

日本海沿岸地帯振興促進議員連盟・日本海沿岸地帯振興連盟 合同勉強会

日時 平成 23 年 6 月 2 日 (木) 10:15~

場所 ホテルニューオータニ ザ・メイン「舞の間」

演題 「沿岸防災と東日本大震災からの復興—減災のための共同研究—」

講師 柴山 知也 氏 (早稲田大学理工学術院 教授)

皆さま、おはようございます。私は早稲田大学で沿岸防災の研究をしております柴山と申します。本日は3月11日に起こりました東日本の大震災経験から、これからの沿岸防災をどう考えていけばよいのかというお話をしようと思います。今日は残念ながら、内閣不信任案の採決のあるちょっと忙しい日になってしまいまして、あまり皆さんに落ち着いて聞いていただけないかと心配しているのですが、沿岸防災を今考えておかないと、これは50年後、100年後の子孫たちがどうやって生き残っていくかという問題に直結しますので、ぜひ今日はこれから自分たちが何をすればいいのかという視点を持って聞いていただきたいと思います。

#1

私が専門にしていますのは津波だけではなく、津波と高潮と高波です。高潮は、伊勢湾台風以来、日本にあまり大きなものが来ていないということもあるのですが、いつ起こるか分かりません。富山県の場合ですと、日本海の寄り回り波が大きな高波をもたらすということがありますので、私はそういう災害が起こるたびに調査へ行って、何が起こったのか、現実にその場所で何が起こって、これから何をすればいいのかという視点から調査しています。

研究者にとって大事なことは、現地調査と、私の研究室は数値シミュレーションのモデルを持っていますので、災害の具体的なイメージを持って、まず住民の皆さんとそのイメージを共有することです。さらには、被災の事情は国や場所によってさまざまなのですが、その社会的な文脈を読み解くことによって、対応する減災シナリオ、これは地域ごとに違って、日本全体を見渡して減災シナリオはこれであるということではできません。地域の事情をきちんとくみ取った上で減災シナリオを作成して、市町の担当者の皆さんや地域住民と共に有事に備えていく。これが基本的な私の研究のスタンスです。

#2

では、この10年ぐらい何をしていたかといいますと、2004年以来、大きな津波と高潮が毎年起こっています。2004年にはインド洋津波が起こり、私が調査に行ったところを列挙してみるとスリランカ、インドネシア、タイになります。例えば今回の三陸海岸で起こったこととイメージ

が一番重なるのは、インドネシアのスマトラ島の一番北東にありますアチェで起こったことで、今回に匹敵すると思います。

それから、2005年にハリケーン・カトリーナの高潮がありました。2006年には、あまり有名ではないのですが、ジャワ島中部の地震津波がインドネシアでありました。それから2007年にサイクロン・シドルの高潮がバングラディッシュでありました。2008年がサイクロン・ナルジスの高潮、これはミャンマーに来たのですが、このときは14万人の方が亡くなるという大惨事になりました。2009年がサモア津波です。2010年は、チリの津波が2月末にあつて、スマトラ島近くのメンタワイ諸島に津波が11月に来ました。

ここにありますように、私は昔、横浜国立大学に勤めていましたので、横浜国大隊、土木学会隊とありますが、今は早稲田隊を率いて、すぐに調査に行きます。何を調査しに行くかというのと、一体それぞれのところで多くの住民の方が亡くなったのはどうしてなのかを調べます。多くの方はもちろん避難して助かっているわけですが、逃げ遅れで亡くなってしまっている方がいます。では、どうすれば災害のときに生き残ることができるのかということをはっきりと調べています。

犠牲者が多い災害になるのは、多くの場合、不意打ちをくらったときです。インド洋津波の時は、スリランカにしる、インドネシアにしる、タイにしる、自分たちのところに津波は来ないと思っていたのです。しかし、それは事実とは違うわけです。それで不意打ちをくらってしまいました。カトリーナの高潮に襲われたニューオーリンズも、ニューオーリンズの町を作ったころは高潮に襲われていたのですが、堤防を造ったことによって、もう自分たちのところは守られたと思っていたのです。サイクロン・シドルの高潮はバングラディッシュの高潮ですが、亡くなった方が5100人です。1970年にバングラディッシュに高潮が来たときには40万人が亡くなっていました。1991年に来たときは、14万人ぐらい亡くなっているのですが、今回は5100人なのです。それはどうしてかというのと、1990年の高潮以降、日本をはじめとする先進各国が途上国援助の一環で、営々としてサイクロンシェルターを造り続けてきたからです。このサイクロン・シドルの高潮のときに、5100人の死者で済んだのは、そのおかげです。ところが、ミャンマーのサイクロン・ナルジス高潮では14万人の方が亡くなりました。これは、インド洋のサイクロンは基本的にはミャンマーにも来ないし、イランにも来ないのです。大抵のものはバングラディッシュに来るのですが、このときに限って、ほぼ50年ぶりにミャンマーのイラワジ川、ヤンゴン川の下流域に突然サイクロンが来たのです。そういうことですからこれも不意打ちだったのです。それから、チリも去年、非常に大きな地震があつて津波が来たのですが、津波の死者は500人です。ちょうど60年前にもチリ地震があつて、大きな津波が来たのです。そのときの教訓が非常に役に立ったというのが、私のチリでの調査の実感です。

