

被害から復興へ

東日本大震災



島崎邦彦 西澤邦秀 野田利弘 中林一樹

防災アカデミーアーカイブ vol.5

2012年3月
名古屋大学災害対策室

被害から復興へ 3.11 東日本大震災

防災アカデミーアーカイブ vol.5

名古屋大学災害対策室

はじめに

2011年3月11日の東日本大震災により、東北地方をはじめ広い範囲で甚大な被害が発生しました。災害にあわれた方々に心よりお見舞い申し上げます。

今回の大震災に関して、被災地の一日も早い復旧・復興に向けて出来る限りの努力を続けるとともに、なぜこのような大きな犠牲を出したのか、またどうすれば被害を減じることができるのか、大災害の真の姿を見逃さず、将来に向けて有効な対応策を充実することが強く求められています。特に近い将来に南海トラフの連動巨大地震の発生も危惧される東海地域においては、今回の大震災を自らの問題として捉え、将来の減災につなげることが責務ともいえます。

名古屋大学災害対策室・減災連携研究センターでは、一般向けの防災講演会「名古屋大学防災アカデミー」を毎月開催してきました。2004年から通算で77回（それ以前の地震防災連続セミナーを含めれば87回）を数え、多くの方々にご参加いただいています。特に今年度は、東日本大震災の発生を受けて、その核心に関わる話題を集中的に取り上げて10回開催しました。講師は実際に大震災の調査、対応、復旧、支援、そして将来に向けた防災対策などに当たられている専門家で、内容は地震動、災害情報、津波、地震予測、放射線、液状化、建物被害、復興、歴史、そしてボランティアなど多岐に渡り、たいへん貴重なお話を伺うことができました。

その中から今回の防災アカデミーアーカイブ Vol.5には、島崎邦彦・東京大学名誉教授、野田利弘・名古屋大学教授、西澤邦秀・名古屋大学名誉教授、中林一樹・明治大学特任教授のご講演を収録しています。先生方には原稿掲載を快くお許しいただくとともに、資料提供や内容確認など多大なご協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

2012年3月
名古屋大学災害対策室長
飛田 潤

目次

はじめに

1. 「東日本大震災の発生予測をめぐる諸問題」

島崎 邦彦（東京大学名誉教授 / 地震予知連絡会会長）

3

2. 「東電原発事故による環境汚染が地域住民に及ぼしている影響 一衣・食・住・被曝・健康、法規制一」

西澤 邦秀（名古屋大学名誉教授）

30

3. 「液状化を含む地盤の地震時被害～なぜ起こるのか？ どのようにして防ぐのか？～」

野田 利弘（名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 / 減災連携研究センター教授） 65

4. 「二元復興の国土づくり～東日本の災害復興から首都圏・西日本の事前復興へ～」

中林 一樹（明治大学政治経済学研究科特任教授）

104

※ 講演者の所属は講演当時のものです。

東日本大震災の発生予測をめぐる諸問題



講師 島崎 邦彦
(東京大学名誉教授 地震予知連絡会会長)

(司会) 第71回名古屋大学防災アカデミーに、今晚も大勢お越しいただきましてありがとうございます。今日は皆さんよくご存じの島崎先生に「東日本大震災の発生予測をめぐる諸問題」というタイトルでご講演いただきます。

この後の進行は、名古屋大学の地震火山防災研究センターと減災連携研究センター兼任の山中先生をお願いします。

(山中) 今日は島崎先生にお話しいただきますが、島崎先生には2006年4月にも「地震惚け日本人—長期評価の十年—」というタイトルでお話しいただいたので、もしかしたら2回目という方がいらっしゃるかもしれません。

私がなぜ司会を務めるかというと、実は先生の不肖の弟子だからです。地震研は東大にある大きな研究所で、お金持ちのはずなのですが、島崎研究室は貧乏人の子沢山といわれる研究室で、たくさんの学生とともにわれわれは学んでまいりました。春になると春の病といってセミナーをしたり、夏になると実際に音波探査などをしたりと、理論の先生かと思われる方が多いかもしれませんが、実際に観測をしたり、地球物理の先生なのですが地質や地理などの先生とも対等にお話しできるような、すごく分野の広い先生です。ですから、われわれ学生もいろいろな分野の勉強をしていて、私もジオスライサーという箱型の板をたたき打つことによって地下の地層を取って、津波堆積物がないかなど

という調査を、湾の浅瀬などで胸まである大きな長靴を履いて先生と一緒にしました。

先生のご略歴を簡単にご紹介しますと、東大の理学部地球物理学教室を卒業され、修士課程を経て地震研究所の助手になりました。その後、順調に助教授、教授になられ、2年前に退職されて、今は名誉教授でいらっしゃいます。現在もたくさんの肩書きをお持ちで、交通政策審議会委員、その審議会の気象分科会会長、地震予知連会長、地震防災対策強化地域判定会委員、中央防災会議専門委員、地震調査研究推進本部地震調査委員会委員、長期評価部会長、日本活断層学会会長など、さまざまな要職に就かれています。このようなことを言うと、すごくお堅いまじめな先生なのだろうとお思いになるかもしれません。見た感じもとてもまじめな方なのですが、結構お茶目なところもある先生です。

中央防災会議や調査委員会などから出ている報告書は、自治体の地震対策のよりどころになっているものですが、実際にそのような報告書がどのように作られているのかという裏のお話も聞けるのではないかと思います。今日は「東日本大震災の発生予測をめぐる諸問題」というタイトルでお話しいただきます。では先生、よろしくをお願いします。

(島崎) 「東日本大震災の発生予測をめぐる諸問題」という堅いタイトルは頂いたものをその

まま使っているのですが、今回の大震災に関連したことをお話しします。

1. 主な海溝型地震の長期評価結果

長期評価というものがあります（図表1）。後で多少詳しいご説明を加えますが、右の図の横軸は時間、縦軸はマグニチュードです。いろいろな地域で繰り返し地震が起きていますので、それらを使って次の地震がどう起こるかを予測していこうというものです。

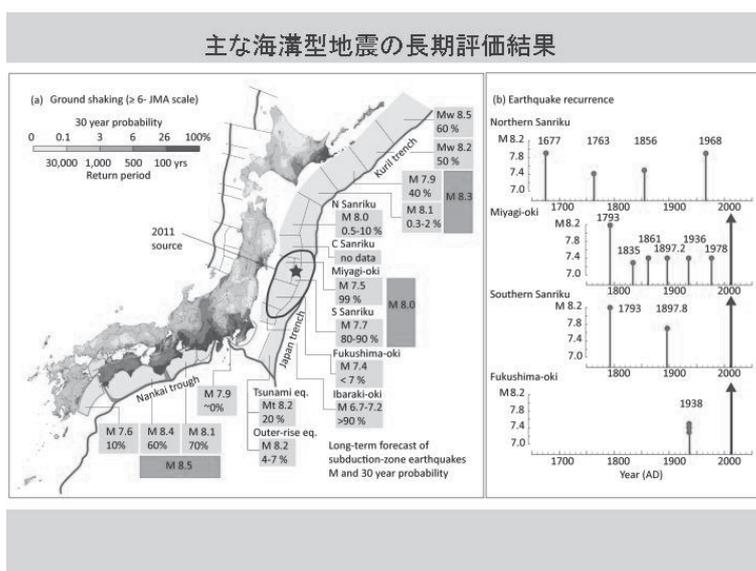
右側の一番上のグラフは青森県の東方沖です。1968年の地震のときには十勝沖という名前が使われました。大体はマグニチュード8前後で、宇佐美先生の本では多少小さめに見積もられているものもありますが、大体100年ぐらいの間隔でほぼ同じ地域で繰り返し起きています。こういう繰り返しを見て次に起こるのがいつかを予測するわけで、まだ当分時間がありそうだとすることで、30年確率は最大でも10%程度という数値が出ています。

宮城県沖と呼んでいる牡鹿半島のすぐ前で起こる地震は、グラフが大変込んでいるので間隔が短いことがすぐに分かるかと思いますが、マ

グニチュード7.5前後の地震の30年発生確率が99%という数字が出ています。このことは多くの方がご存じで、特に宮城県の多くの方は宮城県沖地震をご存じで、対策されていたと思います。青矢印が今回の地震で、起こるべきタイミングで起こっています。

その一つ東側（沖合）の南三陸では、マグニチュード8程度の地震が起きます。あまり数はないのですが、1793年には宮城県沖と南三陸の両方の領域が一度に破壊して、マグニチュード8を超える大きな地震がありました。特に宮城県から岩手県の南部にかけて破壊したために、大きな津波の被害がありました。これまで両方のタイミングはほとんど合っているので、宮城県沖およびその沖合のところを含めてマグニチュード8程度の地震が、次も同時に起こる可能性が考えられていました。宮城県沖地震が起きる確率が先ほど申し上げたとおり99%、沖合の方の確率が80～90%ということで、恐らくこの二つが一緒に起こるだろうと考え、防災対策が進められていた地域もあります。

その一つ下の福島県沖では、マグニチュード7.5から7の後半ぐらいの地震が、1938年に何



図表 1

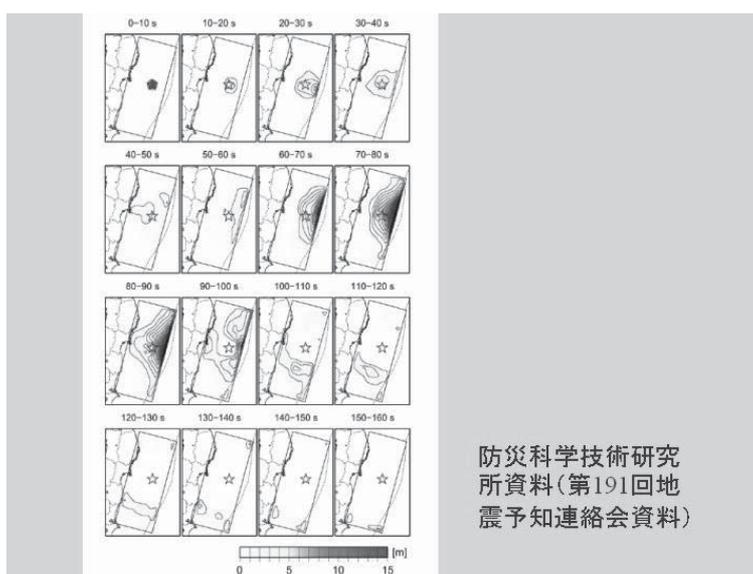
回か起きています。そのようなことが起これば、この辺りには人がたくさん住んでいますので何らかの記録が残るはずなのに、江戸時代には地震が起きたという記録がないのです。私たちは非常に不思議な地域だと思っていました。評価しようがないのですが、仕方ないので400年に1回と評価しています。それ以外の地域も、これまでそれぞれ左図のような形で評価されていました。

長期評価は、もともとどのようないきさつで作られたのか。阪神淡路大震災のときに地震学の知識が一般の方に伝わっていないという反省を基に議員立法ができ、地震本部が作られて、その中の地震調査委員会で始まったものです。評価が進む中で、ご存じのように、東海・東南海・南海辺りでは30年確率がもはや60～70%という数字になっていて、恐らく今世紀前半にはこの一帯で大地震が起こるのではないかと考えられています。地図の赤いところは震度6弱以上の揺れが30年以内に起こる確率が非常に高いと評価されているところで、糸魚川静岡構造線が活動する可能性や、あるいは宮城県沖や北海道では震度6弱以上になる可能性が、非常に

高いと評価されていたわけです。

実はこうした長期評価とは別にもう一つ、日本海溝に沿って津波地震、あるいは正断層型の地震（アウターライズ地震）が起こるという評価もされていたのです。このことについては後でお話しします。

幾つかの研究グループが、今回の地震がどこから始まってどのように破壊が伝わっていったかということを発表していますが、ここには防災科学技術研究所のグループが出した結果をお示ししています（図表2）。どこも大体似たような結果になっていて、破壊が始まったのは宮城県沖の海溝寄り（南三陸）の★印で示した部分です。宮城県沖と南三陸の両方でマグニチュード8になると考えていた、まさにそこから破壊が始まり、だんだん大きくなって牡鹿半島の方まで広がっていきました。このあたりまでは、ある意味まさに予測どおりに物事が運んでいったように見えます。しかしそれ以降、大変なことが起きました。海溝に沿ったところで非常に大きなずれが発生したのです。このこと自体が、私どものそれまでの常識を破るような事件でした。



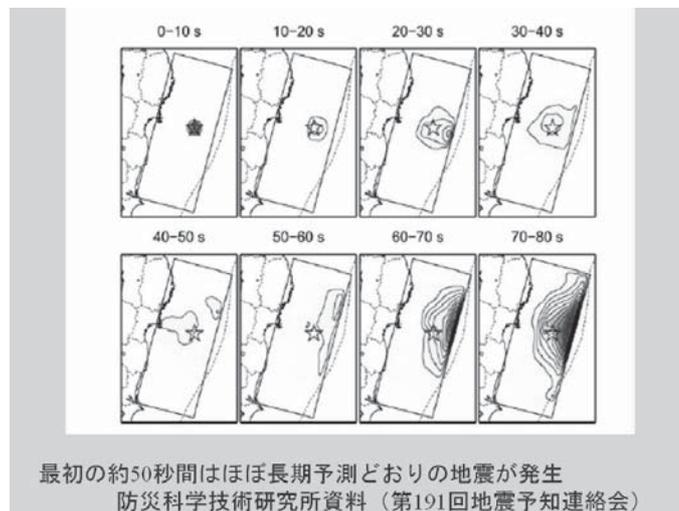
図表2

今の図を拡大してもう少し詳しく見ると（図表3）、破壊が始まり、だんだん広がっていき、少し海溝の方に寄りながら牡鹿半島まで来ています。確かにそのあたりまでは宮城県沖およびその沖合（南三陸）で起きた地震のように見えたのですが、その後、急に海溝に沿ったところが非常に大きく動いたということです。

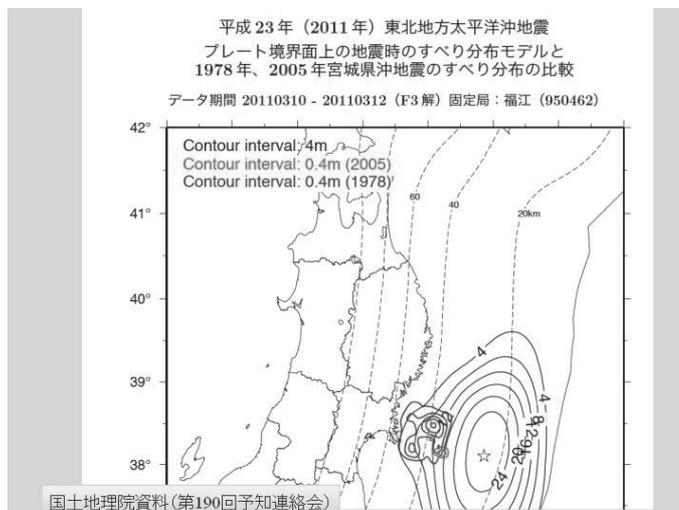
今回の地震は、それまで幾つかに分けていたたくさんの領域が連動して、いっぺんに破壊されたという言い方をします。しかし私は、むしろそれは単に結果に過ぎないと思います。最初は思ったとおりだったのですが、たまたまとい

うか、偶然ではないのかもしれませんが、海溝付近で非常に大きなずれが起きたために、それに引きずられてほかの地域にまで破壊が及んだと考えています。図を見ても、60-70sのところですごいことが起こり、それが北や南へ伝わっていく様子が分かります。

実際には非常に大きなずれが起きたわけですが、予測されている宮城県沖はどうだったのか（図表4）。今回の地震のずれの量は黒のコンターで4mおきに、1978年宮城県沖地震のずれの量、これは山中先生が求めたものですが、青のコンターで0.4mおきです。明らかに大き



図表 3

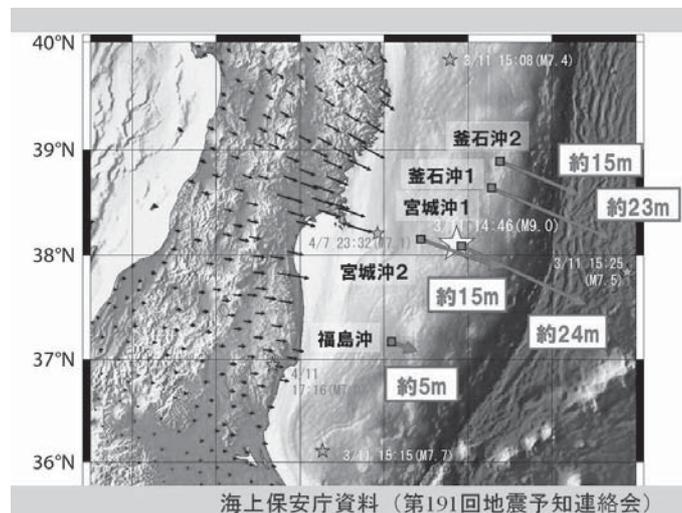


図表 4

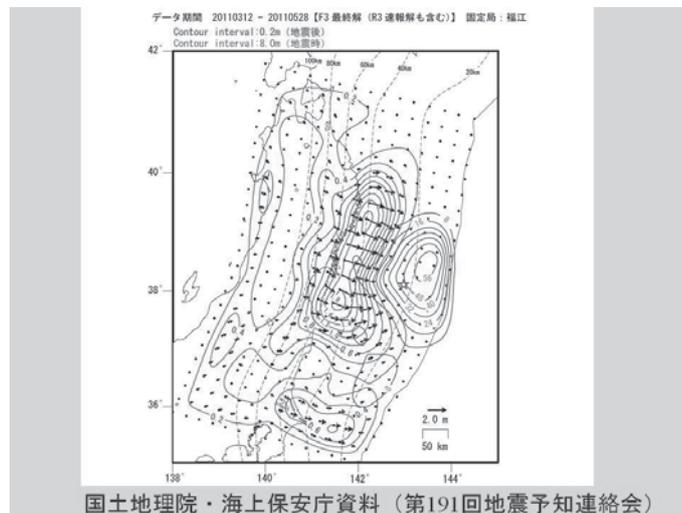
なずれの中に宮城県沖地震が入っています。ですから、宮城県沖地震が同時に起きたとも言えると思います。非常に衝撃的だったのは、皆さんご存じのように牡鹿半島がこの地震で5mぐらい日本海溝の方に動いているのですが、さらに海底全体が非常に大きく動いていたことです。海上保安庁の海底GPSの資料によると(図表5)、各地点で15m、24m、23mという大変大きなずれが生じています。この動きは、日本海溝に近づくにつれてどんどん大きくなっていきます。今回の地震では、海底全体のとてつもない動きがあったということが、ある意味これま

で知られていなかった、われわれが気付いていなかったことであつたわけです。

この図は、先ほどの海底の動きと陸上の動きの両方を入れて、プレートの境界でどのくらいずれたかを示しています(図表6)。日本海溝の一番深いところから少し入ったところぐらいに、最大56mを超える、少なくとも50mはあったらろうという非常に大きなずれが生じています。50mというのはとてつもない量で、これまでの地震の解析でも、5mや6mの動きですらマグニチュード8クラスの大きな地震を引き起こしていることが分かっています。例え



図表5



図表6

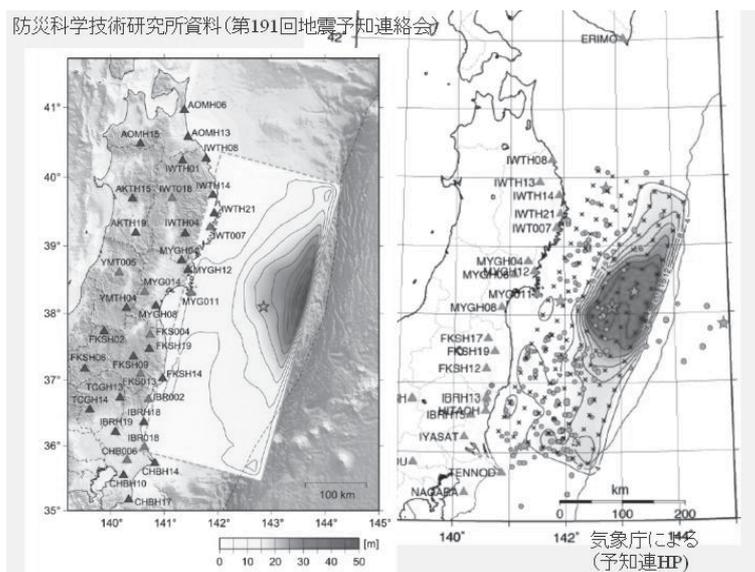
ば、関東大地震を起こした相模トラフの沈み込みによる地震では、平均6m ぐらいうれました。6m は非常に大きいと思っていたのですが、宮城県沖のずれの量は一けた上の50～60m ですから、これまで想像もつかなかった動きだといえます。これが一番の衝撃で、これがこの地震の本質であり、これが起きたことがすべてであると私は考えています。

いろいろな方が解析をしても同じ結果で、左が防災科学技術研究所、右側が気象庁のものです(図表7)。どちらも強震計と呼ばれる強い揺れを観測する地震計で記録された地震の波を使ったやり方のものですが、もっと遠いところで観測されるゆっくりした波を使うやり方や、海底が持ち上がった結果起こる津波の記録を使って求めるやり方など、いろいろな手法がありますが、たくさんのグループの研究結果は、大体似たような形に落ち着きつつあります。最初に壊れたところよりも海溝に沿ったところで、50m や40m というこれまで見られなかった非常に大きなずれが起きたということです。

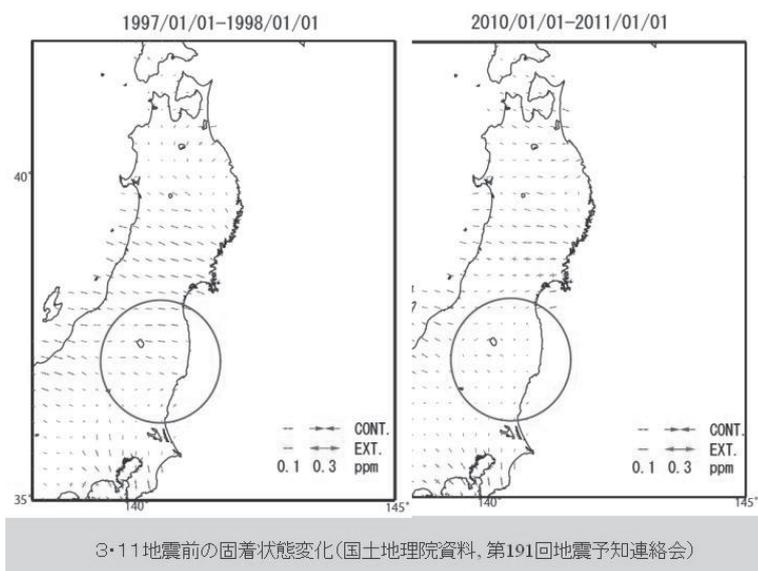
これまでも高い津波の原因として、例えば分岐断層の活動だとか、あるいは海底地滑りが

あったとか、いろいろな議論がありましたが、それらはいずれも全体の動きから見ればはるかに小さな一部分の動きであって、やはり海底全体が海溝へ向かってものすごい距離を移動するとともに、海底が約10m 上昇したというのが本質だろうと思っています。津波地震というのは、揺れは大したことではないのですが津波が非常に大きな地震で、海溝付近で起こることは知られていたのですが、一体それがどういう仕掛けで起こっているのかということに関しては、必ずしもわれわれは知りませんでした。そういう意味では津波地震というものが初めて明らかになった地震であるとも考えています。

前兆について触れておきます。前兆はなかったのかと聞かれるのですが、われわれは見ているスケールが違って、このような大きな地震を探してはいませんでした。宮城県沖地震のように、もう少し小さなスケールの地震ばかり見ていたので見えなかったのです。これは国土地理院が発表したひずみです(図表8)。青い方向に縮んでいるのですが、東北は大体東西に縮んでいます。左が97年の1年間、右が2010年の1年間です。大体同じように縮んでいるのです



図表7



図表 8

が、最近になって福島県では東西の縮みがほとんど見えなくなっています。なぜ東西の縮みが起きるかという、太平洋のプレートが日本海溝に沈み込むことによって全体を押し込んでいるためです。日本海溝が曲がっているところは複雑で、関東の方は伊豆半島が衝突しているので南北です。しかし、日本海溝が真っすぐいっているところでは、ほぼ東西に押される状況があります。ところが最近の数年間はこのような状態で、福島県では東西に押されなくなっています。すなわち、押し込んでいるところの突っかえ棒が少しずつはがれてきたという状況だったわけです。異常なことは分かっていたのですが、これが何を意味するのかは残念ながら分からなかったというのが実情です。

2. 「想定外」とマスメディア

今回の地震で初めてたくさんのマスメディアの方とお話する機会があり、いろいろ説明したのですが、それがなかなか難しく、伝えたいことが伝わらないという経験をしました。ほかの人にそういう話をすると、「実は私もこういう経験をしました」と、いろいろなお話を伺

います。

最近では、菅首相が浜岡原発の運転停止を要請するに当たり、その根拠として30年の長期確率87%という数字が出てきました。その後、保安院の方から、あちこちの原発のある場所で求めた30年間で震度6強以上になる確率について説明がありました。防災科学技術研究所が運営しているJ-SHISというシステムには長期評価の結果が全部入っていて、場所を指定するとそこで今後30年間に震度6弱以上あるいは震度6強以上レベルの地震の起きる確率が簡単に求まります。恐らくそれで保安院の方が6強以上の確率を計算されて、84%という数字が出てきたのでしょう。

私のところにも新聞記者からの電話取材があり、記者の方は確率についてあまりよく分かっていないようだったので、なるべく丁寧に、ゆっくり時間をかけてご説明したつもりでした。本来は津波を考えるべきなのですが、津波の長期評価はしていないので確率は出ていないのです。その代わりに震度6強以上になる確率を使われたのは致し方ないところで、浜岡が84%でほかは一けただったということです。長期評

価の84%の一けた台の4にはそれほど意味はなく、アバウトなものですが、一けた違うのはいくら誤差があっても明らかに意味のあることなので、結局、原発を全部止めるわけにはいかなないとすれば、最初に浜岡を止めるのは適当なご判断でしようというのが私の意見でした。

ところが、「では、2%であれば絶対に地震は起きないのですか」という聞かれ方をするわけです。「それはいいですよ。あなただって飛行機に乗られるでしょう。飛行機は安全だと思いますが、ひょっとすると落ちることだってある。そういう危険を承知の上で乗られているのではないですか」というお話をしたのです。結局、その記者の方が書かれた記事では、「確率が低くても、浜岡より先に他の原発で地震が起きる可能性もある」と、私が言ったことになってしまったのです。こういうことが起こるわけで、なかなか私が言いたいことが伝わらない。もっとも記者の立場では、やはり記事は読む人があってこそであって、当たり前のことを書いても駄目なだけそうです。犬が私にかみついても当たり前なので記事にはならないけれども、私が犬にかみつくと記事になるのだと。こういう記事になるのも致し方ないのかもしれませんが、非常に割り切れない気がしました。

言ってみればプロとアマの戦いで、向こうはプロでこちらは完全なアマですから、いつも手玉に取られてしまうわけです。非常に悪く解釈すると、記者が言いたいことを何とかして私に言わせて、私の名前を使ってそこに書いているのではないかと悪口を言いたくなることもあります。いつもではありませんが、そういうこともあるということです。また、マスメディアの方と接触していると、「想定外」という言葉を言わせるのです。「マグニチュード9を想定されましたか」「いや、想定していません」「想定外ですね」「はい」と、結局「想定外」と言わ

されるのです。なぜかそれを言わせたいようで、何回もそのやりとりをしているうちに、なぜ「想定外」と言わせるのだらうという気がしました。でも、本当に皆さんが知りたいのは、あのような津波が来てたくさんの方が亡くなったことが、なぜ想定されなかったのかということではないかと私は思っています。

3. 広い浸水域

そこで、そのご説明をしたいのですが、これは空港港湾技術研究所のホームページにある沖合の波浪計の図に加筆したものです（図表9）。沖合20kmで測られたもので、沿岸ではこの2～3倍になるので、もっとずっと高い津波が来ます。横軸は時間です。15時10分過ぎに非常に高い値を観測しています。それまでの警報では岩手県の津波の高さは3mだったのですが、気象庁はこの記録を見て津波の高さを6mに変えました。

この図には、二つ大きな特徴があります。一つは、非常に長い時間、ある程度の高い水位が保たれていることです。水位が高い間は、岸から陸の奥まで、どんどん海水が流入するわけです。引いてしまえばそこから先は海水が入らないのですが、高い間はどんどん入ってきます。高い水位が20分間ほど保たれていますので、非常に広い浸水域になりました。たとえ高さが1mでも、20分もあれば3.6km行く計算になります。非常に長い間、高い水位に保たれているというのが、今回の津波の一つの特徴です。

もう一つの特徴は、このピークです。7m弱ですが、数分の間にこれだけの高い津波が来るわけで、エネルギーがここに集中するため非常に破壊的です。今回の津波は、台形のようになっていて広い浸水をもたらす幅広のものと、屹立した非常に高いエネルギーが集中している破壊的なものの二つが、同時に来たという特徴を

空港港湾技術研究所HPの図に加筆
 沖合20kmの結果で沿岸では津波の高さは下記の2-3倍になる。

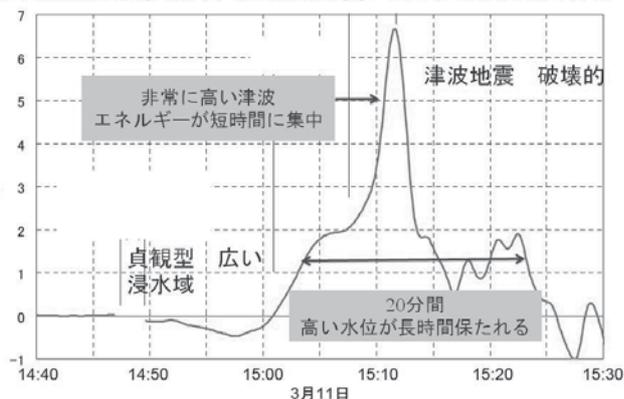
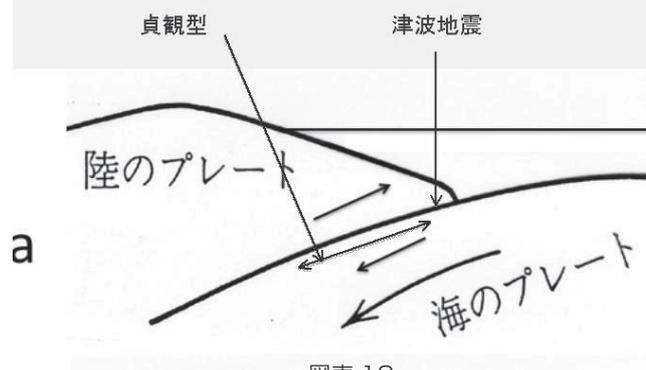


図-2 岩手南部沖GPS波浪計が捉えた津波の第1波

図表 9

ここで述べているアイデアは佐竹他(2011, 科学5月号)による



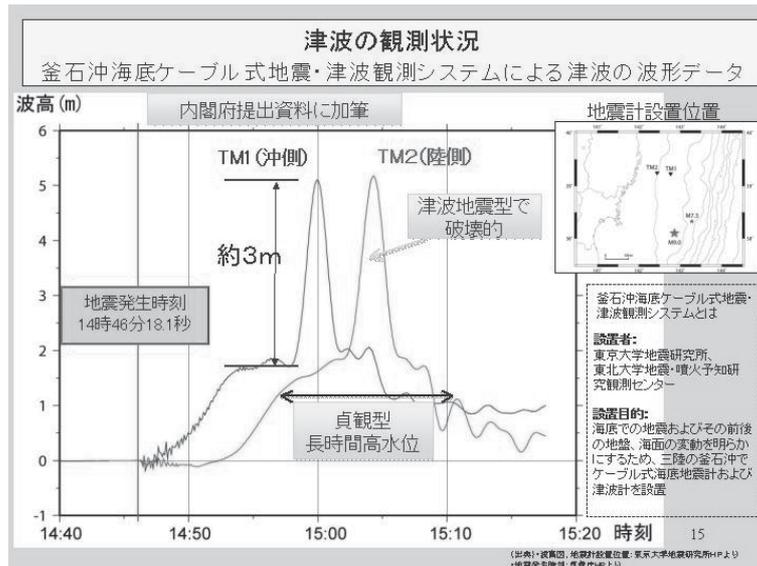
図表 10

持っています。869年の貞観地震の津波は浸水域が広がったことが知られていますので、前者の浸水域の広い津波をここでは貞観型、後者の高く破壊的な津波を津波地震型とよんでおきます。

これは佐竹さんのアイデアなのですが(図表10)、津波地震型の津波は海溝のごく近傍で起こる地震、すなわち、津波地震によって発生します。貞観型の津波は、幅の広い、浅いところから深いところまでがいっぺんに壊れて起こる地震によって発生します。今回はこの二つのタイプの地震がいっぺんに起きたことになりま

す。津波地震は、既にお話ししたように、揺れ

は大きくないのですが、大津波がやってくる特殊な地震です。これは先程の波浪計よりもっと沖合の、地震研究所と東北大が持っている釜石沖海底ケーブル式地震・津波観測システムのデータです(図表11)。沖合で海底が深いので波高はずっと低いですが、同じように台形で長時間高水位を保つ津波と、屹立しているすごく高い津波の二つがやって来ています。今回の災害は、いろいろなステップでいろいろなことをすれば、もう少し軽減できたと思われます。これはその一つの例です。最初は15時ぴったりにすごいピークの津波が沖合の津波計に来て、15時5分ぐら



図表 11

いには次のピークが陸側の津波計で完全に見えませんでした。このデータを気象庁の方はご覧になっていたのですが、大変な津波が来るという認識には至らなかったようです。残念ながらその時点では、計器の信頼度がなかったのでしょうか。説明によれば震源域に近いので波がどちらの方向に動いているか分からなかったということでした。私は、それはないだろう、当然、沖側から陸側へ向かっているわけですから、このまま陸へ来たら大変なことが起こるともう少し早く言えたのではないかと思います。ただ一つ良かった点は、これを見ていたので、先ほどの岩手県南部沖の波浪計で大きな津波を見た後の15時14分、津波警報を切り替えられたのだと思います。岩手県沿岸で高さ3mの警報が、高さ6mに切り替えられました。その点で役に立っているかと思いますが、本当は15時05分には警報が切り替えられたのではないかと。どちらにせよ、このような形で二つのタイプの地震が同時に起き、貞観型と津波地震型の津波が同時に襲って来ました。

まず、広い浸水域を招いた貞観型からお話します。2005年に小さな宮城県沖地震が起き

たため、長期評価の見直しをしていて、今年4月に公表する報告書に、このことが触れられる予定でした。貞観地震についてはいろいろところでお話を聞かれているかもしれません。六国史の最後の一つである『日本三代実録』という歴史書に記述があります。陸奥の国で大きな地震があったときの状況がいろいろ書いてあります。津波については「溺死者千許」と最後の方に書いてあります。海を去ること「数十百里」という数字がどのくらい正確なのかよく分からないので、1000人というのも本当に1000人なのかどうかという疑いもありますが、とにかく大変なことが起きたということが分かるし、道や原や野がみんな海になってしまったとも書いてあるので、今回と非常に似たことが起きただろうという推測が立ちます。場所については「城」と書いてありますが、恐らく大きく揺れて多賀城がいろいろな被害を受けただけでなく、その後に津波が来て城下で1000人ぐらいの方が亡くなったということです。

このような地震があったことは歴史書を見れば分かるのですが、この歴史書に記してあることは、あくまでも多賀城と思われるところ、1

点での記録です。その後、いろいろ伝承を集めて、もう少し広いところに伝承が散らばっているというお話もありましたが、記録としてはこれ1点であったわけです。われわれ素人が考えると、この時代になぜこんなところまで人が来ているのかという気がするのですが、実は多賀城は北の守りの中心地で、西の守りの中心地である太宰府に匹敵するようなところで、たくさんの方が行き来していました。「末の松山」や「沖の石」など、和歌の歌枕にされているたくさんものもありますし、本当かどうかよく分かりませんが、光源氏のモデルではないかといわれる河原左大臣という方は塩釜の風景を借りて自分の庭を造ったというぐらい、この地域は少しエキゾチックな感じがあったのでしょうか。決してへき地という感じではなく、たくさんの方が行き来していたところなので、このような記録が残っています。ただ、陸奥の国は広いので、一体どこからどこまで大震動があったのかは、この記録だけでは残念ながらよく分かりません。

1990年に「地震」という地震学会の雑誌に女川原子力発電所を造っている人たちが論文を寄せました。その論文の成果は、仙台平野には海岸から3kmのところまで津波堆積物があり、それはどうやら貞観地震に対応していて、さらに古いものもあるというものでした。当時はまだ津波堆積物の研究は世界的にもそれほど活発ではなかったので、これは大変画期的な論文だと私は今でも思っています。実際には東北大学の箕浦先生がいろいろご指導されたようで、その後、箕浦先生ご自身や津波の今村先生、菅原さんたちがいろいろ調査を進めていて、どうやら同じようなものが相馬にもあるということで広がりが見え始めました。

先ほど少しご紹介しましたが、2005年に宮城県沖で小さな地震があった後、文部科学省で

重点観測計画という5カ年計画を作って調査することになりました。ターゲットは宮城県沖ですが、当然、同じ場所で大変な地震が過去に起きていることが分かっていますので、それについても調査されました。産業総合技術研究所のグループや大学のグループによって、石巻平野、仙台平野、福島第一原発の少し北にある福島県浪江町の請戸に津波堆積物が分布していて、場所によっては海岸から4kmのところまで残っていることが明らかにされました。

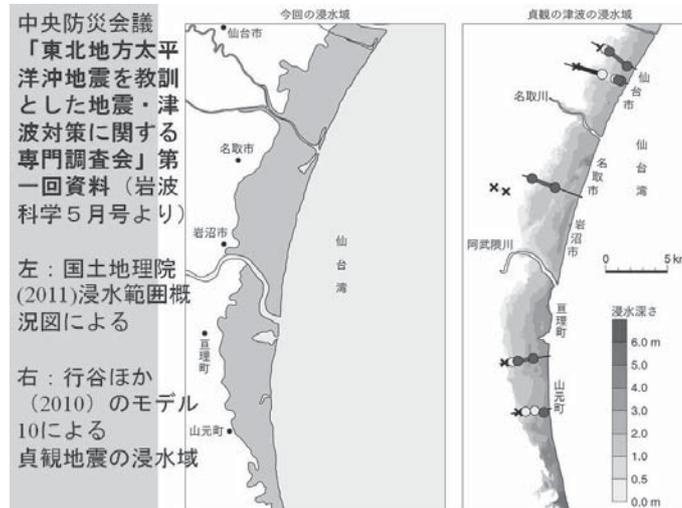
その結果、どのような断層、どのような地震が考えられるかが議論され、2010年に報告書が出ました。それを待って、2010年から宮城県沖の長期評価の見直しの議論を始め、2010年末に結論がまとまったので、それを今年の2月、3月に地震調査委員会に上げて審議することになりました。大体2回で審議が終わるのが普通だったのでそういう形だったわけですが、3月の議題が非常に多いので1カ月延期してほしいと言われて、私はこのような地震が起こるとは想像だにしておりませんでしたので、「いいですよ、4月にしましょう」とたやすく答えてしまったため、公表が地震の発生に間に合いませんでした。

これは仙台市の津波ハザードマップの浸水域（ブルー）と今回の浸水域（ピンク：若林区と宮城野区）との比較です（図表12）。貞観の津波の浸水域はあまりうまく描けていませんが、×印より内陸は津波堆積物がなく、×印までは津波堆積物がありました。もともと仙台市はマグニチュード8を想定してこの程度の浸水域しか考えていなかったのですが、実際は非常に広く海岸から4kmの浸水域になってしまったということです。

左が今回の浸水域で、右が貞観の津波堆積物の範囲を示しています（図表13）。名取、岩沼、亘理、山元とありますが、貞観の方は当時の



図表 12



図表 13

海岸線が現在より 1km 内側に入っているため、その部分を取ってあります。実は、津波堆積物というのは砂を見えています。実際には砂が堆積した地域より、さらに海岸から離れた地域に泥が堆積し、そのさらに遠方に浸水しゴミが残っている地域がある。今回の津波の堆積物はそうなっていますので、砂だけではないのです。本当はもっと奥まで津波堆積物があったはずなのです。今回の浸水域を見てみると、今回は浸水した一番端まで書いてあるのだと思いますが、砂があるところは浸水した端付近から測って 1～2km 海側です。貞観地震の方では海岸線が

