

# 技術者倫理から レジリエンスエンジニアリングへ —「人」のポジティブな部分に 目を向けて安全を考える—

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 大場恭子\*

司会 講演頂きますのは大場恭子先生、ご経歴をご紹介します。

慶応義塾大学大学院政策メディア研究科修士課程を終了後、金沢工業大学研究員、東京工業大学特任准教授などを歴任後、2015年より日本原子力研究開発機構に勤務されております。技術者倫理を軸に、近年は、レジリエンスエンジニアリングという手法に着目し、安全システム工学、人間工学等についても精力的に取り組まれております。

それでは先生、よろしくお願いいたします。

大場

ご紹介ありがとうございます。本日1時間20分ほどの時間をいただきまして、私が最近取り組んでおりますレジリエンスエンジニアリングという手法を使いながら、安全の話をいたします。よろしくお願いいたします。

さて、私の話は、後にご講演なさる先生方、あるいは皆様が普段なされている活動で考えていらっしゃる安全の見方とは、異なっていると思います。といいますのは、みなさん

は、失敗をしたとき、特にそれが仕事上の失敗のときは、同じことを二度と起こさないようにしようとなさっていると思います。すなわち、失敗から学ぶ、トラブルから学ぶということです。しかし、今日の私の話は、失敗から学ぶこともとても大切であるという前提に立ちながら、ただちょっと視点を変えて、失敗の中にある成功、あるいは普段の成功そのもの、すなわち、普段のみなさんの「うまくいっていること」に注目してみませんかという話です。

皆さんの毎日を改めて振り返ってみると、失敗の割合は、とても少ないと思います。でも、失敗、それも特に仕事上で失敗が起きると、どうすればその失敗の再発防止ができるだろうかと、一所懸命に起きてしまった事象を分析し、その背景になにがあるかを調査することに、たくさんエネルギーをかけ、同じことが起きないようにと対策を練っていらっしゃるのではないのでしょうか。でも、それを懸命に続けることで失敗は減るのですが、しかしながら、失敗がゼロにはならないですよ。今日の話は、その「ゼロにはならない」ことに疑問をもたれた人間工学を専門と

\*大場恭子 [おおば きょうこ]  
原子力科学研究部門原子力基礎工学研究センター  
技術副主幹



講演する大場恭子氏

する先生方が、失敗に学ぶだけではなく、成功に学ぶこともすべきではないかと気づかれたことが今日の話のスタートです。でも、改めて人類の歴史を振り返れば、あるいは子がどうやって成長していくかを考えれば、私たちは成功に学ぶということをしているんですよ。上手くいっている人を見て、真似するわけです。技術の世界でも、上手くできる人をじっと観察したり、その人のやり方をメモに取ったり、時にそれらに基づいてマニュアルを作ってというように、成功に学ぶことをしています。しかしながら、最近、あるいは組織として、仕事の場では、成功があたり前になりすぎて、そこに注目したり学ぶことをおろそかにしているのではないのでしょうか。もしかすると、成功があたり前という時代になってしまったからかもしれません。みなさん、いかがですか。

これから私がする話をきいて、私と気持ちを共有していただき、ちょっと今までと違う目で安全を見てみよう。ちょっと違う視点で安全への取り組みを考えてみようと思ってい

ただけたらと思いながら、話をいたします。

## レジリエンスエンジニアリングとは

まず、私なぜ今日のタイトルにもついている「レジリエンスエンジニアリング」に興味をもつようになったかをお話したいと思います。私は、ここ 20 年ほど技術者倫理を大学や企業等で教育する立場にあります。この技術者倫理という科目は、会場にいらっしゃる方のご年齢からすると、多くの方は学生時代になかった科目ではないかと思いますが、科目名からその目的等は想像いただけるのではないかと思います。その技術者倫理ですが、教育の手法としては、倫理的な問題について、受講者に自分が当事者だったらどうするだろうかを考える、いわゆるケーススタディ、あるいはケースメソッドが有効といわれており、よく用いられています。実際、私の講義でも多くの倫理的なケースを、実際に起きたケース、仮想のケースとさまざまなものを扱います。このようなケースをもちいた講義は、受講者自身が能動的になれる手法でもあることから、大変ウケがよいです。しかし、長年教壇に立っている中で、ふと疑問を持ったのは、扱うケースのほとんどが失敗事例ということでした。失敗事例ばかりになってしまう理由は、ケースの収集のしやすさ等が関係しているのですが、技術者になりたい、あるいはすでに技術者として頑張っている方々に、技術者の失敗事例ばかりを見せると、あたり前のように、技術者になりたくなくなったり、技術者であることに誇りを持てなくなったり、あるいは

会社って怖いな～、社会に出たくないなあ～なんて感想を持ってしまったり、技術者倫理そのものを暗いものと考えてしまうといったことが起きてきてしまうのです。漠然と、そうした状況をどうにかしたいと思っている時に出会ったのが、「成功事例に注目する」ことを重視しているレジリエンスエンジニアリングでした。さらに、調べてみると、レジリエンスエンジニアリングと技術者倫理には、両方とも安全における「人」の存在を重視している共通点もありました。こうしたきっかけにより、私はレジリエンスエンジニアリングに着目するようになったのです。

さて、ここまで当たり前のように「レジリエンス」という言葉を使ってしまうことが、会場にいらっしゃる方の中には、「レジリエンス」という言葉になじみのない方もいらっしゃると思います。レジリエンスという言葉ですが、最近ですと大雨による災害が起きた後等にも、安倍首相が「レジリエンス国家、強靱国家を作ろう」とおっしゃっていたそうです。東日本大震災の後には、「レジリエンス国家をつくろう！」というポスターが、駅に貼られていたりもしました。ですから、会場の皆様の中には、意識はしていなかったけれど、実は「レジリエンス」という言葉を目にしていたような方は少なくないように思います。