日本国内でも、いろいろなことがありました。2006年10月には低気圧が通り過ぎてほぼ丸1日たって天気は回復しているのに、突然、横浜港の大黒埠頭が冠水しました。これは、茨城県の沖を通過していった低気圧が、茨城県で大きな水位の上昇をもたらし、それが丸1日たって東京湾に伝わってきた。陸棚波というのですが、太平洋岸では北から南に波が伝わってくる現象です。それから2007年の台風9号は湘南海岸に大侵食を起こして、西湘バイパスが壊れました。2008年3月は富山県の入善漁港です。これも大きな災害でした。それから2010年2月にチリ津波の日本への伝播、2011年3月に東北地方の太平洋沖地震津波ということです。今振り返って見ると、実は1970～80年代は平穏な時期だったのです。高潮は来ませんし、世界中を見ても、津波、高潮でそんなに大きなものが来た記録がありません。ですから、今は自然災害の活動期に入っていると感じている方がいらっしゃると思えば、実感としてはそのとおりだと思います。

#### #4

では、津波ではどのくらいの方が亡くなってしまおうのでしょうか。津波は皆さんご存じのように地震によって海底地盤が変動することから起こりますが、これまで日本で多くの方が亡くなった津波としては、1896年の明治三陸地震津波があります。死者2万6360人で、これは今回の東日本大震災とほぼ匹敵します。今回は今のところ2万人くらいという数が出ています。三陸海岸は基本的には明治三陸津波をイメージに置いて防災対策をしていました。私ども津波の研究者から見ると、三重の防壁を築いていたつもりなのです。湾口防波堤で湾の中に入ってくる津波をまず跳ね返す、次は陸上に氾濫してきた津波を津波防潮堤で止めて、防潮堤の中の住居を守る、最後は津波避難場所が指定されていて、そこに住民が逃げ込むということで、三重の防衛ラインを引いていたつもりなのですが、今回は次々とその防衛ラインが破られていきました。

日本海中部地震は1983年で、記憶に新しいと思います。この津波が1970年代の比較的平穏だった日本に津波はこのように来るのだということをあらためて認知させてくれたものです。それから、インド洋津波が22万人の死者・行方不明者、これは桁違いです。サモア諸島津波については少ない犠牲者でしたが、今回の東北地方太平洋沖地震津波では、2万人以上ということです。

#### #5

では高潮による死者はどうだったかというと、日本では、やはり伊勢湾台風による高潮が一番大きかったです。5098人でした。それから、1999年に熊本県の不知火町に来た高潮は日本に久しぶりに来た高潮だったのですが、その後、ハリケーン・カトリーナ、それからサイクロン・シドル、サイクロン・ナルジスとあって、サイクロン・ナルジスでは先ほど申しましたように死者・行方不明者を合わせて最終的には14万人を超えました。

高波による被害も、特に日本海側は、冬季における日本海の大きな波浪が問題になる場合が多

いということです。

#6

今日は日本海沿岸の話をしてします。これまで日本海の津波でどんなものが知られていたかというのと、1741年が寛保元年の津波、それから1964年に新潟地震津波、1983年に日本海中部地震津波があって、このあたりから津波の研究が進みました。日本海中部地震のときにわれわれが何を手に入れたかと申しますと、動画です。津波が襲ってきたときの動く映像が記録されるようになったのです。これより前は被害後の写真しか残ってないので、われわれとしても津波が押し寄せてきたときの挙動であったり、どうやって物が壊れるか、人がどうやって流されていってしまうのかということに関しては想像するしかなかったのですが、この日本海中部地震あたりから住民の方が手元にハンディカメラを持っていて動画が撮れるようになったということで、随分と様子がわかってきました。1993年の北海道南西沖地震が大きな被害をもたらしました。

これらはいずれも北の方です。新潟よりも北の方というのがこれまでよく考えられてきたことなのです。日本海側の南西部についてはあまり言われてこなかったのですが、これは未知であるということの意味します。ないということではなく、未知であって、調べなくてはいけない。調べ方は、地震よりも津波の方が調べやすいと思います。一つは、まず古文書の調査です。これは地震についてもできます。もう一つはボーリング調査をすると、いつ津波が来たかある程度の見当がつくのです。今回の東北の津波でも、貞観津波のときには海から津波が砂を運んできて、その層が残っているので、いつ津波が来たのか分かるという話がありましたが、証拠が残っているのです。今回の東北の津波でも、被災地に行った方は覚えていると思うのですが、海から運ばれた砂や泥が被災地一面に広がっています。それが地層として残っていて、ボーリングしてみると何年に来た津波の層ではないかと特定できるのです。ですから、これまで日本海南西部についてあまり言われていなかったのは、未知であったからということから考えると、これから古文書の調査と、それから場所によって津波堆積物のボーリング調査をして、これまでどういう周期で津波が来ているのかと調べてみる必要があると思います。

地震学者と津波学者は別の人です。これまで、地震の研究をしている人が「こういう地震が起きますよ」と言うことを基にして、私を含めて津波の研究者がどんな大きさの津波が来るかということ推定していたのです。今回分かったことは、地震学者が言っていることは限られたデータと知識に基づいて立論されているものであって、すべての場所についてきちんと目配りをした上で「ここに地震が起きる」とおっしゃっているわけではないので、津波に関しては独自の調査が必要だということです。津波の方がより確実にボーリングの結果、どの地層に津波が来た跡が残っているということが言えますので、これから調べなければいけません。