1km 中に入っていることと、実際に砂の堆積物と浸水域との違いの両方を考えると、図の右と左は、大体同じ結果になっていると思います。このことから、このような貞観地震のデータがもう少し早く出ていたらと悔やまれます。

このような調査は、現地ではマスメディアが当然のことながら報道しています。仙台には東部道路が走っていて、浸水はその東部道路のところではほぼ止まっています。避難が大変なので東部道路自体を避難場所にしてほしいと、何人かの方たちが署名を集めて請求したものの、残念ながら道路を避難場所にはできないというこ

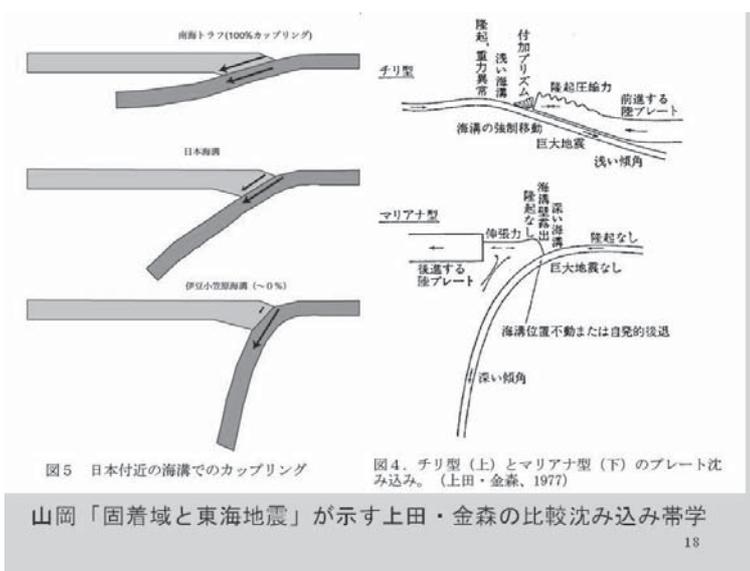
とで断られてしまったのだそうです。避難場所にするのは難しいかもしれませんが、渋滞が起きて避難できなかったということなので、少なくとも階段やカープールを造ってれば、もう少し多くの方が救われたのではないかと思います。実際には250人ぐらいの方が東部道路にはい上がって避難されて助かったと伺っています。

4. 同時に発生

貞観型と津波地震型の津波が同時に発生したことも、われわれが完全に予測できなかったところ。私が就職するかしないか、学生ぐらいのころから、日本の地震をプレートテクトニクス立場からどのように考えていくかということが盛んに行われていました。山岡先生が描かれたものを、本人にお断りなくそのまま借りてきたのですが(図表14)、左に南海トラフ、日本海溝、伊豆小笠原海溝、右にチリ型、マリアナ型とあります。ぴたっとくっついていて非常に大きな地震を起こすところと、くっつく場所が少なく地震がほとんど起こらない場所があるという比較沈み込み学という学問を上田先

生と金森先生が提唱されて、これで全世界の地震活動が説明できるということでした。日本の場合、南海トラフなどは完全に固着していますが、伊豆小笠原はどうやらくっついておらずプレートがするする入っているらしいので、ここでは大地震が一つも起きない。日本海溝はちょうどその中間で、北海道の千島海溝も完全に固着していると考えられていました。北の方は比較的よくくっついていて南の方はほとんどくっついていないということで、日本海溝に沿った地震活動がうまく説明されていました。これは業界の一種定説、常識のようなもので、大学の地学の講義にひょっとすると出てくるかもしれないという感じの知識でした。ばっちりついているチリなどではマグニチュード9の地震が起きても不思議はないのですが、日本海溝では北の方でマグニチュード8、南の方でマグニチュード7が常識になっていたわけで、これは完全にわれわれが誤っていたということになります。

長期間地震活動がない理由には、プレートの境界がしっかりとくっついていなくて地震を起こさずに入っていくか、プレートの境界が



図表 14

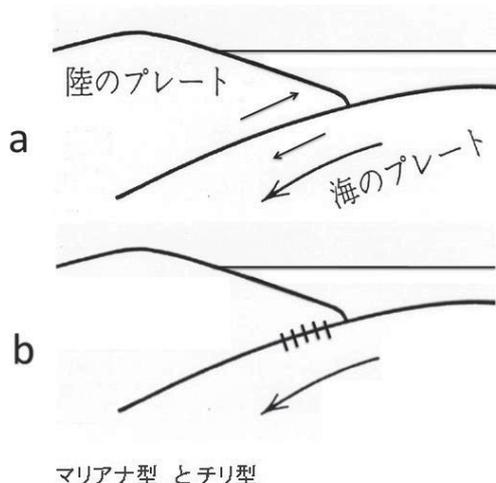
本当に強固にくっついたままで長期間ずれずに耐えるかという二つの可能性があります、われわれはプレートの境界が弱くて、aのマリアナ型で、ほとんど地震を起こさずにプレートが入っていると考えてしまっていたわけです(図表15)。ところが実際にはbのチリ型で、強固にくっついていて、何百年とたまったエネルギーが一気に解放されたのです。特に海溝付近で強固に固着が起きているとは、全く想像していなかったということです。

5. 高い津波、破壊力

最後に高い津波、破壊力のある津波地震型で

すが、これは2002年に予測されていました。これは、三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価についての報告書です(図表16)。三陸沖北部から房総沖の海溝(日本海溝)寄りのマグニチュード8クラスのプレート間大地震(津波地震)は400年に3回発生している、今後30年間の発生確率は20%と予測していました。

ここに挙げてあるのは(図表17)、最初にお示しした青森県東方沖の地震、今申し上げた津波地震、それから1933年の昭和の三陸津波を起こした正断層型地震(アウターライズ)です。津波地震では、津波マグニチュード(津波の高



図表 15

p.4

(2) 三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間大地震(津波地震)
 M8クラスのプレート間の大地震は、過去400年間に3回発生していることから、この領域全体では約133年に1回の割合でこのような大地震が発生すると推定される。ポアソン過程により(発生確率等は表4-2に示す)、今後30年以内の発生確率は20%程度、今後50年以内の発生確率は30%程度と推定される。
 また、特定の海域では、断層長(200km程度)と領域全体の長さ(800km程度)の比を考慮して530年に1回の割合でこのような大地震が発生すると推定される。ポアソン過程により(発生確率等は表4-2に示す)、今後30年以内の発生確率は6%程度、今後50年以内の発生確率は9%程度と推定される。

28

図表 16

p.7 過去のデータが不十分でも地球科学的知見に基づき予測を行っている。

地震発生領域	地震発生年月日	地震の平均的発生頻度等 ^{注1}	地震規模			死傷者数 ^{注2}		
			M _{注2}	Mt _{注3}	Mw _{注4}	死者	負傷者	備考
三陸沖北部のプレート間大地震（固有地震として扱った地震）						—	—	—
長期評価批判 高々数百年間の事象に関する知見に基づいており、新事象が予見できない								
三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間大地震（津波地震）	1611/12/2 1677/11/4	江戸時代1603年以降約400年間に おいて発生は3回。	8.1 <small>注2</small>	8.4 8.0 <small>注3</small>		5000 540	—	—
	1896/6/15		8.2 <small>注2</small>	8.2 <small>注3</small>		22000	4500	
三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート内大地震（正断層型地震）	1933/3/3	江戸時代1603年以降約400年間に おいて発生は1回。	8.1 <small>注2</small>	8.3 <small>注3</small>		3064	1092	

30

図表 17

さから推定されるマグニチュード) が 8.4、8.0、8.2 ということで、1611 年の慶長の津波地震、あるいは 1677 年に房総で起きた延宝の津波地震、それから 1896 年明治三陸津波地震が海溝付近で起きています。死傷者数は青森県東方沖の地震では 50 人、40 人、数人ですが、津波地震は 5000 人、540 人、2 万 2000 人と、明らかにけたが違います。正断層の地震でも 3000 人と被害が大変大きいので、この二つのタイプの地震は被害を考えると非常に重要であったわけです。

われわれはしばしば、たかだか数百年の事象に関する知見に基づいていて、新しい事象が予見できないと批判されていますが、津波地震あるいは正断層地震に関しては、日本海溝全域で起こるという予測をしていました。実際に起きたのは津波地震が 3 カ所、正断層型地震は 1 カ所だけなのですが、同じような性質を持っているプレートの沈み込みの場所ですから、起きたところだけではなく、その北や南でもすべて起こる可能性があるとして申し上げていたのです。ですから、決して新しいことが予見できなかったのではなく、過去のデータが不十分でも科学的

な知見に基づいて正しい予測を行っていました。

先ほどの評価をした時点では明治三陸地震は津波マグニチュード 8.2 だったのですが、その後、阿部先生が評価を変え、海外の検潮儀データを使うと津波マグニチュード 8.6、三陸地域の遡上高を使うとマグニチュード 9.0 という数字を出されました。ただし、「遡上高の平均値はマグニチュード 9.0 になるが、過大評価ではないか、8.6 という数字がいい」とご自身で言われていました。しかし、これもよく考えると、遠いところの記録よりも遡上高（津波が駆け上がっていった一番高くなったところ）を使う方がよほど信頼できるはずなので、マグニチュード 9 を考えておくべきではなかったかと思います。今回の地震の後で阿部先生は「うーん、マグニチュード 9 だったか」と言われていました。

新しい情報が出たらすぐに改訂しなければ遅れてしまうのですが、実際には地震調査委員会としてはマグニチュード 8.2 という値をずっと使っていました。私は一度、変わったのだから直そうと言ったのですが、全体の報告書をもう

一度見直すときにやりましょうといわれて、途中で改訂したときには変えられませんでした。今にして思うとそれは大変残念だったのですが、いったん対策を立てた後で変えられると、当然のことながら防災関係の方は非常にお困りになると思うわけで、実際には難しい問題です。しかし、地震学は新しい事実が出てきてどんどん変わるので、やはりそのときに変えないと非常にまずい。これも反省の一つです。

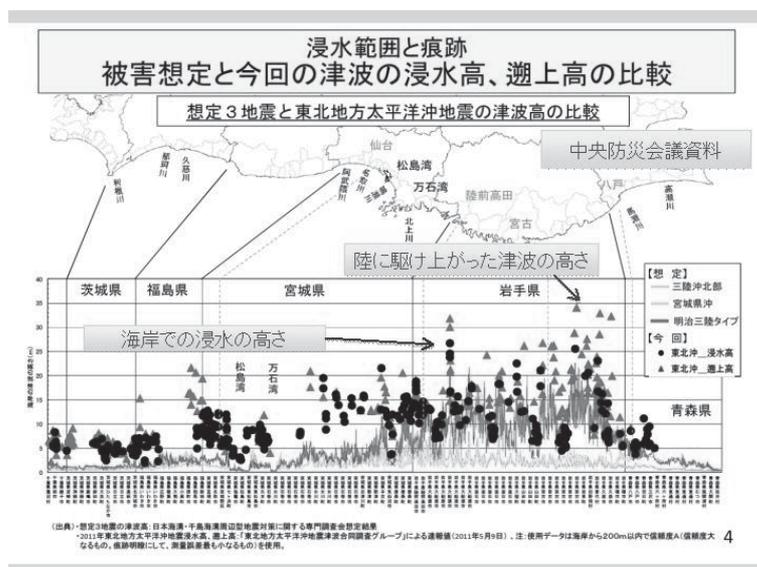
先ほどの報告書が出た後の2003年に、中央防災会議に日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会が設置されました。千島海溝では2003年9月26日に、2003年3月に長期予測した、十勝沖の地震(マグニチュード8.0)が起きたので、中央防災会議も長期評価をだんだん信用してくれるようになったのかと思います、勇んで行ったわけです。そして第2回の会議で一生懸命言ったのですが、不思議なことになかなか通じないのです。最後に「三陸沖はプレートが曲がってぼきっと折れるような正断層の地震なので、1933年に折れたところではなく、次はその南の方で起きるでしょう。津波地震でも同じです。」明治三陸が起きたのだから、

明治三陸の南の方で次に起きる。これが正当でしょうと申し上げたのですが、なぜかこれが通らないのです。起きたところが重要であるということで、起きていないところに設定するのはいかにもすごいでたらめをやっているかのような、想像力があまりにもありすぎるというような感じに受け止められて負けました。

それで結局、八つの地震について津波の被害想定をすることになりました。総理大臣がトップの、国で一番偉い、防災の中心である中央防災会議が評価した津波は、北海道の5地震を除くと、日本海溝では三陸沖北部(青森県東方沖)、宮城県沖、明治三陸タイプの三つだったのです。

その津波高はどうかというと、赤線が明治三陸タイプ、青線が三陸沖北部、緑線が宮城沖を示していますが(図表18)。ほとんどの海岸で、赤い明治三陸タイプが他を圧倒しています。これに今回の津波高が加わっています。津波高には二つあり、一つは遡上高で、陸に駆け上がった津波の高いところを取ります。それが青い▲印で、海岸での浸水の高さが●印です。

中央防災会議では日本海溝では三つの地震しか評価していませんでした。今回の津波は全く



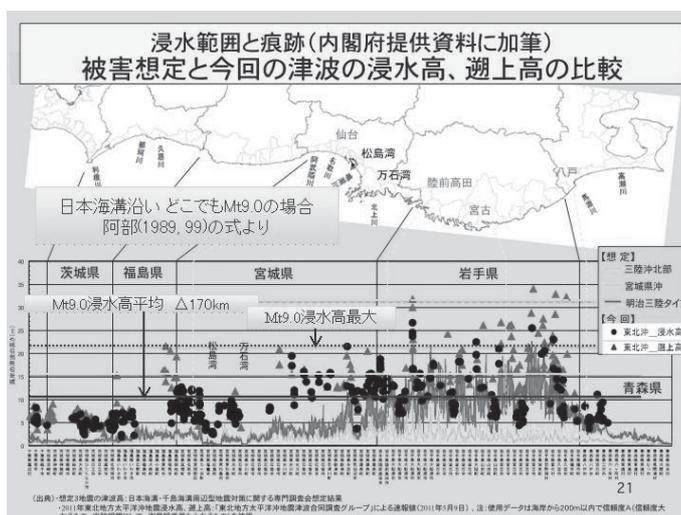
図表 18

それとは比較にならなかったのです。それではということで、日本海溝沿いのどこでも明治三陸津波地震が起こり、新しい評価である津波マグニチュードが9だとどうなるかと想定してみると、海岸での浸水の高さの平均値は青い横線になります（図表19）。多少外れる値もありますが、結構合っているのではないかと思います。海岸での浸水の最高の高さは点線で示しています。今回の津波の方が明治三陸より少し高かったため、幾つかそれ以上になっているところがありますが、もしこの設定で対策を進めていけば、今回の被害はかなり軽減できたのではない

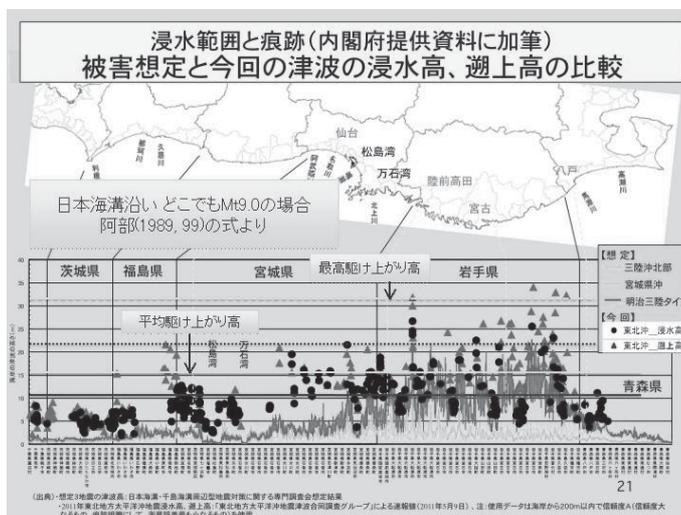
かと思います。

薄い破線で示したのは平均駆け上がり高です（図表20）。▲印が幾つか破線を越してはいますが、大体は収まっています。茨城県は少し過大ですが、ひょっとするとまだ本番でないのかもしれない。

今さら言っても仕方がないのかもしれませんが、2002年の長期予測では、三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのどの地域でも津波地震が起こるとされていました（図表21）。もしこの評価を取り入れていけば、福島沖や茨城沖でも高い津波に警戒していただろうと思っています。



図表 19

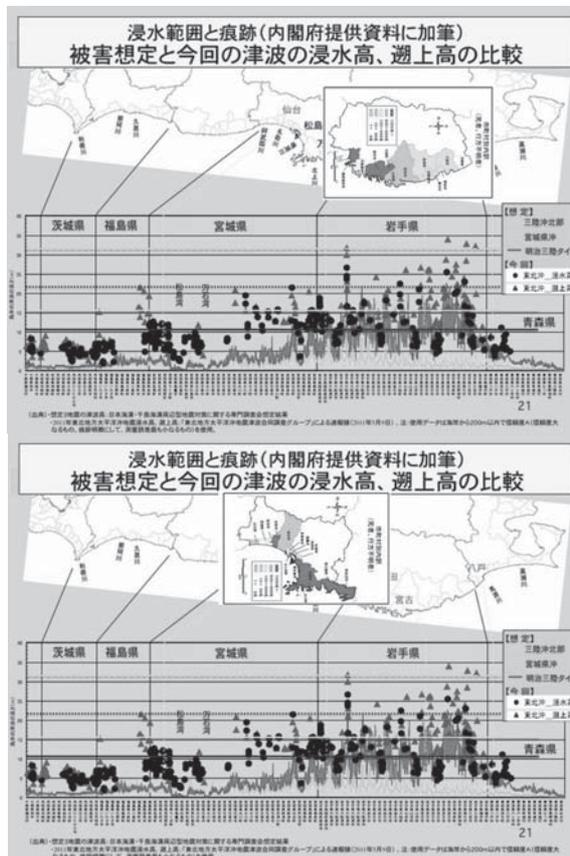


図表 20

2002年の長期評価で日本海溝沿いに明治三陸級の津波地震がどこでも起こるとされていた。これに基づいて防災対策が立てられていれば、福島沖や茨城沖でも高い津波に警戒していただろう。



図表 21



図表 22

中央防災会議の津波被害想定は、日本海溝北部で三つの地震を想定しましたが、南はまったく空きでした。今回のような津波は考慮のほかだった。岩手県と宮城県の死者数は、地図に赤く示したところで1000人を超えています

(図表 22)。津波が最も高い地域ではなく、その南で多数の犠牲者が出ました。

6. 科学に隙あり

このようなことが起こるのは、われわれの科

学に隙があるからだと思います。科学というのは分かったことをやっているかのように思われるかもしれませんが、実は分からないことを分かるようにしているので、本当によく分かっている原理から、それから導かれること（演繹）、あるいはいろいろな事実からこうなる（帰納）、あるいは推論や作業仮説などいろいろあって、果てははっきりしないけれど取りあえずこう考えて行けるところまで行こうなどというもので、いろいろな段階の考え方があるわけです。ですから、われわれが主張していることがすべて、100%あらかじめ証明されていて正しいとは限りません。中には今回のように、学界では常識になっていても、実際はそれまでの事実に合わせているだけで、新しい事実が出てくると壊れてしまうような考えも当然あるわけで、そこに隙があるのです。特に地震学などは社会に役立ちたいと思っているので、社会の中に科学があるわけです。そうすると科学が社会に影響するだけではなくて、当然のことながら社会も科学に影響します。そこに科学的ではない判断が入り、隙がつかれるのだと思います。

先ほどお話ししたとおり、阪神・淡路大震災

で地震に関する成果が十分伝達されなかったという反省の下に地震本部が作られました。基本的な目標の中に地震動予測地図の作成があって、そのために長期評価を実施し、どこでどのくらいの規模の地震が起こるか、それでどのくらい揺れるかを計算して、全国的にどこがどのくらいの可能性で揺れるかという地図を作りました。

先ほどお話ししたように、海溝寄りでは津波地震が起こるという長期評価がされていたわけです。これは7月31日に公表されたのですが、公表の直前になって担当者から突然電話がかかってきて、このようなパラグラフを前に入れますという話がありました（図表23）。電話で伺ったのできちんと目で見たわけではありませんが、何か言い訳をしているというか、あまり確かではないことを言っていますよと言っているように聞こえたので、「そんなことなら報告書など出さない方がいい」と私がかなり突っ張りましたら、「地震調査委員会の委員長はもう了承しているのです、ぜひ了承していただきたい」というお話を担当の方がされたのですが、「私はいくまで反対です。担当の方が行政的権限で

2002年7月31日公表の報告書に加えられた パラグラフ

なお、今回の評価は、現在までに得られている最新の知見を用いて最善と思われる手法により行ったものではあるが、データとして用いる過去地震に関する資料が十分でないこと等による限界があることから、評価結果である地震発生確率や予想される次の地震の規模の数値には誤差を含んでおり、防災対策の検討など評価結果の利用にあたってはこの点に十分留意する必要がある。

54

図表 23

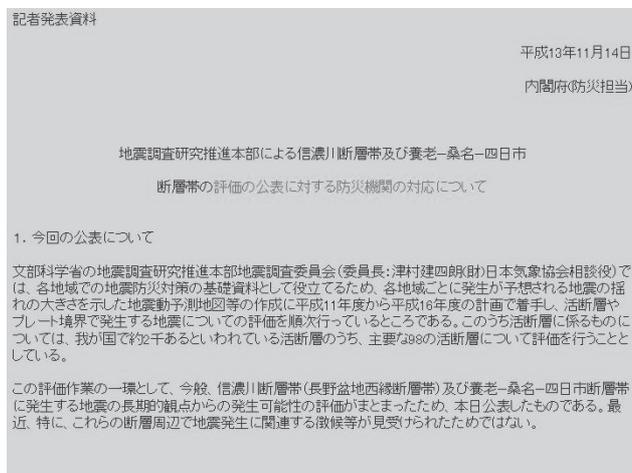
なさを物理的に止めるわけにはいきません。でも、最後まで反対です」と申し上げました。しかし、今ゆっくり読んでみると、どこもおかしいところはないのです。確かに資料が十分でないので限界もあり誤差を含んでいる。防災の検討などには十分に留意する。言ってみれば当たり前のことなのですが、私はなぜこの時点でこのようなものが入ってくるのかということで反対しました。それが7月末のことで、8月1日になると担当者が転任してしまい、けんかの相手がいなくなっていました。

私どもの長期評価部会は地震調査委員会の下の部会なのですが、別系統の、予算などを扱っている委員会（政策委員会）が8月にありました。そのときの議事録によれば、村井防災担当大臣から文部科学大臣に申し入れがあったことがわかります。当時の委員長の伊藤滋先生は大相撲の八百長問題で皆さんよくご存じの方で、委員長を務められた方です。内閣府防災担当の山本繁太郎委員が「データの精粗がそれぞれさまざまだ」という認識を持つべきだ。確率というデータが明確に出てくると、「防災機関は責められ」と言われています。これは2002年の話ですが、実は2001年からこういうことが始まっていたそうなのですが、私はお

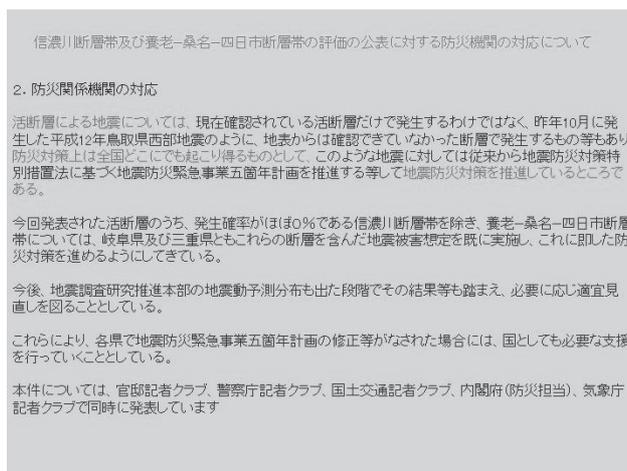
めでたいので全然知らなかったのです。記者の方に聞いたのですが、2001年12月から、地震本部で長期評価の結果を出すと、その後それに対して防災機関はどう対応したらいいかというものを中央防災会議が配って、各新聞社にファクスが送られているのだそうです。ホームページにもきちんと載っていました。一つ一つ長期評価をすると、内閣府の防災担当名で出された資料が付いてくる（図表24）。「活断層による地震については……地表からは確認できていなかった断層等で発生するもの等もあり」（図表25）、これはそのとおりですが、続いて「防災対策上は全国どこにでも起こり得るものとして、地震防災対策を推進しているところであると、わざわざ書かれています。

1997年に地震調査研究推進本部ができて、2001年にいわゆる省庁再編で総理府（科学技術庁）から文部科学省に移りました。2001年4月に、後に長野県の知事になられた村井仁氏が防災担当大臣に就任されて、11月から今のようものが始まっています。

村井防災担当大臣は国家公安委員会委員長を兼ねられていたのです。同じ政策委員会の議事録によると、伊藤委員長は「彼は南信だから……選挙区の人たちに……これは非常に重要な



図表 24



図表 25

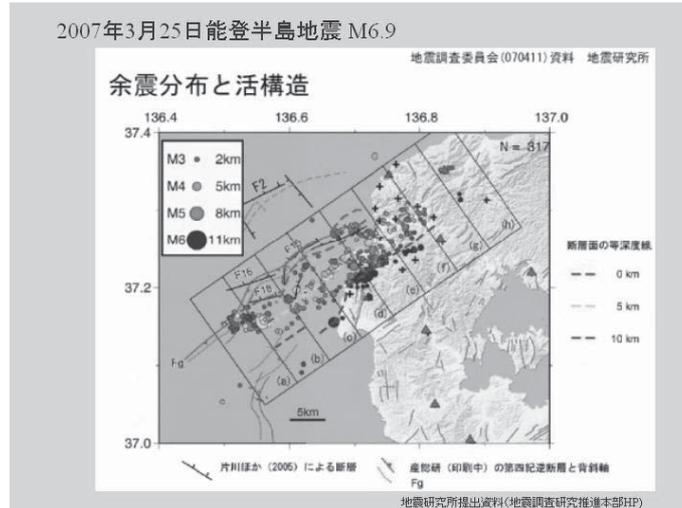
証拠書類で、政策委員会としては中防（中央防災会議）から頂いた大変貴重な証拠書類として受け止めておきたい」と、禅問答のような何かよく分からないやりとりがあります。これは8月の委員会ですが、その前の7月10日に伊那谷断層帯の評価を公表したのです。伊那谷は大臣の選挙区だったのででしょうか。そこでマグニチュード8程度の大地震が起きる可能性がほぼ0%から最大7%と発表しています。大臣のホームページでは、自分が勉強したところ、この確率は何万年たっても100%にはならない。つまり地震が起きないこともあるものなのだと書かれていました。三陸沖から房総沖の長期評価についても「情報には精粗がある」というパラグラフが加えられるという形になって、先ほどの禅問答的なやりとりのあった委員会の後に、地震調査委員会でもそれぞれの数値に関して信頼度を付けたらいいのではないかという議論になり、一生懸命信頼度を付けて、その後は先ほどのようなことはなくなりました。

社会としてはいろいろな理由を付けることができます。それは精度がないのではないかと問われれば、確かに精度が十分でないことはたくさんありますし、一般の方や社会に対して重要な情報を伝えようとすればするほど、社会の方

からも当然反響が返ってきます。そんなとんでもないことを考えて一体どうするのだ。こんなことは到底対策が立たないではないか。しかも確率は低いではないか。そんなことが起こるのかというような批判はよく受けます。

もう一つ、原発が絡みます。やはり問題があるのではないかと最初に思ったのは、2007年能登半島沖地震（マグニチュード6.9）の後のことです。私は海底の活断層を研究していたので、専門家の目で図に掲載されている能登半島沖の活断層を見ることができず（図表26）、片川ほかの論文によれば、F14、F15、16と非常に細かい途切れた断層ができていますが、これは海底まで一部切れていないところがあるという理由で切つてあるのです。しかし、私のような専門家から見れば、これは当然一連の断層でつなげなければいけない。それをわざわざ切つてあるのですが、地震が起きればまさに一連のものとしてつながって動きます。丸印で示してあるのは余震ですから、F14からF16までがいったん割れて地震が起こったことが分かります。明らかに一連のものを細かく切る（そして地震のマグニチュードを過小評価する）ということをされている原発関係の方の仕事に対して、私は不信を抱きました。

2007年3月25日能登半島地震 M6.9



図表 26

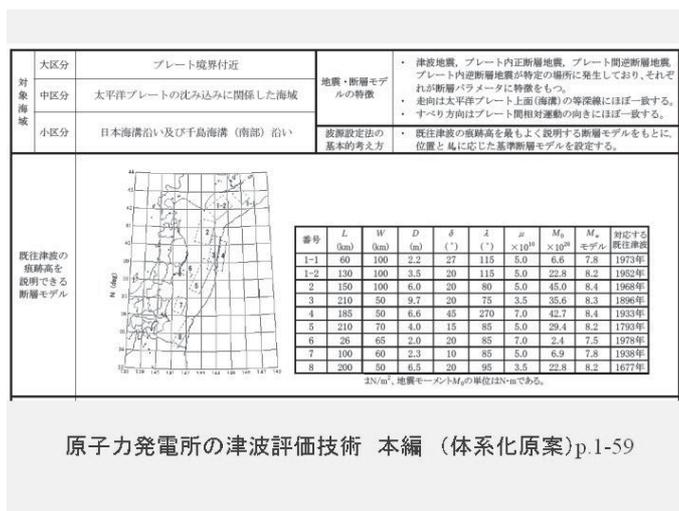
土木学会 原子力土木委員会 津波評価部会 構成 (敬称略 50音順、平成 13 年 3 月現在)		
主 査	斎藤 伸夫	岩手県立大学
委 員	阿部 幹征	東京大学
	磯部 雅彦	東京大学
	今村 文彦	東北大学
	遠藤 正昭	東北電力
	岡田 義光	文部科学省防災科学研究所
	梶田 卓嗣	九州電力
	金谷 賢生	関西電力
	河田 恵昭	京都大学
	森野 智明	東海大学
	佐伯 武俊	四国電力
	酒井 俊博	東京電力
	坂本 亨	北海道電力
	北竹 健治	経済産業省工業技術院地震調査所
	柴田 俊治	北陸電力
	鹿野 聡男	日本原子力発電
島尻 謙一	国土交通省土木研究所	
柳村 治博	中部電力	
野口 隼之	中国電力	
伴 一彦	電源開発	
委員長幹事	田中 寛好	電力中央研究所
委員幹事	安達 欣也	三菱総合研究所
	安中 正	東電設計
	池野 正明	電力中央研究所
	本間 正信	三菱総合研究所
	曾田 昭 弘	東北電力
	高尾 誠	東京電力
	長谷川 賢一	ユニックス
	松山 昌史	電力中央研究所
	山本 誠	シーマス

図表 27

今回大変話題になりました「原子力発電所の津波評価技術」は、土木学会にある原子力土木委員会の津波評価部会の報告書です（図表 27）。委員の方の多くが電力関係者だということでもやり玉に挙がりました。これは 2002 年 2 月、われわれが出した 7 月 31 日の報告書の前に出ていたのです。地震学者や津波学者の方も実際にいらっちゃって、多分、大学の方がリードして結論付けられたのだらうと思います。つまり、われわれが長期評価を出す前に、既に原子力発電所に対してどのような津波の評価をするかが決まっていたのです。しかもこの二つは、

相矛盾するものだったのです。結果として中央防災会議は土木学会の評価法を取り入れ、海溝に沿ってどこにでも起こるという評価は、防災には取り入れられませんでした。こういう順番だったことを私は後から知りました。

原子力発電所の津波評価技術です（図表 28）。繰り返し発生していて、かつ断層モデルなどが分かっているものに対して、パラメータを少しずつ変えて、それぞれ十分信頼幅を持って津波の高さを評価するという考え方で。地震地体構造も考慮されていますが、これも過去地震がもとです。要するに、既に起きた



図表 28



図表 29

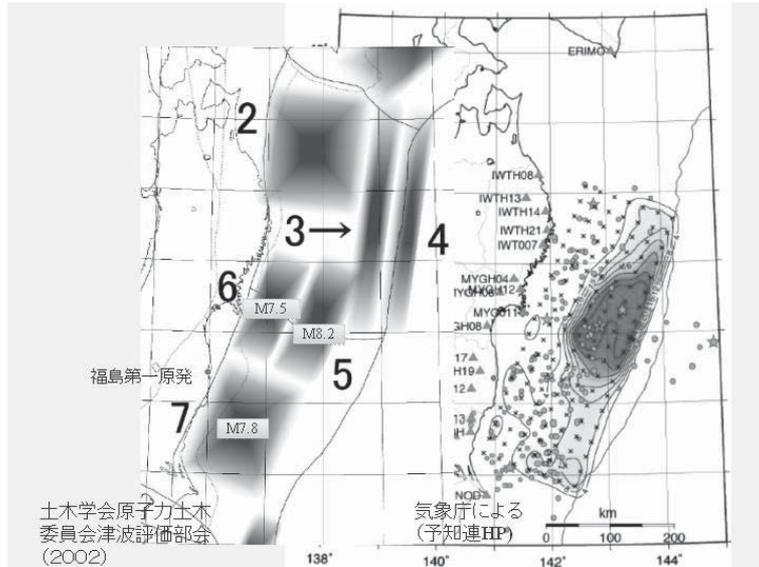
地震が基本だという考え方で、私どもは既に起きていなくても同じ条件下にあればそういう地震が起こるといふ評価をしたわけで、当然この二つは矛盾しているわけです。

これは中央防災会議が津波被害想定のために選んだ地震です。日本海溝では三つの地震が評価されています(図表 29)。われわれの評価では、海溝に沿って黒く書いた部分のどこでも起こるとしているわけです。ひょっとしたらそのようなことを言われて困った人がいたのかもしれませんが。

土木学会の評価では、既に起きた地震の断層

モデルを用いて津波を数値計算するという思想です。われわれの長期評価は、たかだか数百年の事象に関する知見に基づいていて、新しいことは予見できていないのではないかと常々言われて批判されているのですが、この批判は土木学会の委員会にお返ししなければいけないと思います。

赤く印をつけた福島第一原発周辺には、大きな津波を発生する震源があるように見えますが、実際はマグニチュード 7.8、7.5、8.2 にすぎません(図表 30)。このような地震を考えている限りは、そんなに大きな津波にはなりません。



図表 30

ん。実際に起きた地震では非常に大きなずれを起こしたので、当然のことながら大きな津波になったということです。中央防災会議の評価では、既に図でお示したように福島県の津波は5mもいっていません。そこに大きな津波が襲ったわけです。特に陸前高田の辺りからは中央防災会議が想定している高さ与实际の高さが著しく異なっていて、陸前高田市以南の犠牲者は全体の78%に及びます。これは大変重い数字だと思います。将来の津波を想定する際に、中央防災会議は過去に起きたものをそのまま使うという土木学会の手法を採用した結果、すべて三陸の北部に偏った評価になって、南部は空いてしまったということです。

7. なぜ「想定外」なのか

最後に、われわれはなぜ「想定外」と言われるのだろうと考えてみました。結局、長期評価では想定できなかったのではないかと批判して、日本海溝津波地震を予測していたことを覆い隠そうとする意図がその裏にはあるのではないかと思います。これは私のひが目で、そういう意図はなく偶然かもしれません。結局は科

学に隙があり、科学の一部が原発にゆがめられたのだと思います。

先日、日本記者クラブで今日お話ししたこの一部をお話しして、どのような新聞記事になるか期待したのですが、一番お話ししたいところは当然のことながら記事にはなりませんでした。われわれの予測が不十分だったことは確かですが、もしそのまま対応されていれば、恐らく原発の事故も当然なかったはずですが、全部の地域で津波地震が起これば、先ほどの津波評価の仕方はおかしいのではないかということになり、土木学会の原子力委員会も考え方をえざるを得なかったはずなのですが、根本の中央防災会議が原子力委員会のおりにやってしまったことによって、結局われわれの予測はほとんど役に立たないままに終わったということです。もともとの予測自体も不十分だったのはそのとおりで、貞観の方はもう少し早く発表していればと思います。恐らくニュースなどで公表されるので、それを見た方が何人かでも早く遠くまで避難されて助かったのではないかと思います、大変残念です。

それから、確率が高いのは宮城県沖とその

沖合の連動のマグニチュード8だということ
で、そのことに対する対策が主だったところ
が多く、それよりも大きな津波に対して
対処できませんでした。この責任の一端は
われわれにもありますが、防災の方に話
すのはなかなか難しいのです。われわれ
がある規模以上のものを想定して、こう
いうことが起こると言っても、そのま
まではなかなか受け入れてもらえない
のです。今回の貞観津波に関しても報
告書をまとめていましたが、本当に宮
城県や福島県の方がそのまま受け取
って対策を立ててくれるのだろうか
かと大変心配して、どのような書き
ぶりにしたら実際の対策にまで結び
付くような評価になるかという議論
が実はあったのです。実際にはそ
のような形で公表が遅れてしまっ
たのは残念ですが、ただ、たとえ3
月に審議が終わったとしても、3月
いっぱいぐらいで公表されるので、
やはり間に合わなかっただろうとは
思っています。

10年ぐらいのうちに、皆さんよくご
存じの西日本の大震災が起こります。
その前後には内陸でも被害地震が起
こると思います。これから10年ぐ
らい、ひょっとしたら20年もって
くれるかもしれませんが、その間に
いかにして西日本の大震災を軽減
するかが、最大の課題だと思います。
東日本でこのような大震災がある
ことは全く予測できていません
でしたが、生かすことができるとし
たら、西日本で今後起きる大震
災をいかに軽減するかだと思います。
われわれの経験はあまり役に立た
ないかもしれませんが、慶長に起
きた南海・東海地震では、津波
地震が起きたことが既に知られて
います。それは恐らく海溝付近が
何十メートルと滑った地震であ
っただろうと想像します。その
とき南海トラフの全域が何十
メートルもずれたとは思えませ
ん。まだ残っているところもあ
るだろうし、あるいはもう何百
年かたったので、次の地震を起

こす能力が十分あるかもしれません。

それから、これまでよく調べられて
いないかもしれませんが、例えば明
応地震のように、浜名湖の今切が
できたり、あるいは安濃津の港が
壊滅的な被害に遭ったり、すご
い津波の地震がありました。なか
なかデータはないのかもしれませんが、
どれだけ浸水したのか、波高がど
のくらいだったのかをきちんと
調べ直さなければいけません。恐
らく既に始まっていると思いま
すが、各地でもう一度津波堆積
物の調査をして、これから起き
る東海地震、東南海地震、南海
地震、あるいはこれらの連動に
対して備えていかなければいけ
ません。これまではマグニチュー
ド8.6と言っていました、過去の
地震は実際はマグニチュード9
だったかもしれません。そうい
う意味でも見直して、その対策
をこれから進めていく必要があ
ると思います。そして、将来起
こり得る災害をいくらかでも軽
減することが、われわれの務め
だと思いますし、少しでもお役
に立てればと思っています。今日
はどうもありがとうございました
(拍手)。

(山中) 島崎先生、どうもありが
とうございました。マスコミを通
してでは聞けないような、先生
が本当に言いたかったことが聞
けたのではないかと思います。

質疑応答

(質問者1) プレートとプレートの
間にカメラなどを置いてその引
きずり具合が分かれば、理論
からいくと地震が分かるわけ
ですが、それはあまりにも深
くてできない状態なのですか。

(島崎) 今はカメラよりGPSを
置いて、毎年どれだけ動くか
を見ることができるので、それ
で完全に固着しているかどう
かが分かるはずで

す。名古屋大学でもされていますが、海底のGPSは今、実用化してきているところなので、これを置いて5年ぐらいたてば、南海トラフや日本海溝の海底の深いところが本当に固着しているか証拠がつかめるはずです。今から始めればあと数年でそれが分かるので、予算がどう付くのか私には分かりませんが、多分、それが最初に向かうべき方向だと思います。

(質問者1) 可能になってきているということですね。今、愛知県のことを少しおっしゃいましたが、外れても結構ですので、具体的に先生はどこまで分かっているのかを言っただけだと、身の安全を守ろうという気持ちになるので、分かるならぜひ教えてください。

(島崎) 大変難しいご質問です。今回の津波の高さを見ていただくと、10mというのはある意味ざらです。リアス式のところではまさに30mを超えたりしますので、地形によりけりです。紀伊半島は結構リアス式のところがありますから、それを考えると、岩手県のリアス式のところが紀伊半島だと思っていただければいいと思います。それ以外のところは平野がありますが、名古屋は少し中に入っているので含まれるかどうか分かりません。私は伊勢湾の津波についてきちんと調査したことがないので、伊勢湾に入ったときにどうなるか分かりませんが、安濃津などは本当に大変な津波だったそうですから、やはり同じことが起きてもおかしくないと思って、対策を立てていただきたいと思っています。