レジリエンスとは、日本語では、回復力とか抵抗力、復元力、耐久力と訳されます。私が、初めて接したレジリエンスという言葉は、小児精神科医の方が使われたものでしたが、その時説明されていたのは、同じ厳しい事象に遭遇しても、遭遇前と変わりなく生活を継続できる子と、そうではない子がいるという事例でした。そして、前者の子に対して「レジリエンス力が高い」という評価がなされて

いました。

その「レジリエンス」という言葉に「エンジニアリング」がついた「レジリエンスエンジニアリング」は、エンジニアリングの目標である「安全」をレジリエントに実現しようというものです。レジリエント、つまり回復力がある、抵抗力がある、復元力がある、耐久力がある安全を実現しましょうということです。それって何？って思われるかもしれませんが、ある方は、たとえばボクサーだったら、強いパンチを打たれてしまっても、なんとかダウンしないで、また立ち上がって試合を続行できるということと説明なさっていらっしゃいました。つまり、工場であれば、機能低下が起きたとしても、速やかに回復できること、最高の状況とは違うけれどシステムをなんとか継続できる、といったことを目指そうということかと思えます。事態を起こさないことも重要であるけれど、起こさないようにがんばっていても、災害等なんらかの事態は起きてしまうものだという前提に立ち、それが起きたとしても破局的な状況にいかないようにすればよい。そうした考えをつき進めていくと、たとえば、何か起きたとしてもその結果、破局的な状況に陥らなくて済んだことに着目してみてもはどうだろう。そうすると、今までと違ったことが見えてくるのではないかということになります。

## 安全を実現する4能力と 背後要因

もう少し、レジリエンスエンジニアリングそのものの話を続けます。最初にこのレジリエンスエンジニアリングを提唱した中心人物である Hollnagel 氏は、「レジリエンスエンジニアリングの目的は、安全を目指す組織が、

安全を達成するために必要な能力を醸成するツールを開発し、提供すること」といっています。そして、レジリエンスエンジニアリングでは、4つの能力。4つのコーナーストーンと言ったり、4つのポテンシャルとも言ったりしますが、今日は簡単に4能力という言葉を使って話します。その4能力が重要だよと言っているのですが、この4つというシンプルさも、私は気に入っています。といいますのも、技術者倫理の事例では、一般的に、それぞれの事例に合わせて、いろいろな動詞が出てきてしまうんです。しかし、レジリエンスですと、いろいろな動詞を4能力で整理するので、どういう能力を磨けばよいのかをシンプルに伝えることができます。そしてその4能力とは、過去に何が起きたかを知っている、つまり学習する能力（Learning）。未来に何が起きるかを予見する能力（Anticipating）、具体的に何が起きそうかを監視する、モニタリングする能力（Monitoring）、実際にいますべきことを対処する能力（Responding）、です。

今日はこの4能力と4能力を発揮するための「背後要因」というもの。当然、技術力もその背後要因のひとつですが、たとえば、持っている技術力を発揮しようという思い、すなわち「使命感」があることも必要です。また、そうした「技術力」を持っている者同士が協力し合って何かを成し遂げるには、コミュニケーション能力のようなものも必要です。個人の健康や所属している組織の文化、社会からの影響も関係すると思いますが、それらの背後要因も意識しながら、具体的な事例を用いて、私がみなさんに伝えたい「より高い安全の実現のために、成功から学ぶ重要性」をお話しします。

この写真は、東日本大震災後、被災して運

休が続いていたJR東日本の東北新幹線が、復旧後、はじめて東京駅を発車するはやぶさ号です。ここに「希望を乗せて」と書いてありますが、この言葉の通り、東北の方にとって、この新幹線が動くことそのものが、ものすごく希望だったと思います。この東北新幹線ですが、震災直後から動いたわけではなく、震災から約50日後に、被害を受けていた箇所を工事を完了させ、復旧となりました。そんなの当たり前と思われるかと思います。私も何となく当たり前と思っていました。でも、東北新幹線は震度7に耐えるように設計されてはいましたが、東日本大震災は、マグニチュード9を超え、線路上の震度計による最大震度は7強でした。つまり、設計で想定していた震度を超える地震に見舞われたのです。それにもかかわらず、東北新幹線では乗員乗客の人身災害0でした。約50日後に復旧できたことは、被害はあったけれど、大きな被害がなかったことを意味しています。今からその背景をお話ししようと思います。

## 大震災—対応事例

まず、東日本大震災が起きた瞬間ですが、東北新幹線内では、時速270キロを超えて営業運転していた新幹線が5本ありました。最高時速は272キロだったと記憶していますが、それらが全て脱線することなく緊急停止をし、乗員乗客の死傷者はありませんでした。東北新幹線は、少し内陸に入ったところを通っているので、津波の被害は受けず、被害はすべて地震によるものですが、電化柱は倒れ、橋脚のコンクリートがはがれたりもしました。レールの曲りも起きました。ですから、人身災害ゼロはラッキーという側面もあると思います。しかし、そうしたラッキーがありなが

らも、時速270キロを超える新幹線が停止するまでには4キロ近く走るにもかかわらず、その4キロの間も含め路線安全が確保できたことによって人身災害ゼロを達成したということもまた事実です。なぜそれができたのでしょうか。この事実を、「成功に注目する」視点で分析してみると、JR東日本の社員の方々が、学んで、予見して、モニタリングして、対応してたことが見えてきます。それでは東日本大震災から少し歴史をさかのぼった阪神淡路大震災からJR東日本のとりくみを見てみましょう。

会場にいらっしゃるみなさまの中には、1985年の阪神淡路大震災を記憶していらっしゃる方も多いかと思えます。阪神淡路大震災は、マグニチュード7.3の直下型の地震で、JR西日本の山陽新幹線の線路上の震度計では6が最高でした。新幹線は震度7に耐えるようにと設計されており、それより小さい数値です。しかし、山陽新幹線では8カ所で橋脚が折れるなどの、大きな被害がでました。幸いだったのは、地震の発生が、新幹線が動く前の5時台だったことです。新幹線が動いていなかったため、橋脚が折れても、死傷者はゼロでした。被害を受けた区間は83キロになりました。東日本大震災の時の東北新幹線の被害は536キロですから、かなり短く感じるかもしれませんが、大きな工事を必要とする状況であり、普及には82日かかりました。

