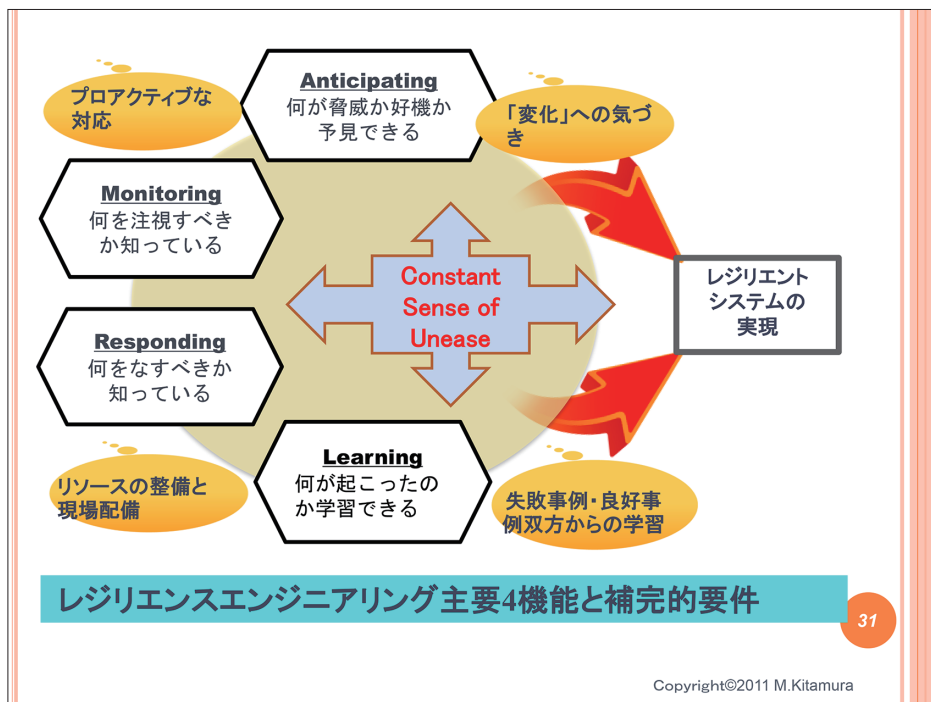


図 31

ですか。原理原則の話から、一気に実装の話まで進んでいます。どうしてもこの話はおきたいと思います（図 32）。

遅れ型指標の限界

安全問題で、対象組織の安全レベルがある程度高いレベルに到達している場合を考えましょう。レジリエンスが大事だなんていうのは、そうなった後の話です。不適合事象や事故回数の生起回数、それからヒヤリハットの報告数に代表される、期間ごとの結果、結果量ですね、一言で言うと Outcome、英語で言うと Outcome を指標にする方式は、次第に機能なくなります。この事情は、きっとご来聴の先生方はおわかりいただけると思います（図 33）。

この組織は生産工場でも良いし、あるいは、

バス会社でも航空会社でも似たような例がありました。横軸は安全への努力です、ちょっと抽象的な言い方ですが。縦軸は、今言ったように、例えば半年当たり、あるいは四半期当たりの不適合事象数とかトラブル数です。それを Outcome という訳ですね。

そうすると、今安全への、新しい安全の方針を決めて、努力を始めました。始めてすぐは、効果がすぐには出ないので、なかなか下がらないですが、ある期間が過ぎると安全への努力が機能する状態になって、努力の効果が明らかに認められる状態が来ると思います。ここで、ですからこの横、微分の様なものを見ると、安全への努力をこれだけ増やせば、これだけ Outcome、不適合事象が減るという形で見えるのですが、さらに安全が高まって曲線の傾きが平坦に近くなると、同じ努力を投入しても、縦の変化はほとんど見えなく