(質問者2) マグニチュード9の地震が3.11に起こりました。超巨大地震というのはマグニチュード9.0を超えるものを言うらしいのですが、チリでマグニチュード9.5がありました。

日本近辺でマグニチュード9.0を超える地震は将来あるのでしょうか。また、歴史をさかのぼってマグニチュード9.0を超える地震があったことが、将来発見されるということはあるのでしょうか。

(島崎) あるかもしれないと思っています。明治三陸は津波マグニチュード9.0ですし、今日はお話しできませんでしたが、千島海溝では浸水が海岸から3kmぐらいあるような非常に広い浸水域を持った津波が、十勝から根室にかけて400～500年おきに繰り返し起きています。実際に十勝の海岸で津波の堆積物を見せてもらったのですが、高さ15mもあるようながけの上に、今から400年ほど前の津波堆積物が乗っていました。15mのがけということは津波マグニチュードで言うと9です。だから恐らくその地震も、いわゆる貞観型のように非常に広い浸水域の津波と津波地震型の非常に高い津波の両方が来たのではないかと思います。千島海溝でも津波地震は起こりますし、宝永地震や南海トラフで起こる地震も、もう一度推定すると、ひょっとしたらマグニチュード9があるのかもしれない。

これまでも、あまりにも高い津波は信じられなかったりして、場合によっては除かれていたりすることもあるのです。その元からもう一度見なければいけないのではないかと思います。今まで除いていたものをきちんと慎重に検討して入れる。実際に九州などでも宝永地震で非常に高い津波が起きていますが、今それは中央防災会議の資料には入っていません。恐らく何らかの理由で抜かれたのではないかと思います。そのような形で、ある意味われわれの視野の狭さとか一種の常識のようなものがあって、それを超えると「本当？ 違うんじゃないの？」と反応してしまっていたわけですが、今

やマグニチュード9は当たり前ですから、そういうデータが出て「これは多分本当だろう」という形で、評価が変わってきます。われわれの視野がいかに狭かったかということなので、これまでもマグニチュード9あるいは9を超える地震が日本であった可能性は非常に大きいと思いますし、これからも起こると考えた方がいいと思います。

(質問者3) 海のプレートが陸のプレートに入り込んでいる、つまり東側からプレッシャーがかかっているにもかかわらず海底は50m 東南東へ移動したということで、今までの理論からいくと腑に落ちないのですが、どのように理解

したらよろしいでしょうか。

(島崎) プレートがどんどん西へ押していて、最後に境界が壊れた。それによって海底は自由に動けるようになって50m戻ったのです。

(山中) それでは時間になりましたので、これで終了させていただきます。もう一度拍手をお願いします(拍手)。

(司会) 島崎先生、ありがとうございました。山中先生、お疲れ様でした。これで今日のアカデミーを終わらせていただきます。

東電原発事故による環境汚染が地域住民に及ぼしている影響—衣・食・住・被曝・健康、法規制—



講師 西澤邦秀
(名古屋大学名誉教授)

(司会) 皆さんこんばんは。今日もこんなに大勢、防災アカデミーにお越しいただき、どうもありがとうございます。今日は、名古屋大学の名誉教授でいらっしゃる西澤邦秀先生に、「東電原発事故による環境汚染が地域住民に及ぼしている影響」というタイトルでご講演をお願いします。皆さんが聞きたい内容そのものではないかと思います。先生は、名古屋大学ではアイソトープ総合センターにいらっしゃって、放射線に関する安全管理や人体への影響などをご専門になさっています。今回の災害の後も、日本放射線安全管理学会で、さまざまなガイドラインや除染の方法などを検討されています。多分、テレビでご覧になった方も大勢いらっしゃるのではないかと思います。今日はそういったことも含めて、今回の災害について突っ込んだお話をしていただけるのではないかと期待しています。先生、それではどうぞよろしくお願いいたします。

(西澤) ご紹介いただきましてありがとうございます。今日は、東電の原発事故で起きたひどい環境汚染について、地域住民の方々がどのようにかわっていくか、あるいは除染の必要があるかということも含めて、衣・食・住・被曝・健康、法規制と、全般的なお話をさせていただこうと思っています。今日は四つのことをお話しさせていただきます。メインは4番目で、日本放射性安産管理学会で検討しているいろいろ

な汚染対策等を紹介させていただくつもりです。ただ、いきなりこの話をしても話のつながりが分からないので、1、2、3をあらかじめご説明するという段取りです。

1. 放射線に関する幾つかの確認

最初に、放射線に関する幾つかの確認をします(図表1)。放射能の単位はBq(ベクレル)といいます。三つの単位がよく出てきますが、放射線量の単位はGy(グレイ)で、放射線が人間の体の中に入ってきたときに、そこにたまったエネルギーのことをいいます。Sv(シーベルト)は、放射線に被曝したときに、その影響がどのように出るのかという被曝の影響を評価する単位です。これは吸収されたエネルギー(Gy)に放射線荷重係数と組織荷重係数を掛けて求めます。

放射線荷重係数とはどのようなものかということ、放射線には α 線、 β 線、中性子線など、いろいろなものがあります。それぞれが人間の体に当たったとき、同じエネルギーを与えても影響の出方が違うのです。X線や γ 線を標準で1にとると、例えば中性子は、エネルギーによって違いますが5~20倍大きい、そういうことを加味したものです。また、組織荷重係数は、人間の体の中の、例えば目玉や胃、腸など、同じだけの放射線を受けても場所によって影響の出方が違います。その人間の体の部分ごとに対する放射線の影響の程度を加味したものが組織

放射能, 放射線, 被曝線量の単位

放射能の単位 : Bq(ベクレル)
 放射線量の単位 : Gy(グレイ)
 被曝線量の単位 : Sv(シーベルト)

* Gy(グレイ):

放射線が人体に吸収されたエネルギー単位

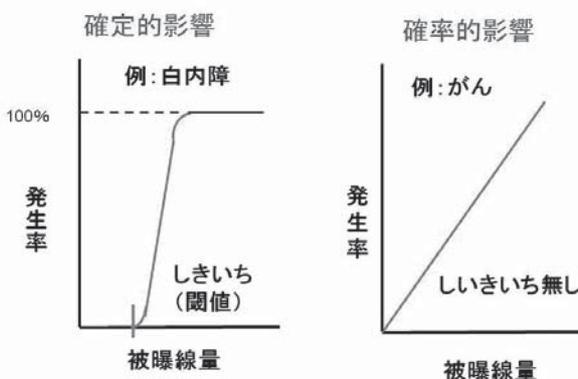
1J/物質1kg = 1Gy

* Sv(シーベルト)

放射線被曝による人体への影響の程度を表す単位

$Sv = Gy \cdot \text{放射線荷重係数} \cdot \text{組織荷重係数}$

図表 1



放射線の人体影響の種類

図表 2

荷重係数です。この二つを Gy に掛けたものを Sv と呼んでいます。

放射線の人体へ与える影響は、その性質から見て大きく 2 種類に分かれます (図表 2)。

一つは、確定的影響といって閾値 (しきいち) のある影響です。ある被曝線量を超えると影響が出てくるという性質のもので、例えば白内障は、閾値以下であれば出ません。

もう一つは確率的影響といって、こちらには閾値がありません。例えばがんは、被曝線量の増加に応じて発生率が高まります。確率的影響の方は、直線仮説といって、これは仮説なのです (図表 3)。最近よく引き合いに出される 100mSv 以下の低い線量では、研究者によって閾値がはっきりあるという方もいるし、ないと

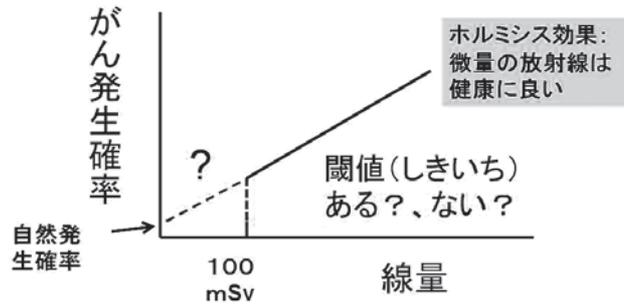
いう方もいます。あるいは、描いた直線よりも上にあるという人もいるし、もう少し下をいくという人もあって、諸説紛々でいまだに定まっていません。極端な説では、ホルミシス効果といって実は放射線は健康に良いのだとまで言う方もいます。このように、いい悪いが何とも言えない、いろいろな意見があるときには比較的危ない方にとっておこうということで、今はこういう直線になるという仮定でやっているわけです。

2. 原発事故による環境汚染核種と特徴

これは 4 月の段階である雑誌に出ていたもので、東電からどのような放射線核種が放射されたかを示しています (図表 4)。細かいところ

確率的影響 → 直線仮説

放射線防護の原則：危険は過大評価する。

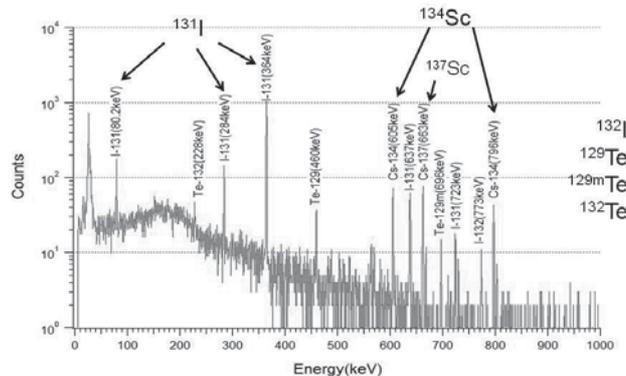


図表 3

東電原発事故で放出された放射性核種

No.	核種	No.	核種	No.	核種
1	²⁴² Ci(キュリウム)	12	^{127m} Te	23	²³⁹ Np(ネプツニウム)
2	²⁴¹ Pu(プルトニウム)	13	^{129m} Te	24	¹⁴⁴ Ce(セリウム)
3	²⁴⁰ Pu	14	⁹¹ Y(イットリウム)	25	¹⁴¹ Ce
4	²³⁹ Pu	15	⁹⁰ Sr(ストロンチウム)	26	⁹⁵ Zr(ジルコニウム)
5	²³⁸ Pu	16	⁸⁹ Sr	27	¹³³ Xe(キセノン)
6	¹³⁵ I(ヨウ素)	17	⁹⁹ Mo(モリブデン)	28	¹⁰⁶ Ru(ルテニウム)
7	¹³³ I	18	¹⁴⁰ Ba(バリウム)	29	¹⁰³ Ru
8	¹³² I	19	¹²⁹ Sb(アンチモン)	30	¹³⁶ I
9	¹³¹ I	20	¹²⁷ Sb	31	
10	¹³² Te(テルル)	21	¹³⁷ Cs(セシウム)		
11	^{131m} Te	22	¹³⁴ Cs		

図表 4



雨水の代表的なγ線スペクトル

11

図表 5

はあまり意味がありませんが、約 30 ぐらい出
ていたという話です。中にはよく耳にする放射
性ヨウ素やセシウムもありますが、ほかにも
キュリウムやネプツニウムなど、あまり聞いた
ことがないようなものも出ています。

次は私どものグループの人間が測定した生
データで (図表 5)、ゲルマニウム半導体検出
器で測った雨の中のγ線スペクトル、エネル
ギー分布です。そのピークのところを調べると、
どういう放射性核種かということがはっきり分

かります。それを見ると、ヨウ素 131 とセシウム 134、137 が圧倒的に多いので、今日はこの二つに関心を絞ります。

つい先日、8月25日の中日新聞に載っていたものですが（図表6）、衆議院の科学技術イノベーション特別委員会では、福島原発から出たヨウ素とセシウムの量を160PBqと推定しています。P（ペタ）というのは 10^{15} です。量はあまり見ても仕方がないのですが、私どもが関心を持って見ているのはヨウ素がセシウムの約11倍出ていることです。これで環境汚染が何に依存するかということが推定できます。

ヨウ素とセシウムが人間の体の中でどうなっているかをご説明しますと（図表7）、ヨウ素

は食べ物あるいは呼吸によって体の中に入ってきます。まず食べ物として胃腸に入ると、1時間ほどで100%吸収されて血液の中に入ります。血液中のヨウ素は、腎臓でこされて尿となり、70～80%が数日で排泄されてしまい、残りの20～30%は甲状腺に蓄積します。それ以外にも、皮膚から汗と一緒に出てきますし、授乳中の若いお母さんの母乳にも含まれます。また、耳下腺から出て唾液中に出てきますので、放射性ヨウ素で体内汚染を起こした方が使った歯ブラシやタオルなどには、ヨウ素が非常にたくさん付いているということになります。しかし、ヨウ素 131 は半減期が8日間ですので、相当早く減っていきます。

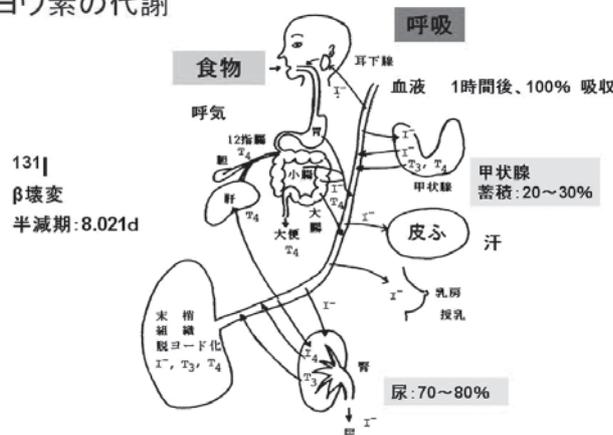
^{131}I , ^{137}Cs 放出量
 (衆院科学技術・イノベーション維持特別委員会:8月25日中日新聞)

核種	福島第1原発 1～3号機	広島	福島/ 広島
^{131}I	160PBq	63PBq	2.54
^{137}Cs	15PBq	89TBq	169
^{131}I / ^{137}Cs	10.6	708	

1PBq=1,000TBq= 10^{15} Bq, 1TBq= 10^{12} Bq

図表 6

ヨウ素の代謝

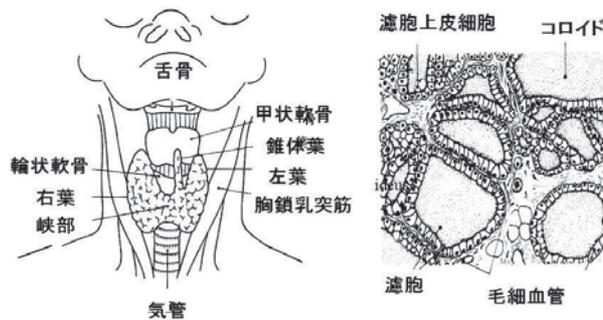


図表 7

甲状腺は皆さんののど仏（甲状軟骨）の下のところに、気管にへばりつくようにあって、中身は甲状腺濾胞というもので埋め尽くされています（図表8）。これを模式的に表したのが図表9で、甲状腺には甲状腺濾胞という単層の細胞膜でできた小さいゴムまりのようなものがぎっしり詰まっていて、その中に甲状腺ホルモンがたまっています。ヨウ素は甲状腺ホルモンを作るときの必須元素で、甲状腺ホルモンの中には必ずヨウ素が入っています。体の中に入ってきた放射性ヨウ素 ^{131}I は、ホルモンとして甲状腺濾胞の内側にため込まれます。さらにこの部分を拡大したのが右図で、ヨウ素 ^{131}I から放射性壊変で電子や γ 線が出てきます。放射線が甲状腺濾胞細胞に当たって損傷を与え、細胞が死んでしまうと甲状腺の機能が失われてきますから、甲状腺機能低下症になります。甲状腺ホ

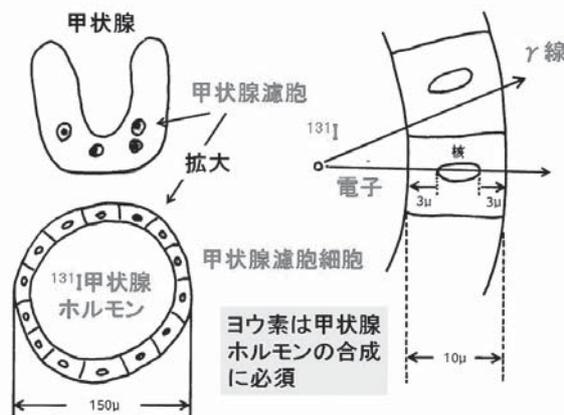
ルモンを薬として飲めば補うことはできるのですが、問題なのは、細胞が死なずに中途半端に生き残ると、それが分裂していったときに異常分裂を起こして、がんになることです。

よく、子どもはヨウ素の影響を受けやすいといいますが、それを表しているのが図表10です。横軸が年齢、縦軸が甲状腺の重量です。20歳ぐらいまでにどんどん伸びていくので、大ざっぱに言って1年に1gぐらいずつ増えていくことになるのですが、例えば新生児の場合は甲状腺の重量が1.5gくらいで、1.5gのものが2.5gになると、15gのものが16gになるとでは、増殖率が違うわけです。甲状腺が小さいと、同じ量だけ放射性ヨウ素 ^{131}I を甲状腺に取り込んでも濃度が高くなりますから、被曝線量が大きくなります。また、細胞分裂が活発な細胞ほど放射線の影響が大きいということがあり



甲状腺の解剖図

図表8



図表9

乳幼児の甲状腺は何故大きい影響を受けるのか

甲状腺が小さい濃度が高くなる被曝線量が大

細胞分裂が活発放射線感受性が高い

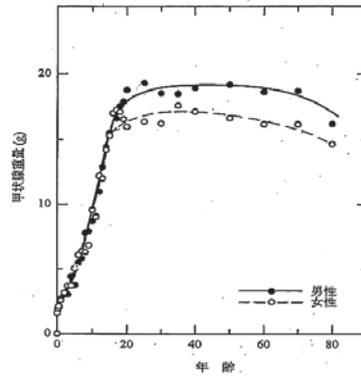


図3. 日本人甲状腺年齢別平均重量

(資料提供: 日本人のからだ—健康・身体データ集—, 東京、朝倉書店、1996年)

図表 10

放射性セシウムの特性

物理的特性	人体による代謝特性 (ICRP Pub30のモデル)
1. ^{134}Cs : β -壊変, $T=2.065\text{y}$ β : 0.0888keV (27.3%) 0.415 (2.5), 0.658 (70.2) γ : 0.563(8.4), 0.569(15.4), 0.605(97.6), 0.796(85.5), 0.802(8.7), 1.365(3.0)	1. 経口摂取されたCsは胃腸管から100%吸収。 2. Csの代謝は、Kと類似。 3. 全身に均一分布 4. 排泄には、早い経路と遅い経路がある。 5. 早い経路の半減期: 2~45日 6. 遅い経路の半減期: 10~110日 7. 年齢で排泄速度は異なる 8. 乳幼児は排泄が早い
2. ^{137}Cs : β -壊変, $T=30.04\text{y}$ β : 0.514 (94.4%), 1.176 (5.6) γ : 0.662(85.1), X: 0.0322(5.9), 0.0364(1.4)	
娘 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ $T=2.552\text{m}$ IT (Isomeric transition)	

図表 11

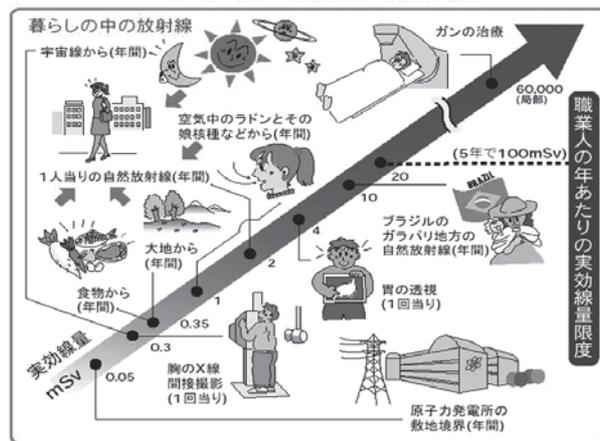
ますので、乳幼児の甲状腺は二重の意味でヨウ素の影響を大きく受けることになります。

セシウムについては、図表 11 は ICRP の Pub30 のモデルですが、経口摂取されたセシウムは、胃腸管から 100% 吸収されます。代謝はカリウムと似ていて、全身に均一分布します。そして、排泄には早い経路と遅い経路があり、年齢によって排泄速度が異なり、乳幼児の方が排泄が早いことが分かっています。これは、ヨウ素の場合には乳幼児の方が大きく影響を受け、セシウムの場合には大人の方が大きく影響を受けることを意味しています。

3. 被曝の法規制

放射線は、実はわれわれの身の回りにたくさんあります (図表 12)。宇宙線から降ってくるもの、それから、今呼吸をしている空気中にも放射線のラドンというものがある、それから被曝します。土の中にも、食べ物の中にもあります。ですから、われわれは毎日、放射能食を食べているということになるわけです。そういうもの全体から、世界的に平均を取ると毎年 2mSv ぐらい被曝しています。例えばブラジルやインド、中国など、世の中にはこの平均よりずっと高い、10mSv ぐらいの土地がありますので、自然の状態でも 2mSv から 10mSv まで開きがあるわけです。

4. 自然（環境）放射線



図表 12

放射線業務従事者に対する通常時の線量限度

区分	線量	
実効線量限度 (確率的影響)	①5年間蓄積線量 * 1	100mSv/5年間、(20mSv/年)
	②年間線量	50mSv/1年 * 3
	③女性	5mSv/3ヶ月 * 3
	④妊娠中の女性 * 2	1mSv
等価線量限度 (確定的影響)	①眼の水晶体	150mSv/1年 * 4
	②皮膚	500mSv/1年 * 4
	③妊娠中の女性の腹部	2mSv/妊娠中

* 1: 平成13年4月1日以後5年ごとに区分した各期間
 * 2: 本人の申請により使用者等が妊娠の事実を知ったときから出産までの間の内部被曝。
 * 3: 妊娠不能と診断された者、妊娠の意志のない旨を使用者申し出た者及び妊娠中の者を除く。
 * 4: 4月1日を始期とする1年間。

図表 13

それに対して法律ではどうしているかというと、平均5年間で100mSvという数値を出しています。これをもう少し詳しくご説明しますと、先ほど、人体に対する影響には確定的影響と確率的影響があるとご紹介しましたが、法律では確定的影響は絶対に生じさせない、確率的影響は容認できるレベルまで下げるということで、その両方に別々に基準を設けています。今、われわれは生きていますが、日本人の3分の1以上の方ががんになって死んでいます。その中で、放射線によって、例えばがんの発生率が0.1%増えることが我慢できるかできないかという議論も出てくるわけですが、それはさておき、基準がどうなっているかを見てみましょう。

図表 13 は、放射線を職業として扱っている方(放射線業務従事者)に対する法規制値です。等価線量限度の場合には、例えば眼の水晶体には年間150mSv、皮膚に対しては500mSvという数値が決められています。これは確定的影響に対するもので、局所的に見ると人間は結構放射線に強いことを意味しています。実効線量限度は確率的影響に対するもので、全身被曝に換算したときの話になります。これは5年間で100mSv、年平均にすると20mSvですが、年間では最大50mSvを超えてはいけないという付帯条件が付いています。1年目に50mSv被曝し、2年目に50mSv被曝したと仮定すると、2年間で100mSvですから、残りの3年間は放射線を

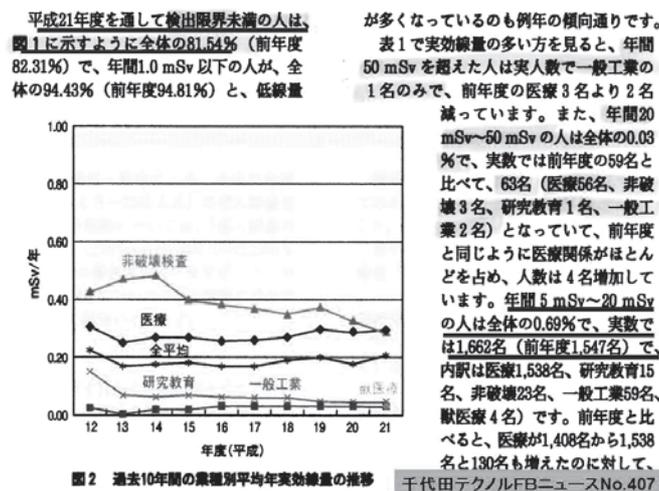
扱ってはいけない、3年間たったらまた使い始めてよいということになっています。

千代田テクノルという個人被曝線量の測定サービスをしている会社のデータを見ると（図表14）、平成21年度には検出限界未満の人が82%、つまり管理しているけれども実際には被曝していない人が82%で、50mSvを超えた人が1人いたということで、これは通常の状態では日本は放射線管理が非常に厳密かつ安全に行われていることを示しています。

では、公衆の場合を含めた限度値はどうでしょうか（図表15）。放射線業務従事者に対しては、通常時も緊急時も法律上の規制があって限界値が決められていますが、公衆、つまり放

射線を扱わない方に対しては、通常時の実効線量に規制値がありません。よく誤解されるのですが、1年に1mSvという数字は法律に明記されたものではないのです。ただ、暗黙の了解でいろいろなところに取り入れられているということがあります。等価線量についても限度値はなく、緊急時については、個別にはありますが総量はありません。

公衆の緊急時の被曝限度ということで、今話題の汚染牛肉の話を取り入れてみましたが（図表16）、実効線量、等価線量（これは甲状腺を対象に考えています）ともに、総量規制はありません。実効線量の外部被曝については、校庭での児童の被曝が問題になりましたが、20mSv



図表 14

被曝の限度値の比較

		通常時	緊急時
放射線業務従事者	実効線量	有	有
	等価線量	有	有
公衆	実効線量	無	個別：有 総量：無
	等価線量	無	個別：有 総量：無

1mSv/年：日本の法律には定められていない。

図表 15

公衆の緊急時の被曝限度

		線量	限度値	
実効線量	総量		未定	
	外部被曝		20mSv	
	内部被曝	吸入(I)	2~4? mSv 注2)	
		飲食	I	2mSv 注2)
			Cs, Sr	5mSv
Pu, 超U			5mSv	
等価線量	内部被曝 (甲状腺) 注1)	総量	未定	
		吸入(I)	50~100? mSv	
		飲食(I)	50mSv	

注1) 甲状腺の内部被曝、
注2) 甲状腺等価線量50~100 mSvに相当

図表 16

放射性物質を含む飲食物摂取制限の指標

例: Cs
決め方
暫定基準値の意味
運用上の問題点
(被曝の総量規制の概念が無い。)

図表 17

という数字を挙げています。内部被曝については、吸入と飲食によるものがありますが、吸入についてははっきりしない。飲食については、ヨウ素、セシウム・ストロンチウム群、プルトニウム・超ウラン元素群の3種類に分けて、それぞれ2mSv、2mSv、5mSvという規制値が決められています。

等価線量については、吸入についてははっきりしない。飲食については50mSvという数値が出ています。これを見ると、20mSvに5mSv、5mSvを足して30mSvです。今明記されている数字を拾い上げると34~38mSvが総量になりますが、今回、政府が総量はこうなるということをきちんと説明している場面を私は一度も見せていません。

ヨウ素の話は複雑になるのでセシウムについ

て少し詳しく見てみると、放射性物質を含む飲食物摂取制限の指標には、決め方、暫定基準値の意味と、総量規制という概念がないという運用上の問題点があります(図表17)。

図表18は、セシウムに対する飲食物の分類と摂取量です。これは原子力安全委員会が出している資料ですが、飲食物を飲料水、牛乳・乳製品、野菜類、穀類、肉・卵・魚介類・その他に分けています。汚染牛肉は、肉・卵・魚介類(動物性タンパク質)に含まれます。国民栄養調査の結果を見ると、成人では1日に飲料水は1.65L、牛乳、乳製品は0.2L、野菜類は0.6kg、穀類は0.3kg、動物性タンパク質は0.5kg採っています。これは国民の平均で、乳児と幼児についてもそれぞれ数字が出ていますので、飲食物摂取制限の指標はこれを基本に計算していき

放射性Sc*に対する飲食物の分類と摂取量 [kg/d又はl/d](原子力安全委員会)

飲食物の種類	成人	幼児	乳児
飲料水	1.65	1.0	0.71
牛乳、乳製品	0.2	0.5	0.6
野菜類	0.6	0.25	0.105
穀類	0.3	0.11	0.055
肉、卵、魚介類、その他	0.5	0.105	0.05
全食品(飲料水を除く)	1.6	0.965	0.81
計	3.25	1.965	1.52

* 放射性ヨウ素以外の核種に対する対策のための分類と摂取量

図表 18

飲食物摂取制限の指標決め方

$$\text{被曝線量} = \text{食物摂取量} \times \text{濃度} \times \text{換算係数}$$

(kg/日) (Bq/kg) (mSv/Bq)

被曝線量 = 1 mSv になる濃度を算出

丸めた濃度 = 暫定規制値

図表 19

^{134,137}Scに対する誘導介入濃度(Bq/kg) = 暫定基準値(5mSv/年)(原子力安全委員会)

	成人	幼児	乳児	最小値	暫定基準値
飲料水	201	421	228	201	200
牛乳、乳製品	1,660	843	270	270	200
野菜類	554	1,686	1,540	554	500
穀類	1,110	3,830	2,940	1,120	500
肉、卵、魚介類、他	664	4,010	3,234	664	500

各飲食物に割り当てた年限度: 1mSv/年

図表 20

ます(図表 19)。被曝線量を 1mSv と割り当てていますので、1mSv になるような濃度を食物摂取量と換算係数を使って求め、その濃度を丸めて出したものが暫定基準値です。

暫定基準値は、飲食物全体で年に 5mSv を上限にするとしています(図表 20)。その 5mSv を、飲料水を含む五つの食物群に対して 1mSv ずつ割り当てているわけです。年に 1mSv にな

るセシウムの放射能濃度を計算すると、大人で664Bq、幼児で4000Bq、乳児で3200Bqくらいになりますが、この中で一番小さいのは大人の664Bqです。同じように、ほかの四つの食物群に対しても最小値を取り出します。さらに、法律で基準を決めるようなときには、きりのいい数字にしないと使い勝手が悪いので、小さい方できりのいいところで500Bqとしています。これがよくいわれているセシウムの暫定基準値500Bqです。食品安全委員会の先生方がテレビに出てきて「安全なように決められています」と強調されていますが、それは特に子どもに対しては大人の6分の1から8分の1としていることを強調しておられるわけです。

モデル食事で1kg当たり500Bqといわれても、どれだけ体の中に取り込むのかぴんときませんので、もう少し分かりやすい表を作ってみました（図表21）。肉類の摂取量は成人は1日500g、幼児は105g、乳児だと50gですから、それに法定濃度の基準値を入れて計算すると、成人では9万1250Bqが年間の摂取上限値になります。同じように、乳児に対しても計算して導き出しています。これは暫定基準値を使った例ですが、実際に丸める前の数字を使うと、成人の場合は暫定基準値を使うと9万1000Bqのところは12万1000Bq、幼児では1万9000Bq

が15万6000Bq、乳児は9000Bqが約6万Bqという数値になります。皆さん牛肉を食べるのがご心配であれば、食べた重量とこの数字を使って、体内に取り込んだセシウムを計算すれば、年間の上限値と比較して安全・安心をチェックできます。

4. 日本放射線安全管理学会の汚染対策の紹介

4.1. 放射線ヨウ素セシウム安全対策アドホック委員会

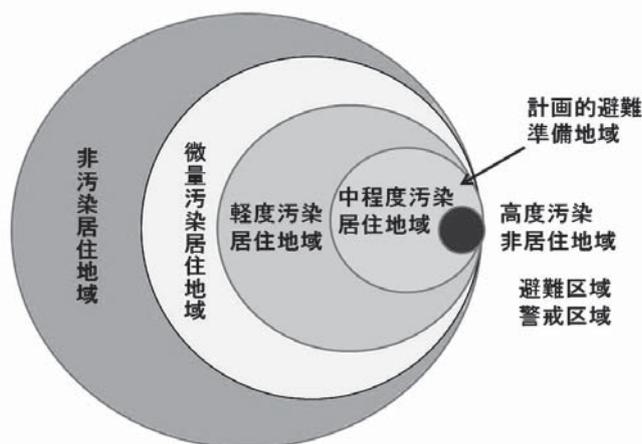
いよいよ本題に入りますが、日本放射線安全管理学会の中に、放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会を作りました。アドホックとは、臨時特別という意味です。汚染の程度によって、区域を図表22のように考えています。高度に汚染して人が住んでいないところ（警戒区域・避難区域）、中程度の汚染ですが人が住んでいるところ（計画的避難準備地域）、軽度の汚染でごく普通の生活をしているところ、微量の汚染がある地域（ここには私の頭の中では東京も含んでいます）、あと、愛知県のような、ほとんど汚染がないと考えられているところ。委員会では人の住んでいないところは対象外としました。軽度の汚染から微量、時には中程度までを含めたところを対象と考えています。

モデル食事に対応するCs年摂取放射能

	成人	幼児	乳児
肉類摂取量/日	500g	105g	50g
年摂取放射能1 (法定濃度)	91,250Bq	19,163Bq	9,125Bq
年摂取放射能2 (誘導濃度)	121,180Bq	156,683Bq	59,021Bq

$$\text{年摂取放射能 (Bq/y)} = \text{肉類摂取量/d} \times 500\text{Bq/kg} \times 365\text{d/y} \quad (\text{基準値})$$

図表21



図表 22

アドホック委員会の目的は、大気中に放出された放射性ヨウ素・セシウムによる環境汚染地域の一般住民の日常生活（衣食住）に対する不安に対処するために関連する事項を調査・研究し、可能な限り対応策を提言することです。

設立の経緯を簡単にご紹介します。3月11日に地震と汚染事故があり、最初は私もすぐに収まるだろうと思っていました。しかし、そのうちセシウムやヨウ素が出たので、3月13日に学会長宛に対策の必要性についてメールを出しましたが、会長は帰宅困難者で連絡が取れませんでした。ようやく連絡が取れたのが15日で、委員の選定や仕事の進め方は私に任せただけでないかと了解を取って、仕事を始めました。皆さんお分かりだと思いますが、組織というのは自由に動かなくて、委員会一つ作るにも趣意書や予算書なども必要で数カ月かかるのが当たり前ですが、数カ月もたてばヨウ素が消えてしまって研究する意味がなくなるので、緊急の対応を取らせていただきました。委員になっていただける方には個人的にすぐに研究を開始していただき、組織的に活動を始めたのが3月22日です。

科学・生物を専門にしていることに加えて計測に熟練している人と、計測を専門にしている人の中から、さらに条件を五つ付けて委員をお

願いました。その条件とは、一つは非密封放射性ヨウ素取扱の経験が豊富であること。放射性ヨウ素は非常に扱いが難しく、扱う人自身が被曝する恐れがありますので、しっかりした技術を持っている人でなければいけません。もう一つは、この研究にとって一番大事なのは測定してきちんとした数値を出すことですので、特にGe半導体検出器を持っていて、測定に熟練していること。それから分布を知るという意味で、イメージングプレートという測定装置があるのですが、その操作に熟練していることという技術的な三つの条件を付けました。

あとはキャラクターの問題で、ボランティア精神が旺盛なこと。研究にはどうしてもお金が必要ですが、お金はありませんので、お金がないけれどもやってくれる人。それから、瞬発力があること。これは跳んだり跳ねたりする能力が高いという意味ではなくて、研究を始めようとするときには、この研究をどういう手順で進めるべきか、結果の信憑性はどうかなど、いろいろなことを考えます。ですので、非常に慎重な方はよくよく考えてから立ち上がりますが、あまり慎重すぎると放射性物質がなくなってしまいうので、あまり慎重すぎる方は遠慮するという五つの条件で、全国の先生方の中から、当初は8研究機関の12名の方をお願いしました。

その後だんだん増えて、現在は14研究機関と2企業の22名の方と研究協力者が約20名、全体で40名ほどの規模で仕事をしています。

活動の中身は、水、野菜、内部被曝、被服、土壌、茶葉の六つのグループに分けて、委員の先生方には、複数の班に入っていていただいているのですが、自主的に選択した班に所属していただいています。成果は論文として発表したり、学会のホームページに掲載したりして、今日はその中から抜粋してお話ししていますので、詳細をお知りになりたい場合は報告書をダウンロードしていただければと思います。

研究を進めるときに、なぜ複数の先生方を一つのグループに集めたかという、研究者は普通、個性を出さなければ論文は書けませんから、人と同じことをやりたがりません。でも今回は非常に急いでいて、しかも繰り返し同じ実験はできないという制約が付いてきますので、複数の専門家がそれぞれ同じ試料を扱って間違いがないことを確認し、実験による誤差の範囲をはっきり決めるために、複数の者がクロスチェックすることにしました。そして、得られた結果はすべて情報公開する。一つ一つの結果について一人で考え込んでいると時間がかかるので、出た結果をいろいろな人が見て、それぞれ勝手な解釈や注文を付けながら、できる限り迅速に研究を進めていくことにしました。それと同時に、各自の創意工夫も生かさなければ研究者としての不満が出るので、それは別途自分でやっていただくことにしました。

最初に申し上げたように、対象は一般市民の衣食住ですので、実験は一般家庭にあるごくありふれた材料や器具を使って行い、特殊な薬剤や大型の装置はできる限り使わない。現地試料を使った実験が必須なので、モデル実験は参考程度にとどめます。私が担当したのは試料の入手と研究者への配送、いわゆるロジ担で、研究

をしていただく先生方のところに、とにかく早くいい試料を届けることです。いい試料というのは、大変申し訳ないのですが、研究をするときには放射能をたくさん含んでいるものもいい試料です。ところが、例えば野菜の場合など、汚染地域の農協や市場関係者の方に、廃棄する汚染されたものがあつたらぜひとお願いしても、政府から出荷禁止になっているものをお出しするわけにはいかないということで、全く提供していただけないのです。駄目だというもの無理矢理お願いすることもできないので、個人的に幾つかのルートを開拓して手に入れたのですが、中には放射能の濃度が低くて実験に使えないものもありますし、放射能があつても半減期が短いのでできるだけ早く手配しなければいけないということで、朝から晩までコンピュータと電話で連絡を取っていました。

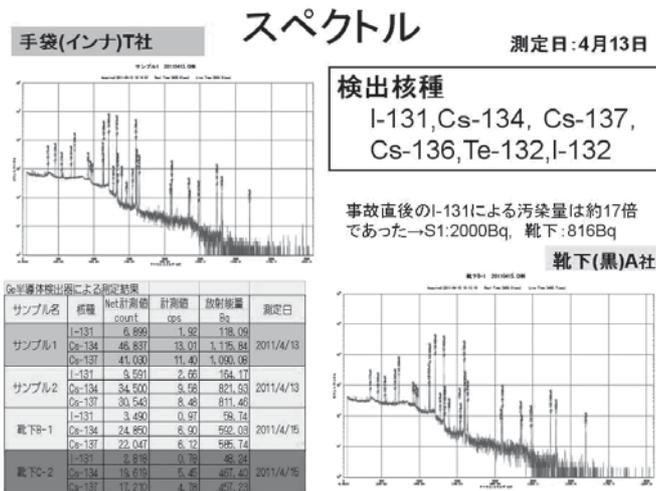
4.2. 衣（被服分析）

幾つかの試料がありますが、今日これからご紹介するのは、会社員で、3月11日から16日まで、原発近くでこの作業着を着て逃げ回っていた方の衣類を分析した結果です（図表23・24・25）。手袋は、ゴム手袋を表にして内側に綿のインナー手袋をしていましたが、なぜかその内側の手袋まで大変汚染していました。靴下も汚染していて、その分布を見るとつま先とかかとのあたりが非常に汚染が強く、上の部分はほとんど汚染がありませんでした。これは避難先で靴を脱いで部屋に上がると、部屋の中が汚染しているのを靴下が一面に汚染されたということを表しています。避難先の家の中は決してきれいではありません。しかし、外よりはましだということです。

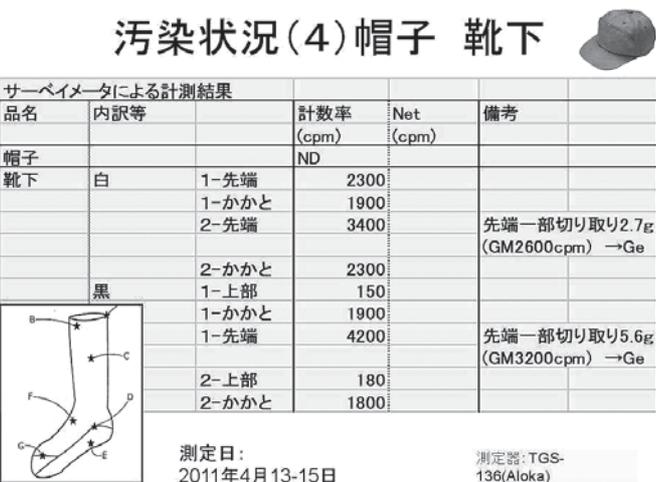
作業衣は、最初はヨウ素がたくさんあつて、実験で扱う方の被曝が心配だったので、ヨウ素がなくなるのを待って、セシウムだけになって