さて、この阪神淡路大震災時の対応ですが、JR東日本を含め、全国のJRの方がお手伝いに行かれました。そして、JR東日本の方なのですが、お手伝いに行く前におおよその被害の状況は把握なさられていたようですが、「震度7に耐えるように設計していたものが、震度6で折れた」ということについては、「折れた箇所には手抜き工事が行われていた

んじゃないか」とか、「質の悪いコンクリート使っていたんじゃないか」、あるいは「鉄筋の本数や太さが足りなかったんじゃないか」ということを疑っていたらしいそうです。でも、実際に現場に行ってみると、ちゃんとした工事がなされていた。すなわち、きちんとしたコンクリートが入っていて、太さも本数も適切な鉄筋も入っている。だけれど折れているという状況がありました。この状況に、JR東日本の方は非常にびっくりしたそうです。このびっくりというのは、つまり同じ耐震設計の考え方で作っている自分たちの管轄の中にある橋脚も、いつ折れてもおかしくないんだということに気づいた非常に恐怖の驚きです。

この阪神淡路大震災における被害を受け、国、当時の管轄省庁は運輸省ですが、運輸省も新幹線の橋脚等構造物の耐震補強の考え方が十分ではなかったということに気づき、より適切な耐震補強の考え方を検討する委員会を作り、その考え方をまとめました。さらに、JR東日本には、どの箇所から耐震補強工事をするかといった工事の優先順位も示しました。「観測強化地域」「特定観測地域」というものです。具体的な地域は、仙台地域と南関東を指しているのですが、それらの地域を優先にしながら工事を進めてくださいというものでした。

これに対し、JR東日本は、その指示に従うのは当然とした上で、加えての自主的な行動も起こしました。つまり、阪神淡路大震災から、国からだけではない自分たち独自の学びをしたんです。何をしたかと言いますと、JR東日本社内の耐震補強工事に関係する専門知識の保有者たちが、阪神淡路大震災の被災の地区の図面、4畳半くらいある大きな図面だそうですが、それを広げ、そこにこの阪神淡路大震災で有名になり注目された「活断

層」を書き入れ、さらに、そこに阪神淡路大震災で被害のあった路線の箇所をプロットしたそうです。その結果、鉄道の被害が、活断層から左右幅3キロ以内のところに出ているということに気が付きました。つまり「活動層から左右幅3キロ以内」というのが、鉄道会社として耐震補強工事をするポイントになるという学習であり、気づきです。

これに気が付いたJR東日本の方は、次に、今度はJR東日本の管内の地図を広げて、そこに活断層を書き込み、その左右幅3キロ以内となる範囲を調べたそうです。そうすると、国から言われた「観測強化地域」「特定観測地域」である仙台地域と南関東以外にも、「活動層から左右幅3キロ以内」に当てはまるところが見つかりました。新幹線ですと、東北新幹線の白石蔵王と上越新幹線の熊谷と長岡の3つです。そこで、そのJR東日本の方々、会社の上層部まで自分たちがみつけた情報を挙げ、会社として、国の指示以上の箇所に、耐震補強工事を優先して行うことを決め、実際に工事を実行しました。

さらに、耐震補強工事だけではなく、阪神淡路大震災の被害をみて、やはり地震は怖い、恐ろしいということを強く感じ、その被害を小さくする方法のひとつである地震検知システムの改良も実施しました。JR東日本の東北新幹線の沿線上では、直下型の地震ではなく、三陸沖などに代表される海底に震源がある地震が心配されていたことを受けて「海岸地震検知システム」が設置されていましたが、当時のシステムはS波を検知して列車を停めるしくみだったのを、P波、要は、地震のときに最初のフワッと来る弱いPrimaryの波ですね。その波を捕まえて新幹線を停める。正確には、新幹線への送電を停止させることによって非常ブレーキがかかるしくみなのですが、そうした地震検知システムの改良もし

ました。

こうした対策を打っているうちに、時がたち、2003年には、三陸の南地震が起きます。この地震は、みなさん、あまりご記憶にないかもしれませんが、当時のJR東日本にとっては、最大のマグニチュードとなる地震でした。でも、2003年ですから、阪神淡路から8年たち、耐震補強工事もそれなりに進んでいました。ですからJR東日本は、それなりに地震には耐えられると思っていたそうです。そして、実際、死傷者はでませんでした。ただ被害はゼロではなく、橋脚に損傷等がありました。そのため、JR東日本では、三陸南の地震を受け、あらためて、工事の優先順位や範囲などの見直しを行いました。

そして、その1年数か月後に起きたのが、2004年10月に起きた新潟県中越地震、長岡が震源の直下型地震です。このとき、この地震の影響で、日本で初めて新幹線が脱線しました。この脱線は、ある新聞では、「新幹線の安全神話崩壊」といった見出しが付けられる等、大きく報道されました。でも、新幹線は脱線したのですが、横転していませんでした。あるいは、そもそもで阪神淡路大震災のような橋脚が折れるようなことは起こりませんでした。

ここで、まずピンっ！と来られた方いらっしゃるか。先ほど、私は、JR東日本が、阪神淡路大震災を受けて、自主的な学習と気づきによって国の指示を超えた対応をしたことを話しました。国の指示を超えて対応を決めた3箇所を覚えていらっしゃいますか。そうです。そのひとつが長岡でした。まさにこの新幹線が止まった橋脚は、JR東日本が阪神淡路大震災を受けて、自主的な行動を起こしたことによって、工事した箇所だったのです。ですから、JR東日本の方は、脱線したことを強く反省する一方で、もしあの

時気づかなかっただら、工事をしていなかったら、それによって橋脚が折れていたら、いったい何人の方が亡くなる事故になったろうかと思われたんですね。すなわち、橋脚に適切な対応をしていたことを本当によかった。と思われたんです。つまり、脱線した以上、社会から責められるのは仕方がないとそれはそれで受け止めながら、「良かった」という思いを持っていらしたということです。