#7

今、警戒されている地震について述べます。地震予知研究推進本部の資料では、北海道の北西沖と、秋田県沖と佐渡島北方沖が、表に載っています。それでは北の方ばかりではないかという、北の方ばかりで南西の方が載っていない理由は、先ほども言ったように未知だからです。

最近の外岡先生の研究で天正14年に天正地震というものがあって、丹後、若狭、越前が津波に襲われたという記録が二つの古文書の中に出てきているということですので、これを一つの手がかりとしてボーリング調査をすることによって、さらに、この天正14年の天正地震以前にも津波が来たのではないかということも含めて調査をすることが可能で、今後やっていくべきだと思っています。

#8

さて、東北地方で津波が起こりましてから、私を含めて早稲田大学の総力を挙げて調査と支援をしました。早稲田大学は総合大学ですので、私のように工学系だけではなく、文科系の教員たちも含めて、今、調査を進めているところです。その中の一つの例として、私どもが何を調査したのかということをお話ししようと思います。

#9

調査で最初にやることは何かというと、測量です。一体、津波がどこの高さまで来たのかということ、われわれが測量して特定していくのです。ここまで津波が来たということがわかります。中を詳しく見ていただく必要はないのですが、こういう表を作ります。日本全国では、津波の研究している主要なところで10大学・5研究機関ぐらいがあって、今回は特に津波が大きかったですから、20研究機関ぐらいが調査を進めています。GPSで場所が特定できるので、痕跡を探して最終的にはそこでの津波の高さは、水面が潮汐で上下しますので、津波が来たときの時間から換算して水面から何メートル上に上がったのかということ調査して歩くわけです。

何のためにそんなことをしているかと申しますと、津波の高さがどのぐらいあったのかということ、具体的に特定していくことによって、今回の津波がどのくらい大きな規模のものであったかを具体的に算定していくことができるからです。

#10

このスライドにありますのは、早稲田大学調査隊と書いてありますが、まずは千葉県から調査を始めたのです。その後、茨城県を調査して、さらに北の方に進んでいったのですが、皆さんご存じのように、福島県が抜けているのは、福島の原子力発電所の事故が障害になり、まだ調査が

できていないということです。ここの部分のデータをどう取るかについては、なかなか今のところは難しいと思っています。ただ、そう簡単に今回は痕跡が消えませんが、然るべき時に調査できるだろうと思っています。

日本だけではなく、外国からもたくさん調査団が来ます。私はアメリカ土木学会の調査隊も一緒に連れて調査に行ったのですが、彼らは全員、放射線被爆測定器を持っています。この装置は放射線をどれくらい時間的に積分して浴びているかという累積値を調べてくれるものです。アメリカの調査隊は全員これを持ってきて、私にもくれたのです。私のところにいくつか置いてきました。日本の調査隊も、一応これを持って調査に行くのですが、結局、累積値は取るに足りない量です。ほとんど東京にいるのと変わりません。福島県には相馬市以外へは行っていません。

### ## スライドなし

先ほどのスライドは、早稲田大学が調べたものですが、ここにありますように、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループというものを作りました。すみません、これはお手元の表にはありません。というのは、まだグループのメンバーが発表していないデータを、取りあえず集めて表にしたものです。論文にもなっていないし、それぞれが調べた結果、どこにも発表していないので、取りあえず見せるだけにしておきましょうという約束でメンバー達が説明に使っています。

先ほどの早稲田の調査結果も含めて、その20研究機関が調べたものを全部ここに載せてみたのです。今回の津波のデータは、ここにある赤です。また、震源はここだったのです。赤を見ていただくと、北海道からずっと東京を過ぎて南は鹿児島まで調べています。私は海岸工学という分野の研究者なのですが、日本全国に仲間の研究者がいるので、とにかく北海道から九州まで全部調べました。そして、主要な部分だけを示してみるとこうなるということです。

明治三陸のデータが青で、昭和三陸のデータが黄色です。先ほど申しましたように、東北地方の津波防災のイメージは明治三陸津波への対応です。明治三陸の規模の津波が来たときにも生き残れるような対策を立てましょうというのが基本的な発想で、沿岸防災の計画を作っています。ただ、これも完全にそのとおりになっているわけではなく、本来であったら、例えば田老町ですと、明治三陸で15mぐらいの津波が来ていますが、15mの防潮堤は高すぎるだろうということで、10m（正確には10.5m）の防潮堤にしておくなど、市町の判断が入っています。

ここにありますように、今回の2011年の津波の特色は、広範囲にわたっていることです。宮城県南部の低平地の方まで津波が来たという記録は、明治以来135年の間には無いのです。次に大きい青い点、1896年の明治三陸では、高さは高い場所があるのです。ほぼ今回の津波に匹敵するぐらいの高さが出ているところがあるものの、発生した場所は狭い範囲だったのです。昭和三陸の方は、それに比べると津波高もかなり低くなっています。