図表 23



図表 24



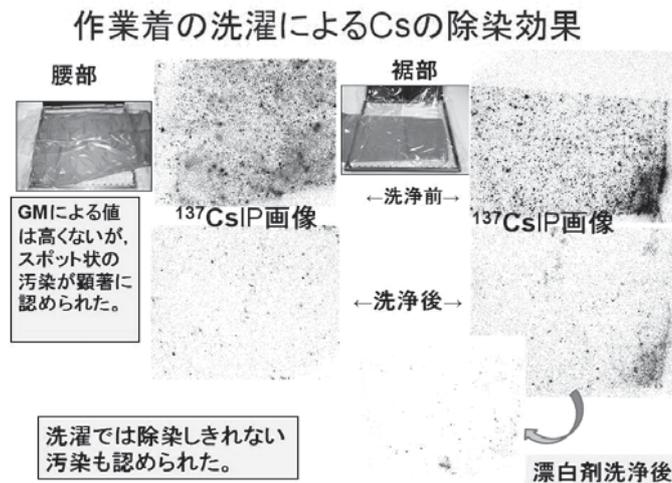
図表 25

測定を行いました。ですから付いているのはみんなセシウムですが、GM 計数管で測り、イメージングプレートで見ると、一面汚染しているものと、スポット的に汚染しているものが入り交じっています。裾の方は、かかと側の汚染がひどかったです。洗濯機で洗うとかなりきれいにはなりますがまだ残っていて、漂白剤を使うとさらに落ちますが、それでも残っているということが分かりました（図表 26）。

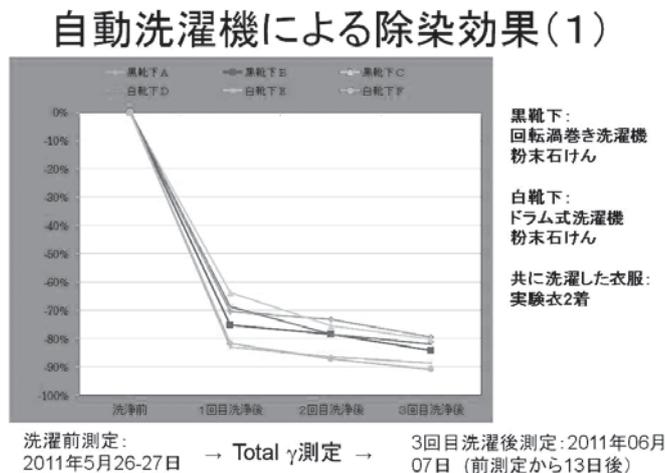
図表 27 は、洗濯機で洗ったときの落ち方を示したグラフです。洗濯機の種類は回転式とドラム式の両方を使っていますが、ほとんど差がありません。ここでは粉末石けんを使っています

すが、液体洗剤を使った例もあり、洗剤による差もありません。汚染していない実験衣も一緒に洗いましたが、実験衣には汚染は付いてこないで、万一、汚染していない下着類と一緒に洗っても汚染は付かないということを意味しています。また、3 回洗うと 80～90% ぐらい落ちましたが、落ちきれない部分がどうしても残るとことが分かりました。

汚染状態のまとめとしては（図表 28）、スポット状の汚染と微慢性の汚染が共存しており、ズボンの汚染は裾や臀部が著しい。靴下の汚染はつま先とかかかとが著しい。ゴム手袋の内側に着用する綿の手袋も汚染されていましたが、これ



図表 26



図表 27

汚染状態のまとめ

- 汚染にはスポット状の汚染と微慢性の汚染があり、共存している。
- ズボンの汚染は、裾、臀部が著しい。
- 靴下の汚染は、つま先とかかところが著しい。
- ゴム手袋の内側に着用する綿手袋も汚染されている。

図表 28

洗濯結果のまとめと解釈

- 市販の洗剤による3回洗浄で、80～90%除染された。
汚染の大部分は洗濯で除去できる。
- 残留汚染は、10～20%であった。
残留汚染は、洗剤に溶けにくい汚染か、繊維の奥に捕捉され、洗浄液に溶出しにくい汚染と推測される。
- 汚染衣類と共に洗濯した非汚染綿手袋および防護衣からは、汚染が検出されなかった。
洗浄液中に溶出した汚染は他の衣類を汚染させない。

図表 29

洗濯作業環境の汚染

1. 洗濯中
洗濯排水には汚染有り。
すすぎ排水には汚染なし。
2. 洗濯後
洗濯機周辺: 汚染なし。
洗濯後の洗濯槽内: 汚染無し。
乾燥器内の空気: 汚染なし。
(乾燥時に汚染が拡散する可能性は低い。)

図表 30

は理由が分かりません。

また、洗濯結果についてのまとめと解釈としては（図表 29）、市販の洗剤による3回洗浄で80～90%が除染される。残留汚染は10～20%であったが、多分これは洗剤で溶けにくい、繊維の奥に絡み込んだものだろうということで、この実験をした先生はその後、洗濯板で

ごしごしこする実験をしていらっしゃいますが、まだ結果は聞いていません。また、汚染衣類と一緒に洗ったものには汚染は移りませんでした。洗濯機の方では（図表 30）、洗濯排水には当然汚染があります。すすぎの排水にはないということは、最初の段階でほとんどが取れていたということになります。洗濯後には、洗濯

機周辺や洗濯槽の中、あるいは乾燥機の中の空気に汚染はなかったため、乾燥時に汚染がさらに飛散することもなさそうだということが分かりました。

4.3. 食（水分析・野菜分析）

水分析については、雨水と水道水の両方しようと思ったのですが、汚染濃度の高い水道水が手に入らなかったため、雨水だけで終わってしまいました。このときも、一般の家庭で手に入るような材料や浄水器などを極力使うということでやりました。

採水した場所によって濃度はさまざまで、図表 31 のセシウムとヨウ素の比で、福島県の 12

というのは政府で推定した 11 と近いですが、ほかのところはそれよりも大きい値が出ています。このことから、多分、セシウムの方が近場に落ちて、遠くへ飛んでいったのはヨウ素だろうということと、ヨウ素とセシウムの存在比は場所と日時によって異なるということが推定されました。

除染については、イオン、分子、微粒子など、ヨウ素やセシウムがどんな形で存在するか、それに応じて除去する方法を変えました（図表 32）。例えば、イオンの場合は同位体交換を行う、分子の場合は活性炭を使う、微粒子ではナノ粒子による凝集沈殿と、いろいろなことをしていただきました。モデル実験 1 では、非放

水の採水場所、種類、採水日時、採水時の放射能濃度及び放射能比

採水場所	種類	採水日時	採水時の放射能濃度 (Bq/L)			放射能比	
			¹³¹ I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³¹ I/ ¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs/ ¹³⁷ Cs
日立市	雨水	2011.3.21	3459	117	133	26	0.9
東京都	雨水 ¹⁾	2011.3.22	3543	209	220	16	0.95
つくば市	雨水	2011.3.24	905	-	-	-	-
日立市	雨水	2011.3.24	6980	-	-	-	-
日立市	浄水場	2011.3.27	20	1.3	0.8	25	1.6
福島市笹木野	雨水 ²⁾	2011.4.1	3830	-	236	16	-
福島県	雨水	2011.4.12	1462	109	127	12	0.9

1) 定性分析ろ紙でろ過、2) 3/15 汚染降雨水を福島市笹木野字町裏の雨水で希釈。
¹³¹I と ¹³⁷Cs の存在比は場所と日時によって異なる。¹³¹I は ¹³⁷Cs の 12~26 倍

図表 31

考えられる¹³¹Iの存在形態と除去法

1. イオン
 - イオン交換樹脂への固定
 - 同位体交換による固定
 - ヨウ化銀(AgI)の形成による固定
2. 分子
 - 活性炭やシクロデキストリンによる物理吸着
 - ヨウ素-デンプン反応によるデンプンへの固定
3. 微粒子
 - フィルターによる物理的分離
 - シリカゲルへの吸着
 - シリカナノ粒子による凝集沈殿

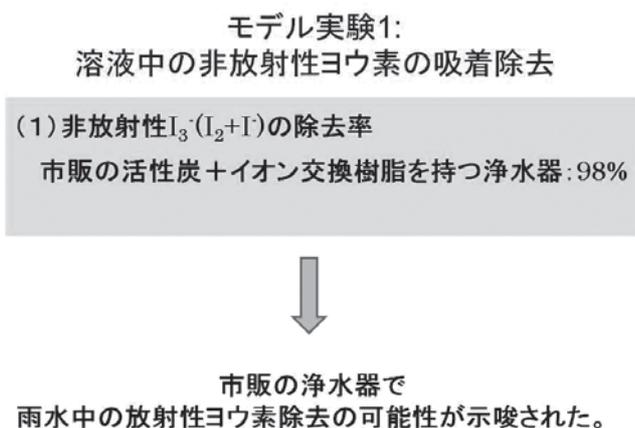
56

図表 32

放射性ヨウ素の吸着除去を市販の浄水器で行ったところ、98%ぐらい取れたということで、市販のものでもかなり使える可能性が得られました(図表 33)。モデル実験 2 は、放射性ヨウ素 125 の廃液に対して、家庭内にある材料を使ってどの程度除去できるかを試したものです(図表 34)。この実験で使用したペーパーフィルターは、コーヒードリッパー用のものです。家にあるものですから、特殊なものではありません。それに活性炭を加えたもので前処理のあるものとないもの、それから、昆布には安定ヨウ素がたくさんあるので同位体交換反応が期待できるのではないかと。あるいは、薄力粉や片栗粉はヨードデンプン反応で捕まえてくれないかというこ

とで、とろろ昆布、薄力粉、片栗粉などを使っています。当時、この実験をしているところに、薄力粉で非常に効果があったということがインターネットで流れて、信じた方が多いようですが、やってみると効果はめざましいものではなく、全部取れるなどということはありませんという結果でした。一方、前処理をした活性炭を使うと、高率で取れることがはっきりしました。活性炭はいろいろなものに対して効果があるので、活性炭はかなり有望であることは最初から分かってはいたのですが、ほかのものと比較する必要がありますということで実験したものです。

細かいところは除いて二つだけ見ますと(図表 35)、電気ポットにカルキ抜きという機能が



図表 33

**モデル実験2
放射性 ^{125}I 排液に対する家庭内材料の除去率(徳島大)**

方法	除去率(%)
ペーパーフィルター(PF): 1.26g	14
PF+活性炭(前処理無)*: 16.79	39
PF+活性炭(前処理有)	85
PF+とろろ昆布: 3.45g	30
PF+薄力粉: 37.04g	23
PF+片栗粉: 30.04g	25
PF+βCDP(前処理無): 17.83g	72

^{125}I 廃液(Bolton-Hunter, KI等混合廃液, 4.9 MBq/L)
食品用ヤシガラ活性炭: 事前の洗浄操作(水、熱湯)

図表 34

II. 各種材料、器材による雨水中¹³¹Iの除去率

材料	方法	実験場所	雨水採水場所	¹³¹ I除去率
5Aろ紙	ろ過	静岡大学	福島県の雨水	4%
銀版	接触	KEK	日立市雨水+水道水	3
活性炭	活性炭+振とう		日立市雨水(濾過後)	8
活性炭	活性炭+10分振とう+一晩放置		日立市雨水(濾過後)	59
電気ポット	電気ポットカルキぬぎ		日立市雨水+水道水	46
電気ポット	電気ポット+活性炭+電気ポット		日立市雨水+水道水	88
薄力小麦粉	薄力小麦粉そそぎ		日立市雨水+水道水	-17
薄力小麦粉	薄力小麦粉+2分振とう		日立市雨水+水道水	42
薄力小麦粉	薄力小麦粉+2分振とう		日立市雨水+水道水	5
薄力小麦粉	薄力小麦粉+2分振とう	日立市雨水+水道水	8	

電気ポットによる煮沸では、¹³¹Iは17%濃縮された。

図表 35

市販のポット型浄水器

機種	ろ過材
A	活性炭
B	粒状活性炭+イオン交換体
C	活性炭+イオン交換樹脂
D	活性炭+中空糸膜+セラミック
E	活性炭+セラミック+中空糸膜、硫酸カルシウム

市販浄水器:ポット型、蛇口取り付け型、据置型
蛇口取り付けに代わる加圧装置を入手できなかった。

図表 36

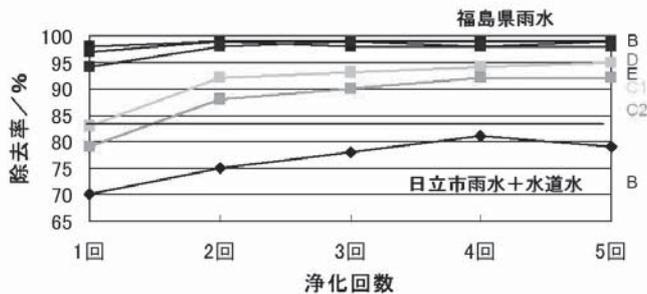
ありますが、沸騰させるとかえって濃縮します。やかんでお湯を沸かしても同じことで、濃縮するような作業は具合が悪いです。ここでも活性炭が効果があるということで、活性炭がかなり有望になってきました。

市販のポット型浄水器から5種類のものを選びました(図表36)。これは、活性炭を基剤として、それにイオン交換樹脂や中空糸膜などをプラスしたものを選び出していったところ、たまたま5種類あったということです。市販の浄水器にはポット型や蛇口に直接取り付け型、据え置き型などいろいろありますが、例えば蛇口に直に取り付けるものについては、大学の研究室で実験をするときには、汚染した水は蛇口

から流すほどの量はありませんから、加圧装置がないと模擬実験ができません。ですのでそれは断念して、ポット型という置いておくタイプのものから5種類を選び出して、幾つかの大学で分担して調査をしてもらいました。

5回浄化を繰り返すと、2回目くらいからほとんど90%近くにいき、さらに4回、5回繰り返すと、みんな90%以上取れることが分かりました(図表37)。セシウム137も、同じように94%以上除去できることが分かっています(図表38)。

まとめると、ポット型の浄水器で繰り返し浄化することにより、ヨウ素は90~99%除去され、セシウムは94~99%除去されます。こ

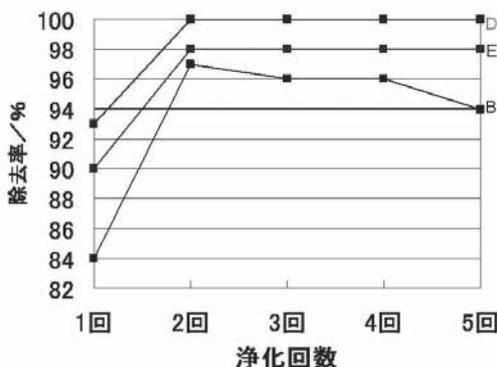


繰り返し浄化による浄水器の雨水中¹³¹I除去効果

(B:東レ トレビーノPT302 C:ブリタ、Navella D:三菱レイヨン クリンスイ、CP002 E:パナソニックTK-CP11)

61

図表 37



繰り返し浄化による浄水器の雨水中¹³⁷Cs除去効果

(B:東レ トレビーノPT302、D:三菱レイヨン クリンスイCP002、E:パナソニックTK-CP11)

図表 38

の数字が非常にいい数値なのか思ったほどではないのかは、人によって受け止め方が違うと思いますが、市販のものでこの程度はできるということをはっきりさせたことに意味があるかと思っています。また、雨水の採取場所や時期によってポット型浄水器では除去できない残留成分が1～9%存在し、さらに残留成分は部分的にSiO₂によって吸着されたことが分かってきましたが、残念ながらここで放射能が少なくなってしまう、それ以上は実験ができませんでした(図表39)。犯人を目の前まで追い詰めたもののすると逃げられてしまったということで、内心忸怩たる思いがしています。

次は野菜で、図表40は金沢大学で行った実験の結果です。汚染した福島県産の白菜の葉と

汚染していない石川県産のキャベツの葉を並べてイメージングプレートで測定すると、石川県産のキャベツの方は全然出てこないのですが、汚染した白菜の方は見事に出ています。そして、やはり作業衣などと同じで、全体に微慢性の汚染と局部的なスポット状の汚染とが入り交じっていて、葉脈に沿って凸凹のあるところにくっついて取れないということが推測されます。

また、傷のあるところにも汚染がくっついて取れません(図表41)。また、葉の裏表で見ると(図表42)、表側は雨風にたくさん当たる場所なので、当然ながら表側の方の汚染が大きく、裏側は汚染が少ないということになります。ホウレンソウの例では(図表43)、外側の葉ほど汚染されていて、内側はほとんど汚染されてい

まとめ

- ポット型浄水器を用いる繰り返し浄化によって¹³¹Iは90～99%除去され、¹³⁷Csは94～99%除去された。
- 雨水の採取場所や時期によって、ポット型浄水器で除去できない残留成分が1～9%存在し、残留成分の一部分はSiO₂によって吸着された。
- 電気ポットによる煮沸では¹³¹Iが濃縮される
- 更に除去率を向上させるためには、残留成分の除去方法を開発することが不可欠である。

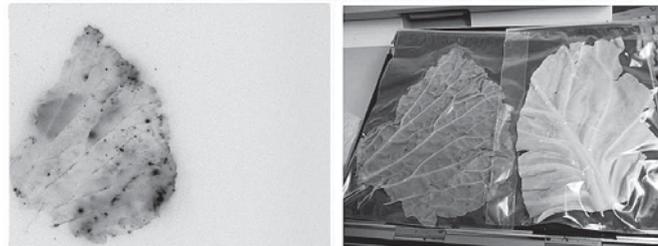
63

図表 39

イメージングプレート(IP)画像による放射能分布

by 金沢大学

汚染キャベツ 1,000 cpm 福島市南相馬市馬事公苑 採取日: 3月23日



汚染白菜 石川県産キャベツ 汚染白菜 石川県産キャベツ

曝露時間: 20時間 イメージングプレート: BAS-SR2025
BAS-5000: 解像度 100 μ m 表面の凹凸部分のRI濃度が高い。

図表 40

チンゲン菜 150 cpm 宮城県角田市内 採取日: 3月24日
by 金沢大学



汚染チンゲンサイ チンゲンサイ(対照) 汚染チンゲンサイ チンゲンサイ(対照)

曝露時間: 20時間 イメージングプレート: BAS-SR2025
BAS-5000: 解像度 100 μ m 傷に汚染が集中している。

66

図表 41

ませんでした。一番小さい葉は汚染が少ないということになります。さらに、1枚の葉ではどこにあるかということをお調べした先生がおられて

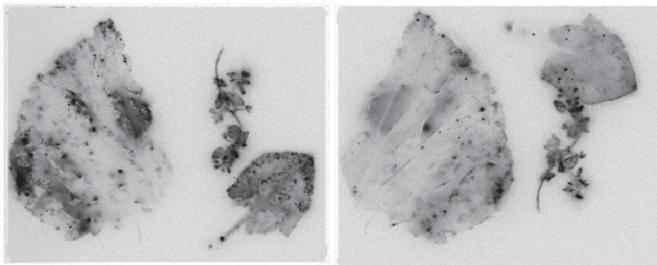
(図表 44)、葉の表面の皮をむくと、ほとんどが皮にあって、あと液胞という部分にもあるとおっしゃっていました。葉の表面に付いている

汚染野菜の葉の表側と裏側の像

葉の表側

葉の裏側

by 金沢大学



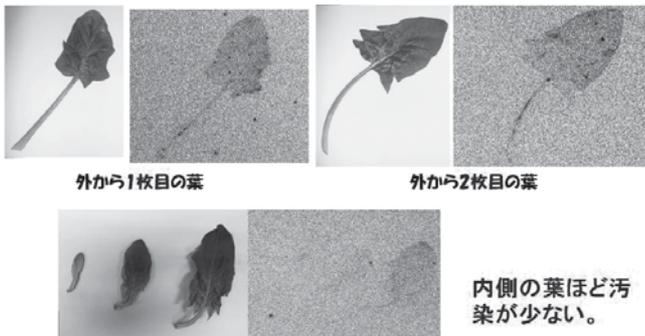
曝露時間:20時間 イメージングプレート:BAS-SR2025
BAS-5000: 解像度 100 μ m

葉の表の方が汚染している。⁶⁷

図表 42

汚染したホウレンソウ1株の放射能分布

by 東京大学



外から1枚目の葉

外から2枚目の葉

内側3枚の葉

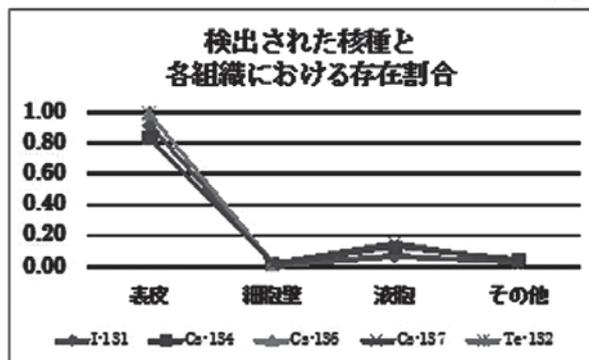
内側の葉ほど汚染が少ない。

68

図表 43

野菜の葉の各組織の放射能分布測定

by 東京大学



汚染野菜の放射能の80%以上が表皮細胞に存在していた。⁶⁹

図表 44

のであれば何とか取れても、中の液胞というところに入ると、どうにも取りようがありません。今のこのような分布の状態を頭に入れて、どう

したら、あるいはどの程度、汚染が除去できるかを調べた結果です (図表 45)。ホウレンソウを水洗したときの除去率は、ヨウ素で12～

○ 水洗浄による放射能除去効果

ホウレンソウ

除去率(%)				除去率(%)			
No.	I-131	Cs-137	機関	No.	I-131	Cs-137	機関
1	50	70	高工ネ研	8	41	60	金沢大学
2	26	71	徳島大学	9	39	69	金沢大学
3	45	57	静岡大学	10	32	54	金沢大学
4	45	61	静岡大学	11	12	51	金沢大学
5	20	39	静岡大学	12	22	61	金沢大学
6	23	32	徳島大学	13	33	53	金沢大学
7	37	67	金沢大学		33	57	平均

^{131}I : 12~50%、 ^{137}Cs : 32~71%

71

図表 45

○ どろ水シャワーによる放射能除去効果

(方法)

1. 試料（葉を一枚ずつにしたもの）を4時間水道水中に浸せしめる。
下記の溶液を調製する。
○A液（どろ水）：300 mlのどろを500mlのビーカーに入れよくかき混ぜ、上澄みを除去した後、3回上澄みどろを抽出して全量を3Lにする。
○B液：A液に80gのマグネタイトを加え全量を4Lにする。
2. A液中でよく水を切るようにして20回洗浄する。
3. A液、B液のシャワーで洗浄する。
4. 水道水中で一晩放置後、GMサーベイメータで測定する。

	除去率(%)
A液	53
B液	71

○ 超音波洗浄(10分間)の除去率は水と同程度

25℃の水の浸け洗いとほとんど変わらなかった。(除去率:約30%)

○ 熱湯洗浄の除去率は水と同程度

72

図表 46

50%、セシウムで32~71%で、あまり落ちません。特にヨウ素の方がセシウムより取りにくいという結果になりました。除去率の悪い結果を出した先生が洗い方が下手だというわけではなく、そのくらいの誤差があるということです。

また、どろ水シャワーという粘土か何かを溶かした水を勢いよく吹き付ける洗い方があるそうで、それでは半分以上取れそうだとことが分かりましたが(図表46)、非常に特殊な方法で、一般には普及しません。それから、超音波洗浄には非常に期待したのですが、手で水で洗ったものと変わりませんでした。熱湯洗浄も水と同じです。チェルノブイリのときに、野菜を熱湯で湯がくと放射能が落ちるということ

で、みんな湯がいて食べていたということをテレビで紹介した方がおられましたが、多分それはチェルノブイリの方の特徴でしょう。日本ではそういうことはあり得ません。

さらに家庭にありそうな材料で除去できないかということで、水道水、食器用洗剤、ヨウ化カリウム、食塩水、クエン酸、重曹などを使ってみました(図表47)。ヨウ素は20~44%、セシウムは50~80くらいまでで、水とほとんど変わりません。洗剤で洗っても仕方がないという話です。インターネットを見ていたら、放射能がよく取れる洗剤を開発したとって非常に高い値段で売っていましたが、買っても仕方がありません。

家庭にありそうな材料の除去率 ¹³²I, ¹³²Te, ¹³⁶Ceを除く

核種	除去率(%)		
	¹³¹ I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
水道水	26	74	71
食器用洗剤	20	77	76
1%ヨウ化カリウム	44	78	79
1%食塩水	26	56	49
1%クエン酸	29	49	50
1%重曹	44	61	65
25%エタノール	36	57	60
蒸留水	37	63	66

¹³¹I: 20~44%, ¹³⁴Cs: 49~78%, ¹³⁷Cs: 50~79%

図表 47

還元剤の除去率 (%)

還元剤の種類 (食品酸化防止剤)	核種	除染率 (%)		
		水洗浄	還元剤*	水洗浄+還元剤
① 1%チオ硫酸ナトリウム	I-131	41	53	72
	Cs-137	60	51	80
② 1%亜硫酸ナトリウム	I-131	39	44	66
	Cs-137	69	32	79
③ 1%二亜硫酸ナトリウム (ワイン用)	I-131	32	68	78
	Cs-137	57	66	85
④ 1%亜硫酸ナトリウム	I-131	12	64	69
	Cs-137	51	62	81
⑤ 1%アスコルビン酸 (ビタミンC)	I-131	22	57	67
	Cs-137	61	49	80
⑥ 蒸留水 (対照)	I-131	33	23	49
	Cs-137	53	32	68

* 予備洗浄+還元剤 水洗浄+還元剤 ¹³¹I: 66~78%, ¹³⁷Cs: 79~85%

図表 48

そこで、食品酸化防止剤は口に入れるものに使っているのだからいいのではないかとということで一生懸命やっていたところ、実はこれが非常に効果がありました (図表 48)。特に1%二亜硫酸ナトリウムは、ワインに入れる酸化防止剤で、直接飲んでいるものです。また、アスコルビン酸はビタミンCなので多少余分にとっても大丈夫だろうという素人考えで試してみたところ、ヨウ素でも70~80%、セシウムに至っては80%以上取れるということで、このくらいであれば家庭でも多少は有効に使えるのではないかと考えています。

図表 49 はワイン用の酸化防止剤とビタミンCの効果を実際の画像で比較したもので、結構

取れてはいますが、やはり完全ではないことが分かります。

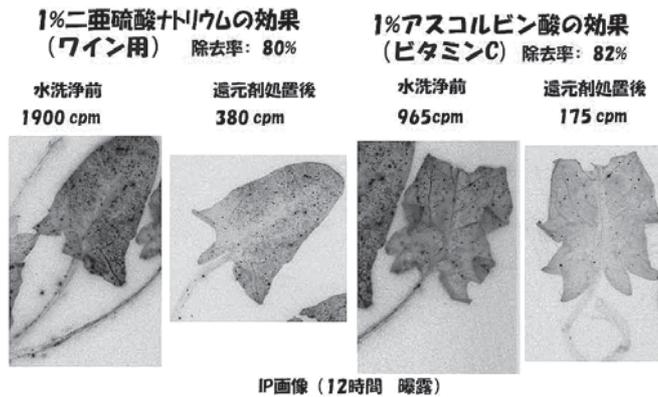
簡単にまとめると、安全性から見るとアスコルビン酸 (ビタミンC) がよいのではないかとということになります。ただ、濃度を高くしたり、長時間浸けておいたりすると鮮度が落ちるので売り物には適しません。家庭で食べる分にはいいのではないかとということです。

4.4. 甲状腺モニタリングシステム

次に、甲状腺モニタリングのあり方について話をさせていただきます。

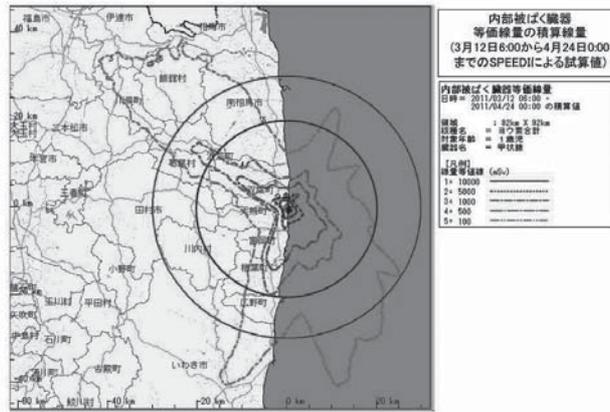
原発事故が起こると、初期のころに大事なものはヨウ素 131 による甲状腺被曝です。これはモ

IP画像による、還元剤効果の視覚的検討



図表 49

76



SPEEDIによる一歳児甲状腺の内部被ばく等価線量

原子力安全委員会HPより

図表 50

モニタリングを実施するべきであるというのが私どもの考えですが、実際には行われていません。甲状腺被曝線量の評価には実測と推定があるのですが、やはり実測に勝るものはないということで、私どもは被災地の全住民の甲状腺等価線量の評価を実施すべきであると考えています。理由は、被曝線量の多寡にかかわらず、住民は自分の被曝線量を知る権利があるからです。つまり、自分が望んで被曝しているわけではない上に、あなたはこのぐらいの被曝だから安心だと言ってくればまだいいのですが、それを言わずにただ安全かどうかということだけで済まされては困るわけで、自らの被曝線量を知って、安心と思うか、安全と考えるかはその人個人が

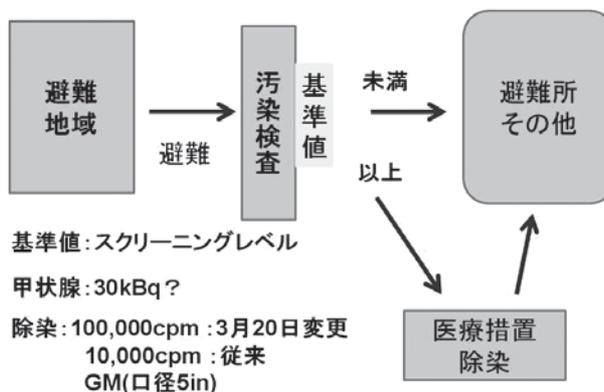
判断すべきことだと思っているのです。

隣接地域の希望する住民に対しても評価すべきでしょう。しかも、これは半減期が短いので、短期間で被災地近くでモニタリングをするようにする必要があろうかと思います。

図表 50 は、原子力安全委員会から出ているSPEEDIを使った被曝線量評価の推定です。その一番外側のラインでも 100mSv なのです。実際にはこんなに被曝していないかもしれませんが、こういう推測値が出ているということは考慮しなければいけません。

実際に、避難地域ではどのようなことをされたかということ (図表 51)、避難するときには簡所を設けて汚染検査を行っています。それで基

スクリーニング



図表 51

ホールボディカウンタ



図表 52

準値に達しなければ、そのまま避難所へ行く。そうでない場合は医療措置や除染をして避難所へ向かうというスタイルです。一部の住民にはモニタリングが実施されていましたが、ほとんど実測も推定もされていないというのが、2011年8月現在の状態です。モニタリングは3月末までに実施すべきであって、今さら間に合わないということで、今後は推定をしなければなりません。

モニタリングが実施されなかった理由は、その重要性をきちんと認識した人が現地対策本部の中にいなかったということ以外にはないのですが、たとえ必要だから実施したいと思っても、モニタリング体制が整備されていないのです。これには幾つかの理由が考えられますが、要は

装置が不足しているということです。非常に高価なものばかりなので、たくさんは用意できないと思っていたということと、モニタリングする技術者が不足していたということが考えられると思います。これらも含めて、今後は地域防災計画（原子力）の見直しが行われると思いますが、その中で、ぜひ甲状腺の被曝線量の評価を取り入れていただきたいと思います。

図表 52 は、よく話に出るホールボディカウンタです。全身を測るもので、人間が寝て、下のベッドが動いて、上にある検出器で測ります。椅子型のをトレーラーに積み込んだ特殊な車両も何台かあるのですが、台数が少ないので制約があります。

図表 53 は、別の型のホールボディカウンタ

です。甲状腺を直に測ります。ロボットのようなものはファントムといって、人間を模擬したものです。こういう特殊なものは、それほど用意しておくわけにはいきません。ですので、あるべきモニタリングの実施方法、システムとしては、可搬型のもので、簡単に移動可能で、しかも避難所などでも使用できるものを考えなければいけません。また、甲状腺モニタリングをする技術者を養成しなければいけません。即戦力となる人材は既にちゃんといっているのです。診療放射線技師や第一種放射線取扱主任者などの方々は放射線に対する基本的な知識がありますから、短期間（数時間）の訓練で十分に習得で

きます。

これは核医学検査用の装置です（図表54）。病院では日常的に甲状腺摂取率測定を行っていて、被災した住民の方の甲状腺の測定に十分使えるはずなのですが、これが全く生かされていませんでした。病院で使っているものでなくても、大学の研究室にはNaI検出器がありますから、それをスタンドに立ててパソコンや電源を使ってやれば、バラックでも測定装置はできます（図表55）。また、図表56は私が昔開発したやり方なのですが、イメージングプレートを首の周りに巻きます。もし甲状腺が汚染していればこういう画像が撮れます。これを解析する

ホールボディカウンタ



チェア式甲状腺モニタ



ベッド型甲状腺モニタ

放射線医学総合研究所HPより

図表53

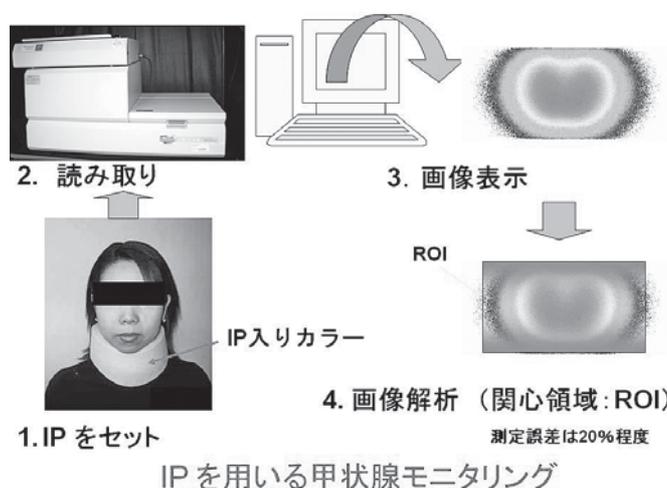


核医学検査
甲状腺摂取率測定装置

図表54



図表 55



図表 56

ことによって、放射能を±20%程度では推定できるという方法もあります。

4.5. 個人住宅を対象とするホットスポット発見 / 除染マニュアル

さらに、個人住宅を対象とするホットスポットの発見マニュアルも作って、ホームページに載せています。マニュアルには4項目ありますが、主に今日はホットスポットの見つけ方を紹介します。

原発事故が起きて以来、6月までに10回にわたり、延べ22日間現地に行った研究班の人間がいます。ほかの方も何度も行っていますが、この方が一番多かったのです。スクリーニング、

汚染検査、除染活動に従事し、あるとき文科省から校庭や通学路の除染に行ったところ、地域の父兄の方も出ておられて、通学路ももちろん大事だけれど、一番不安なのは自分の家だという声が聞こえてきて、何か考えなければいけないということで始めたものです。大勢の人が、個人でサーベイメータを購入して持っているのですが、故障していたり、校正していなかったり、感度が低すぎて検出できなかったりという問題点がありました。また、品切れで購入できないという方もおられました。汚染を検出できなかったり見逃したりすると、家の中や敷地の中に被曝する原因をずっと残しておくこととなります。これはまずいということで、

サーベイメータを使わなくても取りあえず汚染箇所がはっきり分かるようにしてあげられないかということでマニュアルをまとめたのです。

ホットスポットという言葉がよくマスコミで使われていますが、言葉の使い方が私どもは違って、地域全体の線量率が高い場合には、ホットスポットは其中でも特に高いところを指し、地域全体の線量率が低いところではホットスポットは0.6 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 以上の場所を指します。普段われわれが放射線を扱っているときに規制している放射線障害防止法では、管理区域境界が1.3mSv/3月と決められています。これ

に対応するのが0.6 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ですので、0.6 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ というのは、緊急事態から平常時に移行するに当たっての一つの基準になろうかと思っています。

線量の多いのは、まずは縦樋の下のところ（図表57）。雨だれの落ちてくる場所には、セシウムがたくさんくっついてます。それに対して、同じ縦樋でも下水に直結しているところは周囲があまり汚染していません（図表58）。また、雨水が集まってくるような場所でも、表面を樹脂加工してあるようなコンクリートの流し場はあまり汚染しておらず、比較的除

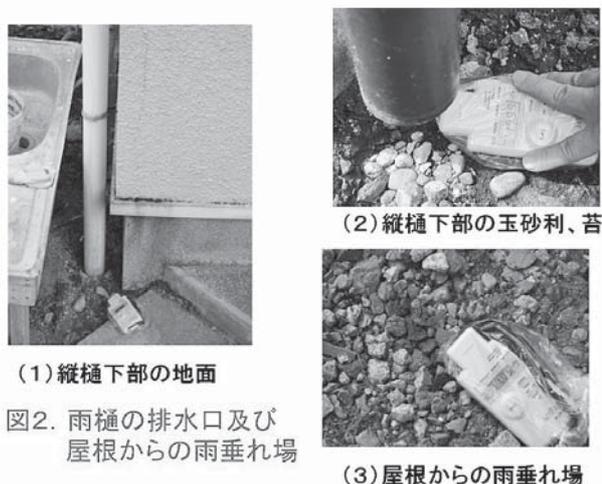


図2. 雨樋の排水口及び屋根からの雨垂れ場

図表 57

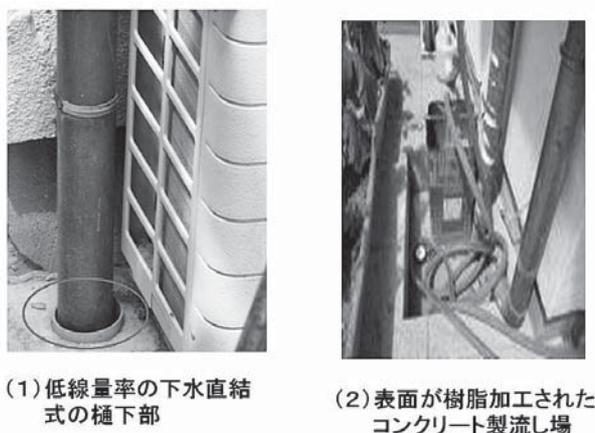


図3. 汚染の少ない雨樋

図表 58



図表 59



図表 60

染しやすい状態です。苔むした地面や草原の草のところ、庭木の表面は相当汚染しています(図表 59)。図表 60 は、4月に福島から取ってきた杉の葉です。ヨウ素は全くなくなっていますが、セシウムだけでもこんな画像が撮れるぐらいですから、杉林へ行くと線量値が非常に高いのは、当然のことかと思えます。木の切り株などにもしみこんでいます(図表 61)。トタンぶきの物置では錆びているところについており、板壁には雨水が跳ね返って染みついて、汚染が非常に高いです。それから、枯葉などを集めたものを堆肥にしてホームセンターなどで売っていますが、枯葉等の集積物からはセシウムがたくさん

出てきます(図表 62)。家庭菜園では草などを掘り起こして地面の中にすき込んでいますが、そういうところも外から測ると結構線量が出てきます。さらには、雨樋に汚染したものが詰まっていると、家の中に頭の上からたくさん放射線が降ってくることになりますので、取った方がいいでしょう(図表 63)。

ホットスポットの発生場所をまとめると(図表 64)、自然の集積物、風雨や雪などにより直接汚染されたもの(草木、土、苔、木材、切り株、錆びたもの等)、汚染雨水が移動して乾燥した場所(雨樋及びその付近、排水溝やマンホールの周囲、公園や運動場の水たまりが乾いた跡)



(1)切り株



(2)トタン屋根の錆び部分
及び板壁

図8. 汚染されている木材、錆びた金属等

図表 61



(1)掃き集められた枯葉、土埃



(2)すき込みを行った菜園

図6. 枯葉等の集積物、すき
込みを行った畑等



(3)すき
込みが行
われた場
所の確認

図表 62



図10. 雨樋の詰まりを掃除している様子

図表 63

ホットスポットの発生場所:まとめ

①自然集積物

風雨や雪により直接汚染された物

例: 土埃の溜まり場、草木、苔、木材、切り株、錆鉄材の表面など。

②汚染雨水が移動乾燥した場所

例: 雨樋及びその排水口付近、排水溝やマンホールの周辺、水溜りの乾燥跡など。

③人為的な集積物

清掃活動、農耕作業、上水処理、下水処理

例: 表土や枯葉、藻類等の集積物、浄水場・下水処理場の汚泥など、及びそれらの移設物。

図表 64

では非常に高い汚染が検出されます。人為的な集積物としては、掃除をしたり、下水処理場あるいは浄水場でも同じですが、そこから出てきた汚泥などがあります。今はそれをあちこちへ動かしているようですが、それには汚染がついてまわることになります。以上です。