ところで、さきほど「脱線した新幹線が横転しなかった」ということもお伝えしましたが、橋脚が折れなかったことはJR東日本の方の対応によってですが、横転しなかったのはなぜでしょう。実は、当初、この「横転しなかった」理由をJR東日本の方もわからなかったそうです。地震発生時、脱線した新幹線は、長岡駅が近いことから減速をはじめていたようですが、それでも時速200キロ超で走っていました。そのため、脱線すれば横転すると考えるのが普通ですが、実際は、横転しませんでした。これも事故の中にある「うまくいったこと」になります。このこともJR東日本の方は最初から注目していらっしゃいました。すなわち、事故調査のために現地に部下を派遣することになった本社にいらした部長さんは、この疑問を素直に現地に行く部下の方に伝え、「なんでこの新幹線が横転しなかったのかの理由をしっかりと見つけてこい。俺は、本社にいて、現地にいけないけれど、おまえは現地に行くんだ。これだと思ふ理由をいくつでも挙げて欲しい。ひとつみつけたからといって、安心するんじゃないぞ。理由は、ふたつあるかもしれない。みつがあるかもしれない。とにかく全部を見つけてこい。」とおっしゃったそうです。JR東日本は、もともと現地・現物・現人の3つを「三現」といい、またそれら3つを大切にすることを「三現主義」とおっしゃっているのですが、

まさにそれがこの部長さんの言葉に表れていると思います。加えて、理由は1つではないという考え方も素晴らしいと思います。

ここで、あらためて、新潟県中越地震によってJR東日本が「学習」し、「予見」し、「モニタリング」し、「対処」した4能力の発揮を、「耐震補強工事」、「地震の早期検知システムの改良」と、新たに行った「脱線対策」の3つに整理し、より詳細をみてみましょう。

まず、耐震補強工事です。お話ししたように、阪神淡路大震災からの学びで、国の指示を超えて対応した結果、橋脚が折れませんでした。ただ、橋脚の損傷などは起きました。ただ、自分たちの社内の専門家の意見を活かしたことが、被害を小さくしたことを理解した彼らは、その社内の専門家たちに、今回の新潟県中越地震を受けて、より高い安全を実現するために、何をすべきかを尋ねたそうです。すると、「今までは、折れたところ、損傷が立ったところに注目して調査をしていたけれど、今回の新潟県中越地震では、こちらが損傷したなら、こちらも損傷しそうなのに、していない箇所がある。そうした箇所がなぜ損傷しなかったのかを調査させてほしい。」という提案がなされました。これを会社が認めて、被害箇所と合わせて無被害箇所に対しての調査を行ったそうです。その調査の結果、阪神淡路大震災の時に見つけた、活断層から左右幅3km以内という結果に加えて、地質と構造という視点を見つけた。すなわち、損傷の有無には、距離だけでなく、地質と構造のこの3つの条件が関係していること気付き、新たに学習しました。これらにより、より適切な工事の優先順位もつけることができるようになったわけです。

次に、地震早期検知システムですが、こちらは、気象庁との共同開発を進めることで、

より素晴らしいシステムを作っていきます。

さらに、今回の地震によって、注目された脱線対策です。まず脱線したのに横転しなかったことについて調べた結果、原因の可能性のあるものが3つ見つかりました。ひとつ目は、脱線した車両が古い型式で重く、重心が低かったこと。ふたつ目は、雪深い上越新幹線だからついていた排障器という突起のようなものですが、これが上手く車両とレールを挟んでくれて横転しなかったということ。みつつ目はレールの継ぎ目がありませんでした。しかし、速度を求めらる中で車両の軽量化は必須であることから、ふたつ目とみつつ目の学習から対処を進めていきます。その中でも特にふたつ目の排障器は、「横転しない」に直接寄与することから、路線の雪の深さに関係なく、JR 東日本のもつ新幹線全車両に付けることにしました。みつつ目のレールの継ぎ目は、脱線しないことと横転しないことの両方に寄与しますから、できるだけなくすように工事を進めます。このように、JR 東日本の脱線対策の特徴は、脱線しないようにはもちろん、脱線しても横転しない。つまり脱線しても、被害が大きくなるないように、大きな逸脱にならないようにということにも力を入れて行われていました。この成果のひとつが、東日本大震災の時に、仙台駅近くで、時速 80km で走っていた試運転の新幹線が脱線してしまった事象です。試運転という乗客のいない新幹線ではありますが、脱線したのですから、事故です。ただ事故調査報告書でも、共鳴振動が原因によるものとして、防ぎようがなかったいと報告されていることに加え、対向車線にはみ出すような大きな逸脱にはなっていないことが評価されました。脱線しても大きな逸脱をしないという考え方に基づく対処の正しさを示した結果とな

っています。

このように JR 東日本の安全のレベルというのを見ていくと、徹底的に、学習し、それを対処に繋げていることがわかります。そして、それは失敗だけではなく、なんでもうまくいったのだろう？という成功から学ぶということもしており、それらによって高まった安全によって、東日本大震災の時の人身災害ゼロを達成できたと評価できると思います。

また、少し話が戻りますが、阪神淡路大震災の際に、現地にお手伝いに行かれた JR 東日本の方が、JR の安全を振り返る社内でまとめられた本の中でインタビューに答えられているのですが、阪神淡路大震災の際に、折れている橋脚をみて「吐き気を覚えるほどの衝撃を受けた」とおっしゃっていました。私は、テレビで折れている橋脚を見たのは覚えているのですが、「自分がそこにいなくてよかった」とは思ったのですが、「吐き気を及ぼす」という感覚は持ちませんでした。でも、その方は、折れている橋脚を見た瞬間に、吐き気を覚えた。たぶん、自分の管轄のところでこれが起きたら、何人の方が亡くなっちゃうんだろうといったことを咄嗟に考えられたのではないかと思います。私は、この感覚が、まさにプロフェッショナルであると感じます。そして、こうした思いこそが、使命感となり、その後の行動に繋がるように思います。話を聞くと当たり前かと思ってしまうかもしれませんが、国もまじめに検討しているわけですから、国からの指示に対応するだけで十分と考えるのが普通ではないでしょうか。しかし、それにとどまらず、自分たちで何とかしようという気持ちを持ち、検討し、取り組み、時に社長等上層部を説得して、お金をつけて、安全の対応を進めていく。この感覚と行動力はやっぱりすごいと思