5. レジリエンスエンジニアリングの実装

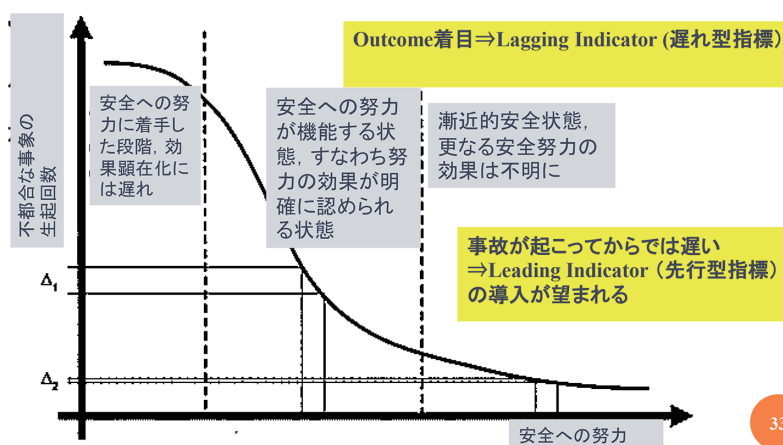
5-1 本格的実装

- システムや組織のレジリエンスを高めるためにはまず現場でのレジリエンス能力を評価することがもっとも自然なアプローチ
- レジリエンスエンジニアリングが主張する基本4能力ならびに、それらの能力が効果的に機能するための補完的4要件が、どのようなレベルにあるのかを質問紙調査やインタビューを通じて評価

32

図 32

対象組織の安全レベルがある程度高いレベルに到達している場合、不適合事象の生起回数やヒヤリハット事例の報告数に代表される、期間ごとの結果量(OUTCOME)を指標にする方式は不適:



33

図 33

なるでしょう。みなさん方がお付き合いのある組織で、かなり安全が高まっている組織だと、こういう状態になっていると思います。

そこで、一所懸命努力しているはずだけれど、前期に比べると、ちょっと異常の報告が増えたようにも見えるのです。この程度の増加は統計的変動の内だろうから、もう少し様子を見ようとする方もいるでしょう。でも統計が優位になるほど事例が溜まるまで待っていると、間に合わないかもしれません。できれば、もっと早く現状を知りたいという要請もあるでしょう。レジリエンスエンジニアリングの世界では、Outcome に着目する、結果に着目する方式は、「Lagging Indicator, 遅れ型の指標への着目である。」という言い方をします。

この方式では、事が起こってから安全の問題点がわかるわけです。不適合事象やヒヤリハット事例等が起こってからわかるので、遅れ指標です。現在の安全状態については、半年なら半年経って、初めて知ることができる訳です。

先行指標と RAG 質問紙調査

それに対して、Leading Indicator, 先行型の指標があれば、そのほうが良いでしょう。例えば、「前述したレジリエンスの 4 能力を評価してやると、その結果が先行的な指標になるだろう。」というのが、ここでの評価方式の背景です。

そこで、一番わかりやすい実装方式として、この 4 能力について、質問紙調査を行うという方式が提案されました。4 つの能力ですから、それぞれの能力について、1 つの質問ではとても対応できないので、いくつかの質問をします。この質問群を通じて 4 能力を評価する方式が、Resilience Assessment Grid

(RAG) という名前を付けて提案されています (図 34)。そして標準的な質問群が 4 能力のそれぞれについて例示されています。ただしこの質問群は、一般的なシステムに対して提示されている汎用 (generic) 質問群です。汎用というと聞こえが良いのですが、実際には、そのままではどの組織にも当てはまりません。汎用質問群を適合化 (tailoring) することが必要なのです。

適合化の方策

以下、その具体的な例、ある電力事業者のある部門を対象として適合化してみた経験を紹介します。

この 4 能力を評価するための質問群の例として、予見能力を評価する場合の汎用質問群を示します (図 35)。この図にあるように、「未来を予見する知識はどこから得ているか」とか、「将来の脅威に対する評価の頻度はどのくらいか」とか、英語を直訳すると、どうも使いにくい質問書になっています。もちろん、このままでは個別の組織には適用できないことは開発者の Hollnagel 先生も承知で、現場に合わせる適合化が必要と明記しています。

では、どう適合化を行うかが課題になります。第一段階として汎用の質問群をそのまま提示してみました。予想された通り、現場からの反応は否定的でした (図 36)。「とても回答しにくい」「質問の意味が理解できない」、それから「その質問はウチの部門に聞かれても困る」など、多様な否定的レスポンスがありました。

そこで対応策として、まずその組織のトップには強く支援を要請しました (図 37)。これは、ここにいらっしゃる先生方、みなさんご承知の通り、安全の問題は、組織のトップ

レジリエンス評価指針(実装方策)

- レジリエンスエンジニアリングが重視する4機能すなわち予見する(anticipating), 監視する(monitring), 対処する(responding), 学習する(learning)に着目した **Resilience Analysis/Assessment Grid (RAG)** という質問紙調査方式(Hollnagel提案)
 - ◆ ただし具体的な組織への応用には適合化が必要
- 以下では電力事業者の特定部門を対象としてRAG評価の適合化を試験的に実施. その際, 事業の特性を反映した適合化を導入している
- 質問回答者の負担軽減, マネジメント層の受容促進を目指した, 段階的実装法についても検討