質疑応答

(司会) では、ご質問を受けたいと思いますが、どなたかいらっしゃいますでしょうか。

(質問者 1) ニュースを見ていると、稲わらか稲束かの問題がかなりクローズアップされていましたが、先生はどう思われますか。マスコミは、稲束は注意する対象からもれていたという報道をしています。

(西澤) 多分、それはそのとおりでと思います。頭の中からそういうことがあるということが抜けていたのだと思います。

(質問者 2) テレビなどを見ていると、山林の放射能の除去は非常に難しい、不可能に近いくらいだと言っていました。ずっと除去しないと人間にどのような影響があるのか、お話し

ただけませんか。

(西澤) それは非常に重要なことで、普通の市街地や住宅の周辺は、何とか努力すれば比較的容易に汚染を除去できます。今おっしゃったとおり、問題として最後に残るのが山林だと思います。山林の汚染をどう除去するかが今非常に問題になっていて、やるのであれば、10年や20年の時間をかけて処理していく以外にありません。

先ほどご覧に入れた杉の葉のような、セシウムがたくさん付着したものが山全体にあるわけです。葉ですから、枯れて落ちればいいのですが、それも交代するまでかなりの時間がかかりますし、下に落ちたものを集めなければいけません。そうすると、非常に乱暴な言い方をすると、伐採して木を全部取り払って、汚染部分を全部除去した後に植林をしていくということ、計画的に地域を決めて毎年繰り返していく以外にやりようがないと思います。

セシウム 134 は半減期が2年ですから、数年間でどんどん減ってきますが、137の方は30年ですから、ほとんど減りません。ですので、最初はかなり急激に自然に減っていきませんが、それ以降はゆっくりしか変わっていかないということがあるので、今のようなやり方以外ない

と思います。手が付けられないような原生林は、自然に減っていくのを待つより仕方がないと思います。里山のようなところは、そういうやり方をそれぞれの地区が計画的にやっていくという決心を早くしないと、いつまでもそういう状態です。特にキノコなどは、地面に菌糸があってそこからセシウムを吸い上げるので、数年たって世の中が少し落ち着いてきたときに、うっかりたくさん食べてしまうということが起きる可能性があると思います。

(質問者 3) 例えば台風や雨などに含まれるセシウムなどの濃度は、きちんと測れるのではないかと思うのですが、愛知県にどれだけ降ったのかということが一点。それから、広島と長崎に原爆を落とされたときのことを考えれば、どんなふうになっているのか、あるいはどんな影響があるのか。影響があるのなら、まだ広島や長崎にもありますよね。それでも人が住んで森林が残っているので、その関係はどうなっているのか。アメリカは原爆で実験したのですから、もっと科学的にきちっと証明できるデータがあるはずなのですが、あやふやなのでしょうか、明かさないのでしょうか。

(西澤) その件は分かりかねますが、雨に関しては既に測ってデータはあるはずですが、量が非常に少ないので、ものすごく時間をかけて測らないと測れない状態ではないかと思います。

(質問者 3) 安全だということですか。

(西澤) そうだと思います。福島の方から風に乗ってきたということもあるかもしれませんが、上空に回ったものが地球を一回りしてきたわけですから、中国や韓国で出たというのも、別に彼らが大げさなことを言っているわけでは

ないと思います。

もう一つ、原爆に関しては、核種の組成が違うのだろと言われてはいますが、私も細かく見ているわけではありませんので分かりません。セシウムは、多分、今日もどなたか専門の方がおられると思いますが、今は私どもの土壤分析班が一生懸命やっていますし、既にいろいろ分かっていることもあります。土の表面にかなりあって、土の中の粘土の成分にくっついているということで、表面から中までなかなか沈んでいかないのです。ただ、土の状態によって随分違って、砂地などでは深いところまで入ってきますし、硬い土で人が掘り起こしたりしないところは表面にとどまっています。畑を掘り起こして実験をしたりすると、ものすごく深いところまで入ってしまうので、今さら分布を取ってもあまり意味がないということになると思います。セシウムは、一度付くと雨が降ってもなかなか流れていきませんが、ほかのものは雨と一緒に溶けて洗い流されることが多くありますので、原爆で広島や長崎が被災したときの状況と今回とは、放射性物質の種類と量が違って、今回は圧倒的にヨウ素とセシウムが多いということです。

(質問者 3) では、広島や長崎ではもう放射性物質は残っていないのですか。

(西澤) 本当に正確に測ればまだわずかに残っていると思いますが、ものすごく時間をかけて丁寧に測らないと出ないと思います。

(質問者 4) 今回は海がものすごく汚染されて、魚もかなり被曝していると思うのですが、表面には何も出てきません。魚は食べていいのでしょうか。ウシやイノシシなど、動物については結構新聞を賑わしていますが。

(西澤) 魚のデータも発表されていて、みんなチェックしていると思います。細かいものが、インターネットで調べれば出てくるはずです。私もいろいろなことを全部調べきれないものですから、そこのところは今あまりやっていませんが、魚も測っています。表層性の浅いところにいるものから底の方にいるものまでいろいろいて、先ほど申し上げたようにセシウムは土の中の粘土の成分とくっつきますから、波で泥そのものが持っていければ別ですが、海底に落ちて泥の成分とくっついたものはあまり移動しません。ですので、底に住んでいる虫を食べたりしていると、底物（そこもの）はかなり濃縮してくる可能性はあると思いますが、そういうものも、多分、水産関係のところ調べているはずですが、ただ、一匹一匹全部調べることはしていないと思いますが。

(質問者5) コメントと質問です。コメントは、甲状腺の調査について、先生はこれまで全くなされていないとおっしゃいましたが、3月下旬に、いわき市と飯舘村と川俣町の子ども約1100人ぐらいに甲状腺の調査がされているという事実があったと記憶しています。今、特に被害が大きかった、避難された方々を中心に健康調査が既に開始されていると思いますので、情報提供させていただきます。

質問は、食品についての除染の方法などをおっしゃいましたが、それは基本的には、最初のころに大気中のちりなどが落ちてきたものについての除染の仕方だと思うのです。実際に今後想定されてくるものとして、例えば土壌中のセシウムを食物が吸収して残留していることなどがあって、そういう場合には先ほどの除染の手法はあまり効果がないのではないかと思うのですが、その点はいかがでしょう。

(西澤) 甲状腺の調査は、全くしていないとは言っていません。今おっしゃったように、ごく一部の方はやっているとおっしゃったと思います。

二つ目のことはおっしゃるとおりで、今回、主にヨウ素を目的にやっていて、当然のことですが、いくら洗っても表面の汚染しか取り除けません。食物本体に取り込まれたものはいくら洗っても落ちませんから、それは食べないようにする以外ないと思います。

(質問者6) 今、日本はどのようにしないと危険なのかということをお聞かせ願えますか。私どもは素人ですから、何が本当に危険なのか分かりません。先生から見て何が一番危険にさらされているかを教えてください。

(西澤) なかなか難しい質問です。危険なのは、線量率の高いところや汚染の高いところだと思います。現時点で人が住んでおられるところでは、これから極力汚染しているところを見つけて除染していくということだと思いますし、今日常生活を送っておられるところは、危険ということはないと思います。

(司会) 今後、放射線災害について地域防災計画に入れていくということもあって、われわれがそういうリスクをどんなふうを受け止めたらいいかということ、はっきり分かるような形で、しかも決まった形でオーソライズされて出てくるのが今は一番大事だと、先生はおっしゃっていたのだと思います。

われわれが、地震のリスクがどのくらいかというときに、確率の問題だという話もあったり、日常のいろいろなリスクと比べながらということもよくします。日常の放射線量もあるので、

そういったものをきちんとオーソライズした形で、しかも分かりやすく出していくという努力が必要なのではないかと感じるのですが、先生からご覧になって、そういった今の日本の動きというのは、先生がおやりになっていても、まだ何となく漠然とした不安があったり、明確な基準がないなどという話がよく出ます。そういったことについて、こういうふうにしたらいいのではないかとすることはありますか。

(西澤) これもマスコミでよく言われているとおり、今は多少ましになってきたと思いますが、これまで日本には、原発事故に関して、全体を統一してきちんと管理あるいは緊急時に対処していくという体制がありませんでした。それで今、保安院を独立させてどうのこうのという話も出ていますが、こういうことが起きるということを前提に組織を考えていなかったために、そういう体制そのものがないということが問題だと思いますから、今後、国として責任体制をきちんと整えていくことが必要でしょう。

同時に、地方自治体は、基本的に原子力災害対策特別措置法に基づいてやっていくこととなりますが、この法律そのものが読んでみるとザル法で、責任体制が全く明確になっていません。ただ、原子力災害が起きたときに実務はどこが

やるかという、現在の法律でも地方自治体を中心となってやることになっています。

ですので、地方自治体が責任を持って体制を考えておかなければいけないということと、当然ですが、原発が立地している県には地域防災計画の原子力災害編があって、対策が立てられるようになっているのですが、例えば愛知県の場合には、はっきり覚えていませんが、ほとんどない。ですから、当然と言えば当然かもしれませんが、今回、福島で事故が起きて、周りの地方自治体をみんな巻き込んでいますし、東京あたりまでそういう状況になっていますから、静岡県や敦賀など、近いところに原発がありますので、愛知県でも然るべき対応策を立てるようなことを、私は望みたいと思っています。

(司会) このお話でも、やはり想定外と言われないような対応がきちんと計画されて、それを一般の方々もきちんと理解された上で実施されることが大事だというお話かと思います。先生、そんな形でよろしいでしょうか。

ちょうど時間になりましたので、これで終わりにさせていただきます。西澤先生にもう一度拍手で終わりたいと思います。先生、どうもありがとうございました。

液状化を含む地盤の地震時被害～なぜ起こるのか？どのようにして防ぐのか？～



講師 野田 利 弘

(名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 / 減災連携研究センター教授)

(司会) 第73回防災アカデミーに大勢お越しいただき、どうもありがとうございます。今日は、名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻の教授で、減災連携研究センターも兼任していらっしゃる野田利弘先生にお話しいただきます。

野田先生のご専門は土質力学や地盤工学です。地震災害だけではなく、さまざまな土構造物、地盤の長い間の変形なども含め、いろいろな障害がなぜどのようにして起こるのか、それを防ぐにはどうすればよいのかについて、詳細な予測解析手法を駆使し、また調査や実験を通じてご研究されています。今日は東日本大震災で発生した大規模な液状化についてお話が伺えるものと思います。それでは野田先生、よろしくお願いします(拍手)。

(野田) ご紹介いただいたように、私の専門は土木で、地盤工学の分野を研究しています。まず始めに、震災に遭われた方々にお見舞い申し上げます。

東日本大震災では津波の被害が甚大すぎて、液状化のことがしばらく忘れられていましたが、時間遅れでその被害が明らかになりました(図表1)。特に千葉県浦安市周辺を中心に液状化被害が甚大だったことがだんだん分かってきて、社会的にも大問題であると認知されてきたことは、皆さまもご承知のとおりです。

さて、本日の内容は、あまり専門的になりす

ぎないように配慮したつもりです。まず、実際の液状化が発生すると地盤にどのような被害が生じるのかを簡単にご紹介します。次に、なぜそれが起きるのかという液状化の発生メカニズムを、私の専門である土質力学からできるだけ簡単に説明し、その上で、液状化が起きやすいのはどういう地盤なのか、それを防ぐためにはどうすればいいのかという話をしたいと思います。その後、東日本大震災で生じた液状化被害の特徴についてご紹介し、東海地方の液状化危険度について注意しなければいけないことを簡単にまとめます。最後に、今回の東日本大震災では液状化以外にどのような地盤被害があったのかについてもお話しします。

1. 液状化が発生するとどんな被害が生じるのか？

1.1. 地盤への影響

液状化すると、固体だった土が流体化し、これによってさまざまな被害が生じます。例えば、地下水とともに砂が地表面に噴き出す現象である「噴砂」がよく観察されます(図表2)。地盤の中で液状化が起きると、比較的水の通りやすい部分あるいは弱いところを通り抜けて、砂がわき出してきます(図表2左)。このことから、噴砂口があれば確かにそこに液状化が生じたということを知ることができます。

図表2中では、浦安市の液状化した住宅地の様子です。戸建住宅が傾いており、路上に大量の

東日本大震災による東京湾沿岸部での液状化被害



東日本大震災の教訓 土木編 -インフラ被害の全貌(2011)
日経コンストラクション編(日経BP社)

図表 1

液状化が発生すると...

地盤が液状化すると、

- 1) 流体化することによって、支持力を失う
- 2) 地下水とともに砂が地表面に噴き出す(噴砂)。
- 3) 地震中から地震後にかけて地盤沈下を生じる。

独立行政法人防災科学技術研究所自然災害情報室
http://dl.besai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/kuzare/p1.htm



日本海中部地震(1995) 提供: 総整市

比較的水の通りやすい部分、あるいは弱い部分を突き抜けて噴砂が生じる。噴砂跡から液状化の有無を知ることが可能。



2011 津波 東北地方太平洋沖地震(2011)
液状化後の沈下量は噴砂量と等しいわけではない。



噴砂痕から過去の地震履歴を知ることが可能



図表 2

噴砂が見られます。ニュース等で、噴砂イコール地盤の沈下、あるいは液状化後に測った沈下量が噴砂の量と等しいと思っている方もいらっしゃるかと思いますが、液状化で沈下する量と噴砂の量は一致するわけではありません。

図表 2 右は、野島断層保存館にある液状化の跡です。下の写真は上の写真の赤い点線の部分を拡大したところです。これによって噴砂痕から過去の地震履歴を知ることができます。噴砂は基本的に液状化が発生することによって見ら

れる現象だからです。

また、地盤が液状化すると、地震中から地震後にかけて地盤沈下を生じます。図表 3 左は今回の地震の被害で、液状化に伴って建物の基礎部分とその周辺に段差が生じるのが典型的な被害の事例です。また図表 3 中のように、道路が上下にうねるように地盤に変状が生じることもあります。

その沈下はどのぐらい生じるのかというと、図表 3 右のような実験結果に基づいて、砂層(液

液状化が発生すると・・・

地盤が液状化すると、

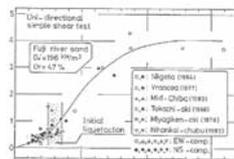
- 1) 流体化することによって、支持力を失う
- 2) 地下水とともに砂が地表面に噴き出す(噴砂).
- 3) 地震中から地震後にかけて地盤沈下を生じる.



東日本太平洋沖地震(2011) 我孫子市布佐
液状化に伴う周辺地盤の沈下によって生じたマンションとの段差



東日本太平洋沖地震(2011) 佐原市
地盤沈下が不均一に生じたため、道路がガタガタとなっている



H. Nagayama and K. Ishihara (1988): Liquefaction-induced compression and settlement of sand during earthquake (S&F, 2011), pp.65-76.

沈下量は、液状化層厚の3~5%程度だと言われている。

図表 3

液状化が発生すると・・・

液状化に伴って生じる構造物への被害

- 1) 重い構造物の転倒や不等沈下
- 2) 軽量の地中構造物の浮き上がり
- 3) 抗土圧構造物の側方流動



1964年新潟地震液状化被害ビデオ・写真集(2004), 社団法人地盤工学会, 丸善出版
新潟地震(1964) 提供: 東京都
液状化研究が盛んとなるきっかけとも言える新潟地震でのアパートの転倒。貯水タンクや階段など、重心の重い方へほとんどのアパートが傾いた。



東日本太平洋沖地震(2011) 我孫子市布佐
杭による十分な支持のない直接基礎の場合、建物の不等沈下が生じやすい。



我孫子市布佐 東日本太平洋沖地震(2011)
2m近くの沈下。電柱のように、根入れの浅い構造物は傾きながら沈下する。

図表 4

状化層)の厚さの大体3~5%が沈下するといわれています。しかし、この実験は粒径がそろった試料で行った実験なので、もっと細かい粒がある場合はもう少し沈下して10%程度という研究もあります。

液状化すると地盤が弱くなって支持力が低下します。そうなった場合、非常に重い構造物が地盤の上に載せてあるとどうなるのでしょうか。図表4左は典型的な被害の例で、新潟地震のときに傾いたアパートです。日本の土質力学で液状化が注目されて研究されはじめたのが新

潟地震で、日本ではここから研究がスタートしたと言っても過言ではありません。いずれにせよ、重い構造物があると、地盤が今まで持っていた耐力を失うために、建物が重い方へ傾いていく現象が見られます。

図表4中では東日本大震災の例です。杭による十分な支持のない直接基礎の場合、建物が地盤の液状化によって傾くケースが頻繁に観測されています。浦安市でも、このような被害は多数見られました。

さらに、図表4右の電柱は、踏み台や看板か

ら分かるように大きく沈下しています。このような被害も浦安市では多数見られました。

では、軽い構造物、例えばマンホールが地中に入っていた場合はどうなるのでしょうか。図表5左は船橋市の様子ですが、液状化によって周りの地盤が液体状になるために、中にあったピンポン球が浮き上がってくるかのような浮き上がりが見られます。図表5右は浦安市の事例です。ちなみに浦安市では、程度の大小はあれ6000カ所ほどあるマンホールの約500カ所で被害を受けたという報告があります。

1.2. 構造物への影響

護岸では、海側は前面、陸側は背面と呼びますが、背面の地盤が液状化します。そうすると、液状化した部分の比重は水より大きいので、重い方がどんどん前に落ちていき、前面に護岸がはらみ出す現象が見られます。今回も、浦安市やその他の場所で見受けられました。阪神・淡路大震災の際は、ケーソンというコンクリートを置いただけの護岸で、約5m前に張り出す被害が100m以上の広い範囲にわたって発生しました（図表6）。

液状化が発生すると・・・

液状化に伴って生じる構造物への被害

- 1) 重い構造物の転倒や不等沈下
- 2) 軽量の地中構造物の浮き上がり
- 3) 抗土圧構造物の側方流動



相対的に比重の小さい地中軽量構造物は、液状化によって浮き上がってしまう。



地中にある上下水施設の破損は復旧に時間がかかるため、生活に多大な影響を及ぼす。

図表5

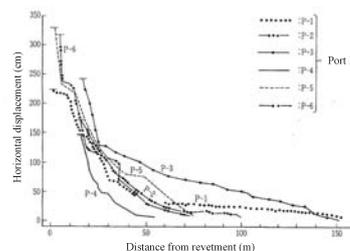
液状化が発生すると・・・

液状化に伴って生じる構造物への被害

- 1) 重い構造物の転倒や不等沈下
- 2) 軽量の地中構造物の浮き上がり
- 3) 抗土圧構造物の側方流動



背後地盤が液状化することによって、背面からの土圧が増加し、ケーソンが大きく側方流動している。



阪神淡路大震災では、護岸の水平変位量は最大で500cm程度、また影響範囲は150m以上にもなる。

図表6

いずれにせよ、液状化被害は広域にわたって生じることが多いということがよく知られています。人間が住む住居への直接的な被害だけでなく、ガスや上下水道のようなライフラインの損傷に伴う間接的な被害ももたらすため、大問題になります。上下水道が被害を受けると水が供給されませんし、水の排泄が進みません。従って、衛生環境も悪くなるという危険性も大きく秘めています。また、液状化によって防波堤や防潮壁などを支持している耐力が失われるため、津波に対する防御力も低下する恐れがあります。

2. 液状化の発生メカニズムは？ ～ちょっと土質力学～

2.1. せん断と水の動き

私は土質力学、地盤工学が専門なので、土の実験をしてみます（図表7）。土粒子に見立てたガラスビーズと、赤と青の水を入れた2種類のペットボトルを用意しました。赤いボトル（左）にはガラスビーズを少なめに入れてあります。青いボトル（右）には、全体が埋まるぐらい密に入れてあります。

その二つを横から押します。まず赤いボトルを押すと、水面が上がってストローを通ります。それに対して、密にガラスビーズを入れた青いボトルを押すと、水面が下がります。不思議に思うかもしれませんが、これが実は土らしい最も大事な性質なのです。これがあるが故に液状化が起きたり、地盤を強くしたりすることができます。

図表8には、土の構成を簡単に示しています。一般に土は、土粒子と間隙で構成され、間隙には空気と水が存在しているので、固体（土粒子）、液体（間隙水）、気体（空気）という三相の混合体として存在していることとなります。しかし、実際に地盤をめくってみると、たいていの地下水は地表面付近までであるので、間隙がすべて水で埋められていると考えることができます（図表9）。これを飽和した土ということで「飽和土」と呼び、空気がある場合は「不飽和土」と呼びます。液状化の対象となるのが飽和土です。

さらに、土粒子同士は互いに接触を通じて、バネのような土骨格を形成しています（図表10）。この土骨格には外から拘束力が働いてい



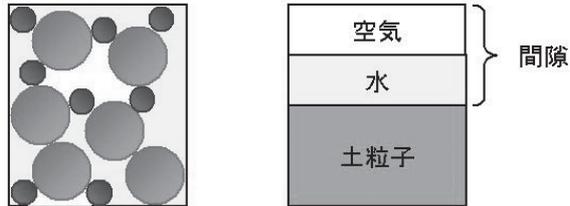
Keyword: ダイレタンスー

図表7

ちょっと土質力学 ～土の構成(三相混合体)～

一般に土は土粒子と間隙で構成され、
間隙には空気と水が存在している。

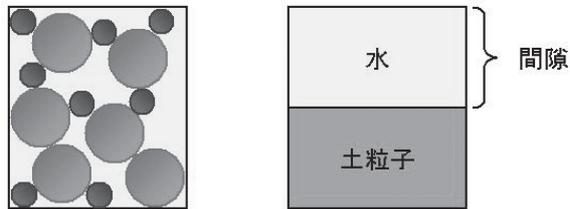
固体(土粒子)、液体(間隙水)、気体(空気)の三相混合体



図表 8

ちょっと土質力学 ～土の構成(三相混合体)～

たいていは地下水位は地表面付近にあるので、
間隙が全て水で構成されている(飽和土)として考える。

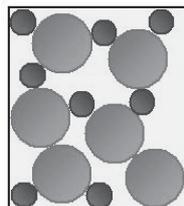


図表 9

ちょっと土質力学 ～土骨格～

土粒子と土粒子は接触を通じて、「土骨格」を形成し、
土骨格に拘束力が作用しているから、バラバラにならない。

土に作用する力
= 土骨格に作用する力 + 間隙水に作用する力



図表 10

るためばらばらになりませんが、拘束が外れるとばらばらになってしまいます。土骨格と水の全体のことを土と呼び、土全体に作用する力は、土骨格（バネ）に作用する力と、間隙水に作用する力に分けることができます。従って、単に間隙水が上昇しただけでは、土は変形することはありません。

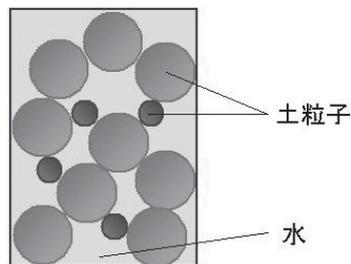
そして、土粒子と水そのものは体積変化を示しません（図表 11）。つまり、圧縮も膨張もしないのです。われわれが日常に使う程度の力のレベルではほとんど変形しないと見なすことができます。それにもかかわらず、実際にはご存じのように、土は圧縮したり膨張したりします。

なぜでしょうか。土が圧縮するのは、各土粒子が位置を変えて、土骨格が圧縮すると同時に、間隙から水を外に出すからです（図表 12）。つまり、土骨格が圧縮すると水が出ていくのです。従って、粒や水単体では圧縮しなくても、土全体は圧縮することができます。土が膨張するのは、粒と粒が位置を変えて土骨格自体が膨張すると、周りから水がくるからです（図表 13）。ですから、土の体積変化のポイントは、粒子の間隙に水が入り出すことによって決まるということです。

土に体積変化を起こすには、二つの方法があります（図表 14）。それを理解するために、土

ちょっと土質力学 ～土の体積変化～

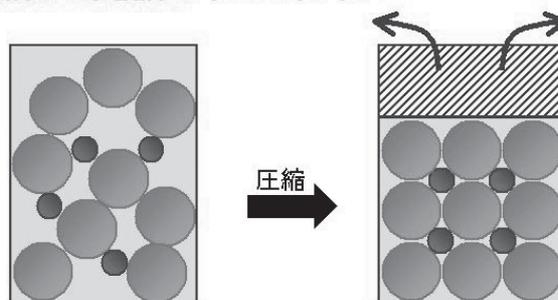
土粒子と水自身は圧縮しないとして扱われる。
土が体積変化を起こすためにはどうしたらよいだろうか？



図表 11

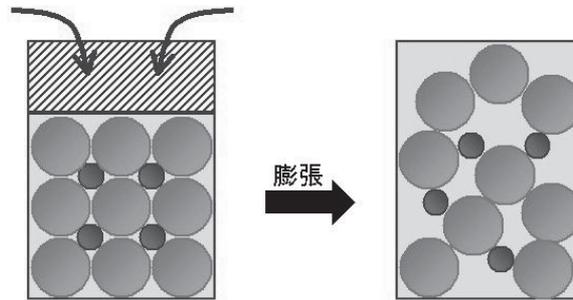
ちょっと土質力学 ～土の体積変化～

土が圧縮するということは、各土粒子が位置を変えて、土骨格が圧縮すること。このためには、間隙から水を排出しなくてはならない。



図表 12

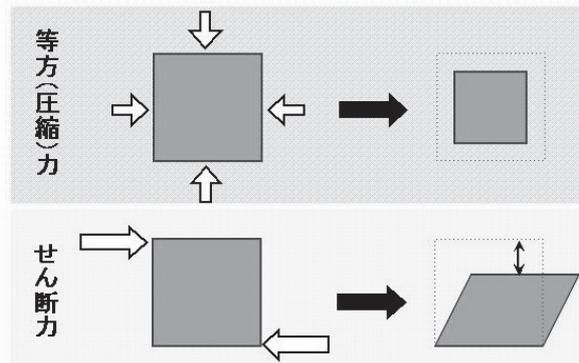
逆に、土が膨張(土骨格が膨張)するためには、
 周りから間隙に水が流入しなくてはならない。



土の体積変化は間隙への水の出入りで決まる。

図表 13

土(土骨格)の体積を変化させるには、2種類の方法が存在する。



特に、液状化を引き起こす「せん断」について考えていこう！

図表 14

に与える力を分けて考えてみましょう。一つは、
 至る方向から等しい力で押す等方(圧縮)力です。
 もう一つは偏りがある力、はさみで押すとき
 のようなせん断力です。等方力によって土が
 体積変化を起こすのは、何となくイメージする
 ことができるでしょう。全体的に等しく押せば、
 水が出ていって圧縮したり、逆に外から水を入
 れ込めば膨らむということです。ところが土は、
 せん断力を与えることによっても、膨らんだり
 縮んだりすることができるのです。これにつ
 いて理解することが、液状化を理解する上

で非常に重要です。このように、四角のものを
 菱形にするようなせん断力によって起きる体積
 変化のことをダイランシーといいます。でん
 じろう先生がよくテレビで言っているダイラ
 ンシーと同じです。メリケン粉も粒でできてい
 ますが、同じように土もダイランシーという
 性質を持っています。

まず、緩く詰まった土に、自由に水が出入
 りできるような条件でせん断力を与えます。土
 は実際にはきれいに整列しているわけではあり
 ませんが、せん断することによって間隙に粒が落

ち込みます。そのために、中の水が絞り出されて外に出てきます。そうすると、水が間隙から外へ排出されて、土そのものは圧縮します（図表 15）。このように、緩い土にせん断を加えると水を排出する性質のことを「負のダイレタンスー」といいます。緩く詰めた赤いボトルを押すと、ストローの部分で液面が上昇します（図表 16）。これは、水が十分出ていける条件（排水条件）で、局所的な力（せん断）を受けて容器内で体積圧縮し、水が上に出ていったからで

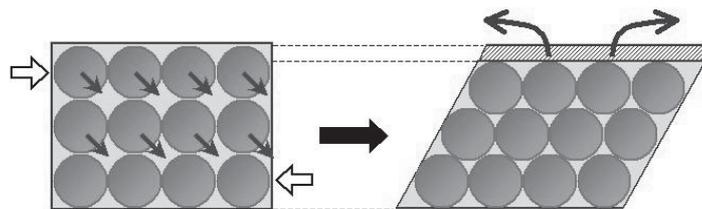
す。

では逆に、十分に詰まった土にせん断を与えるとどうなるでしょうか。密になっているところにせん断力を加えるため、粒はお互いに乗り越えようとします。すると、粒が乗り越えるために、周りから水を吸うことになり、その結果土は膨張します（図表 17）。このように、せん断されると水を吸う性質を「正のダイレタンスー」と呼びます。青いボトルを押すと液面が下がり、せん断が起きて、そこで粒と粒が膨張

ちょっと土質力学 ～排水条件での土のせん断～

せん断力に伴う土の体積変化を「ダイレタンスー」と言う。
(dilate～膨張する、広がる)

緩く詰まった土が排水条件でせん断を受けると、
体積圧縮する(負のダイレタンスー)。

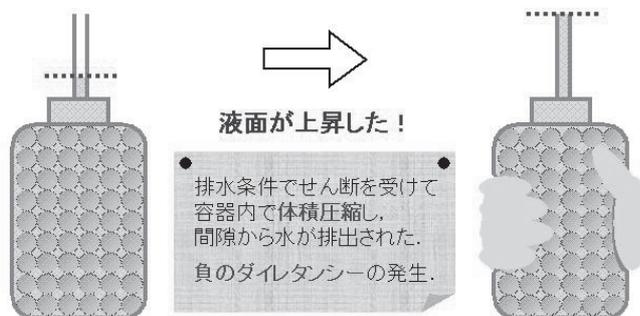


間隙から外へ水が排出されて圧縮する
(土は強くなる)

図表 15

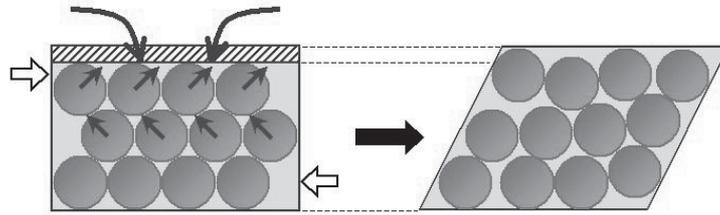
ちょっと土質力学 ～簡単な実験～

ガラスビーズが緩く詰まった容器(赤色)の側面を
手で押して(せん断して)みよう！
ストロー部分の液面はどうなる？



図表 16

今度は逆に、
密に詰まった土が排水条件でせん断を受けると、
体積膨張する(正のダイレタンスー)。



間隙に外部から水が流入して膨張する。
土は弱くなる

図表 17

ガラスビーズが密に詰まった容器(青色)の側面を
手で押して(せん断して)みよう！
ストロー部分の液面はどうなるかな？



図表 18

し、それを補うために水を吸ったのです(図表 18)。

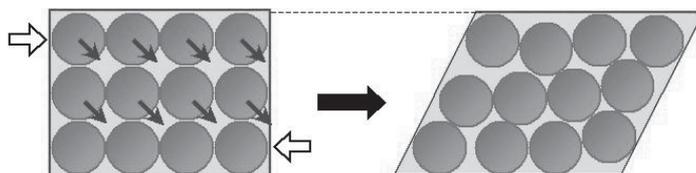
もう少し大事な性質があります。今度は、水が出入りできないように栓をしてせん断してみます。このように、排水・給水することのない条件でせん断するという状況を「非排水条件」といいます。栓はされていますが、緩い状態なので、せん断すると土粒子は間隙に落ち込みます。ところが、水が出ることはできません。体積は一定でなければいけないので、土粒子が落ち込んだ代わりに、みんなが支えていた拘束を

緩めます(図表 19)。粒と粒がドーナツ状に作られている様子を想像してみてください。それがばらばらにならないためには、何らかの外からの拘束が必要です。しかし、ドーナツですから中には穴が開いており、せん断されてそこに落ち込むのですが、そのまま力が作用しているとドーナツの形は縮んでしまいます。それでは困るので、周りからドーナツを押している力を緩めてあげるのです。すると、全体がドーナツの形を保つことができます。

つまり、落ち込んだのを補うために拘束を緩

ちょっと土質力学 ～非排水(等体積)条件での土のせん断～

緩く詰まった土が非排水条件でせん断を受けるとどうなるか？
土粒子は間隙に落ち込むが、
等体積を保たなくてはならないため…

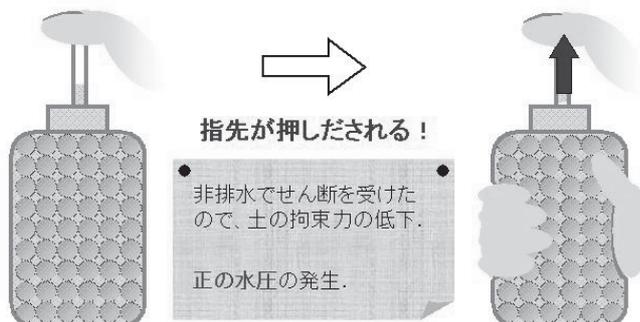


落込んだ土粒子の周辺に作用する拘束力が低下する
(代わりに、正の水圧が発生する)

図表 19

ちょっと土質力学 ～簡単な実験～

今度はストローの上部を指でふさいで、
容器の側面を押して(せん断して)みよう！
指先に何か感じるかな？

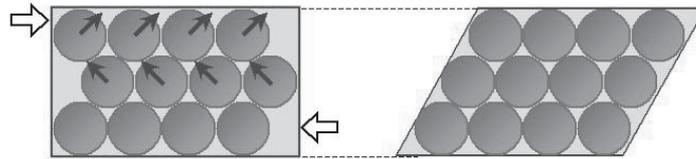


図表 20

め、体積が変わらないような形にしているのです。すると、土骨格を押さえている力は下がりますが、全体の力は変わっていないので、それによって中の水圧が増えます。つまり、土骨格が持つ代わりに、水が持つ形になります。それが「正の水圧が発生する」という条件です。この正の水圧の条件は少し分かりにくいですが、赤いボトルのストロー上部を指でふさぎ、容器の側面を押すと、押し出されるような圧力を感じたと思います(図表 20)。これは中の水圧が上がったからです。

それに対して、同様に水が出入りできないようにし、密に詰まった土にせん断を与えると、土粒子は別の粒を乗り越えます。しかし、水は出ることができないので、全体では体積が変わってはいけません。すると、粒と粒は離れましたが、もっと全体の拘束を上げて、体積変化が起きないようにする必要があります(図表 21)。満員電車でドアが開き、乗客が一人だけ降りようとして押しのけていくと、みんなの拘束がさらに上がります。車両の体積は決まっている中で乗り越えようとする、みんながぐっ

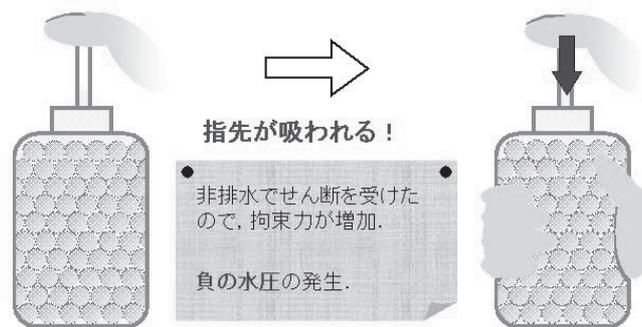
密に詰まった土が非排水条件でせん断を受けるとどうなるか？
土粒子は別の土粒子を乗り越えるが、
等体積を保たなくてはならないので…



落込んだ土粒子の周辺に作用する拘束力が増加する
(代わりに、負の水圧が発生する)

図表 21

ガラスビーズが密に詰まった容器(青色)の側面を
手で押して(せん断して)みよう！
ストロー部分の液面はどうなるかな？



図表 22

と引き締められるからです。これが「正のダイレタンシー」によるものです。ところが、土骨格そのものは上がりましたが、周りの力は全然変わっていないので、中の水圧が減ることによって全体と帳尻を合わせることになります。だから、膨張するのですが、それを押さえるために土骨格に作用する拘束圧を上げていくことにより、全体の体積が変わらないようにするのです。ですから、青いボトルを押すと、指先が吸われるように感じます(図表 22)。これは、

引っ張るような負の圧力が働いたからです。

間隙が全部水で埋まった飽和土は、密に詰まっていれば膨張し、緩く詰まっていれば圧縮する、ダイレタンシーという性質を持っています。しかも、周りは水が十分にしやすい状態なのか、出にくい状態なのかによって、土はいろいろ特性を変えるのです。

2.2. 地盤とせん断

液状化するような土や、自然に堆積しただけ

の砂はとても緩い状態です。つまり間隙が大きいので、粘土に比べて粒が粒子間に非常に落ち込みやすくなっています（図表 23）。従って、これは負のダイレタンシーが出てくる土であることが分かります。この砂に非排水条件でせん断を与えると、土粒子は間隙に大きく落ち込みますが、非排水なので等体積を保たなければならないため、土骨格に作用する拘束力が大きく低下します（図表 23-2）。何度もせん断を与えられると、どんどん拘束を失います。そこで土骨格はばらばらになり、液状化が発生します。同時に、土骨格が持っていた力は全部水圧に変わるので、液状化が発生すると水圧も上がることとなります。

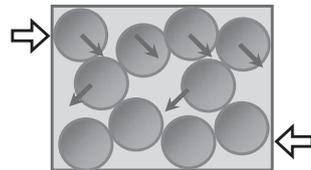
では粘土の場合はどうでしょうか。自然に堆

積した粘土も粒子感の間隙が大きく、緩い状態にあります（図表 24）。ところが、砂の粒は割と丸いのですが、粘土は扁平な粒が積み重なっており、電気的抵抗があったり、もっと小さい粒が中に入っているために、粒が粒子間に非常に落ち込みにくくなっています。茶筒に砂を入れてとんとんと締めると粒と粒の間に落ちていきますが、粘土を入れて同様にしても、ほとんど何も変わりません。その程度では落ち込みにくい性質だからです。そのため、地震によって、非排水条件で繰り返しせん断を受けても、なかなか土骨格の拘束が下がらず、ばらばらになりにくいいため、液状化しにくいのです。

それでは、地盤で考えてみましょう。緩い砂地盤の上に橋や家が載っていて、地中には水道

ちょっと土質力学 ～液状化のメカニズム：自然に堆積しただけの緩い砂は？～

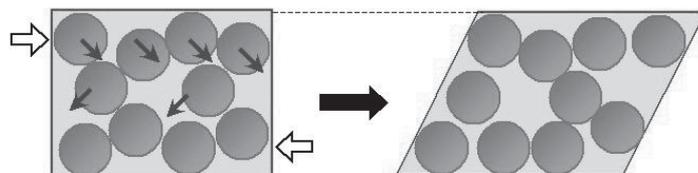
自然に堆積しただけの砂はとても緩い(間隙が大きい)
砂は、(粘土にくらべて)粒が粒と粒の間に落ち込みやすい。
このとても緩く詰まった砂が非排水条件でせん断を受けると
このときも土粒子は間隙に大きく落ち込むが、
等体積を保たなくてはならないため・・・(これまでの同じ理屈で)



図表 23

ちょっと土質力学 ～液状化のメカニズム：自然に堆積しただけの緩い砂は？～

落込んだ土粒子の周辺に作用する拘束力が大きく低下する
→液状化が発生
(土に作用している全体の拘束圧は変わらないから、
液状化と同時に、水圧に転化(正の過剰水圧が発生)する)

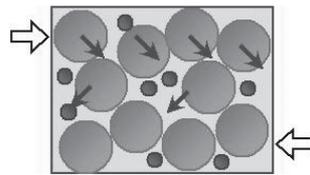


図表 23-2

自然に堆積した粘土も緩い(間隙が大きい)

