

# 大震災が工学の教育・研究に残した 課題私論

徳田昌則\*

## 1. はじめに

40年にわたる大学教員職を辞して大学評価の仕事に携わり、大学の有り様を考える機会をいただいた。その職も辞した後、NPOを立ち上げ、医工連携や農工連携の事業に取り込まれることになった。それらが、軌道に乗ろうとした矢先に、2011年3月11日がやってきた。実利的には、立ち上がれないほどの手痛い打撃を被ったが、工学を学んでそれを実践するという立場からは、大きな教訓をも得ることができた。その体験から得られたものをご紹介します。

## 2. 一つの震災体験

2011年3月11日の当日、筆者は、宮城県女川市にいた。ウロというホタテ加工工場廃棄物に高圧熱水処理を施して、カドミウムを分離除去した残液＝エキスが、養殖飼料へ2%程度の添加で、優れた攝餌誘導効果を示すことが基礎実験から推定された。そこで、銀鮭の稚魚を使った実証試験を宮城漁協と共同でやることになり、3トンほど製造した試験用エキスの一部を、養殖魚業者さんに届けるためだった。沖合の生け簀に飼料を運ぶ舟に、手を振って別れたのが14時半頃。もう1ヶ所回る予定が、直前にキャンセルされたので、そのまま同僚と車で帰途についた。そして、約15分後、停車中に、突然携帯電話のけたたましい受信音に引き続いて、信号機のポールが大きく振れて灯りが消え、大きな地震と気づかされた。目の前のブロック塀が崩れるのを、ただ見ているだけだったが、動きが止まったので、やおら車を走らせた。その間、ラジオの津波予想で、当初の3mが、やがて10mになったが、とても信じられないと会話を交わしながら、兎に角、狭い山道を避け、海岸沿いの国道をひた走った。石巻市内に入って車の数が急増し、北上河口の日和大橋を目前に渋滞になった。ラジオからは、3時には津波来襲との警報がひっきりなしに流れており、雪が降ってきて、左側の海の様子は見通せない。右側は、水田が拡がり、道がない。時計は



図1 震災翌日の被災地での一コマ。

既に、3時10分になろうとしていた。ようやく渋滞の列を離れる意を決したものの、のろのろ前進の他はない。やがて、前方にあぜ道が見えてきた。ひっきりなしにやってくる対向車の流れを見極め、途切れた一瞬の隙に、先行車数台を追い越して、あぜ道に入った。その後は、ひたすら山側を目指し車を走らせた。後刻、時間を合わせてみると、その15分後には、この地域に津波が来襲していた。高台の農家の庭先で一夜を過ごし、翌朝、平地へ降りてみると、300m程で、水田には満々と海水が満ちており、多数の車が転がっていた。市街地に入ると、想像を絶するがれきの山で、図1のように、あらゆるものが折り重なって積み上がっていた。すさまじい破壊力を実感させられた。幾つもの偶然が重なって、命を拾ったという感慨は、やがて、生かされているという神妙さに変わっていった。

## 3. 想定外の想定と実践の体制

あの日に境に、新しい考え方や概念がいろいろ提起されたが、その中に、想定外を想定するという言葉がある。一般的には、リスク管理のあり方を示すと思われるが、もっと広く、発想の転換というような意義を含むものとも受け止められる。工学を学び、それを実践するものにとっては、不可欠な教訓と言えるのではないかと考えるようになった。

\* 株式会社共生医学研究所代表取締役会長、東北大学名誉教授(〒989-3212 仙台市青葉区芋沢字権現森山 82-14)  
Personal Viewpoints on Challenges in Education and Research Field of Engineering Proposed by The East Japan Great Earthquake;  
Masanori Tokuda (Kyosei Igaku Kenkyusho Co., LTD, Emeritus Professor, Tohoku University, Sendai)  
Keywords: social needs, risk management, radioactive decontamination, learning from the critical area hit by tsunami  
2012年11月26日受理

津波について言えば、スマトラ大地震による大規模津波が近くであったにも拘わらず、ずっと昔のチリ津波のことを想定したままで、見直しをしなかったという。東京電力福島第一原子力発電所(以下、福島原発)では、5 m程度の津波も「想定外」だったといわれる。しかし、歴史上10 mレベルの津波来襲は、1000年に一回というような希有な事件ではなさそう。例えば、理科年表をめくると、関東大震災の時に、熱海地域を12 mの津波が襲ったとの記事が見られる<sup>(1)</sup>。東電内部では、見直しの意見もあったようであるが、結果的に無視されたということは、組織のリスク管理を徹底させる仕組みの方が緊急だということを意味しよう。おそらく、組織のリスク管理には、その組織の短期的経営に責任を持つ執行部とは独立に、長期的視野に立った管理体制を評価する仕組みが必要と思われる。