34

図 34

予見能力評価用質問群 (GENERIC)

- Q1:未来を予見する知識はどこから得ているか?
 - ◆ 社内検討のみか, アウトソーシング含むか?
- Q2:将来の脅威に関する評価の頻度は?
 - ◆ 定期的実施か, 不定期的か?
- Q3:予見された事象の伝達と組織内共有策は?
- Q4:組織は未来についてのモデルを有しているか?
 - ◆ モデルは明示的か暗黙か?「常識」レベルか?
- Q5:予見はどの程度の時間スパンについて実施?
- Q6:リスク受容/回避の(定量的)判断基準は?
- Q7:未来の脅威の性質は何か?
 - ◆ どんな脅威があってそれがどのように進展?
- Q8:組織文化の中でのリスク認識程度は?

35

図 35

試行対象組織とレスポンス TARGET ORGANIZATIONS AND RESPONSES

- 対象：電力会社（複数）の運転部門／保全部門
- 典型的反応
 - ◆ とても回答しにくい
 - ◆ 質問の意味が理解できない
 - ◆ その質問は所属部門とは無関係に思える（だから質問されても困る）



36

図 36

効果的実装のための適合化 TAILORING FOR EFFICIENT IMPLEMENTATION

- 組織**トップ**の強い支援
- 対象組織**専門家**の協力者(!)参加
- 質問内容の徹底見直し
 - ◆ モデルベース表現の活用
 - ◆ 具体的タスク(シナリオ)との関連付け
 - ◆ 4能力の段階的評価(相対的重要度考慮)
- 「REガイドブック」や「REデータ処理パッケージ」などのように使いやすい「ツール」が提供されてはいない
- 経営層＋専門家との協働が不可欠




37

図 37

が強くコミットメントしてくれなければうまく進展しないからです。

それからもう1つ、対象組織の実務専門家で協力いただくパートナーを選定していただきました。現場を熟知する方と、小生のような学術研究者との協働（コラボレーション）がぜひ必要です。「両者が連携して一緒にやらなくてはできません。」ということを申し上げております。

その条件を整えた上で質問内容の徹底的見直しを行いました。見直し版の詳細は、パートナー企業さん固有の要素もあるので省略します。ただ、例えば前出の「未来を予見する知識はどこから得ているか」、「社内検討か、それともアウトソーシングを含むか」と記されている汎用質問に関しては、「社内検討に加え、他社情報や海外情報も利用しているか？」のように原著の意味を伝わりやすく言

い直しています（図38）。

それから、汎用質問では「組織や未来についてのモデルを有しているか？」というものがあります。こんな質問だと、たいていの組織が「モデルって言われるとちょっと困ります」とか、「考えにくいです」というレスポンスになるのですが、要するに「未来を予見し計画するための規準・指針はありますか？」と言い直してあげると、「我が社も中長期計画はあるから、Yesと回答できる」というように回答が容易になります。

結果の図式化

このようにコラボレーションしながら、今は予見の例を示しましたが、その他の3能力も含めて4能力を評価しました。予見については8つの質問がありますから、それぞれの

予見能力評価用質問群(TAILORING)

- Q1:未来を予見する知識はどこから得ているか？
 - ◆ 社内検討のみか、アウトソーシング含むか？
 - ◆ 社内検討に加え、他社情報や海外情報も利用しているか？
- Q2:将来の脅威に関する評価の頻度は？
 - ◆ 定期的実施か、不定期的か？
- Q3:予見された事象の伝達と組織内共有策は？
- Q4:組織は未来についてのモデルを有しているか？
 - ◆ モデルは明示的か暗黙か？「常識」レベルか？
 - ◆ 未来を予見し計画するための基準・指針はあるか？

38

図 38

解答を6段階評価します。すると、ある時点ではこの赤い線で示した8軸レーダーチャートが書けるし、もう少し時間が経つと改善が進んで、青い線の8軸レーダーチャートが得られます。これにより組織レジリエンスの予見能力に関する時間的な変化が、図式的に評価できるわけです（図39）。

予見に加えて、対処、監視、学習に関する質問群がありますので、いちいち全部の質問はここに出しません、それをやると、4つのレーダーチャートができます。（軸数は8～12程度）