いますし、注目しなければならぬと思います。国からの指示の通りやるだけでも十分だった。でもそこにこの気持ち、使命感が加わったおかげで、実際の対処がぐんと変わった。もっとすごいことまでを行ったわけです。その行ったことの意味は、新潟県中越地震が起きなければ気付かなかったかもしれませんが、新潟県中越地震が起きたことにより、JR 東日本としては、このようなただ言われたことだけをするのではなく、より高い安全を自分たちの力で実現していく技術者が社内にいることや、またそうした技術者あるいは専門家たちの意見を会社として受け入れて安全を高めたことを、誇りに思える状況につながりました。

## 原子力事故—対応事例

さて、JR 東日本の話をしてきましたが、私の専門は原子力なので、このあとは原子力の事例を2つお話したいと思います。ひとつは、福島第一原子力発電所をもつ東京電力株式会社（以下、「東京電力」）が、東日本大震災以前に地震や津波、災害に対してどのように取り組んで来たのかということ。ふたつめは、東日本大震災で被災しながらも無事に原子炉を止めて、冷やすことができた茨城県にある日本原子力発電株式会社の東海第二原子力発電所の話です。

まず、東京電力についてです。

福島第一原子力発電所（以下、「1F」）が事故に至ったのは、津波の対策が十分ではなかったことによります。一般的に動いているものは「止まる」ことができれば安全な状態になりますが、原子力発電所は「止まる」だけでは安全にならず、そのあとに残る「崩壊

熱」という熱を除去する、一般的には「冷やす」という言い方をしますが、機械的に止まったうえで、その冷やすことが継続的にできる状況が確保できて、はじめて安全といえます。しかしながら、東日本大震災では、その「冷やす」ために必要な機器が、津波によって、動かせなくなってしまいました。では、なぜその備えができなかったのか。レジリエンスの4つの能力でいえば、どこが欠けていたのかということを探っていこうと思います。

もしかすると、会場のみなさまのなかには、1F 事故が起きたことを受け、東京電力が、地震あるいは津波に対して、対策をしていなかった、あるいは対応に消極的だったと思われる方もいらっしゃるかもしれません。しかし、東京電力が東日本大震災級の津波に対して対応できていなかったのは事実ですが、たとえば、国が決めている津波への対応等はきちんと行っていました。いま、掲示しているのは、私なりに調べた日本で起きた一定規模以上の地震や、地震および津波に対する国の対応、原子力規制の対応、東京電力、あるいは1Fの立地県である福島県やその北にある宮城県、南の茨城県などの地震および津波への対応をまとめた表です。お手元の配布資料には含められておらず、また掲示しているものも小さすぎて細かなところは見えませんが、ざっくりと、東京電力が何もやっていなかったのではなく、対応はしていたんだということを理解いただければと思います。ただ、繰り返しになりますが色々な取り組みがなされているのですが、東日本大震災級の津波の被害を防ぐための対応という行動まで繋がっていませんでした。

ただ、このように行われていた対策を細かく見てみると、東京電力がただ規制に従うだけではない取り組みも実施していることがわかります。たとえば、1999年に起きたJCO

事故という日本国内で初めて原子力災害によって住民避難がなされた事故からの学びとして、敷地内にいる社員等の避難に関する取り組みを行いました。具体的には、原子力災害時に原子力発電所の敷地内にいる人々が一斉に自家用車で移動することになったら大変だということに気づき、協力会社が社員の出退勤のために使っているバスを、いざという時には東京電力が使うという契約を結ぶということなのですが、これは、実際、東日本大震災が起きた時に 1F 内にいらした東京電力および協力会社の方等の計 6,000 名以上のみなさんの速やかな避難に役立ちました。このような対応は、国からの指示ではなく、東京電力としての気づきによる対応だと伺っています。

また、津波については、原子力規制において、地震の随件事象として対策計画を作り、対策することを求められていましたが、東京電力は速やかに計画を立て、国に申請していました。けれども、その津波対策計画を実行は、計画提出後に起きた 2007 年の中越沖地震によって、「地震対策を優先する」ことにより、計画通りの遂行に至りませんでした。この時優先された地震対策の一つは、普段使っている事務本館とは別の免震構造をもつ「免震重要棟」と呼ばれる緊急時対策室の建設です。これは、東京電力が新潟県に持っている柏崎刈羽原子力発電所が被災し、原子炉そのものは問題なかったものの、事務本館内にあった緊急時対策室等に被害が出たことに基づく対策でした。このときの免震重要棟の建設は、1F 事故時の現場のオペレーションに大きく寄与しました。少しこのお話をいたします。

中越地震当時、東京電力をはじめ国内の原子力発電所にある緊急時対策室は、いずれも普段事務をつかさどる事務本館の中にありま

した。中越沖地震の時の、東京電力の柏崎刈羽発電所の被害について映像等を覚えている方がいらっしゃるかもしれませんが、たぶんその被害や映像というのは、敷地内のトランスが燃えて煙が上がっているものかと思われます。ただ、この火災は、映像としてインパクトはあるのですが、原子力がある程度知っている者からみますと、たしかに敷地内の火災ではあるのですが、緊急性や危険性の高いものではありませんでした。一方で、大きな問題であったのは、事務本館の中にあった緊急時対策室、これは、地震を含め、発電所内でトラブルや事故が起きた時に、発電所の幹部等が集合し、対策本部を開設するとともに、地元の自治体への連絡を担うための部屋なのですが、この部屋の入口のドアが曲がって入れなくなってしまったことでした。なぜこのようなことが起きたかといいますと、原子力発電所の本体、すなわち核燃料が入っている建物等、放射性物質に関わる建物は、杭を岩盤まで打ち、高い耐震性を保有しているのですが、同じ敷地内でも直接放射性物質に関係ない事務をつかさどる建物は、一般ビルと同じ耐震設計で建てられていたことによります。その結果、中越沖地震の際に、柏崎刈羽原子力発電所の緊急時対策室のドアが曲がって入れない。さらには、なんとか入った後も、地震によって書類や通信機器等がぐちゃぐちゃで、迅速な対応が取れないという状況が起きてしまったのです。