今回も調査に行っているいろいろなところでインタビューをするわけですが、昭和三陸津波までは「私は経験しました」という方が結構いらっしゃいます。私がインタビューしたのは「此処より下に家を建てるな」の石碑で有名な姉吉集落なのですが、100歳の漁師さんがいらっしゃっていて、100歳の漁師さんの隣に70歳の息子さん、この方も漁師さんで、それから61歳の息子さんのお嫁さんです。この3人の家族と話をしていたときに、100歳のお父さんは、昭和三陸のときに自分は漁に出ていたとおっしゃっていました。ですから、昭和三陸の記憶は住民の方に残っていて、ここまでは大丈夫だったという意識のある方がいらっしゃるのです。ところが今回の津波は、昭和三陸の黄色の点のデータに比べて今回の赤の方がずっと大きいのですから、それを上回っていたということで、2万人を超える犠牲者が出たのは、広範囲であったことと、直近の経験である昭和三陸、チリ津波を上回ってしまったという二つの要因があったと思います。

一昨日、この地震津波合同調査グループの研究者が集まって議論していたのですが、明治になって正確な記録が残るようになってから135年、東北地方は3回も大きな津波に襲われているのです。それでもなおかつ守りきれなかったというところに、これまでのシステムは十分ではなかったのではないか、これからどうすればよいかという論点があるということです。

#### #11

最後にこれからの津波防災をどうしましょうかということで、今のところのわれわれ調査グループの結論のようなものを申し上げますが、それを導くに至るにはやはりいろいろな観察や計測の積み重ねがありますので、そのことに関して幾つか話しておこうと思います。

これは宮城県の気仙沼で、国土地理院が、津波が起こってまだ誰も調査ができない時期に上空から飛行機で調査したものです。どこまで水が来たかということで、この赤い部分が浸水したと思われるところです。先ほど申しましたように、津波のときには砂と泥が海から押し寄せてきますので、表面は茶色くなっています。私も飛行機から見たときに、被災地の被災範囲を特定するのはかなり容易でした。すぐに分かります。茶色なのです。それがこの線です。ではこの気仙沼市の奥の方で何が起こったか。気仙沼は典型的なリアス式の海岸ですから、湾奥で、だんだん湾の幅が狭まっていくと、奥の方で水があふれ出るわけです。

#### #12

気仙沼港の周辺で漁船が打ち上がったということから、今、具体的には例えば東京湾や湘南地方にも津波が押し寄せてきたら何が起こるかという目で見てみると、船がかなりの脅威です。船は、もちろん港につながれているわけですが、それがこの奥が気仙沼の市街地ですが、街に入り込んで大暴れするのです。今まで私が見た中で、大きな船が漂流して大暴れしたのは、アメリカのハリケーン・カトリーナの高潮のときです。この時は、かなり巨大な船が陸上に乗り上げて、

10 階建て以上の鉄筋コンクリートの建物にぶつかって双方が壊れたというようなことがたくさんありました。今回の津波の特徴は、たくさんの漁船をはじめとする漂流物が市街地に押し寄せて建物にぶつかっていったということです。

#13

気仙沼でほかにどんなことが起こったのかということで、一つの例としてわれわれがどんな調査をしているかというお話をします。津波のときは水が押し寄せてくるのですが、必ずしも津波の高さだけではなく、どこかにぶつかって、ぱっとしぶきが上がります。この写真では、建屋上部が壊れているのは、そのしぶきが上がったということだと思います。この辺に漂流物が引っかかっているのです。漂流物が引っかかっている状況を見て「ここまでは水が来たのだな」と特定して、ここは浸水高 7.89m としています。浸水高 7.89m という意味は、津波が来た時刻の通常の水位に比べて 7.89m の高さまで水が来たということで、ここはかなりの浸水があったと思っています。

#14

もう一つの今回の特徴は、これは本吉町中島ですが、もともとの海岸線はもっと海側にあったのです。もともとの海岸線があって、ここは全部陸だったのです。ところが、今はもう海になってしまっています。津波による海岸侵食ということで、ここは浸水高さが 10m を超えていたのですが、かなりの外力で押し寄せたものが陸を削りました。ここはもともと低平地で、昔は海だったところを、海岸護岸を造って中を埋め立てて道路を造っているのです。そういうところは海に戻ってしまったということがあります。ですから、こういう失われてしまった陸地をこれからどうするのか、もうあきらめるのか、それとも海岸護岸を再建するのか、判断の分かれるところだと思います。

#15

これは宮城県の南三陸町なのですが、今後の防災計画を作る上で参考になる事例がありました。ここは志津川地区です。ここも、奥のところがかんたん狭くなっていますので、低地に沿って浸水していきました。

#16

ここは、もともと海岸堤防がここにあったのです。この部分は川です。この部分はグラウンドだったのですが、その部分が崩壊して失われています。

これは津波避難ビルです。この建物は、津波避難ビルとして建設されたものです。この建物は町営のアパートとして使っていました。南三陸町が避難計画を作ったときに、この辺には商店街がありましたので人がたくさん住んでいるのですが、海の近くに避難できる場所がなかったのです。丘まで逃げるのに時間が掛かるので、ここに防災の拠点として避難ビルを造りました。4階建ての津波避難ビルを造ったのですが、ここは浸水高 15.5m と書きましたが、この屋上まで水が来てしまったという例です。

### ## スライドなし

反対側から見ると、ここがもともとの護岸です。津波外力の特徴は、長時間にわたってずっと押し続けることです。地震ですと、ぼんとたたいたように、大きな荷重が掛かるのはせいぜい十数秒です。ところが津波の場合には水がとうとうと流れ込みますから、その時間ずっと押し続けるということで、普通のビルだと倒れてしまう可能性があるわけです。この津波避難ビル自体は津波避難ビルの設計ガイドラインに沿って設計されています。横から津波が来たわけですが、そういう横からの荷重も考えて設計がしてあるので、ビル自体は建っています。