その4つのレーダーチャートそれぞれについて、8～12軸の評価点の平均値なり中央値（または最良値、最悪値）を導いて図式化すれば、4軸のレーダーチャートができます。このように各能力ごとの評価と4能力の評価を俯瞰することで、組織のレジリエンス特性

を可視化し、吟味できます。このようなやり方が、実装のひとつの手段です。

ただし注意すべきことがあります。これは優劣の評価にはしてはいけません。私は、組織の特徴づけであると考えます。リーダーシップの分野の話題を引用すると、トップダウンで強いリーダーシップもあれば、ボトムアップでチームメンバーが協力しながらやっていくリーダーシップもあるでしょう。しかしどちらが良い／悪いという捉え方はおかしいでしょう。ただ、自分たちはそういう特性を持つ組織だということを知れば良いのです。トップダウンでも問題ないですが、たとえば権威勾配が強すぎると、下の者が進言できなくなりますので、「権威勾配は高くなり過ぎないようにしてください。」という注意喚起ができます。ボトムアップでも結構ですが、ボトムアップである以上、「コミュニケーション

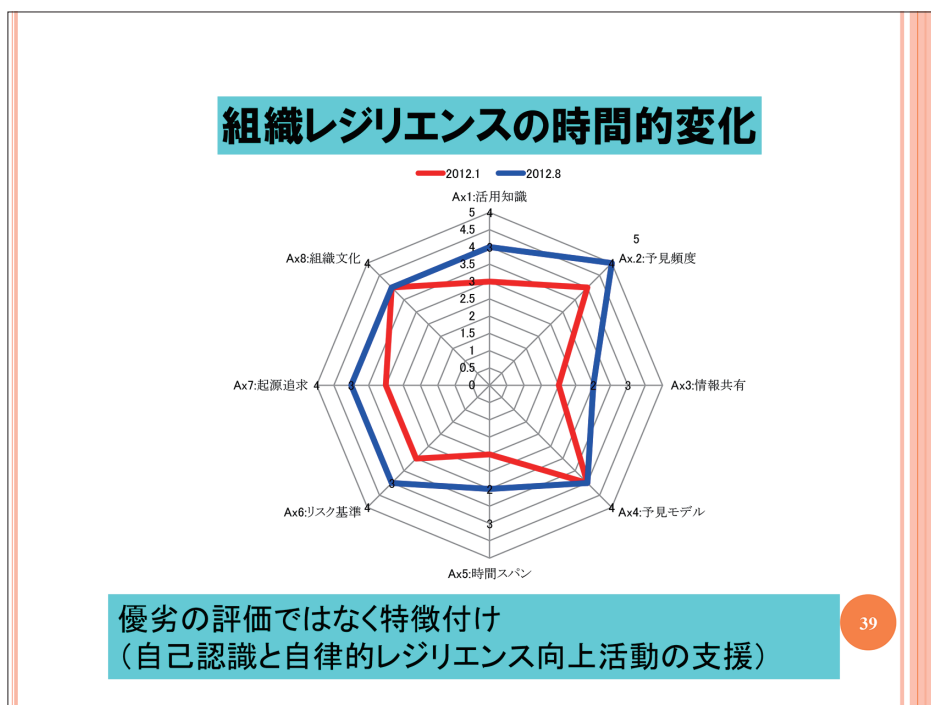


図 39

ンはとっても大事だからお互いのコミュニケーションをよくしてください。」ということも言えます。そういうことを総合的にやっていけば良いわけで、レジリエンスについても同じような特徴付けであるという見方が妥当なのです。

レジリエンスのマネジメント

さらに、もう少し別な視点から考えを進めます。レジリエンスのマネジメントということについて考えてみましょう。「レジリエンスは大事である」というのが本講演の主題ですが、組織はレジリエンスだけで動いている訳ではありません。組織が適切に機能するためには、テクニカルスキル、まあ、専門技術的な知識や能力ですね。これがとても重要であることは言うまでもありません（図 40）。

それから、ノンテクニカルスキルも重要です。状況認識、意思決定、さらにコミュニケーション、ワークロードマネジメントなどをまとめたノンテクニカルスキルという概念があります。略して NTS です。これも当然重要ですし、熱意、責任感などを含む心の姿勢（Attitude）も欠かせません。心身の健康維持やロジスティックスなども含む環境の整え方、これらも大事です。