しかし、粒が扁平だったり、電氣的抵抗、細粒分があったりするから、粒が粒と粒の間に落ち込みにくい。

このため、地震によって、非排水条件でせん断を受けても、**液状化しにくくなる。**



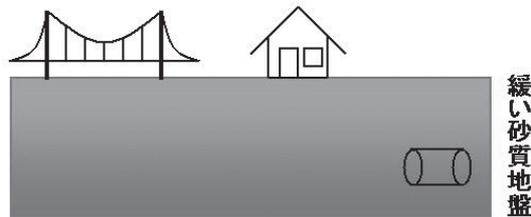
例:シルトを含む場合

図表 24

地震時には、繰返しせん断が急速に行われるため、地盤内の間隙における水の移動が追いつかない。

すなわち、地震時は地盤が非排水条件になっている。

緩く堆積した砂質地盤を想定しよう！



図表 25

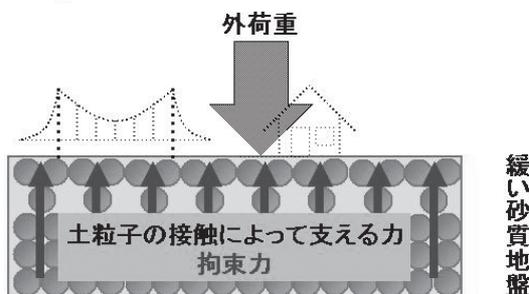
管などのパイプが入っていると想定してください (図表 25)。ここに地震が来ると、何度も繰返ししてせん断変形が起きます。地震は 20 秒や 30 秒、長くても 3 分程度なので、非常に急速にせん断されていることになり、外に水が出ていかない状況が作り出されているのです。言い換えると、地震時は地盤が非排水条件なのです。もちろんそれだけが理由ではなく、もともと水を通しにくいということもありますが、地震が起ると非排水条件で何度もせん断を与えられていることになります。

緩い砂地盤でも、土粒子と土粒子の接触によって、図表 26 の赤い矢印 (土骨格を支える荷重) が頑張っているために、何とか上の建物を支えることができています。そこに地震が来ると急速に繰返しせん断を受けます。すると、次々と土粒子が間隙に落ち込みます (図表 27)。そのときに、体積変化が生じてはいけな非排水条件なので、次第に粒と粒の間の力 (土骨格の拘束力) がどんどん低下します。同時に、今度は低下分を水圧に転化して、正の間隙水圧も発生します。これがさらに続くと、粒と

ちょっと土質力学 ～地盤で考えれば～

緩い地盤であっても、土粒子と土粒子の接触によって地盤上にある建物の外荷重を支え、安定している。(土骨格に拘束力が作用している。)

↑ があると、外荷重を支えることができる

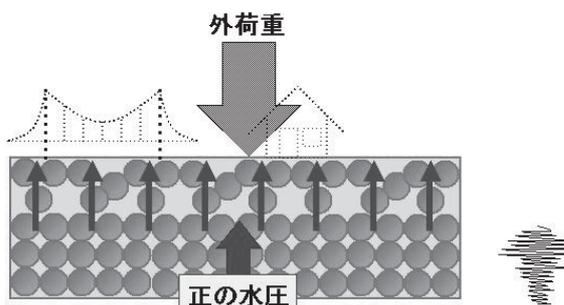


図表 26

ちょっと土質力学 ～地盤で考えれば～

緩い地盤では、地震によって繰り返しせん断を受けると、次々と土粒子が間に落ち込む。

地震中は体積変化が生じないので、次第に土骨格の拘束力が低下し、低下分を水圧に転化(正の水圧が発生)する。



図表 27

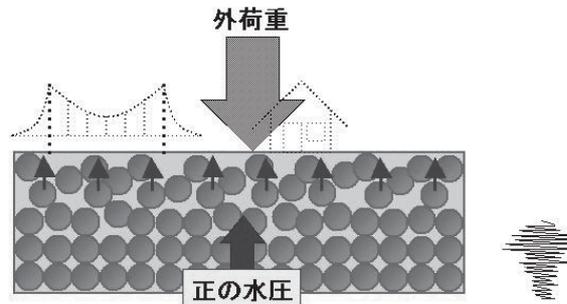
粒がほとんど影響し合わないので、最終的にばらばらになります(図表 28)。それに伴って正の水圧も大きく出て、地盤は液状化します。液状化すると接触がゼロになるので、中の水圧が非常に高く、上が弱い状態になっていると、そこから水を噴き出し、同時に土も一緒に噴き出す、いわゆる噴砂が起こります(図表 29)。同じく液体のようになることによって建物は支持力を失うので、沈下したり、傾いたりしますし、橋脚が反対方向に傾けば落橋し、マンホールな

ど中の軽い構造物は浮き上がってきます(図表 30)。

2.3. 液状化の再現

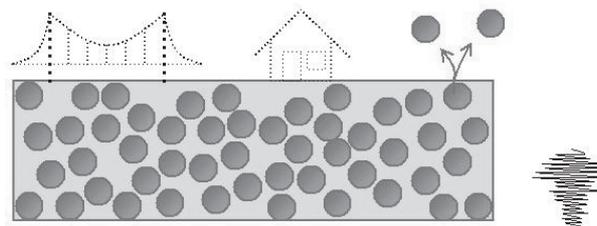
「エキジョッカー」という実験ボトルを用いて、簡単な噴砂の実験をしてみました(図表 31)。中には、色を付けた非常に細かいビーズが入っています。上には粒の細かいもの、下にはそれよりは大きな粒がたまっています。上の層の粒は非常に細かく、水が通りにくいので、

地震動が続くと、土骨格の拘束力はさらに低下する。
最終的には・・・



図表 28

土骨格の拘束力はゼロとなって
(土粒子と土粒子の接触がなくなってバラバラになり)
浮遊した状態になる。
これを液状化と言ひ、土は液体のように振舞う。



図表 29

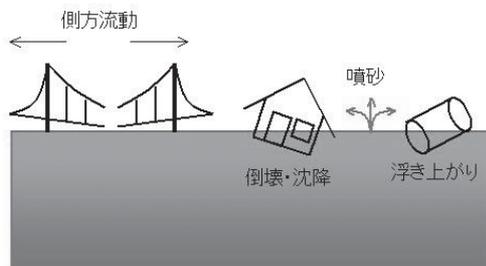
砂に栓をしたような状況になっています。この状態でボトルの側面をたたいてせん断力を与えると、下の部分が液状化します。そのとき、上の粒も若干液状化しているのだと思いますが、弱面があるので、下の方で液状化したものが弱面を通過して噴き出ます。このように、「エキジョッカー」を使うと、液状化と噴差の様子を簡単に見ることができます。

次の実験でも、液状化現象を再現してみます。緩く詰めた砂が入ったボトルと、密に締め

た砂を入れたボトルを用意します。これに、重量構造物としてボルトを置くとどうなるでしょうか。緩詰めボトルにボルトを入れ、重いものが緩い砂地盤に置かれた状態でせん断力を与えると、ボルトは簡単に砂の中に入っていきます。下では落ち込みの現象が起きています。一方、密詰めしたボトルにボルトを入れてせん断力を与えても、何も起きません。密に締めると正のダイラタンシーが発揮され、どんどん強くなるのです。

ちょっと土質力学 ～液状化の発生メカニズム～

地盤が液体のようになることによって、
建物は支持力を失って沈下したり、
マンホールなど地中にある軽いものは浮いてくる。
また、地盤が側方に流動してしまい、道路や橋が壊れる。



図表 30

簡単な液状化現象の再現実験

簡単な実験による液状化現象の再現1

【噴砂】



【エキジッカー：(独)産業技術総合研究所, 宮地様・兼子様】

図表 31

さらにもう一つ、同様に緩詰めと密詰めのパ
トルに、マンホールのつもりで表層に軽いもの
を埋めてせん断を与えると、緩詰めの方は浮き
上がってきますが、密詰めの方は何も上がって
きません。以上からも、液状化を防ぐためには、
密にしておくことが非常に大切であることが分
かると思います。

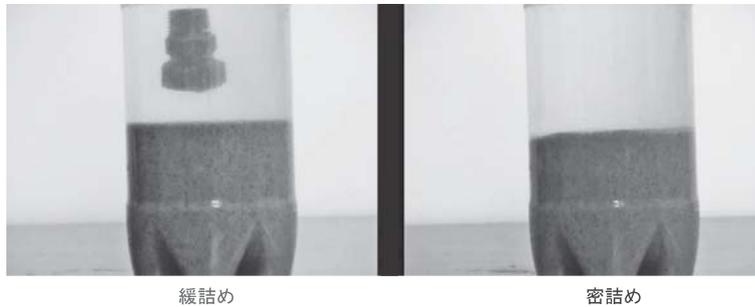
地盤工学会の用語辞典には、液状化とは「固
体状の土において、非排水条件下で地震等によ
る繰り返しせん断応力が作用して間隙水圧が蓄

積することによって、有効拘束圧がほとんどゼ
ロの状態となり、土が液体状に変化する現象」
と書いてあります。しかし私は決して、間隙水
圧が上昇するので有効拘束圧がゼロになるとは
言っていません。ここで大事なのは、有効拘束
圧が下がるために水圧が上がることです。これ
は本末転倒の説明です。私も地盤工学会員な
のであまり恥をさらすわけにはいかな
いのですが、こういう説明を載せている教科書
もあるので、ここは違うのだと見ていただければ

簡単な液状化現象の再現実験

簡単な実験による液状化現象の再現2

【重量構造物の転倒, 不等沈下】



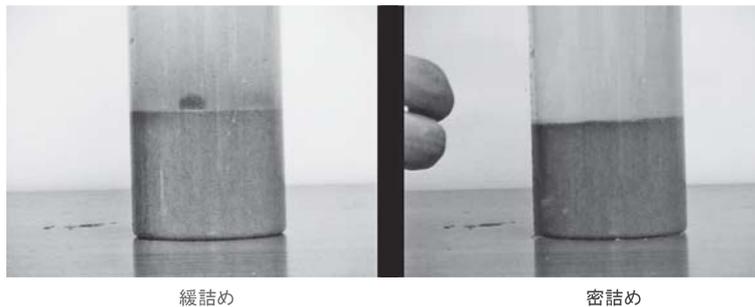
【エッキー：防災科学技術研究所, 納口様】

図表 31-2

簡単な液状化現象の再現実験

簡単な実験による液状化現象の再現3

【地中軽量構造物の浮き上がり】



図表 31-3

と思います。

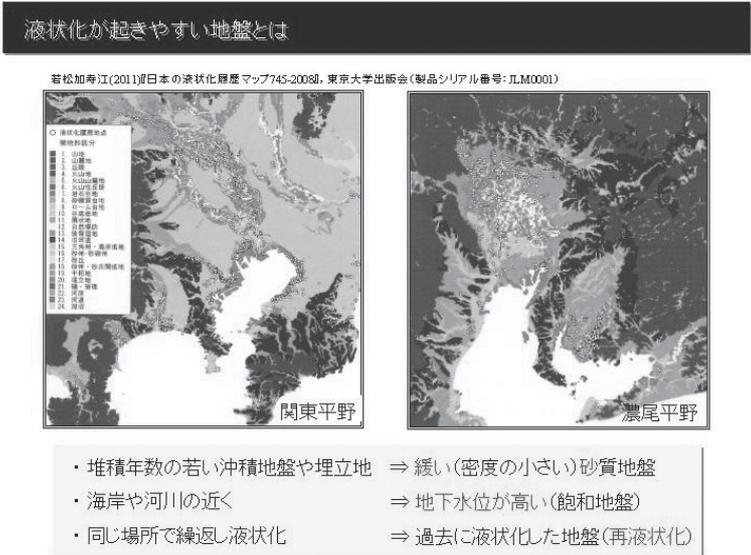
以上、液状化しやすい地盤とは緩く堆積した砂質地盤で、地下水位の浅い飽和地盤だということがお分かりいただけたかと思います。

3. 液状化が起きやすい地盤とは？

図表 32 は、関東平野と濃尾平野で過去に液状化したところをプロットしたものです。川筋、臨海地域が多いですが、名古屋港周辺はプロットされていません。なぜかという、地盤が緩いのに液状化の履歴がまだないからです。実はここが危ないのです。関東平野の東京湾岸も同

様です。堆積年数が少ない、すなわち若い集積地盤や埋め立て地が非常に緩い砂地盤になっています。さらに、海岸や河川の近くは、山と違って地下水位が非常に高くなっています。さらに、一度液状化が起きたところは何度も起きるため(再液状化)、非常に液状化が起きやすくなっています。

東日本大震災によって東京湾沿岸部で発生した液状化の被害を示します(図表 33)。赤で囲まれているところが液状化被害を受けました。震源から約 400km 離れており、震度も 5 強とそれほど大きくなかったにもかかわらず、広域



図表 32



図表 33

で大きな被害がもたらされました。さらに、臨海部だけではなく、利根川筋も大きな液状化の被害を受けています(図表 34)。我孫子市布佐では基礎と周辺の地盤の段差ができたり、香取市佐原では電柱が傾いたり、噴砂が見られました。

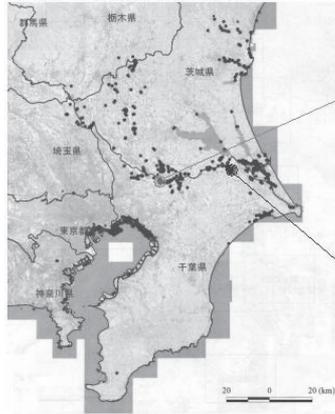
我孫子市布佐では、東京湾沿岸部と違い、ピンポイントで液状化が起きています。その理由は、歴史をひもとくと分かります。明治 36 年、昭和 28 年、昭和 44 年の地図を見ていくと、土

地の使われ方が変わっています(図表 35)。この地域は、明治時代に利根川の氾濫でできました。「切れ所沼」と呼ばれる小さな沼が昭和初期に埋め立てて宅地化されたのですが、十分締め固められておらず、しかも氾濫によってできたために地盤がよくなかったのではないかと考えられています。図表 36 は香取市佐原です。明治 39 年当時、赤で囲んだ部分は旧河道でした。ここを埋め立てたので、もともと軟弱な場所の土地利用が変わり、宅地化が進んだため、

液状化が起きやすい地盤とは

関東地方で生じた液状化被害

東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態説明委員会で調査中



【利根川流域の被害調査】

我孫子市布佐



香取市佐原

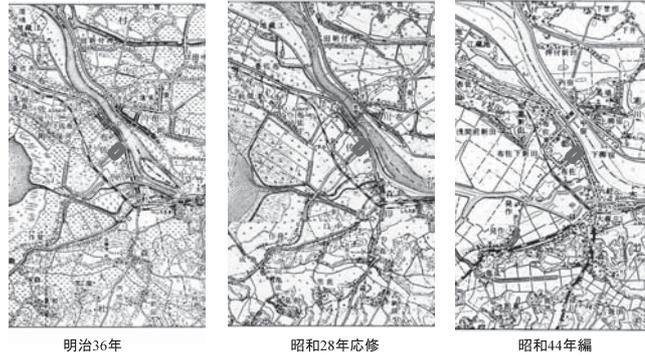


図表 34

液状化が起きやすい地盤とは

【我孫子市布佐】

安田進先生(東京電気大)の講演PPTより



明治36年

昭和28年応修

昭和44年編

狭い地域のみ被害が発生。明治時代に利根川の氾濫で出来た「切れ所沼」と呼ばれる小さな沼があり、昭和初期に埋め立てて宅地化された

図表 35

被害が大きくなりました。

東日本大震災の前に発生し、日本人の死者が出たクライストチャーチ地震でも、液状化の被害がテレビや新聞で紹介されていました。図表 37 は再液状化を示すのに非常にいい例です。写真の建物は、2010年9月に起きた地震で20cm沈下しました。その後、クライストチャーチ地震によって50cmの沈下がさらに起きました。その後、2011年6月にもう一度起きた地震で再び液状化が発生し、沈下しました。

液状化が一回起きれば地盤が密になり大丈夫というわけでは決してありません。多少水を吐いて密になってはいますが、十分に力を与えた上で締めた砂地盤ではないので、再び液状化する可能性があるのです。図表 38 は同じクライストチャーチの噴砂の例です。1回目(2010年9月)は最大40cm、2回目(2011年2月)は50cmの厚さに達する噴砂が起き、2011年6月に再度液状化しています。

液状化が起きやすい地盤とは

【香取市佐原】

安田進先生(東京電気大)の講演PPTより



明治39年測



昭和44年編

利根川の旧河道を埋立てた地域で液状化被害が非常に甚大

図表 36

液状化が起きやすい地盤とは

クライストチャーチにおける同じ家での地震被害の観測



20cmの沈下
2010年9月



50cmの沈下
2011年2月



同じ場所で繰返し液状化被害が発生

安田進先生(東京電気大)の講演PPTより
撮影: 安田先生, 清田先生(東大), 細野先生(豊橋技科大)



車々も沈没
2011年6月

図表 37

液状化が起きやすい地盤とは

クライストチャーチにおける同じ家での地震被害の観測



噴砂厚さ: 最大40cm
2010年9月



噴砂厚さ: 最大50cm
2011年2月



同じ場所で繰返し液状化被害が発生

安田進先生(東京電気大)の講演PPTより
撮影: 安田先生, 清田先生(東大), 細野先生(豊橋技科大)



2011年6月

図表 38

4. 液状化を防ぐためには？

では、液状化を防ぐためにはどうすればいいのでしょうか。非常に悩ましいところですが、液状化のメカニズムを理解すると、十分有効な方法が分かっていたかと思えます。

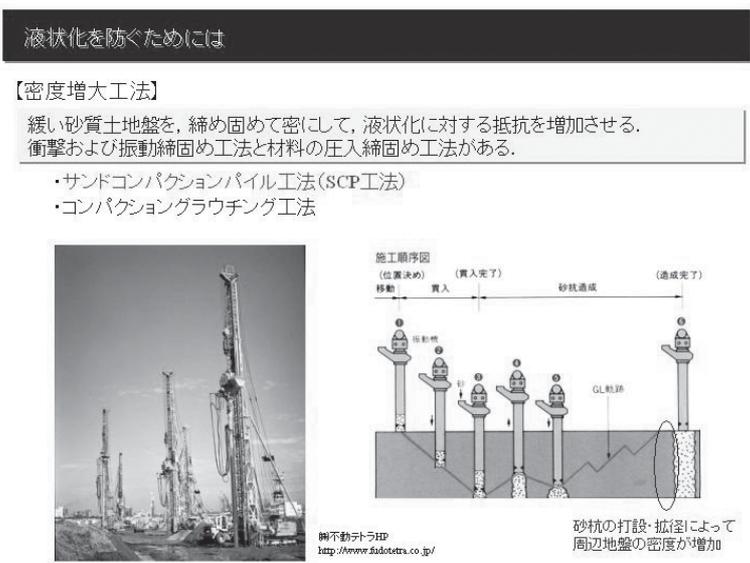
まず、液状化しやすい地盤が緩く堆積しているのなら、どんどん密度を上げて締める密度増大工法が考えられます。砂地盤であれば、例えば若干粘土分も含むような別の土に置き換える置換工法や、砂地盤を固める固化工法があります。地下水位が高いのであれば、それは飽和ということなので、水位を低下させて空気が入っているような状況にする、つまり非排水でない条件にする地下水位低下工法があります。非排水で水がなかなか出ないのであれば、もっと水が出ていくような状態を作り出そうということで、間隙水圧消散工法があります。さらに大きな繰り返しせん断を受けると液状化しやすいので、囲い込んで大きなせん断変形が起きないようにするせん断変形抑止工法を考えることができます。

土木分野でよく使われている密度増大工法は、サンドコンパクションパイル工法とコンパ

クショングラウチング工法です。鋼製のパイプ（ケーシング）を地盤に深く埋めて、中に砂を落とし、パイプを引き上げながら圧縮空気を使って押さえます。すると、穴の中に砂の塊（砂杭）が少しずつできていきます（図表 39）。これをたくさん打つことによって砂杭の周りも密になるため、液状化しにくくなるのです。砂杭がない場合と砂杭がある場合で地震のシミュレーションをしてみても、砂杭がないと圧縮して変形することが分かり、この工法は非常に有効なものになっています。

ほかにも、化学的に安定させる工法として、砂質土にセメントなどの安定材あるいは固化剤を注入して、砂自身の落ち込みを押さえる固化工法があります（図表 40）。深層混合処理工法は下からセメントを混ぜながら杭をもう一度作って固めていく工法ですが、少しコストがかかります。また、既設の構造物の下に管を入れ、そこからセメントミルク等を注入して固めていくという注入固化工法もあります（図表 41）。

また、水があると壊れやすくなるので、地下水位低下工法は一般の土工事でも行われます（図表 42）。地下水をくみ上げて、周りの地下



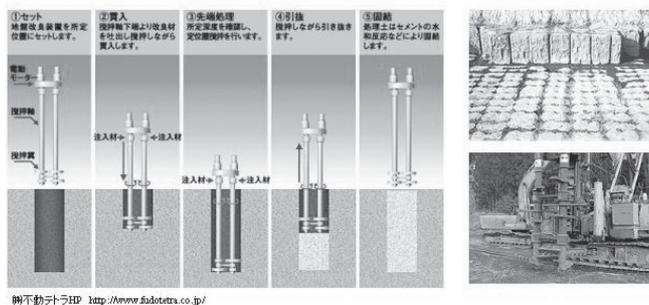
図表 39

液状化を防ぐためには

【固化工法】

化学的安定処理に当たる工法で、砂質土にセメントなどの安定材を添加、混合、あるいは注入して砂質土の液状化抵抗を増加させる工法である。

- ・**深層混合処理工法**：地盤内で安定材と土を攪拌混合して固化させる。機械攪拌と噴射攪拌に大別。
- ・**事前混合処理工法**：埋立前の土砂に事前に安定材を混合してから埋め立てる
- ・**注入固化工法**：注入孔からセメント、薬液などグラウト材を注入し、地盤を固結させる



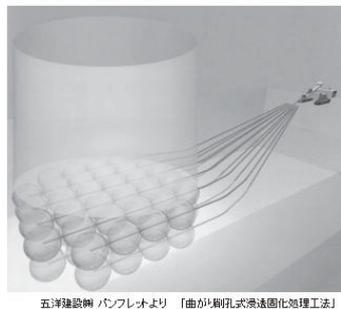
図表 40

液状化を防ぐためには

【固化工法】

化学的安定処理に当たる工法で、砂質土にセメントなどの安定材を添加、混合、あるいは注入して砂質土の液状化抵抗を増加させる工法である。

- ・**深層混合処理工法**：地盤内で安定材と土を攪拌混合して固化させる。機械攪拌と噴射攪拌に大別。
- ・**事前混合処理工法**：埋立前の土砂に事前に安定材を混合してから埋め立てる
- ・**注入固化工法**：注入孔からセメント、薬液などグラウト材を注入し、地盤を固結させる



既設構造物直下への液状化対策も可能

図表 41

水位を下げ、不飽和にします。飽和だと落ち込む余裕がなく、その分拘束が下がってしましますが、不飽和にすると、せん断しても空気のところへ落ち込むだけで、水圧が上がらない状況を作り出すことができます。しかし、常に水をくみ上げておかななくてはならないし、地盤が沈下する可能性もあります。

グラベルドレーン工法では、砂杭を埋める代わりにグラベル（礫）を地盤の中に埋め込みます（図表 43）。礫は非常に水をはき出しやすい

性質があるため、地震時に周りの水圧が多少上がっても、すぐに水を出すことができます。すると、地中の水圧はあまり高まらないので、液状化を防ぐことができます。

図表 44 はせん断変形抑止工法で、連続地中壁という壁を作ることによってせん断を抑え、そもそもせん断変形しにくくするものです。

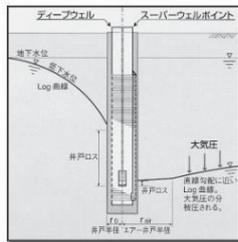
浦安市のディズニーランド辺りではサンドコンパクションパイル工法が使われています（図表 45）。ディズニーランドは、駐車場では液状

液状化を防ぐためには

【地下水位低下工法】

液状化の可能性がある地盤の地下水位を強制的に低下させることによって、不飽和地盤とし、液状化が発生する可能性を軽減させる工法である。

- ・ディープウェル工法
- ・ウェルポイント工法



地下水位低下に伴う地盤沈下を考慮する必要あり

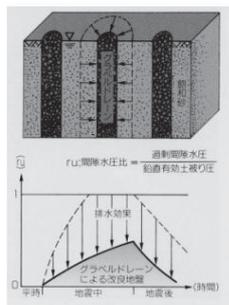
図表 42

液状化を防ぐためには

【間隙水圧消散工法】

礫や人工材料によるドレーンを地盤中に設置することにより地盤の透水性／排水性を高め、地震時の砂層内で生じる過剰間隙水圧の上昇を抑えて液状化を防止する工法である。

- ・グラベルドレーン工法



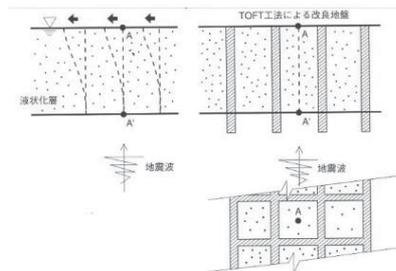
図表 43

液状化を防ぐためには

【せん断変形抑止工法】

連続地中壁、シートパイル、深層混合処理工法による格子状の改良壁体で地盤を囲み、地震時の地盤のせん断変形を抑制することによって、構造物の被害を防止する工法。

- ・連続地中壁工法
- ・格子状深層混合処理工法 (TOFT工法)
- ・シートパイル工法



図表 44



図表 45



図表 46

化しましたが、サンドコンパクションパイルが打ってあるところでは液状化しませんでした。ディズニーランドのホームページには「東京ディズニーランドでは特に大きな損傷はありませんでした。平面駐車場の一部が液状化しましたが、すぐに修復しました」と書いてありました。さらに液状化対策として地盤改良を行っており、主にサンドコンパクションパイル工法を使っていたおかげで無被害だったのです。同じように地盤改良がしてあるところでは無被害で

したが、特に対策が施されていない場所では液状化して傾きました。

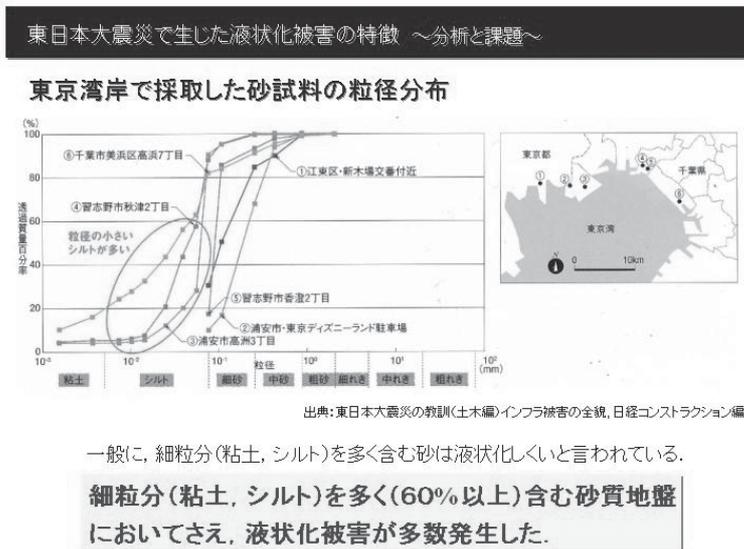
5. 東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

浦安市は震源から約450km離れていますが、広範に液状化が発生しました(図表46)。そこで、噴砂した砂を採取して、どのくらいの大きさの粒があるかを調べてみました(図表47)。すると、普通は細砂から粗砂を多く含む砂が

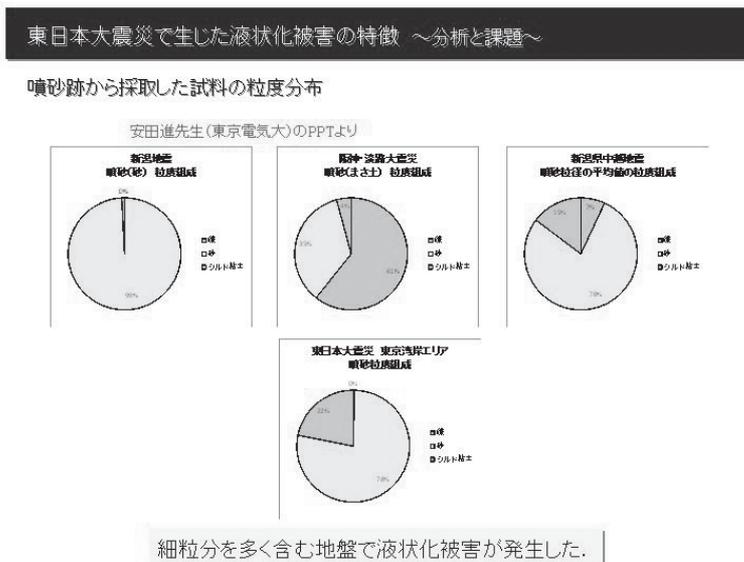
液状化しやすいのですが、それよりも細かいシルト分や粘土分を含むものでも液状化が多数発生していたことが分かったのです。図表 48 は、東京電機大学の安田進先生からお借りしたもので、非常に粒の細かいシルト分を示す水色の部分でも液状化したことが分かっています。さらに浦安市の液状化踏査結果を調べると、埋め立て時期の違いで、液状化したところとしなかったところが分かれたのではないかと説明されています（図表 49）。

この地域では揺れがそれほど大きくない地震だったにもかかわらず、細粒分を含む地盤で広範に液状化が発生した理由として、地盤の埋め立て時期が若いことに加え、地震の継続時間が非常に長かったことが説明されています（図表 50）。これは半ば正しく、これが液状化被害を大きくしたと考えていいと思いますが、実際にそれだけだったのかと疑問に思い、調べてみました。

図表 51 は今の浦安市です。B 地点（陸）か



図表 47



図表 48

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

浦安市の液状化踏査結果と埋め立ての変遷



液状化した場所と液状化しなかった場所の差異は、いまのところ埋立時期の違いで「説明」されている。 → 本当だろうか？

図表 49

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

- 加速度は100～200gal程度とさほど大きくないにもかかわらず、広範に液状化が発生。
- 細粒分を多く含む地盤で液状化が発生。

↓

液状化発生の理由として、
**地盤の埋め立て時期が若く、
 「地震の継続時間が長かった」**
 ことばかりが強調される。(これは半ば正しい)

これが、粘土分、シルト分を多く含む土の「液状化」の原因だったのか？

図表 50

ら A 地点（海）について、実際に地盤を調べました。液状化しなかったのは図表 52 の左側で、液状化したのが右側です。これを見ると一目瞭然ですが、液状化した方は軟弱粘土層が非常に厚く堆積していました。これが液状化の被害を大きくしたのではないかと考え、解析しました（図表 53）。そのときに、近くで観測された約 3km の深さの地震波を表層近くの硬い基盤位置（深さ約 60m）に変換したものを入力として、それより浅い地盤の揺れを計算してい

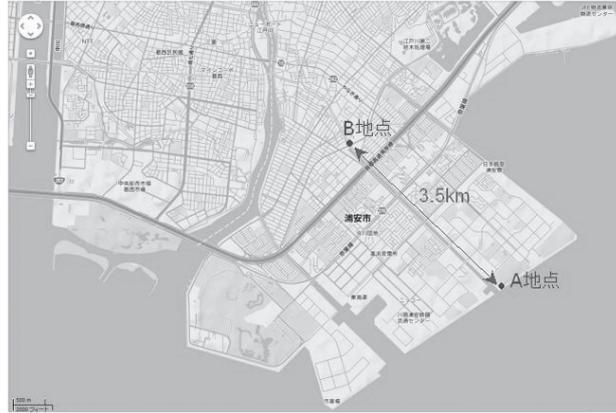
ます。

図表 54 の右側の図が、2～3km の深さで観測された地震波で、最大加速度は 50Gal でした。A 地点は軟弱粘土層の厚い液状化したところですが、B 地点は液状化しなかったところで、約 10m の粘土層が挟まっていた。比較のため、全部密な砂でよく締まった地盤も計算しました。

まず、粘土層が厚い地盤に地震波を入力すると、ちょうど地震波の最大加速度あたりでどん

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

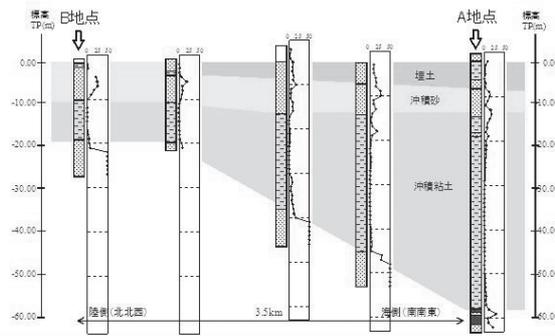
浦安市を取り上げて解析的に検討



図表 51

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

液状化層の下に厚く堆積する軟弱粘土層の存在

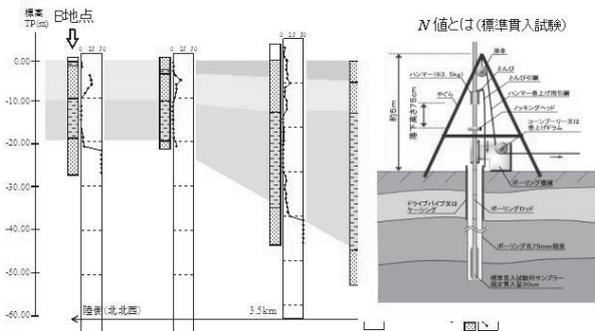


液状化被害が軽微であった陸側は軟弱粘土層厚が10m程度と薄い。
液状化被害が甚大であった海側へ向かうほど、軟弱粘土層厚(N値≒0)が厚い。

図表 52

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

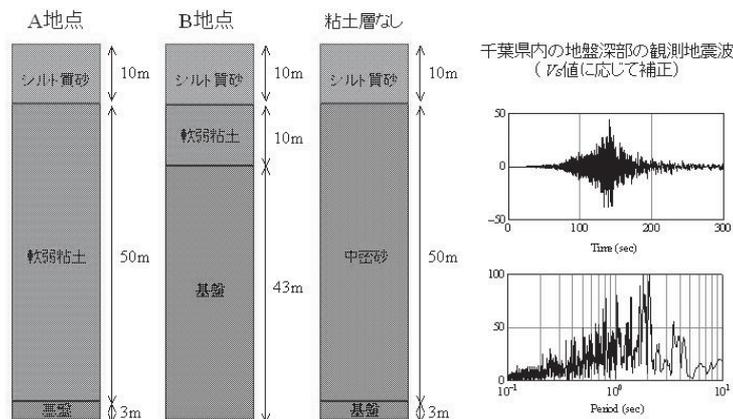
液状化層の下に厚く堆積する軟弱粘土層の存在



液状化被害が軽微であった陸側は軟弱粘土層厚が10m程度と薄い。
液状化被害が甚大であった海側へ向かうほど、軟弱粘土層厚(N値≒0)が厚い。

図表 53

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

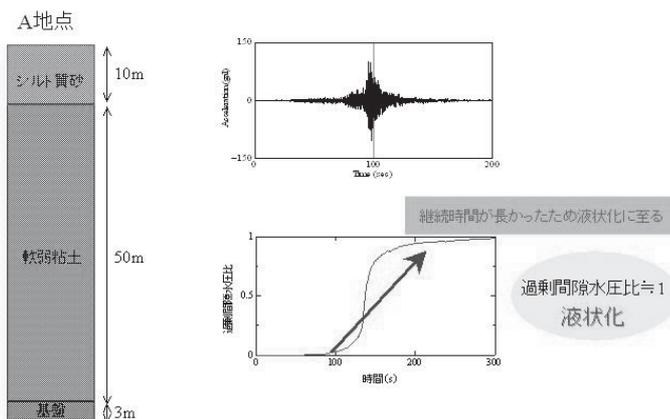


水～土連成有限変形解析プログラムGEO-ASIAを使用

図表 54

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

【シルト質砂層中央での過剰間隙水圧比】



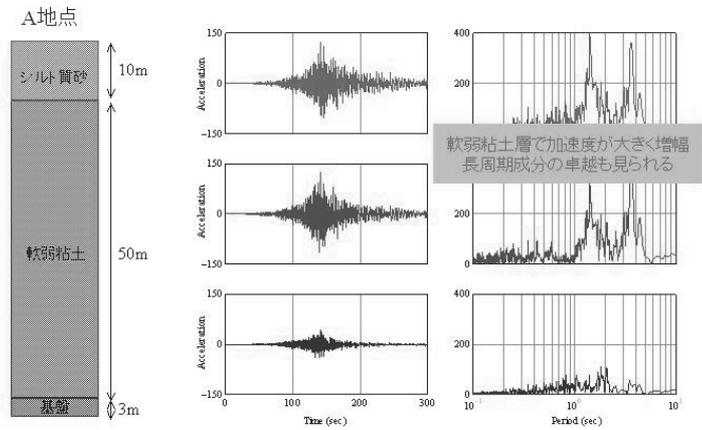
図表 55

どん間隙水圧が上がりました (図表 55)。液状化したシルト質砂の層の中央部分では、過剰間隙水圧が1に近づき、土かぶり（上の土の重さ）と同じぐらいの水圧が発生しています。このとき、地震波が基盤（深さ60m）から軟弱粘土層を通して地表へ伝わる間にどんどん増幅しています (図表 56)。しかも、同じ図の右側のスペクトルから周波数特性を見ると、周期が1～2秒、3～4秒あたりの成分がどんどん大きくなっています。このうち1～2秒のゆっく

りと揺れるような波が、一番上のシルト質砂層に入ったために液状化したのではないか、つまり厚く堆積した軟弱粘土層を通して液状化しやすい地震波が来たために、一番上の層で液状化が生じたと考えられます。軟弱粘土層が薄いB地点の場合は、先ほどとは異なる加速度特性であまり増幅していないことが分かります (図表 57)。さらに、比較のために検討した稠密な砂の地盤では、水圧が上がることはなく、液状化しなかったのです (図表 58)。

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

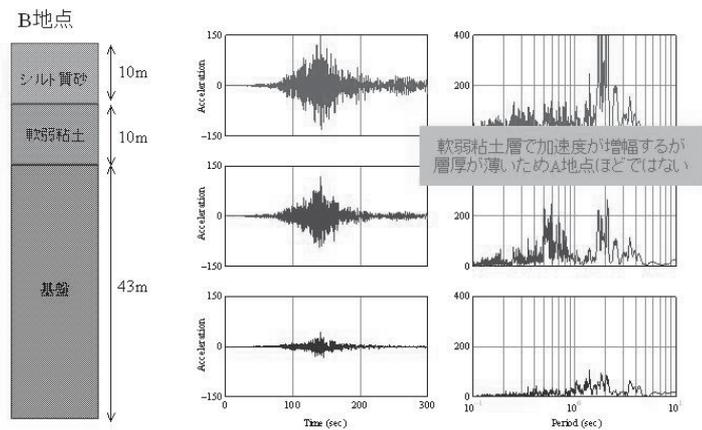
【層境での応答加速度】



図表 56

東日本大震災で生じた液状化被害 ～分析と課題～

【層境での応答加速度】



図表 57

以上から、厚い軟弱粘土層の存在が地震波を増幅させ、その上の表層地盤を液状化しやすくしていたことを確認することができました（図表 59）。実際に浦安では1秒～1秒半ぐらいの波が他の地域よりも卓越して観測されているので、これもあながち間違いではないのではないかと考えています（図表 60）。

浦安市では下水道の被害がひどく、管路の変形や管路が損傷してクラックが発生したり（図表 61）、マンホールの躯体がずれたり、マンホー

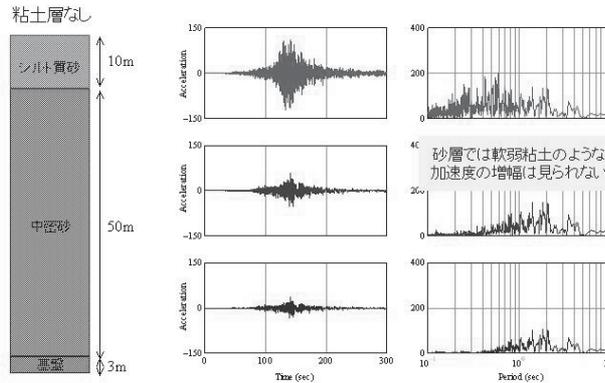
ルが浮上したりしました（図表 62）。一番困ったことは、マンホールや管路の中に砂がたまり、清掃するのに非常に手間取ったことだそうです（図表 63）。そのために下水道は40日かかってようやく復旧したそうで、このような土砂の流入は大問題だと思います。