津波避難ビルですから、この階段を上って屋上に逃げろという標識が建っています。これに従って、皆さん屋上に逃げました。もともとここが地表面になっていて、下の部分は全部洗掘されて今なくなってしまったのです。私がインタビューしたのは、この1階に住んでいる住民の方です。その方に伺ったところ、「うちは小さい子がいるから」とおっしゃるのです。まだ小学校に行っていない小さなお子さんがいらして、その方が子供をつれて屋上に逃げました。第一波は3階のちょっと上、4階のところを通り過ぎていったのです。それは非常に大きな運動量を持った流れです。こちら側にいろいろなものが引っかかっているのはそのためです。その後、その水は志津川地区の平野部分に氾濫して、一番奥に丘がありますので、水位が上がります。丘に当たって水が流れなくなると、その後ろの部分の水位がずっと上がるのです。上がったときに、この屋上の床から 71cm のところまで来ました。その住民の方は「うちは子どもがいるから、こうやって水にぬれないように持ち上げていた」とおっしゃいました。「水はどこまできたのですか」と問うと膝上を指差して「ここだ」とおっしゃったのを 71cm だと私が測ってきたのです。ここで起こったことは、津波避難ビルの4階の上の屋上まで避難したけれど、床上 71cm まで水が来てしまい、あともう少し水位が増えたら非常に困ったけれど、何とかそこで止まりましたという話です。

バングラディッシュのシドルの高潮の際に、サイクロンシェルターに私が調査に行ったときも、同じような話がありました。サイクロンシェルターは、1階部分は柱だけで壁を作らず、2階が通常は学校の教室で、3階が屋上です。サイクロンが来るときは大雨で雷も鳴っていますから、女性や子どもはサイクロンシェルターの2階に入ってドアを閉め、男たちは全員屋上に立すいの余

地ないほど並んで、ぎゅうぎゅう詰めでサイクロンが通り過ぎるのを待っている。いよいよ高潮が来たときに、2階部分の床から59cmまで水が来てしまったという例がありました。そこもあと1m、水位が高かったら2階部分に避難していた人はおぼれてしまったということで、危機一髪で何とか助かったといったことでした。

#18

リアス式海岸の話は女川の例で終わりにします。この次は低平地に移ります。女川町は非常に大きな被害を受けました。

ここは峠になっているのですが、この部分はちょっと低くなっていて、水が峠を超えました。この峠は明らかに超えています。この2つの湾は、つながってしまったのです。今回の津波が来るちょうど1年前に、チリの津波が日本に伝わってきました。そのときも私は調査に行きまして、女川町で津波の高さは1m54cmなのです。私はインタビューして歩きました。竹浦や桐ヶ崎、石浜など、この辺をインタビューと計測をして歩いて、1年前は「今回は良かった。防潮堤も役に立ちました。防波堤は津波を低減した。」と話をしていたのですが、今回はそれがすべて破られて、私がインタビューした家はもう残っていないという状況です。

#19

これは女川町の町役場です。3階まで浸水しました。皆さんご存じのように町役場の機能をどうやって維持していくかということが、災害のときには大きな問題になります。私のところには神奈川県庁の方や県警、横浜市役所の方などが相談にいらっしゃるのですが、問題は、津波が来たときには臨海部にある警察署も危ない、そうなるとう頼りになる機関が麻痺してしまうというようなことが各所で起きるということです。

#20

これは町立病院です。この辺は商店街になっていまして、私が1年前に行ったときにはもちろんいろいろの方が住んでいました。結局、津波は17.42mと書きましたが、町立病院の1階の中央手術室の壁のところまで来ています。この丘にいた人は、水は来たけれども流されることはなかったという状況で助かったということです。

#21

ここには、小規模なものですが防波堤があったのです。ちょっと見にくいかもしれませんが、これは1年前に私が撮った写真です。ここに防波堤がありました。この建物とこの建物は同じ建物です。防波堤は第1の防衛線で、チリ地震が去年伝わってきたときにはある程度跳ね返してく

れたのですが、今回は壊れてしまいました。

右側が女川町の港です。去年のチリ津波のときには、水位が上がって、開口部から水位が上がるから水が流れ込むわけですが、女川町の中の方は浸水高 1.5m 程度で済みました。今回はそれが津波の力で壊れてしまいました。

### ## スライドなし

これは釜石の湾口防波堤です。私は飛行機で湾口防波堤を上空から観察したのですが、くしの歯が欠けるように抜けていました。

### #22

これは女川町の竹浦地区です。1 年前に私がインタビューした家がここに建っていたのですが、もうないのです。最大浸水高 12.02m で、防潮堤の高さは 1m75cm です。1m75cm の防潮堤に 12.02m の高さの水が押し寄せてくるということが現実に起こってしまったわけです。

### #23

さて、今回の津波の特徴として、低平地に水が広範囲に浸水したということがあります。津波の研究者と高潮の研究者は違うため、津波も高潮も共に調査するのは、研究者では私だけです。ミャンマーやバングラディッシュの低平地に水が押し寄せてきた場合の調査経験を私は持っています。調査では、先ほど説明したグループの中で場所割りをします。私は低平地の調査をしたことがあるので、私の当初の担当は低平地になりました。例えば 2004 年 12 月 26 日にインド洋津波が起こったときに、直後に、私のところにはメールがたくさん来ました。世界中の津波の研究者が場所割りをするので。「今回はいつ自分が行くから、それを引き継いでおまえはどこを調べろ」といった相談がそれ以降はできるようになっています。