この被害を受け、東京電力は、緊急時対策室をどうすべきか検討し、結果として、事務本館とは別に緊急時対応のための免震構造の建物、これが「免震重要棟」ですが、その建設を決めました。1F 事故時に現地の対策本部が使っていたのは、この免震重要棟です。東京電力がすごいと思うのは、この免震重要棟を、柏崎刈羽原子力発電所だけではなく、

東京電力がもつ福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所にも同時に建設したことです。国からの指示等ではなく、自分たちの判断です。同時に建設するというのは、お金も一度にかかるということですが、経営層もそれを認めたということになるかと思います。免震重要棟、あるいはそれと同等の建物を、東日本大震災当時を持っていた日本国内の原子力発電所は、東京電力の3つの発電所と中部電力株式会社の浜岡原子力発電所のみでした。

このように、東京電力は、原子力規制あるいは国の指示に留まらない良い取り組みもしていました。津波に直接関係することとしては、このあとお話しする日本原子力発電株式会社（以下、「原電」）の東海第二原子力発電所の津波対策に関係する茨城県が作った「津波浸水想定図」が公表された際に、担当部署へ問い合わせをしているという事例もありました。茨城県の津波浸水想定図については、メディアで大きく取り上げられたわけでもなく、茨城県内の原子力施設には、県の原子力安全課から連絡が入るのですが、茨城県には原子力発電所のない東京電力がなぜかこの情報を把握し、問い合わせをしてきたのか、茨城県の担当部署の方もわからないとおっしゃっていらっしゃいました。やりとりは何度かあり、専門的な話をしたそうですが、東京電力の方は非常にまじめに検討なさっており、さらに優秀さも強く感じた担当の方から伺いました。

改めて振り返ってみると、私自身も、津波の怖さを、東日本大震災まで理解していなかったのですが、それが当時の大部分の日本人であり、それが原子力発電所の安全に関係している者も同じだったのかと思います。1970年代くらいから、地震のメカニズムが解明さ

れ、さらに津波についてはシミュレーション技術等も加わって、さまざまな知見が出てきました。一方で、それ以前の福島第一原子力発電所や東海第二原子力発電所建設当時に発電所の安全のために確認された最高潮位は、きちんと記録が残っている十数年のデータだけでした。そうした中で、たとえば2002年にフランスで川の洪水によって、あるいは2004年のスマトラ島沖地震によって、原子力発電所に外部溢水事象が起きます。それら、あるいは日本国内の地震津波の状況を受けて設置された国のワーキンググループの会合では、東京電力は福島第一原子力発電所の5号機に対して、10メートルの津波と14メートルの津波に襲われた場合に、発電所の海側の機器がどのようになるのかを評価し、資料として提出したりもしていました。14メートルの津波に襲われた際の評価は、対象とした機器すべてに×がついています。また、過去の津波の遡上痕を調べていた部署もありました。そうした取り組みをしていたにも関わらず、それらの知見が発電所の津波を含む安全対策をしている部署や人々に届かなかったのか、結果として津波対策という「レスポnding」に繋がりませんでした。東日本大震災を知っているからいえる後出しジャンケンようになりますが、もし、1Fの方がこれらの評価を知っていたら、14メートルの津波を防ぐ防潮堤は作れなくとも、そうした際にも被害を小さくできるようなアイデアを出し合って、たとえば高いところにいくつかのモバイルバッテリーを用意するといったことをしたのではないかと思います。それは、発電所を守ることであり、彼ら自身の命を守ることで、シミュレーションをした方よりもより真剣に、あるいは強い使命感の中で対応できたのではないかと思います。安全は、それぞれの人がまじめに仕事

をする、安全に向き合う、はもちろんなのですが、時に「組織知」としないと「組織として、安全を実現する」に繋がらないのだというのは、この事例から強く感じるところです。

みなさん、この写真を見て、なんの写真かすぐお分かりになりますか？これは、私がこの東京電力の事例、あるいはこれからお話しする東海第二原子力発電所の事例の話をする際に、必ずお見せする 2016 年のリオオリンピックにおける日本の男子 400m のリレーの写真です。タイトルにありますとおり、日本は銀メダルをとりました。しかし、この 400m の決勝レースに残っていた 7 チームの中で、走者 4 人のベストタイムがいずれも 10 秒台、要は 10 秒が切れていないというのは、日本だけでした。タイムは当時の話です。そのような状況なので、当然 4 人の走者のベストタイムの合計も日本は最下位でした。ですから、普通に考えると、日本は、決勝で 7 位の筈なのです。多分、世界中の方がそう思っていたらと思いますし、日本人もメダルを期待していた方は少なかったのではないかと思います。でも、オリンピックの舞台にいる彼らは違ったんですよ。自分たちもメダルが獲れるかもしれない。獲ろう！と。そして、何に注目したかという、「バトンを渡すこと」です。世界の中で、自分たちの個々の能力が低いということは分かっている。でも、上手くバトンさえ渡せば彼らに勝てるかもしれない。9 秒台の選手揃えているところにも勝てるかもしれないと、バトンを渡す練習を沢山しました。また、渡し方も他のチームは上から渡す中で、リスクは高いけれど成功すればロスがなく早いということで、下からの渡し方を選びました。それを本番でも成功させて銀メダルを獲りました。