一方、庶民レベルでもリスク管理とその対応実践の重要性が、改めて認識された。

釜石市の小中学校で、津波テンデコと称する伝承が、犠牲者を大幅に減らし釜石の奇跡をもたらしたとされる。津波が来ると分かったら、子供はひたすら高台に向け逃げるべし、親も子供を助けるなど考えずにただ逃げるべしとの教えに従ったお蔭で、ほぼ生徒全員の安全が確認されたと言う事である<sup>(2)</sup>。一方、これには、伝承は高齢者などの弱者がかなり少なかった時代のスローガンであり、むしろ現代では「災害弱者」を省みない利己主義的な発想との非難もある。しかし、伝承があっただけでは、ここまでの成果は考えられず、大人も含めた防災教育と訓練を地道に実行していたことが大きな成果に繋がったと思われ、伝承を現代の課題に生かす工夫こそが必要であろう。

例えば、仙台市や名取市の広大な沿岸平野部に広がる市街地の保育園で、保育児童の犠牲者がほとんど無かったのは、近隣組織との連携による避難訓練が陰にあったと言われる。中でも、仙台空港近くで、海岸から200 mも離れていない特老施設赤石苑は、全国的にも著名な豪壮な建物が、津波で完膚なきまでに破壊されたが、ここに生活していた49人のほぼ寝たきりのお年寄り全員が難を逃れていた。日常の徹底した危機管理方針に基づく訓練の賜と評価される。

他方で、70名を超える児童や教職員の犠牲を出した石巻市大川小学校の場合、周囲の民家の礎石だけが延々と広がる廃墟に頑丈な作りの校舎だけがポツンと残る異様な光景に加え、その数百 m 後方に広がる鬱蒼とした緑が痛ましさを余計にそそっている(図2<sup>(3)</sup>)。当時の避難指導者への批判が高いが、この緑の中に一本の小さな避難誘導路を備えさせ、年一回の避難訓練があれば、あの悲劇は避けられたはずで、そういう状況を作り得なかった行政や管理責任者、それにアドバイスできなかった専門家集団の責任こそ真に問われるべきと思われる。

#### 4. 工学の意義 現場の重要性

想定外を想定するという習慣が、工学者にとって不可欠というのは唐突と思われるかも知れない。

しかし、現代の工学の拡がりを見れば、単なるもの作り技術の領域から、その使い方に係わるシステムを超え、社会の



図2 被災した大川小学校の周辺状況。

様々なシステムの設計製作から管理、維持を含む総合性を求められるに至っている。その対象は、従来の工学と言われた領域から、理、医、農、社会、経済、果ては、政治や歴史、芸術にまで拡大していると言える。つまり、それぞれの領域で固有と思われる課題の解決にあたって、工学的なツールや手法の応用が有効であった時期から、今や、それらが不可欠になっているという事であろう。換言すれば、課題解決の点では、専門領域の壁を乗り越える課題が圧倒的に多くなったという事であり、工学分野で発展してきた手法やツールがその中心を占めるという事である。この意味では、そろそろ工学という名前を、ソリューション学とか問題解決学に名称変更すべきと、筆者は思っている。名称変更の意義の最たるものは、工学教育者や研究者の意識の変更を促すこと。どういう領域にも気軽に掛けて課題を見つけることと思っている。今、抱えている課題は、おそらく現工学の最先端であろう。他分野で見つけた課題は、今の工学では最先端でないかもしれない。過去の応用問題で終わるかも知れない。しかし、その分野では、あるいは社会総体としては、最先端のニーズになり得る。そしてそれは、ひょっとして、将来の工学にとっての最先端課題を見つけるきっかけになるかも知れない。

研究者にとって、とくに工学分野では、ニーズの把握がまず重要であろう。ニーズは現場にある。従って、工学者にとって、自分のニーズの現場の把握は極めて重要であるが、その現場が実は極めて広く拡大していると言う事であろう。そうであれば、少なくとも対象固有の問題等の把握には、もはや、工学者だけでは対応出来ず、いろいろな分野の専門家の協力が不可欠となろう。新しい現場でもまれることを通じ、新たな手法やツールの開発もなされると期待される。