6. 東海地方の液状化危険度について

名古屋は江戸時代の干拓と明治以降の埋め立てによって国土を広げました（図表 64）。中川

東日本大震災で生じた液状化被害 ～分析と課題～

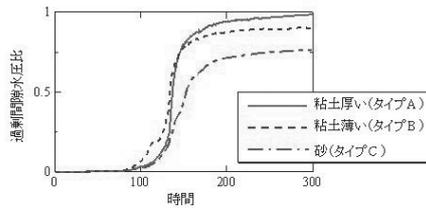
【層境での応答加速度】



図表 58

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

【シルト質砂層中央部における過剰間隙水圧比の比較】

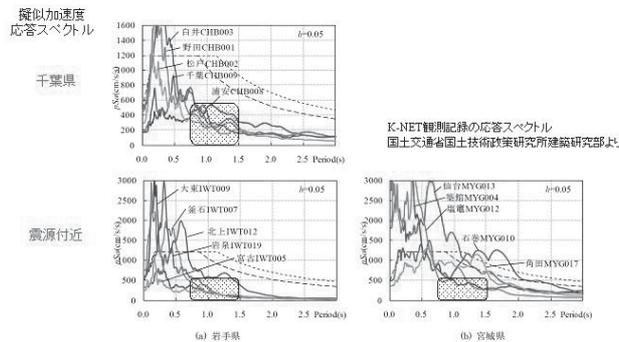


軟弱層の存在が地震波が増幅させ(特に大きなせん断変形を生じさせる(1～2秒以上の)長周期成分で顕著)、表層の土が液状化しやすくなることを数値解析で確認。

図表 59

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～分析と課題～

長周期成分の波動が伝播していた



周期1～1.5秒付近では、浦安市は近隣の他の地域よりも大きく、震源近傍の地域に匹敵。

図表 60

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～浦安の下水道(汚水)の被害状況～

破損バターの整理

- ・管路, マンホールの破損
- ・マンホールの浮上
- ・土砂の流入



管路の変形

管路の破損, クラック

マンホールの躯体ズレ

浦安市HP(第1回浦安市液状化対策技術検討調査委員会配布資料)
<http://www.city.utsunomiya.chiba.jp/item/260693/mn/Mems126068>

図表 61

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～浦安の下水道(汚水)の被害状況～

破損バターの整理

- ・管路, マンホールの破損
- ・マンホールの浮上
- ・土砂の流入



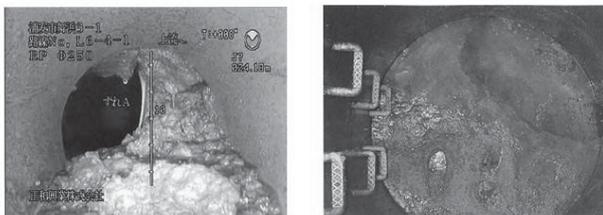
浦安市HP(第1回浦安市液状化対策技術検討調査委員会配布資料)
<http://www.city.utsunomiya.chiba.jp/item/260693/mn/Mems126068>

図表 62

東日本大震災で生じた液状化被害の特徴 ～浦安の下水道(汚水)の被害状況～

破損バターの整理

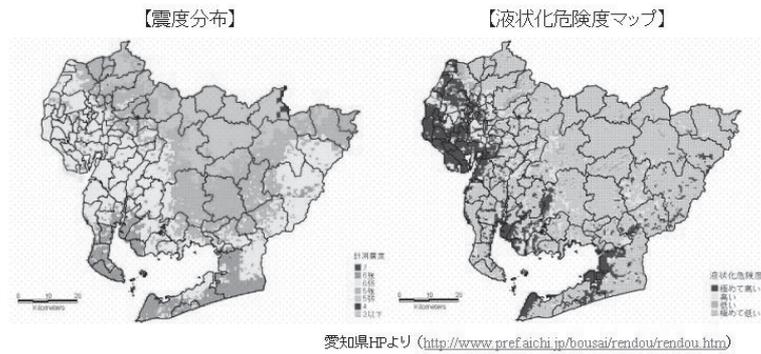
- ・管路, マンホールの破損
- ・マンホールの浮上
- ・土砂の流入



浦安市HP(第1回浦安市液状化対策技術検討調査委員会配布資料)
<http://www.city.utsunomiya.chiba.jp/item/260693/mn/Mems126068>

図表 63

東海地方の液状化危険度

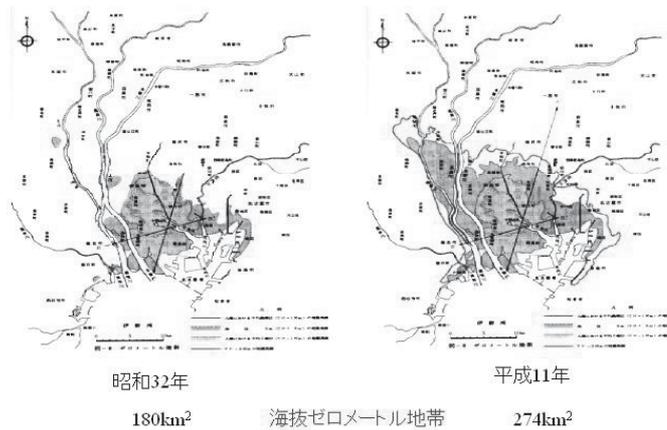


自分達の暮らす地域の情報を正確に知ることが重要

図表 66

東海地方の液状化危険度

伊勢湾台風以後に地盤沈下を拡大させた!!
もはやほとんど回復不可能



図表 67

湾台風以降に海抜ゼロメートル地帯が急激に増えています（図表 67）。従って、ここでは液状化も生じるでしょうし、防潮堤などの海岸堤防が万が一やられた場合には、なかなか水が引きにくいでしょう。

7. 液状化以外の地盤被害について

東日本大震災では、液状化以外の地盤被害もありました。図表 68 は名取市の近くにある浄化センターの地盤被害で、津波による浸食もあ

りました。図表 69 のような不同沈下もあります。写真の建物は砂地盤に載っていましたが、津波のせいなのか、液状化のせいなのかは分かりません。恐らく両方だと思います。構造物周りにも洗掘が起きています（図表 70）。液状化を表す痕跡として、マンホールが浮き上がっています（図表 71）。また、相馬港では岸壁が側方流動によってはらみ出して、それとともに道路に亀裂が入り（図表 72）、図表 73 のように侵食されました。図表 74 は亙理町荒浜地区の

浄化センター周辺の地盤被害



建物と舗装の間に出来た段差



津波による浸食

図表 68

浄化センター周辺の地盤被害



不同沈下した構造物



図表 69

浄化センター周辺の地盤被害



構造物周りの洗掘(主に津波の下流方向に発生)



図表 70

防潮堤です。陸側に10mほど、掘られて水がたまったところがあちこちで見られました。図表75も護岸が侵食されたものです。

造成宅地の被害も見られました。現地の航空写真から、1952年当時は山でしたが、そこを

造成して、現在は宅地化していることがわかります。写真でブルーシートがかけてあるところが被災したところです（図表76）。6カ所ほど大きな滑りを示しています。図表77もそのうちの一つです。宅地の中には亀裂が入り、矢印

浄化センター周辺の地盤被害



液状化らしき跡



図表 71

港湾の地盤被害



岸壁の側方流動によってできた亀裂(相馬港)

128

図表 72

港湾の地盤被害



地盤の流出を伴う護岸の崩壊(相馬港)

129

図表 73

津波による地盤被害



津波により破壊された防潮堤(巨理町荒浜地区)

130

図表 74

津波による地盤被害



浸食された護岸(巨理町荒浜地区)

131

図表 75

造成宅地の被害



斜面崩壊(斜面F)

133

図表 76

の部分には滑りが生じています(図表 78)。

過去と現在の標高差から盛土と切土の分布(切り盛り)を調べると、被害を受けたり地割れが見えたりしたのは全部盛土や切り盛りの境界で、このような場所は非常に危険だというこ

とがわかりました。一方、その少し横に、過去に雨で何度も崩壊した斜面があったのですが、ジオテキスタイルという補強をしていたため今回は無被害でした。

高速道路の被害もテレビで報道されていたか



図表 77



図表 78

高速道路被害

【被害状況】 3月11日 16:30頃

NEXCO東日本
常磐道 水戸～那珂(上り線)

【回復状況】 3/17 17:00頃
NEXCO東日本hpより

主な地盤被害

- (1) 道路本体・路面の崩落 2箇所
- (2) 道路本体の大規模クラック 13箇所
- (3) 路面の陥没 23箇所(最大深さ30センチ)
- (4) 2センチ以上の路面の段差 174箇所(最大100センチ)

復旧までの主な流れ

11日(金) 14:46 地震発生
 12日(土) 早朝 復旧を順次完了 緊急車両の通行可能に
 22日(火) 10:00 東北道全線を含む約93%の応急復旧完了
 東北道全線で大型車両の通行可能に

図表 79

もしれませんが、何と発災の5～6日後には修復され、物資の輸送がきちんと行われました(図表 79)。

今回の震災では、津波の被害が大きく取り上げられました。しかし、名取市を襲う津波の様

子を写した報道写真には、まだ津波が達していない場所に液状化の痕跡も見られます。決して津波だけが襲ったのではなく、液状化の被害も被っていたのですが、津波によって消し去られてしまいました。

まとめ（液状化について）

- 液状化現象とは、主に砂質地盤が地震による繰返しせん断を受けることによって、液体状となる現象である。液状化した地盤は噴砂を伴いながら沈下する。また重量構造物は転倒や不等沈下を、地中の軽量構造物は浮き上がりを生じてしまう。
- 液状化しやすい地盤とは、主に、①緩く堆積した砂、②地下水位が高い、③過去に液状化したことがある、地盤である。
- 液状化対策（地盤改良）はかなり効果的であることが東日本大震災でも明らかになった。ただし、液状化被害は広域にわたって生じるので注意が必要である。
- 東日本大震災では、従来は液状化判定の対象外とされてきた細粒土でも液状化被害が観測された。表層土の物性だけでなく、深部の地層構成も考慮した液状化判定が必要である。
- 名古屋港湾には、未だ巨大地震を経験したことのない新しい埋立地盤が広域に存在しており、液状化に対する注意・対策が重要である。また、名古屋西部には非常に軟弱な粘土層が厚く堆積しており、地震波の増幅に伴う被害が懸念される。

図表 80

最後にまとめですが、時間になりましたので図表 80 をご覧ください。

れていればそれなりの効果は発揮されるだろうと思います。

質疑応答

(司会) テレビやニュースでなかなか見ることのできないところも含めて、たいへん詳しくご説明いただきました。ご質問はいかがでしょうか。

(司会) 具体的な地盤状況や施工状況によってだいぶ変わってくるということでしょうか。他にはいかがですか。

(質問者 1) 国道 23 号線の飛鳥村の南の方は、昭和 40 年代前半に名古屋港から土砂をくみ上げて埋め立て、取りあえず表面の水は排出した後、地盤改良を行いました。埋め立てた下の土砂については昔からの堆積土なので分かりませんが、埋め立てた部分は水を抜いて相当強固な地盤になっていると私は信じています。先生は液状化を免れることはできないと思いますか。

(質問者 2) 液状化というと、どうしても海が取り上げられますが、愛知県は木曾三川を含めてかなり河川で囲まれています。名古屋も矢田川の氾濫流でできたところですよ。そういう場所も同様に考えていいのでしょうか。

(野田) 実際に見ていないので、あくまでも今のお話からの想像でご勘弁いただきたいのですが、きちんと対策をしてあれば、液状化の被害はあったとしても小さくなっていると思います。全くゼロではないでしょうが、対策が行わ

(野田) そう思います。対策は、可能であればやるだけやった方がいいと思います。

(司会) 液状化した現地の様子や、東海地域、特に名古屋で同じようなことが起こるのかどうかということを非常に詳しくお話しいただいたので、皆さんも大変よくお分かりになったと思います。野田先生、今日はどうもありがとうございます (拍手)。

二元復興の国土づくり～東日本の災害復興から首都圏・西日本の事前復興へ～



講師 中林 一樹
(明治大学政治経済学研究科特任教授)

(司会) 今日は中林一樹先生にご講演いただきます。中林先生は、明治大学の特任教授、人と防災未来センターの上級研究員、首都大学東京の名誉教授を務めておられます。都市計画がご専門で、防災都市計画の第一人者である素晴らしい先生です。私は4月から名大に来たのですが、防災アカデミーで東日本大震災を踏まえた中林先生のお話をぜひお聞きしたいと思っていました。本当にお忙しい中、今日はようやく来ていただくことができ、非常に充実した内容のお話がお聞きできると思っています。それでは中林先生、よろしくをお願いします。

1. はじめに

(中林) 今日はどこまで十分なお話ができるのか自信がありませんが、今回の東日本大震災を受けて、私の考えるところをお話しします。少

し乱暴な議論ですが、二元復興の国土づくりということで、東日本の災害復興と同時に、首都圏や、名古屋も含めた西日本の被害想定に基づいて、被害が出た後に復興するのではなく、被害が出る前に復興を考えておく事前復興まで含めた地域づくり、まちづくりを考えておかなければいけないのではないかというお話をします。

この15年間で、震度7の地震は3回起きています(図表1)。これら三つの地震によって、わが国の災害対策や地震被害の全貌が見えてくるのではないかと考えています。この教訓をこれからのまちづくりや地域づくりにどう生かすかが、今われわれが問われていることでしょう。1995年の阪神・淡路大震災は都市型の直下地震でした。2004年の新潟県中越地震も震度7で、高齢化が進んだ農山村地域の地震災害でした。

1. 阪神・淡路大震災以降に発生した被害地震

発生日	地震	M	震度	死者	負傷者	全壊全焼	半壊
1995.1.17	阪神・淡路大震災	7.3	7	6,437人	43,792人	111,941棟	144,274棟
2000.10.6	鳥取県西部地震	7.3	6強	0人	182人	434棟	3,094棟
2001.3.24	芸予地震	6.7	6弱	2人	287人	69棟	749棟
2003.7.26	宮城県北部地震	6.4	6弱	0人	677人	1,276棟	3,809棟
2003.9.26	十勝沖地震	8.0	6強	2人	849人	116棟	368棟
2004.10.23	新潟県中越地震	6.8	7	68人	4,805人	3,184棟	13,810棟
2005.3.20	福岡西方沖地震	7.0	6弱	1人	1,204人	144棟	353棟
2007.3.25	能登半島地震	6.9	6強	1人	356人	686棟	1,740棟
2007.7.16	新潟県中越沖地震	6.8	6強	15人	2,346人	1,331棟	5,709棟
2008.6.14	岩手・宮城内陸地震	7.2	6強	23人	426人	34棟	146棟
2008.7.24	岩手県北部の地震	6.8	6弱	1人	211人	1棟	0棟
2009.8.11	駿河湾の地震	6.6	6弱	1人	319名	0棟	6棟
2011.3.11	東日本大震災	9.0	7	19,500人	6,115人	120,000棟	180,000棟

* 十勝沖地震のみが海溝型地震で、長期評価の対象であった。

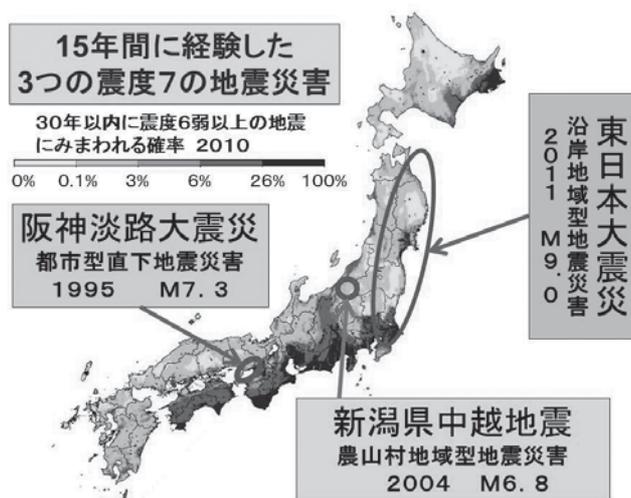
図表 1

ちなみに農山村地域（中山間地域）はわが国土の7割以上を占めています。そして、2011年3月11日の津波による沿岸地域の地震災害がありました。日本の海岸線は総計3万3800kmぐらいありますが、そのうちの約1000kmが津波によって大きな影響を受けています。今後もそうした沿岸の地震災害があるでしょう。特に東海・東南海・南海地震は、沿岸に大きな災害をもたらす地震です。東日本大震災の災害復興をどうするかということは、すなわち東海・東南海・南海地震の対策をどう展開するのかということを議論していることにはかならないと思います。従って、災害復興と事前復興の取組を、

今から同時に進めておくべきではないかと考えています。

2. 耐震補強の勧め

先述の三つの震度7の地震から、私たちはたくさんのことを学んで、それを実践する状況にあるのではないのでしょうか（図表2）。まず、阪神・淡路大震災では、揺れによる被害が地震災害の基本であるということあらためて認識しました。図表3左側にある、木造家屋が無惨につぶれてしまった写真が象徴的です。5時46分に起きた震度7の十数秒の強い揺れで建物の層崩壊が起こり、自分の家で、寝ている布団の



図表2

2. 耐震補強の勧め

阪神・淡路大震災の教訓 ～被災者にならないために～



図表3

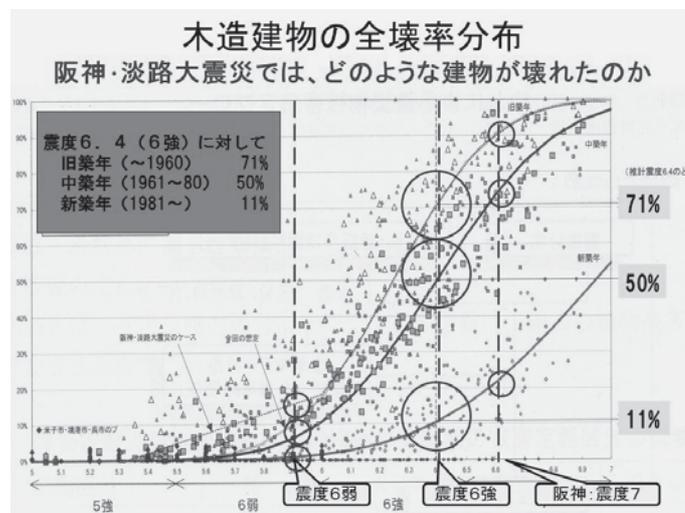
中で、パジャマを着たままたくさんの方が押しつぶされ、即死状態でした。

なぜこんなに家が壊れたのでしょうか。阪神には震度7あるいは震度6強のエリアが市街地に相当数ありました。図表4は、阪神・淡路大震災で壊れた建物のデータに基づくグラフです。「旧築年」とは1960年以前、旧耐震の前の基準で建てられたもので、阪神・淡路大震災が起きた1995年当時は築35年だったので、ちょうど建て替えるか大幅に修理する頃合いの住宅だったはずです。その7割が震度6強の地域で全壊しています。1981年6月から新耐震基準といわれる今の建築基準法の耐震基準が施行されており、それ以前に建てられたもの（「中築年」）の全壊被害が5割です。新耐震基準を満たしていたもの（「新築年」）は築15年以内で、耐震基準が向上するに従って建物が強くなってきており、11%しか全壊被害を受けませんでした。

阪神・淡路大震災後、実は、建築基準法の耐震基準を見直さずに、以前の基準で建てられた古い建物をいかに耐震補強するかということが課題になりました。その背景の一つには、これからの日本では人口があまり増えないので、そ

れほど家が建つ時代ではないし、新しい基準を作っても、それ以降に建てる建物にしか適用されないのでは、古い建物が強くなるわけではないと考えたことがあります。従って、被害を減らすには、むしろ今ある脆弱な建物をいかに強くするかが重要であるということで耐震補強が大きな課題になり、耐震改修促進法という法律も作られました。震度6弱でもそれなりに壊れ、震度7だともっと壊れるということであったかと思えます。

家が壊れた結果、直接死として亡くなった方が5500人いますが、そのほぼすべてが家の倒壊によって命を落としています（図表5）。朝の5時46分ですから、まだ真っ暗闇で、ほとんどの方は寝ている中で亡くなりました。しかも、死亡推定時刻を見ると、ほとんど即死状態だったのです。ですから、いくらレスキューを強化したり自衛隊を頼っても、とても助かりません。22世紀の中ごろに、介護ロボットが鉄腕アトムぐらいの威力を持って各家庭に1台ずついるような時代だと助けてくれるかもしれませんが、今、人の命を守るためには、建物を強くするしかないのではないかということが、阪神・淡路大震災の最大の教訓であろうと思いま



図表4

阪神・淡路大震災では自宅で即死

死 因	死者数	率	死亡時刻	死者数	率
倒壊建物・家具による圧死等	4,831人	88%	1月17日 5:46～6:0	4,429人	92%
焼死等	550人	10%	6:00～	385人	8%
その他	121人	2%	合 計	4,814人	100%
直接死	5,502人	100%	火災による焼死を除くと、 直接死の92%は、 自宅の倒壊等による 即死であった。		
関連死	940人	17%			
総死者数	6,432人	117%			

図表 5

建物倒壊による道路閉塞 ②耐震補強は道路を守る



す。

また、家が壊れると、密集市街地であればあるほど、壊れた建物が道路に向かって倒れます(図表6)。後ろや横へ倒れようとするのと家につかいますが、前方には広さにかかわらず取りあえず空間があるため、そちらへ倒れ込んで道路閉塞がたくさん起きました。震度6強でも起きているし、震度7だと、ほとんどの地域で道路がふさがれます。幅員8mの相当広い道路でも、両側から建物が倒れ込んでくると、がれきの山になってしまいます。

図表6の写真の道路は完全のがれきの山になっています。ここで生き埋めになった人を助

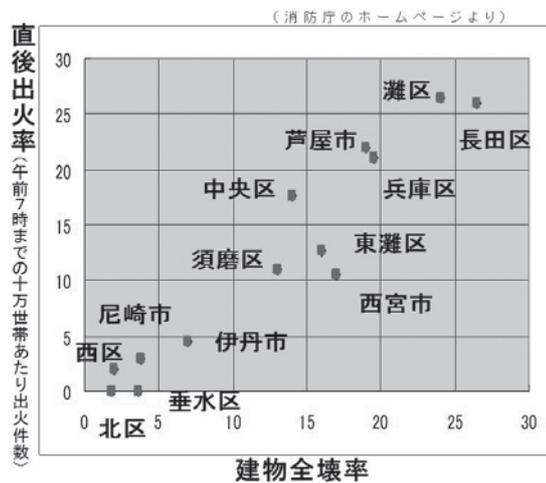
けようと思っても容易に近づけませんし、火災が発生しても初期消火が極めて難しかったのです。しかも暗闇の中でこういう状態が発生したのです。従って、建物の倒壊は人の命を奪うだけではなく、活動すべき空間を奪ってしまうので、その後の災害対応活動を極めて困難にします。恐らく多くの防災訓練は、壊れるものがない学校のグラウンドや公園で行うでしょうが、実際の現場には倒壊した建物ががれきの山になっていますから、訓練を生かすためには、がれきの山ができない道路や広場を町に確保することが何よりも重要です。

密集市街地で防災まちづくりを行うとき、

8m や 6m の道路を確保したり、100 坪の防災広場に水槽やかまどベンチを入れたり、いろいろな工夫をします。私に言わせると、あれは災害対応活動をするための舞台作りです。がれきの山になってしまうと、せっかくの訓練の技も生かす場がありませんから、訓練の技を生かして、町でみんなで生き延びていく舞台を作っているのです。従って、密集市街地で少しずつ道路を拡幅したり、広場を作るような、いわゆる修復型まちづくりという方法で町の防災活動をするには、空間や施設の整備と同時に、地域の皆さんが防災活動組織を作って活動することが前提です。行政では、まちづくり課や都市

整備課などが道路を広げたり公園を作ったりするのですが、同時に、危機管理課、あるいは災害対策課からの自治会、町内会、自主防災組織などの活動と、必ずペアで考えなければいけないのではないかと考えています。

また、家が壊れると火災が発生します（図表 7）。これも、阪神・淡路大震災で明らかになりました。家が壊れなければ死ななかつたり、活動ができたり、火災が少なくなるということで、耐震改修、耐震補強は非常に大切になります。しかも、家が壊れたらどうなるかということが、2004 年に、もう少し別の観点から前に出てきました。図表 8 の上の写真が新潟県中越地震、



家が壊れると火事が多発する！
③耐震補強は火災を出さない

図表 7

震災関連死を防げ・中越地震からの教訓 ～耐震補強すると少なくとも命は守れる～



図表 8

下の写真が阪神・淡路大震災の様子です。豪雪地域である新潟の太い柱でがっちり組んだ木造の建物が、左上のようにつぶれています。しかし、堀之内という場所で写真を撮っているときに地元の方が説明してくれたことによると、この家は一瞬でつぶれたのではなく、3回目の余震でつぶれたそうです。1回目で柱と梁が折れて全壊状態だったのですが、まだ建っていたので全員逃げて、ここでは誰も死んでいないしけがもしていないそうです。一瞬で倒壊した阪神・淡路大震災とは全く違うのです。家が若干強かったのも、同じく全壊でも、層崩壊的につぶれていないことが人の命を救っているのです。それは、耐震改修すると、家は失うことがあっても、命を守る可能性が非常に高いということを示しているのだと思います。

しかしながら中越地震は、自宅での生活を失うと震災関連死が増えるということも示しました（図表9）。阪神・淡路大震災と中越地震に学んだことは、まず、自宅が阪神・淡路大震災のように壊れてしまったら、人が死ぬということです。また、隣近所にいろいろな迷惑を掛けます。私の家が壊れて私が死ぬのは私の勝手だとは言えないのです。頑張って耐震補強した家も、隣の家が全壊してもたれかかってきたせいで応急危険度判定で赤紙を張られる可能性があ

りますし、倒壊した家屋が道路をふさぐことで町内の人の避難を妨げ、出火すると町内全体に火が広がる可能性が非常に大きいのです。そして、生き残ったとしても、自宅での生活を失うと、特に高齢者にとってはストレスが大きく、震災関連死を招いてしまうことが分かりました。また、住宅の再建は、経済的にも精神的にも非常に大変な苦勞を伴います。従って、やはり家が壊れないことが最も基本だと思います。

阪神・淡路大震災以降、各自治体で耐震改修の制度を作り、補助金制度を作って助成しています。しかし、なかなか耐震改修が進まないのも現実です。最近はエコ改修、バリアフリー改修など、いろいろな改修があるので、それらをうまく組み合わせて、どうせ外壁を外すのであれば全部一緒にやってしまうような、福祉とエコと耐震が一気にできるような総合的な改修システムをぜひ作っていきべきだと思います。しかし、行政の縦割りは大変頑固で、手続きが大変です。

阪神・淡路大震災以降、たくさんの地震が起きました。2000年以降毎年のように、人が亡くなったり全壊建物が発生して、名前が付くような被災地震がありました。それらを教訓に、阪神・淡路大震災以降、震災対策はいろいろと向上してきたと思います（図表10）。1月17日

もし、自宅が壊れてしまったら！

- ①人命を奪う。(残った家族に迷惑を掛ける)
- 家が壊れると、隣近所にも迷惑を掛ける
- ②隣にもたれる ③道路をふさぐ ④出火する
- ⑤生き残っても、「自宅での生活を失う」「震災関連死」を招く可能性が高まる
- ⑥「住宅の再建」は、経済的にも、精神的にも多大な苦勞を伴う
- ★住まいの三大改修で、社会貢献！
- 耐震改修 + バリアフリー改修 + エコ改修

図表9

阪神大震災後、震災対策は向上したが？

- 避難所には、全国の自治体からペットボトルのミネラルウォーターが届けられ、自衛隊の炊き出し・風呂サービス、さまざまなボランティアの支援（炊き出し・散髪・見回り……）も
- 応急仮設住宅も、50戸に一つの集会所を設置し、ボランティアが支援に入り、……
- 「被災者生活再建支援法」ができ、自宅を全壊した人には300万円の支援金を給付、…
- しかし、これらはいずれも阪神大震災の30分の1、100分の1、もっと小規模な災害だったから、可能であった。

★では、東日本大震災では？？？

図表 10

は防災とボランティアの日です。今は、災害が起きると市民ボランティアを含めてさまざまな支援が全国から集まることが常識になってきたかと思います。また、応急仮設住宅も、阪神・淡路大震災の教訓を踏まえて、もっと地域の絆を大事にする必要があると分かりました。応急仮設住宅は単なる仮住まいではなく、どのように町や仕事を復興するかということを考えていく復興拠点ですから、抽選方式ではなく地域の絆を大事にすべきだという阪神・淡路大震災の教訓が、2004年の中越地震では忠実に守られました。ところが今回の東日本大震災では、一部抽選に戻ってしまいました。

公平の原則は、仮住まいという断面だけ取ると間違いではないのかもしれませんが、今、東日本大震災の被災地では、復興事業計画を確立しなければいけない時期です。ようやく三次補正でお金が決まり、事業の枠が決まってきて、どのように高台移転をするのか、どのように低地を再生して使っていくのか、土地所有者や住宅所有者と膝詰めで話をしなければいけないのですが、その被災者が隣町の仮設に行っていたり、さらに仮設が足りなかったときは見なし仮設とされたアパートの空き部屋に移っているの、若い人を中心にあちらこちらに分散した状

態になっています。福島の被災者の皆さんは、放射能汚染のために全国に分散していて復興などの話し合いが難しいのですが、津波被災地でも同じような状況にあり、地域の絆が分断されてしまって、それも踏まえながら被災地の災害復興を頑張っているとは思いますが、これから復興を進める上では非常に難しい状況になっています。

もう一つ、この10年間で非常に大きく進歩した政策のシンボルが被災者再建支援法です。2000年の鳥取県西部地震で、被災した過疎地には住宅再建の支援をしないと集落自体が壊滅してしまうということで、片山知事が独自に県費で支援されたことが議論を大きく後押しし、被災者生活再建支援法ができました。制度は何度も改正され、現在は、収入などにかかわらず、自宅が全壊して、新しく住宅を購入または建設する人には300万円（100万円＋200万円）を支給するようになりました。

しかし、この制度ができたとき、私は密かに、首都直下地震で本当に300万円配るほどのお金があるのか心配していました。すると案の定、ないのです。今回の東日本大震災でも12万棟ぐらいが全壊しています。自宅再建に対し、1戸当たり300万円を支援するこの仕組み

は、都道府県が共済的にファンドを積み、それと同じ額を国が補填して助成することになっています。東日本大震災が起きたときには、それまでの10年間で毎年のように被害があつて少しずつ出していたことも原因ですが、180億円しか生活再建支援のファンドがなく、全く足りなかったのが、二次補正で国が2000億円積みました。つまり、ルールが破綻したのです。これが首都直下地震や東海地震、東南海地震のときにはどうなるのかということは、今から考えておかなければいけない課題ではないかと思ひます。

この間、震災対策がいろいろと向上したのは、阪神・淡路大震災の30分の1、あるいは100分の1という小さな災害が続いたからです。被災者一人一人にとっては大変なことですが、震災対策と考えると、小災害であるほど質の高い支援ができるということ、この10年経験してきました。そこで東日本大震災という巨大地震が発生し、ここではどういう復興が成し遂げられるかということが、その次に控えている首都地震、東海地震、東南海地震の先例になっていくのではないのでしょうか。

3. 東日本大震災の歴史的意義

東日本大震災はまだ災害が進行中で、歴史的に評価する段階ではないのかもしれませんが、今われわれが何をやるかということが50年後、100年後にどのように評価されるかと考えてみました。歴史的評価とは、その時代に生きていた人間が評価されることだと私は考えています。この災害は、歴史年表にも必ず未来永劫残るだろうと思います。それは、10都県をはるかに超える、今まで経験したことのない広域災害であり、巨大な津波による激しい巨大災害がもたらされ、さらには原子力発電所の損傷に伴う放射能汚染という新しい災害が複合した、広

域巨大複合災害という特異性を持っているからです。日本は長崎や広島の子爆弾の被害から復興してきましたが、今回はそれとは異なる放射能汚染からの復興を成し遂げなければいけません。世界でもこれだけ放射能から復興する国もないものだと思うほど、これから大変な事態を乗り越えなければいけないのです。

もう一つ、この東日本大震災を、日本という社会がどう受け止めて、どのように新しい国づくりに生かすかということに意義があります。今までは常に人口が増える前提で災害を受け、それをいわば一つの都市成長のきっかけにして都市復興をしてきました。東京では、約90年前の関東大震災後、後藤新平をリーダーとする国家事業としての帝都復興事業がありました。これが今の東京都心部の都市構造を支えており、ほとんどそのまま今の東京都心になっています。後藤新平の復興論は、最新の技術をもって最大の都市をつくるため、可能な限りお金をつぎ込めということでした。その最大の足かせは、そんなにお金をつぎ込めないということで予算が絞られ、後藤新平の描いた絵が縮小したのですが、とにかく今の東京を支えている都心がつくられたわけです。

当時は特殊合計出生率が6人近い時代ですから、人が増えていく前提がありました。従って、爆発的に都市が大きくなることを予見して、なるべく大きく計画的な開発をしようとしたのです。ところが今のわれわれは、人口減少社会に立ち向かおうとしています。地球全体の人口は70億人に達して増大していますが、日本では1カ月ほど前に初めて、住民基本台帳ベースの人口が36万人減り、いよいよ人口減少時代に入りました。その中で、今までの考え方とは全く違う復興計画やまちづくり、都市づくり、あるいは防災まちづくりを考えていかなければいけません。そういう意味で、この東日本大震災

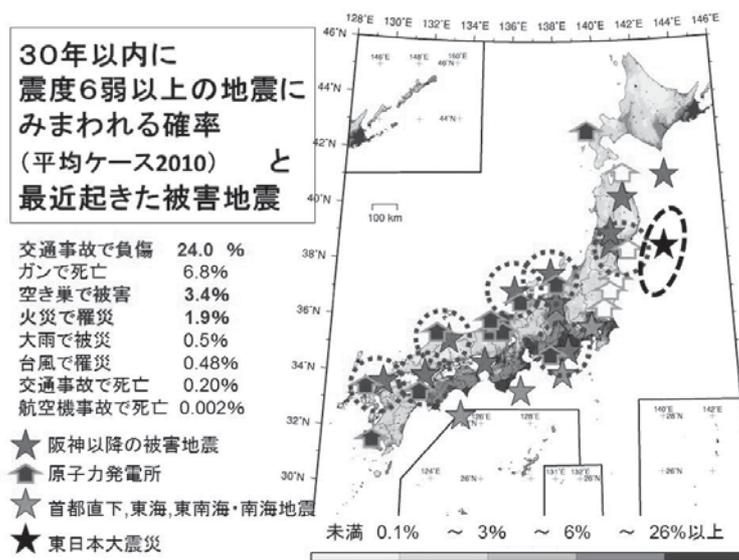
をきっかけに、まちづくりが全国的に大きく変わっていった、その中で首都直下地震あるいは東海・東南海地震への備えをしなければいけない状況にあるのだと思います。

阪神・淡路大震災後、日本でどれぐらい地震が起きやすいのか、どこがどれぐらい地震に遭いやすいのかという情報を出していくことが、防災対策や震災対策の実践・展開に役に立つのではないかとということで、2000年から毎年、長期評価が出されています。都市の近傍にある110の活断層、海の中で過去に被害を及ぼした大地震などの長期評価を基に、各地域が必ず被害が出る震度6弱以上の揺れにどれぐらい見舞われるかということ公表してきました。図表11は2010年7月に公表されたものです。本来は2011年バージョンが出ているはずなのですが、3月11日の後、日本を取り巻く地震環境をすべて見直している最中なので、恐らく2011年バージョンは飛ばして、来年度、2012年バージョンが出るのではないかと考えています。

これによると、東京、静岡、名古屋、大阪という、日本の心臓、肝臓、腎臓、背骨に当た

る重要なところが、最も大きな地震に見舞われやすいことになっています。長期評価では、宮城県沖地震が98～99%の確率で30年以内に起きるそうです。それに次いで、東海地震が87%、首都直下地震が70%、東南海地震が70%、南海地震が60%となっています。しかも東海・東南海・南海は、いずれもマグニチュード8クラスの巨大地震であることもあって、それらの評価が影響して、東海地域が非常に大きな地震に見舞われる確率の高いエリアとされました。そこで、東海地震防災対策強化地域、あるいは東南海・南海地震防災対策促進地域が指定され、さまざまな対策が講じられてきたわけです。

しかし、神様はなかなかそのように動かず、2000年以降、実は長期評価の対象外であった地震が毎年のように起きていました。例えば、鳥取県西部地震、宮城県北部地震、芸予地震などです。2003年十勝沖地震だけは長期評価の対象となっていました。長周期地震動は今、大変大きな話題になっていますが、このときは、苫小牧で長周期地震動に伴うスロッシングで石油タンクが火災を起こしました。そして、2回



図表 11

目の震度7の地震である2004年の新潟県中越地震、2005年の福岡県西方沖地震、2006年3月の能登半島地震、2006年の新潟県中越沖地震、そして2008年の岩手・宮城内陸地震がありました。岩手県沿岸北部地震、静岡県沖地震などは人が亡くなっていますが、被害としては非常に小規模でした。

そうした経験を踏まえて、いろいろな対策がレベルアップしましたし、さまざまな耐震技術も講じられてきたのではないかと思います。今から振り返ると、実はこの10年間、かなり原発の近くで地震が起きていたので、原子力発電所の耐震性能はかなり高かったと言わざるを得なかったのではないのでしょうか。ただ、中越沖地震では、刈羽原子力発電所本体は全く無傷でしたが、付属屋で火災を起こして、1年にわたって発電が止まりました。私は名古屋で幼稚園を卒園した後、両親の実家がある福井県に戻ったのですが、福井には原発がたくさんあるので、若狭湾で地震が起きたら大変だと、冗談半分、本気半分で時々語っていました。刈羽の原発が止まった年の夏は東京電力が大変でしたが、福島沖で地震が起きると福島の原発が止まって、東京は電力不足で活動制約が起きるとも言っていました。狭い日本において、都市の活動は地方に大きく依存しており、都市や町の防災だけではなく、まさに国としての防災をしなければいけない状況なのではないかということ、講演などの際に語っていました。

今回は残念ながら危惧していた状況になってしまった上に、放射能汚染とメルトダウンという、まさに想定外の状況にまで至ってしまいました。津波があと2～3m低ければ、もしかしたら福島原発も助かっていたかもしれません。女川原発と同じように外部電源が1本つながっていれば、最初の揺れを受けてオートマティカルに制御棒が入って本体を停止させ、冷やして

いたはずですが。そうなってれば、今の状況とは全く逆に、日本の原子力発電の技術は素晴らしいという評価が世界からも寄せられていただろうと思います。しかし結果として今回は逆の目の方へ出ており、これが将来的によかったのか悪かったのかということは、現時点で軽々に判断できないとは思いますが、そうした事態を乗り越えて、まさに国づくりをどうするのかを考えなければいけない状況をわれわれに來しているのではないかと思います。この10年間に起きた地震がこれほど原発の近くで起きていたことから、われわれに先読みの能力があり、もう少し早めに議論できていたら、今回の事態は防げたのではないかという気がします。

都市災害の震度7地震である阪神・淡路大震災、中山間地域の震度7地震である新潟県中越地震に続き、東日本大震災は沿岸地域の震度7地震で、津波災害がありました。津波災害の一番大きな特徴は人的被害ではないかと思えます。図表12は9月のデータですが、死者、行方不明者は2万人を切り、死者の身元が判明してきて、行方不明者が減ってきました。

阪神・淡路大震災では5500人が直接命を落としたのですが、4万4000人ほどが災害負傷と登録されています。ところが、今回の津波では2万人近い人が死んで、負傷者は6000人しかいないことから、津波から逃げられなければ死ぬしかないということが分かります。津波に巻き込まれてけがで助かる確率は非常に低く、とにかく避難することが命を守る上で大事だということであらためて示しているのではないのでしょうか。ですから今、専門調査会では東海・東南海地震による津波を見直しており、津波がもう少し高くなる可能性があると言われているようですが、それから命を救うには、避難できるスペースを地域に確保するということが、まず何よりも重要だということであらためて感

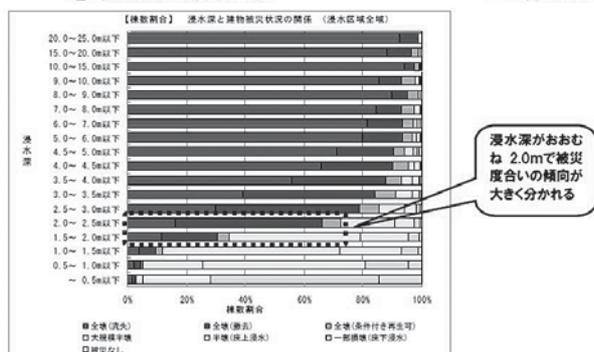
回のような広域災害で、しかも、被災者が自らの生活と命を守るために地域外へ出てしまうと、今の災害対策の仕組みでは手も足も出なくなってしまいました。今回の災害は自治体の範囲を超えた広域災害ですが、東海・東南海地震でも、首都直下地震でも同じような状況が生まれると思います。こうした広域災害に対してどういう対応をするかということについても、非常に大きな課題を与えられたのではないかと思います。