皆さんよくご存じのように、仙台の街中はここです。海岸の方はベッドタウンになっていて、荒浜や新浜などの名前が示すように、もともとは海だったのです。海が沼になって、それを埋め立てて住宅地になっているところです。

### #24

これは水田の区画です。皆さんは、地元にこういう場所はたくさんあるなとイメージされていると思うのですが、ここでの津波の高さは、何本か残っている木に跡が残っているのですが、浸水高が 9.38m です。今回の場合は防潮林が役に立ったかという、役に立たなかった場所が多いと思います。松は意外に抜けてしまいました。抜けた松が津波の水と一緒に押し寄せてきますので、それがぶつかって物を壊すというようなことが起こりました。

この辺は市街地になっていたのですが、写真を見ると分かるように、上から見ると砂の層がたまっています。この跡を例えば数百年後に堆積物を調査して、津波があったと推定することができます。この場合には約 1km にわたって浸水しました。

#25

地区のほぼ全域が浸水しています。本来であればここは普通の住宅街で、ここがメインストリートでした。ここは郵便局なのですが、何も残っていないという状況が海岸線からここでは 1km にわたって起こったということです。

#26

これは海岸線から 700m 離れた小学校が浸水した写真です。

#27

名取市は、自衛隊が映した、海岸から低平地に水が進入して氾濫していく映像を皆さんの中にも鮮明に覚えている方がいらっしゃると思います。仙台空港もそうです。

#28

浸水高 9.09m のところがここに 있습니다。河川堤防には 50m ごとに亀裂が入ってしまいました。これは、施工するときに 50m ずつ区画を区切って工事していますので、その場所に弱みがあったのだと思います。ここには日和山という人工の丘があるのですが、これも今回は水が超えてしまったということです。

#29

これは河川堤防にひびが入っている写真です。各所でこういうことが起こっていました。国土交通省が応急の措置をしています。私どもの卒業生も何人か国土交通省に勤めていますし、私の勤務する学科はもともと土木工学科ですので、今、東北にいる卒業生達は復旧の仕事をしています。これらの堤防をどうやって守るか、梅雨どきの河川堤防をどうやって守るか、台風シーズンの海岸堤防をどうやって守るかということが当面の大きなテーマになるわけです。

#30

この辺りの住宅街は、いくつか住宅が残っていますが、水が 9.09m まで来ました。上の方はしぶきで壊れたものと認定しましたので、この辺りにいろいろなものが引っかかっていますので、ここまでは水位が上がったと考えています。

#31

日和山という人工の丘は、津波避難のために造った丘ではありませんが、この上を超えています。この辺りまで水位を超えていますので、ここに避難することは適当ではなかったと思います。

#32-33

亘理町では河川堤防を越流しています。阿武隈川の河川堤防を越流していて、海岸堤防は崩壊しています。浸水高7.71mということで、お気付きかと思いますが、少しずつ南に行くに従って下がっています。ですから、福島の原子力発電所が14mというのは遡上高であって、津波の浸水高ではないと思います。浸水高とは海岸のところでのどのくらいの水の高さがあったかということで、そのあと、運動エネルギーを位置エネルギーに変換しながら坂を登って何メートルまで上がるかという高さを遡上高というのです。原子力発電所のところで14mとっているのは、恐らく遡上高のことを言っているのだと思います。

#34

これは阿武隈川河口です。河岸堤防が越流されており、幾つかの家は壊れています。

#35

海岸堤防が崩壊していますので、台風シーズンをどう乗り切るかがこれからの大きな問題だと思います。

#36

相馬市が私が北から行った南限です。ほかの調査チームも相馬より南にはまだ行っていませんので、今のところ津波の計測データは相馬ぐらいが一番南と考えられます。

#37

これは相馬港が壊れている写真です。

#38

相馬でも海岸堤防の大規模な崩壊が起こっています。堤防背後の浸水高は6.86mとまた少し低くなっています。沖側には、日本海側でも消波ブロックがたくさん置いてあると思うのですが、消波ブロックがこの海岸にもあって、消波ブロックが置いてあるところは裏側の海岸堤防が壊れていません。ただ、消波ブロックの設置には間を空けます。間を空けないと中の水が外側と交換

しないので間を空けるのですが、その部分が弱点になり、その背後の部分だけが壊れているのです。破壊の間隔が消波ブロックのすき間の間隔に一致しています。私は、海岸に行くと、ここはどんな壊れ方をするのかとイメージを膨らませることにしているのですが、大変参考になる事例です。