この課題については、実は 2 年前ここで講演された、早稲田大学の小松原先生が指摘されています。小松原先生は「レジリエンスは大事だと思うけど、レジリエンスだけではダメで、こういうことが一緒に無くてはいけない。」ということを描き出されているわけです。私もそれは全面的に賛同しています。

このご主張まで含めて図示します（図 41）。レジリエンスの 4 能力、それから 4 つの補

5. レジリエンスエンジニアリングの実装

5-2 レジリエンスのマネジメント

- 4 能力が高いレベルで発揮されるためには・・・
- 補完的要件の充足が必要;さらに・・・
 - ◆ テクニカルスキル(Technical Skill: TS)
 - ◆ ノンテクニカルスキル(Non-Technical Skill: NTS)
 - ◆ 心的姿勢(Attitude)
 - ◆ 心身の健康(Mental and Physical Health)
 - ◆ 環境条件(ロジスティックス, 休養, 睡眠, ...)
- などの的確なマネジメントが必要(小松原, 吉澤)
- これらの向上を通じてレジリエンスの向上へ

40

図 40

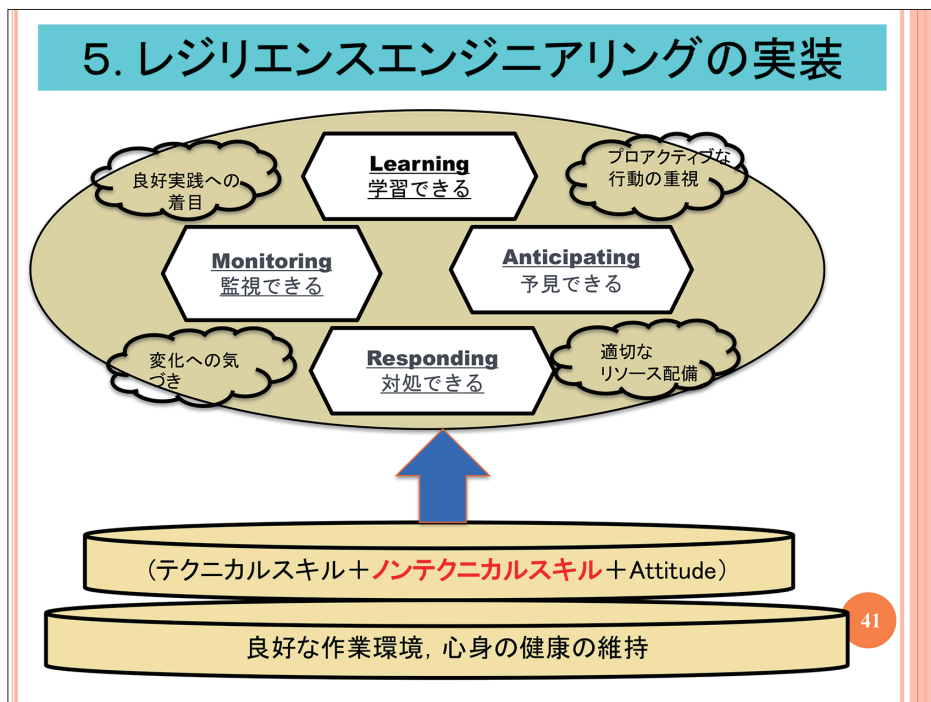


図 41

完的要件, それらを下支えするテクニカルスキル, ノンテクニカルスキル, Attitude, さらに作業環境, 心身の健康の維持, こういう影響関係があって, トータルシステムとしてはこれら全体がきちんと機能しないといけないとご理解いただけると良いと考えています。

この図で, ノンテクニカルスキルという語句をわざと赤で大きく書いてあるのは, ノンテクニカルスキルがともすると忘れられがちだからです。テクニカルスキルは大部分の分野では免許制度や資格制度があります。必要な技術についてはきちんと教え込むし, 認証もします。飛行機のパイロットさんなどは, 半年に一度きちんと試験に通らないと, 乗務できなくなります。そこまでやられる訳です。

一方, ノンテクニカルスキルについては, そこまで厳しいチェックはありません。しか

し現実には, ノンテクニカルスキルはとても重要な役割を担っています。分野によって, どのようなノンテクニカルスキルが重要かという重み付けは多少違います。しかし少なくとも, 状況認識, 意思決定, コミュニケーション, ワークロードマネジメント, ストレスマネジメント, そういったものがノンテクニカルスキルとしてとても重要で, それらがあって初めてレジリエンスも健全に機能する, だからこの図 41 で上向きの矢印で示した影響関係を忘れてはいけないというのが, 小松原先生のご主張です。