#### 5. 被災地に学ぶ 災害防除技術新構築への教訓

地震と言えば、各地の理学部を中心とする地震学者に声がかかるが、津波を含めた災害となれば、まさに工学的課題であろう。現在は、どちらかと言えば、土木工学系の課題のようであるが、東北大学の今村教授のやり方を見ていると、まさに災害総合工学と言える。筆者なりに整理してみると、それは、被災地の詳細な現場観察から始まる。

1000年に一度の被害であるなら、その爪痕を残す建造物は1000年の価値を持つ建造物と言える。それは、歴史に残して、その爪痕をしっかりと研究対象に残しておく価値があるのではないか。そして、現代の研究者たちはその爪痕をとことん研究する必要がある。少なくとも、まずは、災害、土木、建築、材料強度、情報、その他、あらゆる工学分野の研究者が被災地を巡り、詳細に跡をたどって、それぞれの専門の立場から、何があったかの記録を後世に残す義務があると思われる。それが、同時代者である多数の犠牲者の霊へのせめてもの償いに繋がるものと信ずる。今からでも良い、各学会は、そのような企画を実行して欲しい。

巨大津波に対しては、浸水被害は敢えて甘受し、津波の破壊的な力を緩和して、破壊から社会を多少とでも守る、緩和分散技術を用意することが有効と思われる。甚大な被害を受けた三陸から福島にかけて太平洋沿岸の中で、例えば、松島近辺について言えば、津波による破壊的な被害は少なかったように思われる。浸水被害に止まった。それは、沖合に点在する島々の存在とその分布等が、津波の巨大な破壊力の緩衝材の役割を果たしたことによる可能性がある。とすれば、少なくとも、広大な平地の故に津波の大きな破壊力の餌食にあった、陸前高田、石巻、仙台平野のようなところでは、沖合もしくは沿岸部に津波の破壊エネルギーを緩和するような障害物の群を建設しておくことが、多少とでも役立つのではないか。被災地を見ると、鉄骨がむき出しになった構造物が目立つ。コンクリートは破壊されても、鉄骨構造物はしぶとく津波の衝撃に耐えていたことを示すが、津波の衝撃に耐えることで、津波の破壊エネルギーを消耗させ、結果として、周囲の破壊を緩和させていた可能性はないのか。

今村教授の被害地観察では、その可能性が推測されている<sup>(4)</sup>。例えば、津波の直撃を受けた海岸線に平行して建てられていた二棟の中学校校舎は、海側の校舎については、一階部分は鉄骨のみを残し完膚なきまでに破壊され、二階部分は、全ての窓構造が破壊されて大きな空白を見せ、三階部分の窓はランダムな破壊を受けていた。一方、その10数メートル背後に平行して立っていた山側の同型の校舎も二階までの浸水被害を受けたが、窓の方は一階ですらランダムな破壊で止まっていた。水かさの増大による浸水被害と水の運動エネルギーによる衝撃的破壊の被害を区別し、前者は甘んじて受けることにして、後者による被害を極力少なくするような鉄骨構造物の配置を海岸べりに配置するような計画的な海岸べり構造物建設計画があっても良い。被災現場を子細に視察した日鉄エレックスの奥村氏が指摘するように、巨大な海水流に無数の渦や昇降流を発生させて直進的な運動エネルギーを他のエネルギーなどに変換させるような鉄骨構造物を計画的に配置するような海岸作りを取り入れた街造りが検討されても良いのではないのか。

狭い海岸の土地の利用を諦め、高台への移転が計画されているが、一方で、仙台空港周辺では、ほとんどの人家が潰滅的な破壊を受けて、土台を残すのみの光景が広がる中で、一部地域では、浸水被害のみで済んだ真新しい新築団地の家々が残っている。それは、団地の建設時に、近くを流れる増田川の氾濫を抑えるために敢えて、従来からある調整池を残していたのが、津波の直接的衝撃の緩和に役立ったのではない

かとの評価を受けるにいたっている。津波は、増田川の堤防を数 km にわたり遡ったものの、甚大な被害をもたらすには至らなかったという。同様に、北上川でも、津波は数 10 km に遡ったと言われ、高い堤防に守られたところでは、被害を免れ、低い堤防では、浸水の被害を受けている。川の堤防がある程度高め、広い低地を敢えて活用するなど、高台移転以外にも、多様な地域の特性を見据えて多種多様な都市建設計画が模索されるべきで、工学のあらゆる分野の専門家が現場の詳細な研究調査に参加し、知恵を絞ることが期待される。