### ## スライドなし

早稲田大学は御用学者ではありませんので、政府からお金をもらって研究するというイメージではなく、早稲田大学の学の独立の立場から大学でお金を用意して研究を行います。私が大学からの研究費を与えられているのは、東北地方太平洋沖地震津波の被災分析と復興方略というテーマで、これは防災社会基盤系や地域計画系の研究です。もう一つ、研究の柱として環境診断・対策技術というものがあります。がれきの中にいろいろな化学物質が詰め込まれてしまっていて、そこからそれらの化学物質が漏れ出てきてしまうのです。環境資源工学科が中心となって、がれきの中から染み出してくる汚染物質の分析をしています。学生と一緒に行って、いろいろなサンプルを取ってきて、がれきの中に入っている化学物質を分析して、これからいろいろな結果が出てきます。がれきの処理の仕方もあらかじめ考えておかないと、何でも一緒に入れてしまうと困ります。これらはガラクタではなく、住民の方にとって大事なものも一緒に入っているのですが、そういうものをどこに集積するかで環境問題を起こすということです。それからもう一つ、早稲田の研究の重要な柱として、文科系の先生方が複合巨大クライシスの原因・影響・対策・復興に関する研究をされています。ここでは、なぜリスクがきちんとマネージできなかったのか、もう少しきちんとリスクのマネジメントができるような体制を作るべきではないかという観点で研究しています。

もう少しすると、早稲田大学出版部からモノグラフシリーズが出版されます。これは研究者が1冊ずつ書くことになっているのですが、研究成果が出てきますので、しばらくお待ちください。

### #39

私自身は何をしているのかというと、防災機能を備えた社会基盤施設の再建を考えています。防潮堤がどのくらい頼りになるのか、もちろん限界があるわけで、その限界はどのくらいで、そこから先は何が起きるのかをはっきり示そうとしています。防潮堤は上を乗り越えられると今回は壊れてしまいました。壊れた後、台風シーズンが来たり、先ほどの河川堤防ではありませんが、梅雨どきになると心配な状況に陥りますので、もう少しタフな、ロバストネスと言いますが、耐久機能を強化した社会基盤施設として再建するべきではないかと思っています。

湾口防波堤、津波防潮堤、避難ビルが先ほど言った三つの防護ラインです。この三つの防護ラインの効果がどれだけあったのかをきちんと検証して、これらの性能をどのレベルに設定するか

については、数カ月で結論を得るつもりです。

次に、全国の津波対策です。これは皆さんの県でもそうだと思うのですが、まだどこでどんな津波が起こりそうかというイメージも確定していない状況なのです。日本全国どこへ行っても津波を無視していいところはありませんので、どこも可能性があるということで検討するべきだと思います。各自治体がどうすればいいのかを手順として示すことにしています。

高地への移転、避難ビルの建設などを防災機能強化の方法として検討することがあります。もちろん高地への移転についていろいろなところで合意形成会議が行われているのですが、必ずしもうまくいかない面があります。私の研究室の学生がそういうところの分析をしています。どうすれば新しい街づくり、漁村づくりを支えていくための支援システムを提案できるのか検討しています。これは例えば幾つかの漁村、漁村といっても気仙沼港などは大きいのでまだいいと思うのです。宮古市などに行くと、津々浦々、一つ一つ湾に小さな漁港があります。そういうところに行くと、「これからの生活はどうなされますか」と伺うと、「いや、そんなことを聞かれても、ここで漁をしているのは7~8人だ。漁港が壊れたからって、7~8人しかいないのに、もう一度漁港を造ってくれなんて言えるはずないだろう」と漁師さんはおっしゃるのです。そのとおりだと思います。だからといって、その漁師さんがどう暮らしていくのかということを放置できません。集約化するという話が出ていますが、集約化は可能だと思います。というのは、高いところに移転した漁村は港まで車で通っているのです。元気であれば70歳のおじいさんでもおばあさんでも車で漁港まで行っているという現実がありますので、ある程度の集約化はできると思います。先ほどの「7~8人のために漁港は造れないよ」とおっしゃるのはそのとおりだと思います。それは漁民の方がおっしゃったわけですが、ではどうすればよいのか。今、東北地方で行われているのは、何ができて何ができないかはっきりしていくというプロセスですので、それをきちんと研究者の立場から分析していく必要もあると思います。

#40

防災計画の練り直しをするということで、まず、全国レベルでの課題として、防災対策の策定で想定されている津波の規模を見直す必要があります。例えば相模湾、東京湾でも、これまで軽視していた津波をもう一回見直します。神奈川県の場合だと、元禄関東地震を対象のイメージに置いていたのですが、元禄関東地震をシミュレーションしても鎌倉の大仏まで津波は来ません。ところが、現実には明応地震津波の折に来たという記録があるのです。では、津波の数値シミュレーションにおいて、どういうときに大きな津波が来るかという、東海地震で現在の想定よりも沖側に震源が移ったときに、鎌倉の大仏まで水が来るのです。東海地震の今の想定では、もっと岸側で起きることになっているので、神奈川県防災計画の中に入っていないのです。よくよく調べてみると鎌倉の大仏まで来ているわけですから、やはり津波の規模と波源の位置を見直さ

なければならぬと考えています。

次は、想定値に縛られずに、それを超える津波が来襲した場合にも対応可能な避難計画をあらかじめ作成しておくことです。今回の津波における最大の警告は、想定値を設けて避難計画を作った途端に、それを超えたときにカタストロフィックなことが起きてしまうということです。先ほどご紹介した南三陸町の避難ビルも、あと少しで危ないところでした。屋上から71cmまで来ているわけですから、あと1m高かったら危なかったのですが、超えたときに何が起こるかというイメージも今回できましたので、それをきちんと防災計画に入れていく必要があります。