それはその通りで私も異論ありません。しかし, それとは別の影響関連も考えてみたいと思います。レジリエンスエンジニアリングを RAG 評価などを通じてしっかり実装するのとは別に, 少し簡単にレジリエンスエンジニアリングを使ってみようと思うのです。

最近の言い方だと「レジリエンスのポテンシャルを高める」という言い方をするので、ここではそういう表現をします。図 41 では、下から上に向いた矢印があった訳ですが、一方で、テクニカルスキルやノンテクニカルスキルは、この 4 能力を常に意識することで強化されるという側面もあるのです（図 42）。

つまり、小松原先生のご指摘では、この上向きの矢印（影響関係）が重要です。しかし、4 能力が強化されていると、逆向きの影響関係も強くなるというのが、レジリエンス・ポテンシャルを重視した発想で、この影響関係に相当する下向きの矢印も存在します（図 43）。

レジリエンスエンジニアリング とメタ知識

この考え方は色々な形で具体的に見受けら

れます。例えば、このイラストは高所作業をやっている所です（図 44）。ここで、作業者は常に過去の事例から学習して、今から何が起こりうるかを予見し、しっかりと監視もしながら、的確な対処行為を行っているとしています。このようなやり方が安全上、望ましい実践方式でしょう。この例でも、実際のテクニカルスキルにレジリエンスエンジニアリング的な考え方を持ち込んで、能力向上が実現されていると見ることもできるのです。

ここから若干視点を変えます。原子力発電所での事例で、関係の薄い方々には申し訳ないのですが、東電福島第一発電所の事故についてはいろいろ報道もされたので、知識がある程度共有されているかと思います。簡単に言うと、原子力発電所で外部電源が喪失し、非常用のディーゼル発電機も機能停止してしまった事態を考えてみましょう（図 45）。

5. レジリエンスエンジニアリングの実装

5-3 レジリエンスエンジニアリング的発想の応用

- 組織のレジリエンス・ポテンシャルは TS, NTS, Attitude, Physical and Mental Health さらに Environment などから影響を受ける（前図の上向き矢印に相当）に加えて
- レジリエンスエンジニアリング視点を活性化することで、TS, NTS などが強化されることにも注意を向ける必要がある
- TS, NTS は、4 能力（対処, 監視, 予見, 学習）を常に意識することで強化される

42

図 42

5. レジリエンスエンジニアリングの実装

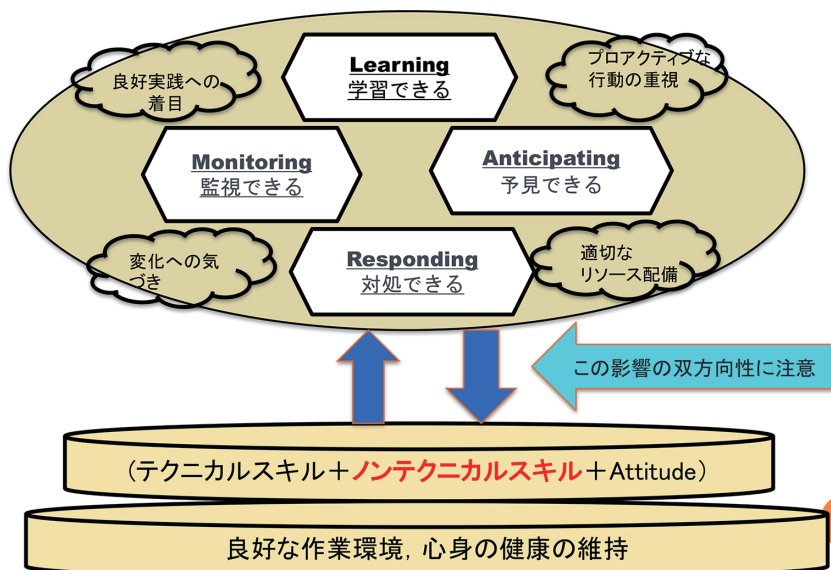


図 43

RE的発想による安全

- テクニカルスキル: 個別的にではなく体系化された形で習得することが不可欠
- 汎用化されたテクニカルスキルは, 見方を変えれば知識を使うための知識(メタ知識)