この話を私は安全でも同じだと思うのです。個々がどんなに優秀である、安全に対して真

摯に取り組むかも重要なのですが、それと同じくらい「渡す」。これは、私たちが普段の業務の中で使っている言葉では「コミュニケーション」であり、私たちは、そのコミュニケーションという言葉を手軽に使いすぎているように思うのですが、それが上手くいくことで、まったく違った結果が出る、より高いものを実現できるかもしれないというのを、彼らはスポーツで私たちに見せてくれたんだと思います。

では、今度は、その「コミュニケーション」がうまくいった事例として先ほどから少し出ておりました原電の東海第二原子力発電所（以下、「東海第二」）の事例をお話しします。この事例は、複数の組織がうまくバトンを渡すことで安全が実現できた事例です。

東海第二は、茨城県にある原子力発電所です。さきほども少し話にでましたが、建設当時は、記録に残っていた十数年の過去の最高潮位というのを見て、一番高い水位であった 1.46m に基づき、設計等がなされました。今回取り上げるのは、発電所への外部からの電気の供給が止まった時に所内で発電する非常用ディーゼル発電機を動かすために必要な取水口のポンプ室の壁の高さなのですが、1.46m に基づいて 3.31m に設定しました。しかし運転を開始して以後、津波のメカニズムや記録の調査、評価の技術の進歩があり、1997 年には、津波の予想最大高が 4.41m になりました。そのため、彼らは、壁の高さを 4.91m に上げました。さらにその後、2002 年には予想最大高が 4.86m となります。ただ、4.86m と 4.91m では、4.91m の方が高いので、この時は、対応は取られませんでした。もし 4.91m のまま東本大震災を迎えていたら、東海第二を襲った津波の高さは 5.0 から 5.4m

といわれているので、東海第二も被害を受けたと考えるのが妥当だと思います。しかし、2002年から東日本大震災の間に、茨城県の津波浸水想定図に基づき、非常用ディーゼル発電機のポンプ室の壁の高さを上げる津波対策が行われ、被害から逃れることができました。

茨城県の津波浸水想定図を担当したのは土木部河川課です。土木部河川課は名前の通り、基本的には業務の95%は河川だそうですが、海岸線についても管轄しており、津波についても担当しています。そうした中、国の中央防災会議が津波に対する考え方をまとめる専門調査委員会を開催することになり、北海道から千葉県までの太平洋側の道県に傍聴参加の声がかかりました。そのため、時間があるときには参加しようかなという感じて、参加をなさったそうです。

茨城県の方があまり津波に対して積極的ではなかったのは、少なくとも今の生きている方、あるいはその祖父母のまで遡っても、県内で津波で亡くなったという方がいないんです。被害の記録で残っているのは、1677年の延宝房総沖の地震津波になります。このとき、水戸領なので茨城県とまったく一緒ではないですけども、家屋喪失189、死者36という被害の記録が残っています。だけれども、それ以降は、茨城県の南側の千葉県あるいは北側にある福島県、さらにもっと北にある宮城とか岩手では死者がでていたような津波でも、茨城県では被害がでていない状況でした。ですから、土木部河川課でも、あまり津波についての取り組みは積極的ではなかったのですが、しかし延宝房総沖の記録が2000年代になって出てきたために、中央防災会議の専門調査委員会の傍聴にも行くことにしたそうです。

さて、この専門調査会議ですが、先ほどの

JR東日本の例における運輸省と同じように、国の方針として対策の優先順位を示します。国の対策の優先順位は、津波は地震の随伴事象であることから、地震の起きる確率が高い、すなわち地震が繰り返し起きていることを重視し、そうしたところにまず対策を取りましようという結論になりました。この考え方に基づくと、茨城県にとってシビアな結果をもたらす地震は、明治三陸タイプの地震となります。ただし、この明治三陸タイプの地震というのは、三陸沖が震源になりますから、茨城県に追加の対策が必要となるような津波の想定に至るとは考えられませんでした。一方で、過去に茨城県に被害をもたらした延宝房総沖の地震というのがどういう扱いになったかということ「現時点では繰り返し発生されていない」という括りでした。

ただこれらの議論をしている頃に20万人強の死者を出した2004年にスマトラ島沖地震津波が起きます。そのときに、茨城県の土木部河川課の方は、地震や津波学者が事前に予想できていなかった地震や津波が起きることを認識し、茨城県も今まで被害がでていないからといって津波浸水想定図を作っていないというのは理由にならないと感じられたようです。関連した県議の一般質問や国庫補助金といった後押しも加わり、県として茨城沿岸津波浸水想定検討委員会を設置し、津波浸水想定図を作りました。ただ、東日本大震災前です。公表するにあたっては県庁内からも反対の声が上がったそうです。このようなものを出すということは、茨城県が津波に危険であるといっているという考えによる反対です。でも土木部河川課の方は、半年以上かけて説得を試み、公表に結び付けました。ただ、新聞の掲載は、地元紙の社会面で、大きいとはいえない取り上げ方でした。

新聞の掲載はそのような状況でしたが、県

庁の中では別途情報共有がなされました。リレーという「バトン」です。この共有により、原子力安全対策課が津波浸水想定図を知るのですが、茨城県の原子力安全対策課の方の中には、20 何年ずーっと原子力やってますっていった方がいらっしや、またその方は、もともと津波のことにも興味を持たれて自分で本を買って勉強なさったこともあるそうで、作成された津波浸水想定図をみて、すぐに、「ん？この想定は、東海第二が想定しているよりも高い津波ではないかな。」と、すぐに気が付かれたそうです。でも県内の原子力施設の中で東海第二にだけ話をするのはおかしいので、東海第二を含む県内の原子力施設すべてに、県が作った津波浸水想定図の情報を共有しました。その結果、東海第二から、原子力安全対策課の方の予想通り「県の津波想定では、自分たちの現在の基となっている想定よりも高い津波を想定されている」という回答がなされ、よって、できれば工事をして欲しいという要望を口頭でなされたそうです。