## 6. フクシマに被災、被爆の問題を追う

津波と放射能の二種類の災害に見舞われたフクシマでは、今や、放射能被曝による風評被害という三重苦に見舞われている。

遅れている津波被害の把握状況を別にして、まずは、放射能被曝状況とその対応策を確立すると同時に、風評被害の克服に取り組む必要があると思われる。

放射能被曝状況の把握は、まず、汚染状況の把握が前提となるが、公的把握体制は十分とは言えない。少なくとも、個人の住宅や企業内の状況の詳細は自分でやらなければならない。線量計を購入して、個人的に実行している人達もいるが、ほとんどは、無防備と言える。各地に、空間線量の計測装置とその表示装置が、文部科学省が購入した675台を、県が要所に設置しているとされ、確かに、子供の遊び場にあるのを見かけたが、一般的には設置場所が分かり難いと批判がある。そこで、放射線測定器には全くの素人の或る民間企業が、県が購入したものよりは数倍大きい表示装置をより安価に製作し、博物館など人目につく場所に設置すべく寄付を申し入れたが、最終的には拒絶された。止む無く、個人の敷地内での使用に限らざるを得ない状況にある(図3(a))。一方、文科省に報告されている計測値は系統的に低いことが指摘され、測定装置の欠陥によることが明らかになって1.5億円の公費の投入により全てが修理された<sup>(5)</sup>。その欠陥とは？通常の空間線量の発生源は、空気中に漂うチリやガス中の放射能ではなく、地表に堆積分布する放射能によるものである。計測部と線源の間に放射線遮蔽効果のあるものを置くべきではない。最大の遮蔽効果を持つ部品は、日中のソーラー電池による電力を蓄える鉛蓄電池である。したがって、素人の民間業者さえ鉛蓄電池を測定部の上方に配置(図3(b))していたにもかかわらず<sup>(6)</sup>、文科省に落札納入した大手メーカーの装置は鉛蓄電池の上に測定部を設置していたという次第であった。

この単純に見えるミスは、実は、フクシマの放射能被曝とそれへの対応状況が、現場を十分把握していないことによるミスマッチの典型とも言え、複雑な曲面では至るところで見られるとも言える。

例えば、除染の問題がある。環境省主導で、大手ゼネコンが推進している農地の除染作業は、例えば、汚染玄米を出した水田には、10アール当たり2トンのゼオライトの投入により、Cs(セシウム)をゼオライトに吸収固定させようとするものである。ゼオライトの吸着固定機能は、周知のように、気孔分布や粒度など調整条件に大きく依存するが、数量

だけ決めて、製造法も粒度もまちまちの資材が一律に投入されるような手法には強い批判がある。ゼオライトを大量に投入された農地の耕作地としての機能も大幅に低下すると言われる<sup>(7)</sup>。一方、フクシマには、様々な民間や大学などの支援組織が活動している。新潟大学の野中教授をリーダーとするグループは、長年培われてきた有機農法の成果を応用して、農業を如何に持続できるかを基本方針としている。如何に放射能元素、すなわち Cs137 や134を米や野菜に取り込ませないかを問題にする。まず、Cs 等が、表層 5 cm レベルまでに止まっていることを各種の文献並びに実地調査で突き止めている<sup>(7)</sup>。このような土地を、例えば掘り起こして、内部の土と混ぜるだけで、表層の放射能レベルは図 4 に見るように大幅に下がり、そこに生える雑草の放射線含有量も低下すると同時に、空間線量計の指針も4分の1に下がる。すなわち、空間線量は、放置されている荒地や農地を開墾するだけで、25%程度までには下がるということである。

つぎに、この土壌中の放射性 Cs を植物中に移行させない

手法が必要である。そのために、土壌に有機物や堆肥を入れて鋤き込み、腐食生成物を作り、それに粘土質を加える。これにより、土壌粒子が負に帯電し、Cs を固定してくれる。ただ、土壌中に K(カリウム)が不足すると、植物は代わりに Cs を吸収するので十分な量の K を供給しておく必要がある。その条件が満たされれば、強い酸性にならない限り、Cs は土壌中に止まり植物への移行係数は、極めて低いレベルになる<sup>(8)</sup>。この事を、野中教授らは、畑や水田の配置状況や水の流れの関係なども詳細に観察しつつ、その移行係数などを調査して、それぞれの畑や水田に見合った対策を検討している。表 1 中の 1 は、堆肥やカリウム分を十分に供給して深い部分まで鋤き込んだ水田からの収穫物で、土壌中の Cs が十分に固定され、玄米への移行係数は極めて小さくなっている。一方、2 の方の水田は、そのような管理状況になく、作土は薄く、K の補給も不十分で Cs の補足率が悪いため、稲への移行度が高いことを示している<sup>(7)</sup>。このような工夫と緻密な管理を行うことで、土壌中に Cs を閉じ込め、放射能汚染のない作物の収穫を可能としている。これは、肥沃な農地の表土をはぎ取って、どこかに集積し、その先の処理法や処理済み高濃縮土の処理をさらに模索する一方、農地の