図 44

TS, NTSのREに基づく強化

□ 原子力発電所で外部電源が喪失し、非常用ディーゼル発電機も機能停止という東電福島第一事故で経験された事態を考える

◆ この事態に対して「電源車を適切な配電盤につなぎ電力供給を維持すること」という専門知識とその内容を実行できる技能を総合したTSを、運転員は有していたとする



45

図 45

今原子力発電所に対しては、規制当局が色々な指導を行って、発電所に多数で多様な非常用電源が新たに設置されています。だから、もし今度同じようなことが起こったら、電源車を適切な配電盤に繋ぎ、電力供給を維持するという専門知識と、それを実行する技能、これを総合してテクニカルスキルですが、これを運転員は有していると思われます。

でも、これだけでは不十分です。このテクニカルスキルが信頼できる形で機能するためには、たとえば電源車はフル出力で稼働させると、3時間後には燃料が枯渇してしまうという知識が必要です。これは予見的な知識ですね。この予見に基づいて3時間経ったら燃料補給しようとするのもひとつの方針ですが、予見はあくまで予見であって、状況が変わるかもしれません。だから燃料補給を確実なものにするために、たとえば30分ごとに

燃料残量を調べる監視能力や、それを具体的に実施する対処能力も必要になる訳です(図46)。そしてこれらの予見、対処、監視などの能力は、学習によって維持・強化されるべきものでしょう。

このように考えると、テクニカルスキルとレジリエンスエンジニアリングの4能力は、独立ではなくて、連携した形で作動することが期待される訳です。言い換えると「レジリエンスエンジニアリングは、テクニカルスキルが効果的に機能することを支援するメタ知識の役割を担っている。」と言えます(図47)。メタ知識とは、知識の使い方についての知識です。今、電源の話をしました。原子炉への緊急注水装置を稼働させる行為でも、注水装置を特定のものだけ見ないで、そのものは除熱用の流体を供給減から目的装置に強制注入する装置だというふうに、機能を汎化して

TS, NTSのREに基づく強化

- このTSが有効であるためには「電源車をフル出力で稼働させると、3 時間後には燃料が枯渇」という**予見**能力や「確実性のため30 分ごとに燃料残量を調べ[○]る」という**監視**能力、それを具体化する**対処**能力が必要
- これらの能力は**学習**によって強化される



46

図 46

TS, NTSのREに基づく強化

- これらの能力は**学習**能力によって維持・強化
 - ◆ REはTSが効果的に機能することを支援する **メタ知識**の役割を担っている
 - ◆ 同様の**メタ知識**は、電源車だけでなく他の装置についても適用可能である
 - ◆ 原子炉への緊急注水装置を稼働させるという対処も、その役割を「除熱用流体を供給源から目的装置に強制注入する装置」というように機能を汎化して捉えれば、同じ**メタ知識**が[○]使える



47

図 47

捉えれば同じように上流側が枯渇するかもしれないとか、監視していなくてはいけないという、同じような知識が効果的に機能する訳です。実は、ノンテクニカルスキルについても同じようなことが言えますが、ここでは図示するに留めます（図 48, 49）。

まとめに代えて

本講演もそろそろ終わりですが、もう1度「なぜレジリエンスエンジニアリングが必要なのか？」という話をしたいと思います。現代社会の大きな特徴は、社会は科学技術にもものすごく強く依存をしているということです。そして、科学技術の進化、進化は極めて急速です。一方で、リスクを予測するという行為

は、必ずしも、それに歩調を合わせていません。そのため社会としてリスク予測に失敗した例は、国内外で多数知られています（図 50）。

あるいは、我々が今実際に日々使っているネットワーク社会のネットワークの姿なんていうのは、可視化など到底できないくらい複雑化しています。そのくらい複雑化しているネットワークを駆使して、現代の技術は機能している訳です。さらに原子力災害、大気汚染、気象激化などの影響は、国境など意味がないほど広域化しています。サプライネットワークのグローバル化は、地球環境変化リスク（例：タイでの洪水）、カントリーリスク（アルジェリア油田でのテロ）などの増大にもつながっています（図 51）。

このような状況に対して、安全を守る技術

TS, NTSのREに基づく強化

- NTSについても同様のことが言える
- NTSの中でも代表的な認知的スキルである「状況認識」に着目してみるとその内容として一般には「情報の収集」、「情報の解釈」、「未来の予見」という要素がある
- 状況認識スキルを高めるためには、REの基本4能力のうちの**監視能力**、**予見能力**が必要なことは明らか
- 意思決定カテゴリーの構成要素である「代替案の比較検討」を効果的に実施するためには、**予見能力**が、「実行結果の確認・評価」に際しては、**監視能力**が高くなければならない