地震研究者、津波研究者、市町防災担当者、これらは分業しています。これはしまったなと思うのですが、津波の研究者は今まで地震学者の言うことを信じすぎてきたという反省があります。これからは津波研究の立場から独自に地震が起こるメカニズムと地層に残った津波の歴史を調べて、津波の想定を作っていく必要があると思います。これまで、例えば地域の津波防災計画を作るときに、例えばプレート内地震についてみると、地震学者はボーリングしてある断層を調べると、この断層はいつ動いたか解るので、次はこれぐらいの可能性でいつ地震が起きるかを予測します。一つボーリングすると新しい証拠が見つかりますから、どんどん変わります。地震の予測が毎年変わっていくわけです。津波の研究者は、なぜそのように次々と変わるのかなとは思っていたのですが、その予測に追随するのは難しくはありませんでした。地下のことは詳しくは分からないので、一つ調べると新しい知見が出てくる、それに対応しなければいけないということを繰り返してきました。しかし、どうもそのやり方では想定できないものが出てきてしまいます。プレート間地震についても、今回の東北の津波でも、あんなに南の方まで海底地殻が壊れていってしまうとは誰も思っていなかったわけで、その辺りをきちんと考え直す必要があります。

それから、地域の視点で防災を構想することが必要です。中央防災会議は日本全国の視点で見ますから、東海、東南海、南海が最大の課題です。しかし、例えば神奈川県にとって怖い津波は、まず元禄関東の変形型と東海地震の震源が沖に移った場合です。恐らく皆さんの県にとっても、中央防災会議ではあまり取り上げられていないけれども、自分の地域の海岸に立って、ここに何が起こりそうかというイメージを持って想像してみると、もっと考えなければいけない津波がいくつもあるということです。

#### #41

一昨日名称について合意したばかりなのですが、土木学会を中心とする津波専門家の間では津波防護レベル、これは構造物で対応する津波のレベルで、海岸防護施設的设计で用いる津波高さのことですが、再現確率が数十年から百数十年に1度程度の津波を対象として、沿岸部の資産を守ることを目標にすることを考えています。津波防護レベルを、100年に1回程度の津波対象ですから、東北の例で言えば明治三陸をイメージして作ってきたということです。さらに、津波減

災レベルというものがその上にあつて、これは避難計画のための津波のレベルで防護レベルをはるかに上回る津波に対して、人命を守るために必要な最大限の措置を行うというものです。この2つのレベルも設定するというにしたいと思います。これは、津波減災レベルは場所によっては非常に高い値になるか、場合によって想定できないくらいに非常に高い値で青天井に近い値が与えられる場合がありますが、それに対しても避難計画だけは考えましようということです。

「避難計画の策定に当たっては、避難場所の想定を地域の特性に応じて適切に行う。想定値を超える場合についてもシステムの維持ができるように設計する」と書きましたが、「津波の高さをあらかじめ設定しないでも避難計画が作れるのですか」と問われて、こういうことを考えました。市町の置かれた地形条件を場所ごとに分析して、A ランクは絶対に大丈夫な場所で、背後に標高の高い後背地を有する丘です。田老地区の避難場所の赤沼山は、まさにそのような場所です。丘の上で、後ろがどんどん高くなっていますから、まず赤沼山に逃げて、さらに津波が来そうだったらその後ろに逃げていけるということで、このような場所が A ランクです。B ランクは堅固な 6 階建て以上の建物か、20m 以上の地盤高の丘です。ここは、津波のときには孤立する可能性があります。水位が高くなり、それ以上逃げたくても、そこに立てこもるしかないので B ランクです。C ランクは堅固な 4 階建て以上の建物です。これは、もしかしたら水位が屋上を超えて来てもうかもしれないけれど、取りあえずほかに逃げるところがなければ逃げ込むという場所にしておきます。信頼度のランクで ABC を付けて、それでどのくらいの割合の人が時間内にそこまで逃げ込めるかという観点で整理してみます。

横浜市で緊急の検討をしてもらいました。港の埠頭の部分は、夜は住居地域ではありませんから人はいないのですが、昼間はたくさん人がいます。倉庫会社や運輸会社の事務所があつて人がいるのですが、そういうところは A も B も C もないのです。C さえない。「ではどうしましょうね」というように、この ABC で分類していくと、逃げようのない場所があぶり出されてくることが分かりました。ただ、この話をする、東北大学の先生は「柴山さんの目の前にあるのは横浜、湘南だから、6 階建ての建物くらいならいくつもあるでしょう。しかし、宮城はそうはいかないのです」とおっしゃっていました。たしかに、場所によってできるところとできないところがあると思います。私もすべての場所でこれができるとは思いません。津波の防護レベルはある程度早く専門家が設定できると思います。減災レベルも設定はするのですが、この上限がどこまでいくかはなかなか確定できません。それは、津波の歴史をきちんと整理することが、まだ材料不足できないからです。そうすると、すぐにできることは、避難場所がどこにあるか、きちんと ABC のランクを付けて探していくことによって、住民の方の安全が図れるかどうかを確認することです。避難場所になる A ランクの丘があるか、C は取りあえず逃げ込む場所であらゆる場合に安全かどうかは分からないということに注意して、地域で具体的に場所を探していくという作業をしようと思っています。

#42

私はこれまでに何冊か本を出しているのですが、津波や沿岸防災の話はこの「COASTAL PROCESSES」に書きました。残念ながらこれは英語で書きましたが、ご参考になればと思います。本日の話はここまでさせていただきます。ご清聴ありがとうございました。