さて、ここで「バトン」は県の土木部河川課から原子力安全対策課を経て、東海第二に渡りました。ただ、県と東海第二をもつ原電の関係は、あくまでも安全協定を結んでいるだけですので、県に言われたからといって原電が対策をしないといけなかつたかという、そういう関係ではありません。でも、原電の方は、津波浸水想定図に基づいた対策をするという「レスポnding」を発揮しました。

まず、東海第二の担当者がしたことは、県の土木部河川課への問い合わせでした。この問い合わせに対し、土木部河川課の方は原子力の専門ではないので、タービン建屋、要は放射線物質のある場所には浸水しないようですよと答えたそうです。一方で、東海第二の担当者は原子力が専門ですから、津波は地震の随伴事象で起きるものであり、地震という

のは、外部鉄塔などの倒壊により外部電源が喪失している可能性がある。すなわち、非常用ディーゼル発電機が立ち上がらないと困る。よって、放射性物質がある建物だけではなく、非常用ディーゼル発電機のポンプ室も浸水してはならないことに気づき、検討します。すると、茨城県の津波浸水想定図で想定された津波に襲われると、非常用ディーゼル発電機のポンプ室が浸水することがわかりました。しかし、ここで話が少しややこしくなるのですが、原電は、原子力発電所で発電をするものの一般の売電はしておらず、売る相手は、東京電力と東北電力です。よって、工事をするには、工事の妥当性を東京電力と東北電力に説明し、その妥当性に基づいて売電価格が決まるという背景があるのです。しかし、この東京電力と東北電力が当時何をしてたかといいますと、さきほどの話を覚えていらっしやいますか？計画していた津波対策を後回しにした地震対策をしていました。東京電力と東北電力がそうした状況の中で、自分たちは津波対策をするという話をしてよいのかという議論が社内でなされたそうですが、結果として対応し、工事がなされました。この工事が終わったのは 2011 年の 2 月です。原電は公式 HP において、この工事をしていなくても発電所の安全性は守れたと見解を述べていますが、この工事をしていなかったら事故が起きたわけではないかもしれませんが、発電所の状況は全く違ったということは容易に予想できる状況になります。

つまり、ここでは組織を超えてのバトンが上手く渡ったんですね。そして、重要なポイントは、それぞれの組織が、最後までレスポnding、すなわち安全を実現する行動を起こしていたということです。気付いた、学んだで終わってしまっていたのでは、安全は実現しない。それをちゃんと繋いでいく行動、

実現する行動を起こしたということ、そこには社会的後押しもあってのことではありますが、レスポンドの重要性がわかります。茨城沿岸津波浸水想定検討委員会の委員長だった茨城大学三村先生は「自分たちは決して東日本大震災を当てたわけではない。けれども、最新の科学を使って一生懸命検討した結果というものに対してきちんと行動してくれたことが役立ったということは非常に嬉しい」とおっしゃっています。

さて、JR 東日本、東京電力、原電と事例をお話してきました。JR 東日本の事例では、使命感の重要性を指摘しましたが、安全を実現していくには、個人だけではなく、組織あるいは社会が持っている文化というの大きいと考えています。最近、組織文化、企業文化という言葉をよく聞くと同時に、それらの醸成や変革といったことも簡単に言われているように思うのですが、文化というのは、ある集団が集団の中の者としては無意識、あるいは当たり前として行動しているものと考えます。良いとか悪いは、第三者が評価するものなのですね。ですから、企業文化を変えていく、企業文化をより安全に行動できるように変えていくというのは、まったく容易じゃないものです。ですから、今日の3つの事例を改めて「自分、あるいは自分の組織ならどう行動するか。なにが当たり前か」といった視点で考えていただきたいと思います。そして、その答えが、もし安全の行動を実現できないかもしれないというものであったならば、どうすればその文化を変えていけるのか。たぶん、マネジメントを含め、なにか意識的な行動が必要だと考えますが、真剣に組織で安全を実現するという事について、考えていただきたいと思います。

## まとめ

まとめです。事例を用いて話をしてきましたが、本日、私が最も伝えたいのは、安全、目指す安全像を実現するには、失敗から学ぶだけではなく、成功から学ぶという視点も必要なのではないか。そうした視点を持ったら、少し違うことが見えてくるのではないかと思います。普段上手くいっている、その当たり前前に潜んでいるものがいっぱいあると思うんです。たとえば、最初に階段転んじやった例を挙げましたが、みなさんが普段階段を転ばない、あるいはちょっとつまずいても大きな事故に至っていないのには、先ほどの休憩時間、私は外で体操している人がたくさんいらして、結構驚いたんですが、そうしたみなさんの当たり前が関係しているのかもしれない。自らの調整能力を高めることを意識してやっているわけではない、でも結果としてそうになっていて、よって安全が実現されている。そうした細かなことを組織として探し、上手くいっているってということから積極的に学ぶと、安全の違う世界があるように思います。

また、JR 東日本の事例では、私自身が倫理をやっていたからかもしれませんが、使命感について指摘しました。JR 東日本の方の吐き気を覚えるってという感覚。1F の事故対応をなさった方の話などでも出てくるのですが、安全を実現しようと思う使命感のある人と無い人では、やはり実現できる安全が違うと思うんです。JR 東日本では、使命感を高めるために、事故の車両を残し、社員の研修に使っていますが、そういう使命感を高める取り組みにも、お金と時間をかける。それを当たり前前に実行する組織の文化がある。「個人」と「文化」と両方で上手くいっているこ

とをみていけるとよいと思います。

失敗から学ぶこともとても重要です。でも失敗から学んだ色々な対策っていうのばかりが重なってしまっていないですか。是非、失敗からの学びに加え、ポジティブな部分、上手くいっているというのにも目を向けて、より高い安全を実現していただけたらというふうに思います。

以上で私の話を終わります。ご清聴ありがとうございました。

(拍手)

**司会** 大場先生どうもありがとうございました。先生の迫力のある、説得力のある語りに不思議になんかポジティブなマインドになったような気がしますし。

**大場** 良かったです、ありがとうございます。

**司会** 同じように感じられた受講者の方も多いいんじゃないかなと思います。どうも今日はありがとうございました。

(拍手)