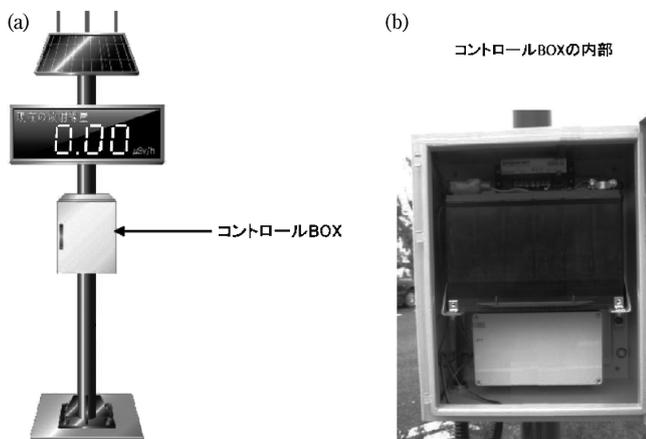


図 3 (a) 民間ニーズで開発された空間線量表示システム(主に、地表からの放射線を 1 m の高さで測定)。(b) コントロールボックスの内部。地表からの放射線の遮蔽効果を避けて、鉛蓄電池を上部に配置)。

表 1 水田における放射性セシウム(Cs134+Cs137)の植物への移行状況。表土を深く耕して厚くし、カリウムを十分に供給することで、玄米へのセシウムの移行率を、表土の汚染度に無関係に小さくできる。

単位	1. 表土を鋤き込んだ深い作土層			2. 作土層が浅く水が滞留			
	水口	中央	水尻	水口	中央	水尻	
空間線量	μSv/h	0.86	0.62	0.53	0.59	0.52	0.66
土壌	Bq/kg	4600	2040	1350	2600	2200	2700
稲わら	Bq/kg	140	92	122	207	121	94
もみ殻	Bq/kg	25	34	35	130	45	17
玄米	Bq/kg	ND	ND	ND	69	25	10

検出限界 以下 ND < 10 Bq/kg  
 移行係数 : (Bq/kg 作物乾物) / (Bq/kg 土壌)

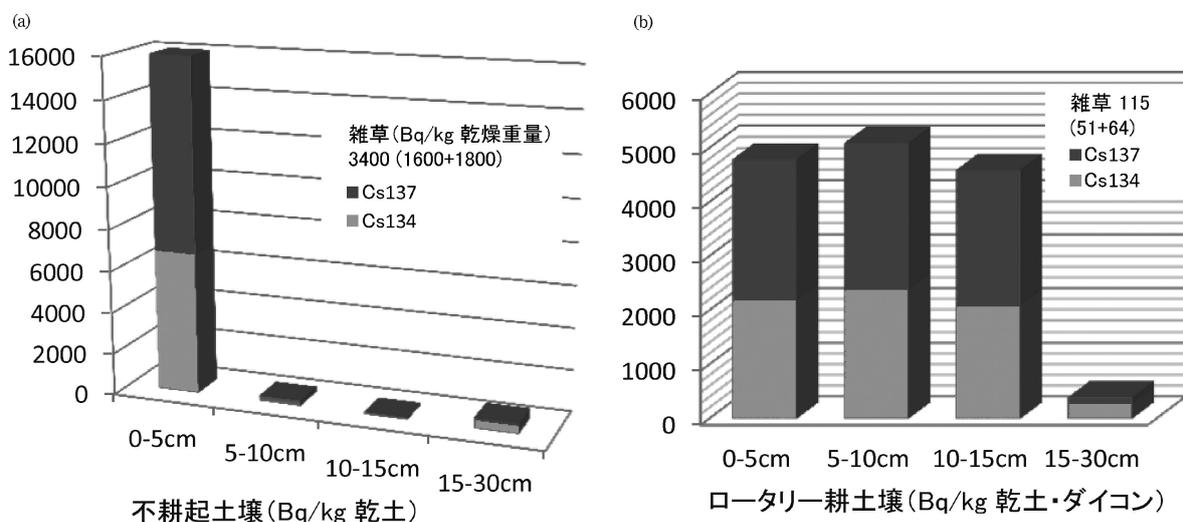


図 4 表土を放置した不耕起土壌と耕作して内部と混合した土壌との比較。表土に生える雑草と表土からの空間線量の低下が著しい。