図 48

TS, NTSのREに基づく強化

- 同様に、ストレスや疲労に関するNTSも、**監視能力**や**予見能力**、さらに**対処能力**と密接に関連している
- この例で示した様に、NTSが効果的に機能するためにも、REの基本4能力を有機的に連携させる形で活用することか〇望まれる
- つまりREの基本4能力は(NTSに関しても)重要な**メタ知識**
- 図の下向きの矢印はこの事情を示すもの

49

図 49

6. おわりに

- 現代社会の大きな特徴：
 - ◆ 社会は科学技術に強く依存。科学技術の影響は拡大
 - ◆ 科学技術の進化は急速な一方、リスク予測は不完全
 - ◆ リスク予測の失敗例は多数知られている
 - ◆ 欧州環境庁(European Environment Agency; EPA)
Late lessons from early warnings (2001)
(邦訳: 14の事例から学ぶ予防原則)
では、放射線、ベンゼン、アスベスト、抗生物質、ガソリン
添加物質MTBE(methyl tert-butyl ether)、
TBT(Tributyltin: トリブチルすず)などが問題に
- 科学技術を強く懸念する市民層、学者が増加
 - ◆ 技術者、技術系企業はこの点に無自覚になりがち

50

図 50

6. おわりに 2

□ この傾向は近年さらに加速している

◆ 欧州環境庁(European Environment Agency; EPA)

Late lessons from early warnings (2013)

で取り上げられている事例は、(鉛、テトラクロロエチレン、水俣病、ベリリウム、タバコ、塩化ビニル、農薬DBCP、ビスフェノールA、DDT、増強殺生物防汚剤、卵胞ホルモン剤(低容量ピル)、気候変動、洪水、生態系管理、ミツバチ消失、チェルノブイリと福島原発事故、遺伝子組み換え食品、特定外来生物種、携帯電話、ナノテクノロジー)と量的に拡大

□ システムの大規模化、グローバル化に伴うリスク

◆ 情報ネットワークは制御不能なまでに複雑大規模化

◆ 原子力災害、大気汚染、気象激化は国境なしの広域化

◆ サプライネットワークのグローバル化は、リスクの広域化(例:タイでの洪水)、カントリーリスク(アルジェリア油田でのテロ)なども

51

図 51

は残念ながら全然追いついていません。しかし社会の懸念は高まっており、科学技術とそれを担う組織には厳しい社会的要請が課されていることも現実です。技術者、技術担当組織には、この時代認識が必要なのです。

とても大きな問題で、レジリエンスエンジニアリングがそれに応えるかどうかはわかりませんが、何とかそのギャップを埋めようとする1つの努力であると思います(図52)。

今日はお話ししませんでしたでしたが、防災のあり方とレジリエンスの間には密接な関係があります。現在、気候の激化も起こっているし、それから、日本の南のほうでは東南海地震の三連動の様なことも警告されている時代に、ビジネスコンティエーションプランニングとか、それから防災も含めた安全を広い視野から捉えるレジリエンスの概念は、とても大事であると思っています。

今あるレジリエンスエンジニアリング方法論が、ニーズの全てに対応できるというほど楽観視してはおりません。しかし今育ちつつある方法論をしっかりと実用化し、諸産業分野への定着を進めることは、現代において、科学技術を担う組織の社会的責任ではないかと考えております。是非、興味のある方は「レジリエンスエンジニアリングをなんとか実装してみよう。」という方向でご努力いただければ、大変ありがたいと思っております。

ずっとしゃべりづめで、ご質問を受ける暇がありませんでした。申し訳ありませんが時間になりましたので、これで私の講演を終わらせていただきます。ご清聴まことにありがとうございました。

司会 北村先生、どうもありがとうございました。ご清聴いただきまして、大変ありがとうございました。

6. おわりに 3

- この事態がある一方で、安全を守る技術は追いついていない
- 科学技術と、それを担う組織には厳しい社会的要請が課されている。技術者にはこの認識必要
 - ◆ 社会的影響を軽視した取り組みは、きわめて重大な結果をもたらす
- 企業や組織の**安全とレジリエンスの確保**の意義は、従来とは比較にならないほど重要
- この要請を満たすRE方法論の実用化と諸産業分野への定着を進めることは、現代において科学技術を担う組織の社会的責任

52

図 52