今回の津波被害の状況について、国土交通省で統一的な調査をしたデータが出ています（図表 13）。津波の水深が2mを超えると、家が大

くさん破壊され、被害が非常に大きくなるため、2m という浸水深を一つの津波対策の前提に考えており、建物の構造が違って2mが一つの区切りになります（図表 14）。また、2mを超えると非常に死亡率が上がるということも分かってきました（図表 15）。これから復興で津波にどう対応するかを考えなければいけません。同時にそれは西日本の津波に対してどういう備えをするかということにも共通する課題だと思います。

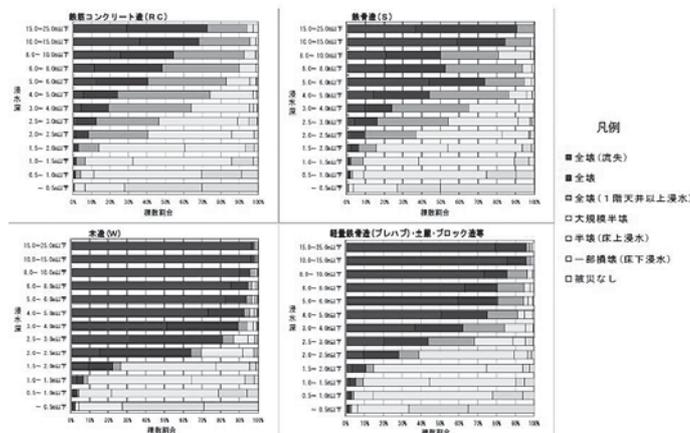
大槌町では町長が亡くなり、山田町は津波で大きな被害を受けました（図表 16）。三陸の工業都市であった大船渡市もかなり大きな被害を

- ◆ 浸水区域面積:約535km² うち、4割超が浸水深 2m以上
- ◆ 被災建物棟数:約22万棟 うち全壊(流失含む)約12万棟
- ◆ 建物被災状況による浸水区域の区分:
 - ①建築物の多くが全壊(流失含む)の区域 ……約 99km²
 - ②建築物の多くが大規模半壊、半壊の区域 ……約 58km²
 - ③それ以外の浸水区域 ……約363km²



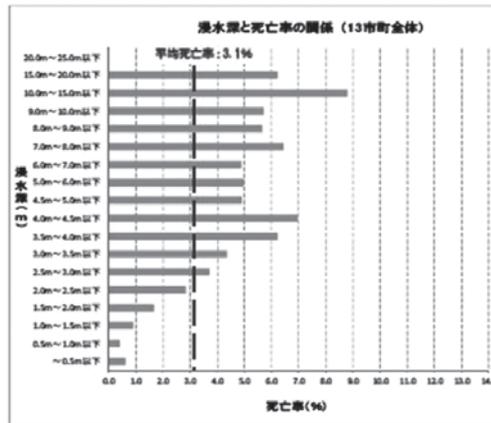
図表 13

津波の浸水深と建物の被害程度



図表 14

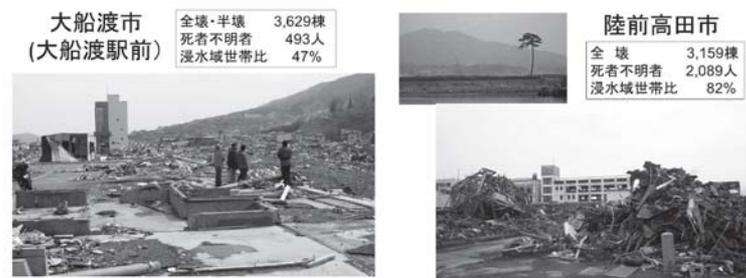
津波の浸水深と死亡率



図表 15



図表 16



図表 17

受けていますし、市役所が壊滅してしまった陸前高田市では市役所も壊滅しました（図表 17）。漁業の中心であった気仙沼市は、低地に人がたくさん住んでいて、大きな被害を受けました（図表 18）。町役場が壊滅した南三陸町は、今回、一番高い津波が来た場所の一つですが、80%の町民の居住地に津波が打ち寄せました（図表 19）。6割の町民が津波によって家を失い、役場のあった志津川は津波浸水高が21mでした。21mというと、普通の建物の5階建てか6

階建てという高さですから、とてつもなく想像を絶する状況だったと言わざるを得ません。

図表 20 は、同じく役場が壊滅するほどの被害を受けた女川町です。被害としてはここが一番厳しいかもしれません。80%の世帯が津波をかぶり、75%の町民が津波によって家を失いました。平坦地で津波被害を受けた場所では、名取市の閑上地区が上げられます（図表 21）。名取市では海辺だけがやられているので、全体ではそれほど大した割合にはなりません、平坦



図表 18



図表 19



図表 20



図表 21

地では逃げ場がありませんでした。また、平坦地の津波としては、869年までさかのぼれば貞観地震による津波がありました。多くの方が三陸ほど津波の経験をしていなかったこともあり、逃げ遅れが生じてしまったのかもしれませんが。

このような津波災害を首都直下地震と比べてみると、人の死に方がすさまじいことがわかります。津波を伴わない揺れの地震が東京で起こることを考えると、負傷者24万人という被害想定がされていますが、これほど多くの負傷者には恐らく対応できないと思います。薬も人も足りないし、病院も足りないという状況をあらためて考えてみる必要があるでしょうし、何よりも建物被害の規模が違います。首都直下地震では85万棟の建物が失われるのです。全壊した世帯数でいうと、一部集合住宅が含まれているので、恐らく東日本大震災で13万～14万世帯、阪神・淡路大震災は19万世帯ぐらいでしたが、東京は恐らく160万～170万世帯が家を

失います。とてつもない災害が切迫していると考えられているのです。

次の災害に対する教訓として、三つの震度7の地震からいろいろなことを学ばなければいけません(図表22)。まず、人口減少時代で資源のない日本は、人の命を守ることが何よりも大事です。生産年齢人口が死んでしまってももちろん困りますが、高齢者も重要な消費人間です。経済は消費がないと回らないので、なるべく人が死なないようにしなければいけません。建物全壊全焼1000棟当たりで、どれぐらいの人がこの三つの震度7の地震で死んだかという、直接亡くなった方は、中越地震では阪神・淡路大震災の10分の1、東日本大震災は阪神・淡路大震災の3倍でした。ここからも、津波沿岸での津波災害は、特に人命にとっては厳しいということがわかります。また、少し耐震補強をすることでその効果が出たことが中越地震で明らかになりましたが、最も高齢化社会が進展していた中越地震では、自宅での生活を失うこと

①阪神・淡路、新潟中越と東日本大震災

	全壊全焼1000棟あたりの被害		
	阪神淡路	新潟中越	東日本
直接死	49.2人	4.7人	165人
関連死	8.4人	16.6人	?人
建物出火件数	2.49件	2.90件	2.89件
電気関連	1.57件	0.65件	?件
電気以外の火源	0.91件	2.26件	?件

従来は、簡易な耐震補強でも「直接死」から命を守る。
 高齢化は「震災関連死」を増やす。
 冬の夕方の地震は火災を多発させる。だったか？

図表 22

②阪神・淡路、新潟中越と東日本大震災

	全壊全焼1000棟あたりの被害		
	阪神淡路	新潟中越	東日本
ピーク避難者数	32万人	10万人	52万人
避難者の発生比	3,000人	30,000人	4,300人
被災地域人口	350万人	35万人	550万人
避難者の人口比	9%	29%	9%

阪神・淡路大震災で発生せず、東日本大震災で発生した
 ・原子力発電所の津波被災 ・放射能汚染
 ・遠隔地への避難 ・電力不足による間接被災

図表 23

によって震災関連死が多くなりました。東日本の場合はこの冬どれぐらいの過ごし方ができるかによって震災関連死が決まってくると思うので、まだ数は分かりません。中越地震で直接死と関連死で亡くなった死亡年齢を平均すると、関連死されている方が約22歳高齢になっています。そういう意味で、高齢社会では、避難所や仮設、いろいろなケアが大事ですが、基本的に、自分の生活スタイルを守れるぐらいの家を持っていないとかなり厳しいのだろうと思います。

また、避難に関しても、この三つの災害は非常に特徴的です（図表23）。被災地域の人口の取り方がなかなか難しいのですが、中越地震では非常に多くの方が避難しました。震度6を超

える余震が6回ぐらいありましたし、最初の震度7の地震の5分後に、最初の震度6の余震がありました。最初の強い本震で家が全壊してもつぶれることは少なく、多くの方が外へ出て、大きい地震で怖かったと言っている間もなく大きな余震が来て、自分の家が揺れるのを外で見ってしまったのです。ですから、怖くてとても家に戻れなかったため、避難者が非常に多くなったのだらうと思います。自宅が全壊した人ではなく、半壊した人でもなく、一部損壊や大した被害がなかった人も避難したのが中越地震だったかと思います。しかし、同じような割合の人が名古屋や東京で避難すれば、場所がありません。そういう意味では、避難を抑えられるような家の造りも非常に大事ではないかと思いま

す。

今回の東日本大震災を教訓に、被災地の災害復興だけでなく、首都圏あるいは西日本の事前復興も進めるべきだと言っています。今回の東日本大震災は未曾有や想定外など、いろいろな形容詞が付きましたが、日本人は過去にもっと厳しい災害を乗り越えてきているのです。将来の人がこの東日本大震災を評価するとしたら、過去の地震に対してどの程度なのかという勝手な年表を作ってみました（図表 24）。インパクト指数はなかなか難しいので、人口1万人当たり何人亡くなったかという分かりやすい数字を出してみました。

そうすると、東日本大震災は1.5人ぐらいです。一番多くの方が亡くなったのは、長崎・広島原爆も含めた太平洋戦争です。名古屋も空襲によって非常に厳しい被害を受けましたが、115の戦災都市を中心に、33万人の民間人が命を落としました。当時の人口は7600万人ですから、1万人当たり43人ほどが亡くなっていることになります。それから90年前の関東大震災では、人口は6000万人しかいませんでした。90年間で倍以上に増えているわけですから、いかに人口が増えてきたかが分かるかと思

いますが、火災を中心に10万人が死んでいます。当時は東日本大震災の10倍ぐらいのインパクトがあったのではないかと思います。幕末の安政年間の人口は3000万人ですが、東南海地震が起き、その11カ月後に江戸直下の地震が起きて、翌年は隅田川が氾濫して大洪水を起こし、黒船が持ち込んだコレラやスペイン風邪が流行して多くの方が新感染症で死にました。徳川幕府はそれで早く倒れたという話もありますが、そんな時代を乗り越えて明治政府が引き継ぎ、近代日本を築いています。そう考えると、平成のわれわれが東日本大震災を乗り越えてより素晴らしい国づくりをしなければ、歴史年表の上で、平成の人たちは何をしていたのだと言われそうだと思うのです。

4. わが国を取り巻く地震環境

現在は首都直下地震、東海・東南海地震が切迫してきているというわが国を取り巻く地震環境を真摯に受け止め、東日本の復興を支援すると同時に、首都圏あるいは東海・東南海・南海地震に対する備えを着実にやっておくことこそ、われわれのなすべき課題なのではないかと思います。研究を進め、それを生かして一人一

東日本大震災の歴史的な位置づけ

	時代	日本人口 (万人)	死者不明者 (人)	比率 (人/1万人)	事象
貞観三陸津波	869	700	1,000	1.43	864:富士山噴火
南海地震津波	887	700	多数	—	
慶長東海/東南海	1605	1200	2,500	2.08	
慶長三陸津波	1611	1200	6,800	5.67	
元禄地震	1703	2000	5,200	2.60	1707:富士山噴火
宝永東海/南海地震	1707	2000	4,900	2.45	
安政東海/南海地震	1854	3000	20,000	6.06	1858: コレラ・スペイン風 邪で数十万人死亡
安政江戸地震	1855	3000	10,000	3.33	
安政江戸水害	1856	3000	—	—	
明治三陸津波	1896	4200	22,000	5.24	
関東大地震	1923	6000	100,000	16.66	
昭和三陸津波	1933	6800	3,050	0.44	
第二次戦災空襲	1945	7600	331,000	43.55	戦災都市 115市
阪神・淡路大震災	1995	12400	5,502	0.44	11万棟全損
東日本大震災	2011	12700	19,800	1.57	12万棟全損

図表 24

人ができることをしていくことが求められているのではないかと思います。

阪神・淡路大震災、東日本大震災と比べてみると、首都直下地震にしろ、東海・東南海・南海地震にしろ、相当規模の違う巨大災害が控えています（図表 25）。これを乗り越えるためには、災害が起きて、被害想定どおりに被害が出てから復興するのでは、恐らくお金が足りません。今は、12兆円の三次補正を出すのにこれだけ議論をしなければいけない国家財政なのです。一次補正、二次補正も合わせて、2012年も含めると23兆円が要りそうだとのことです。東海・東南海地震と首都直下地震、どちらが早いかわかりませんが、被害想定を基にすると、首都直下地震の復興費用は65兆円と内閣は公表していますし、東海・東南海・南海地震も35～40兆円という話になろうかと思います。そのお金をかけて復興するよりも、いかに被害を減らすかということをもっと真剣に考えなければいけないのではないかと思います。もし被害が減れば、お金を無駄遣いしなくて済むからです。

そう言うと少し語弊はありますが、何が無駄遣いなのでしょう。例えば避難所へ行って食

事をもらうのも無料ではなく、災害救助法に基づいて国費がつき込まれているのです。1人が1日、避難所で弁当とおにぎりサンドイッチとペットボトル飲料で1000円を使うとして、1人が3カ月間避難所にいれば9万円かかります。それが何百万人という話になると、それだけで何千億円も必要です。下手をすると1兆円に上るでしょう。また、仮設住宅を造ると、1世帯当たり300万円の建設費に加え、ライフライン整備を入れた建設費が必要です。また、洗濯機と冷蔵庫とクーラーは仮設住宅の3点セットになっているので、それを付けて、さまざまなボランティア支援その他を入れてざっと計算すると、生活再建支援法の300万円も含めて恐らく1000万円ぐらいかかります。

被害を受けると、それくらいの金額を1世帯ずつ国費として負担し、その先に復興があるわけです。そう考えると、首都直下地震や東海・東南海地震のような大きな災害では、避難所や仮設住宅という復興プロセスの間に使うお金だけで10兆～15兆が出てしまいます。私はそれを、誤解を恐れず、強いて無駄遣いと言いますが、被害を受けていない今なら仮設住宅も避難所も要らないので、その中でいかに被害を減ら

阪神大震災・東日本大震災に続く広域巨大災害

	東海・東南海・南海地震(推定)	首都直下地震(2005想定)	東日本大震災(2011)	阪神・淡路大震災(1995)	
震源	南海トラフ	東京湾北部	日本海溝	淡路島～宝塚	
地震の規模	M9.0?	M7.3	M9.0	M7.3	
風速	15m/秒	15m/秒	—	3m/秒	
時期・時刻	冬夜間	冬18時	冬14時46分	冬5時46分	
人的被害	死者	27,000人	11,000人	19,900人	5,502人
	負傷	300,000人	200,000人	6,000人	44,000人
建物被害	全壊	450,000棟	200,000棟	119,000棟	105,000棟
	半壊	—	—	178,000棟	144,000棟
焼失棟数	90,000棟	650,000棟	—	7,432棟	
避難者	6,000,000人	7,500,000人	520,000人	320,000人	
帰宅困難者	—	6,500,000人	—	(出勤困難)	
経済被害	85兆円	首都圏112兆円	推計23兆円	直接被害10兆円	

被害は阪神・淡路大震災も東日本大震災も大きく上回る!!

図表 25

すか考え、耐震改修やさまざまな防災まちづくりや都市づくりを進めておくことが、結果的に限りある財源を有効に使って、次の災害を乗り越えられることになるのではないのでしょうか。今はそういう発想をしていく状況にあるのではないかと考えています。

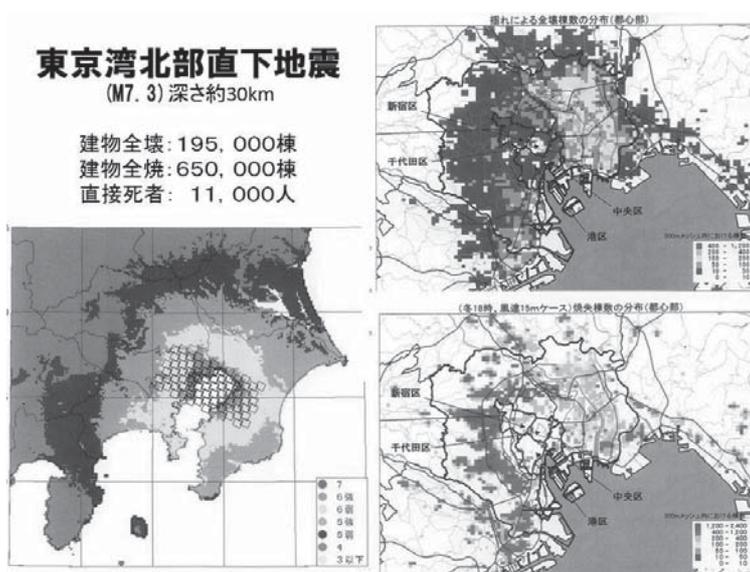
首都直下地震では85万棟の建物が全壊・焼失すると言いましたが、冬の夕方18時、風速15mという相当強い木枯らしが吹いているときに地震が起きるとどうなるかという想定図があります(図表26)。これはいずれ見直されると思いますが、震源が東京湾北部で、マグニチュードは阪神・淡路大震災に合わせて7.3としています。その直上の埋め立て地や沖積平野では震度6強の地震が起こります。それを取り巻く20～30kmぐらいの面積で震度6弱となり、このエリアに被害が集中するでしょう。揺れによる被害は震度6強の沖積平野を中心とし、火災は震度6弱の木造の密集した山の手市街地を中心に発生するという被害想定になっています。黄色で示した震度6弱と、茶色で示した震度6強のエリアに2500万人が住んでいます。すなわち、国民の5分の1が被災地に巻き

込まれるのが首都直下地震なのです。

東京の人には脅かし半分、本気半分で言いますが、首都直下地震には、われわれが自立して対応するしかありません。被災地外からわれわれを支援してくれる人は1億人いますが、1人当たり換算すると4人しかいないのです。阪神・淡路大震災の被災地は350万人ぐらいのエリアで、それを1億2300万人が支援したわけですから、1人当たり約40人の応援団がいます。同様に考えると、東海・東南海地震の応援団も一桁しかいないかもしれません。

首都圏直下地震では85万棟の被害が想定されていますが(図表27)、東京都で50万棟、神奈川県で12万棟、千葉県で11万棟です。阪神・淡路大震災の被害量の約5倍が東京で発生するという事なので、被害が発生してからいかに対応・復興するかというよりも、地震が起こるまでにいかにこの被害を減らせるかということこそがより重要なのだと考えなければいけないと思っています。

災害という意味では、阪神・淡路大震災を1Hとすると、これに対してどれくらいかを計算しました。東日本大震災の被害は、農地その



図表 26

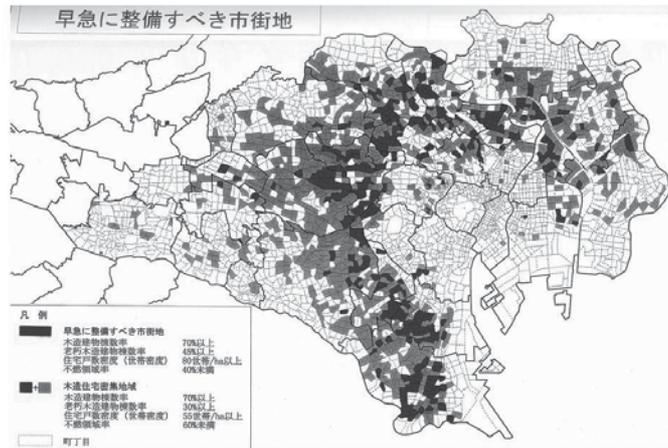
都県別に見た「東京湾北部地震」の被害想定(内閣府)

	全壊・全焼建物(棟)				死者数(人)			
	揺れ液状化	急傾斜地崩壊	火災	合計	倒壊落下物	急傾斜地崩壊	火災	合計
茨城	1,400	10	—	1,400	—	—	—	—
栃木	—	—	—	—	—	—	—	—
群馬	40	—	—	40	—	—	—	—
埼玉	16,200	100	69,000	85,000	220	—	500	700
千葉	24,900	800	86,000	110,000	460	50	700	1,200
東京	117,800	4,200	410,000	530,000	2,700	400	4,700	7,800
神奈川	23,800	6,900	86,000	120,000	400	400	300	1,200
山梨	50	—	—	50	—	—	—	—
静岡	—	—	—	10	—	—	—	—
合計	183,000	12,000	650,000	850,000	3,900	900	6,200	11,000
比率	22%	1%	77%	100%	35%	8%	57%	100%

阪神淡路大震災の建物被害を<1H>とすると、東京5H、神奈川1H、千葉1H、埼玉0.8Hである。

図表 27

地震災害に脆弱な木造密集市街地



図表 28

他、経済的な損失を入れると、600kmにわたる東日本の太平洋側が被災しているので、被害は20兆円を超え、阪神・淡路大震災の倍に当たりますが、建物だけで見れば1Hです。しかし、次に来る被害はとても1Hではありません。

東京にはまだ多くの木造密集市街地があります(図表28)。この密集市街地も空襲でだいぶ焼けたのですが、東京の戦災復興は後回しになって、十分にできないまま終わりました。広島・長崎の戦災復興は、原爆が投下されたので平和都市建設として最優先されましたが、地方都市優先ということで、名古屋その他の東京以外の115都市において戦災復興を優先的に展開した結果、東京では戦災復興で2万haの区画

整理計画を立てたのですが、実行できたのは4000ha程度でした。その結果、木造密集市街地が再生してしまい、今日に至っています。都市計画の専門家から見ると、結局どこかで1回都市計画をきちんとやらないと、市街地の安全性は基本的に上がらないのではないかと感じています。これを災害復興とするのか事前復興とするのかが大きな分かれ目です。私は、人の命を守り、国力を維持する上では事前復興しかないのではないかと考えています。

東日本大震災の災害復興、首都圏・西日本の事前復興という国づくりを、ここ10~20年でやるべきだろうと思っています(図表29)。そのときのキーコンセプトは四つあると思いま

20年先を見通した 二元復興の「国土復興」を

- 「東北の再生」から「国土の再生」を描く「ものごと」を作っていくキーワード
- 「分散」と「連携」・・・産業、リスク、人口・・・
- 「縮減」と「活力」・・・地域社会・・・
- 「共同」と「協働」・・・土地利用、社会活動・・・
- 「安全」と「安心」・・・物財の「相対安全」と生命の「絶対安全」と
- 「二元復興」とは、東日本の「災害復興」と首都圏・西日本の「事前復興」の取り組み

図表 29

す。一つは「分散」と「連携」、すなわちリスクの分散あるいは産業の分散です。今は円高という厳しい逆風の中で、多くの企業が海外への分散・展開を図っていますが、もう少し国内に分散してほしいというのが正直な気持ちです。東日本大震災で受けた被害を5年で元に戻して、10年目にプラス20%ぐらいの地域力を付けておくことが、西日本で次に大きな災害があったときの助けになります。今は所得税を上乗せして復興資金を出しているのですが、被災地では特例で被災者の所得税は減免されるので、西日本と首都圏の力で東日本の復興を支えようとしているわけです。今度、西日本で地震が起きれば、首都圏と東日本で支えなければいけません。首都がやられたときには、東日本と西日本で支えなければなりません。そういう国づくりをしていかないと、先細りの世の中になってしまうのではないかと心配です。従って、国内にリスクの分散と称した産業の分散をしてもらい、雇用の場を確保し、日常生活的にもセーフティーネットがきちんと守られるようにしていくような国づくりが大事ではないでしょうか。失礼があるかもしれませんが、「国破れて企業あり」では少し寂しいので、国とともに企業があってほしいと思います。

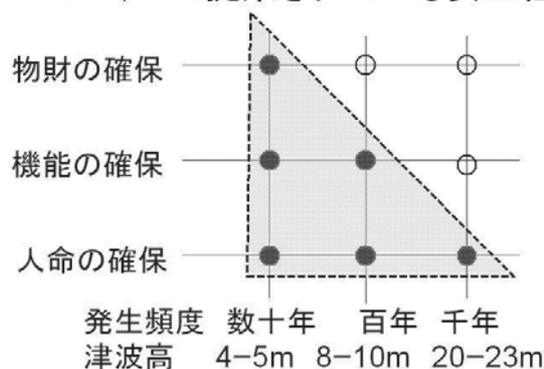
人口が減ることを防ぐためには開国しかないと思います。海外からたくさんの人を入れて、

アメリカ合衆国ほどにはならないにしても、多文化共生型の国づくりをすると、人口は減らないと思います。そこで必要なのは、規模も大事ですが、質です。つまり、どれだけ元気を保った社会になれるか、本当の意味の成熟社会をどうつくるかという意味で、国づくりであると同時に、地域社会をどのように元気づけていくかを考えなければいけません。

また、人口が減ると相対的に土地が増えるわけですが、そういう意味ではいよいよ土地所有制度にメスを入れて、安全な土地をみんなで利用し、みんなの生活が安定して命が守られる国づくり、都市づくりを進める時代に入ってきたのではないかと思います。つまり、土地を持っても値段が上がる時代ではなくなるだろうということです。その中で、土地を持っている人も持っていない人もそれぞれが役割分担をして、コラボレーションした元気のある社会をつくっていかなければいけません。

何よりも財政の制約があるので、これからのまちづくりでは安全や安心が非常に制約を受けるでしょう。地震によって物は失われるかもしれませんが、再生できます。しかし、人間の命は再生できないので最大限守るということを前提に、東日本で津波レベル1、レベル2という議論があるのです（図表30）。1000年や500年に1度の津波からは逃げて命を守るけれども、

レベル1, 2で提案されている安全性



図表 30

物は失うかもしれないという概念で、東日本の復興だけではなく、首都の防災都市づくりや西日本の防災都市づくり、地域づくりをとらえていかなければいけないのではないかと思います。

二元復興、つまり災害復興と事前復興に基づいた無駄のない国づくりをすべきではないでしょうか。3年か5年で、東日本をまず元に戻し、さらにその先の5年でもっと充実させます。同時に、最初の5年ぐらいは東日本の復興を優先するにしても、西日本あるいは首都圏での防災都市づくり、地域づくりの仕込みを整え、後半の5年でどこまで被害を軽減させることができるのかというところでどう持ち込むか。お金がないからといって地震は待ってくれないので、ないお金を無駄なく使う仕組みを考えなければいけないのではないかと思います。

また、省電を目指すことも考えられます。節電とは我慢しろという話ですが、電気がそれほど要らない社会をつくっていくのです。今はスマートグリッドやエネルギー供給効率をいかに上げるかという議論が多いのですが、同時に、消費側の効率をいかに上げるかという議論も必要です。これは日本が最も得意とする技ではないでしょうか。節電ではなく、今ほどエネルギーが要らないような社会ができてくることも、無駄のない社会につながるのではないでしょう

か。原発が津波で今回のような事態に至らなければ、日本の原発システムは世界で売れたらと思うのですが、それはもう無理なので、むしろ小さいエネルギーで高いパフォーマンスを得られるような省エネルギー型の地域づくりのモデル、まちづくりのモデルを東日本大震災を受けて実現し、人口が急増する発展途上地域へのモデルとして輸出するという展開をすべきではないでしょうか。以上が私のグランドデザインです（図表 31）。

5. 二元復興の国づくりへ

二元復興の国づくりは何とかなるのではないかと、少し楽観しながら思っています。安全のレベルは、今回東日本の復興でいろいろ議論されてきましたが、むしろその議論を西日本の防災まちづくりに生かして、1000年に1度の規模であればまずは命を守り、100年から数十年に1度であれば物を守るという発想で、災害復興も事前復興も進められれば、切迫する大きな災害を乗り越えて持続できるのではないかと思っています。

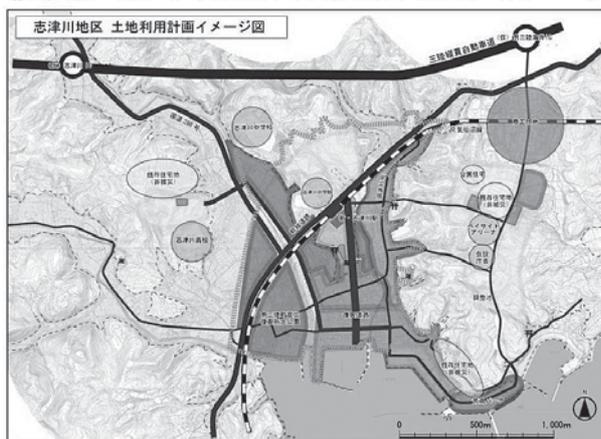
図表 32 は私がお手伝いしている南三陸町の復興のイメージ図です。高台へ移転するのか、どのように移転できるのかという詰めを、これからやらなければいけません。震災前、南三陸町は本当にきれいな町でした（図表 33）。図表

国土復興グランドデザインの道程

	東日本の災害復興	首都圏・西日本の事前復興
2011-2013 ＜復旧期＞	＜被災地域の災害復興＞ ・被災集落・市街地の復興 ・被災各県(6県)の復興 ・東日本発展の基盤づくり ・被災地の主体復興と県・国家の直接的支援	・東日本の復興支援 ＜西日本の緊急事前復興＞ ・原発・火発の耐震補強 ・各地域の防災まちづくり・いえづくで「被害軽減」
2014-2016 ＜復興期＞	＜東日本の災害復興＞ ・東北6県連合・連携の「大東北」づくり ・地域・民間の主体復興と県・国家の間接的支援	＜西日本の事前復興＞ ・西日本の事前復興としての民間事業の再立地の誘導 ・東日本に経済特区・復興特区の導入
2017-2020 ＜発展期＞	＜東日本の自力発展＞ ・「大東北」の発展・成熟 ・西日本・首都圏を支える東日本づくり ・地域・民間の自力発展	＜西日本の被害半減達成＞ ・西日本の安全化 ・首都直下を支える西日本 ・西日本を支える首都と東日本
2020以降 ＜成熟期＞	・「東日本」「首都圏」「西日本」が自立し支えあう、国土の形成へ ・グリーンルネッサンスの国づくり＝グリーン・ジャパン・モデル ・陸路・鉄路・空路に、あらたに「海路」づくりもグリーンモデルの一つ	

図表 31

復興における土地利用計画のイメージ



図表 32

34は私が描いたイメージ図です。山をあまり削りたくないで、山の谷に盛り土をして使えないかと考えています。津波をよけながら、最終的に命は確実に守れるような都市づくりで山を守ることが、三陸の漁業を守ることにつながるのではないかと、サステナブルな環境を復興によって再生すべきではないでしょうか。今後どうなるのか分かりませんが、そう考えています。

東日本の復興を進める上で、これから大いに議論しなければいけないのは、放射能問題が深刻な福島県の復興です。場合によると、本当に

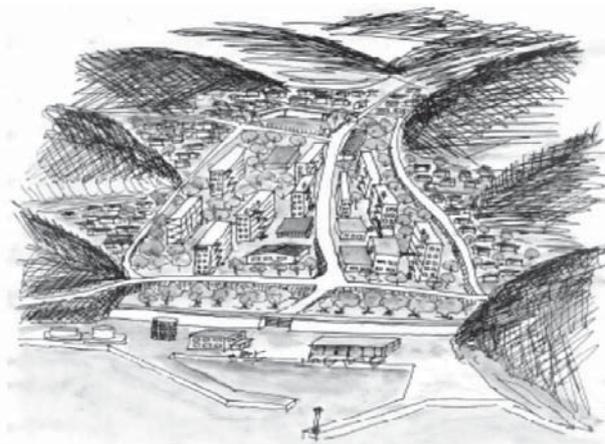
村ごと移転復興せざるを得なくなるかもしれません。150年前に十津川村が土石流で流されて、村の半分以上が北海道へ移転して新十津川町ができました。この間の台風で十津川村は再び土石流に遭ったので、新十津川町から支援が入っているそうです。今は福島県から栃木県にかけての場所と、愛知県、三重県から滋賀県にかけての場所にも首都移転用地があります。本当に空想で井上ひさし流ですが、それら3カ所の首都移転用地をうまく使った福島の復興は、もしかしたら可能ではないかと考えています。

今、福島県では除染を進めています。東京で

震災前、光り輝いていた南三陸町



図表 33

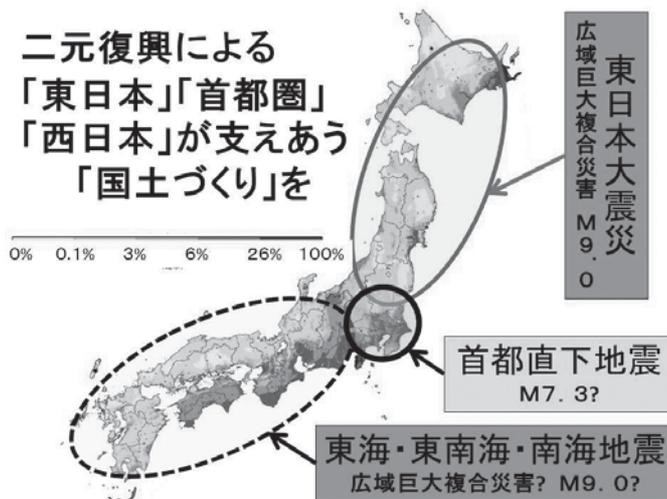


多重の安全性で「守る」街の復興イメージ
「海を守ってきた山」を大きく削ることなく、
「財産を守る防潮堤」の施設整備と「命を守る高層ビル」化

図表 34

もホットスポット的に汚染が進んでいますが、そういった汚染物質を集めて、どこかで本当の除染をして分離して、濃縮した放射能物質を保管しなければいけません。その場所は福島県外にするというスタンスを取っていますが、沖縄の基地問題以上に引き受けるところがないのではないかと考えると、原子炉の廃炉だけで30年かかると言われていますから、原子炉のある地域を放射能の除染拠点として考えるということも、国全体ではあり得るのではないのでしょうか。福島の問題ではなくてわが国の問題ですから、福島を日本全体で支えなければいけません。福島復興で一番大変なのは軽度汚染です。

きちんと検査をしてOKが出た福島の農産物が市場に出てくるので、それをわれわれが買って食べるという行為を通して、地域の復興が成り立つのです。福島県産と宮崎県産があれば、みんなが宮崎県産を買うということになってしまうと、福島は永遠に復興できません。本当に国ぐるみで、1億2000万人でこの災害を乗り越え、かつ、次の災害を迎え撃つ取組にしなければいけないのではないかと考えています。東日本大震災の被災地と、首都直下地震や東海・東南海・南海地震で被害を受けられる地域がお互いに支え合うことで、初めて次の災害を乗り越えられるのではないのでしょうか（図表35）。



図表 35

(2) 「事前復興」の震災対策 被害想定に基づく3つの被害軽減方策

- ・ 第1：地震動による直接被害発生（一次）の軽減
事前の耐震補強・不燃化によって軽減できる。
<防災いえづくり・防災まちづくり>
- ・ 第2：災害発生後の直接被害拡大（二次）の軽減
事前の防災まちづくりで街路・広場・水槽等の整備
事前の防災訓練を活かした
事後の消火活動・救出救助で軽減できる
<自主防災活動・防災まちづくり>
- ・ 第3：間接被害（関連死・損失）の軽減
事前に復旧復興対策・復興訓練を準備して
事後の被災者対応・復旧復興対策の実践で軽減できる
<復興まちづくり・都市づくり>

図表 36

東京で行っている事前復興の取組をご紹介します（図表 36）。東京では被害を減らそうと、既に 30 年も取り組んでいます。東京都が出している被害を減らすためのマスタープランは、防災都市づくり推進計画です（図表 37）。これは、木造建築物が密集した市街地の大火災から市街地を守るため、都市計画道路などの広幅員の道路と、その沿道の建物を燃えにくい建物にして、火災を食い止める延焼遮断帯を作ります。まず、幹線道路を骨格防災軸として、これで約 4km 四方に市街地を区分します。さらに、主要延焼遮断帯で 2km 四方に市街地を区分します。最終的には 1km 四方に市街地を区分し、

木造の密集した市街地を、東京都の震災対策条例という条例に基づいて整備地域に指定します。そこに集中的に補助をして事業を入れ、被害の出ない町にしていこうとしています。

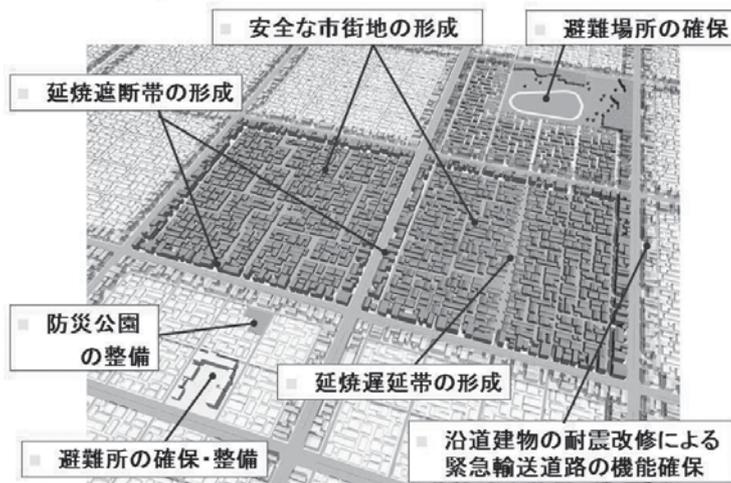
まず延焼遮断帯を形成し、火災はなかなか収まらないので、安全に命を守る避難所を確保します（図表 38）。それから物資が必要になるので、物資や人員を被災地に入れるための道路の閉塞を避けるため、緊急輸送道路の沿道の建物は、鉄筋コンクリートの建物で耐震補強を義務付けるといった条例が最近作られ、密集市街地内での安全なまちづくりを少しずつ進めています。6m や 8m の道路を作ったり、その沿道の

①被害軽減のための「防災都市づくり計画」
 整備地域・重点整備地域
 延焼遮断帯



図表 37

防災都市づくりの基本的な考え方



図表 38

建物に優先的に耐震補強や不燃化を施します。延焼遅延帯では、ゆっくり燃やすことによって逃げる時間が稼げます。そしてその間に、その道路を使って、地域の皆さんが初期消火をして火災を消し止めたり、救出・救助活動をする舞台を作ります。防災公園を整備したり、避難所を確保することもすべて、ある意味では舞台作りです。地域の皆さんが、わが町で災害と戦い、ハードもソフトも合わせて初めて災害を乗り越えられるのだと思います。

私が作った『防災まちづくりとは何か—ス

ケールとメニュー—』は(図表 39)、どんなことをすれば防災まちづくりができるかを示しています。わが家、隣近所、町内会・自治会、学区などの日常生活圏的なもの、自治体別に、物的な防災力(建物づくり、道路づくり、設備づくり、広場づくり、水・みどりづくり、施設づくり)というハードウェアで災害を減らす取組と、人的防災力(人づくり、組織づくり、行動計画づくり、ルールづくり)のソフトウェアを示しています。全国の先進的な取組も含めて整理し、こんなにいろいろなことができるのだ

③なぜ、東京都で事前復興対策か

- 中央防災会議の首都直下地震の被害想定によると、最悪ケースの「東京湾北部地震」では、建物全壊20万棟、全焼65万棟、復旧費65兆円、経済損失47兆円。
 - 東京都だけでも、270万棟のうち、50万棟の住家の全壊全焼。
- ★阪神・淡路大震災を5倍も上回る被害からの復興を、阪神・淡路大震災の復興時間ペースで復興するにはどうしたらいいのか。
- 「復興の進め方」と「目指すべき目標像」を事前に準備し、公表して、都民と共有しておくこと。
 - そして、復興でめざすべき都市像を、事前に実践しておくこと。

図表 40

復興対策の事前準備が重要 —3段階の事前復興計画論—

- ① どのような復興を目指すのか
復興デザイン・ビジョン論：復興目標像づくり
• 「震災復興グランドデザイン」
- ② どのように復興計画を策定するのか
計画・事業ガイドライン論：復興計画づくり
• 「震災復興マニュアル(復興施策編)」
- ③ どのように復興を進めるか
復興プロセス・運営論：復興実践論
• 「震災復興マニュアル(復興プロセス編)」

図表 41

形で、都が議論の素材を提供しています。それから、そのグランドデザインをどういう手続きで計画するのかということは、行政の方に知っておいてもらう必要がありますが、震災復興のマニュアルという形で、行政の方用の施策編があります。さらにそれを実践するには、行政だけではなく、地域の皆さんと一緒にやらなければいけません。そこで、基本概念である地域共同復興の中でどう進めるのかということも、今から公表しておこうとしています。皆さんの防災のまちづくりに努力はするけれども、被害が出た場合にどんな復興になるのかということ、今から了解しておいてほしいということです。

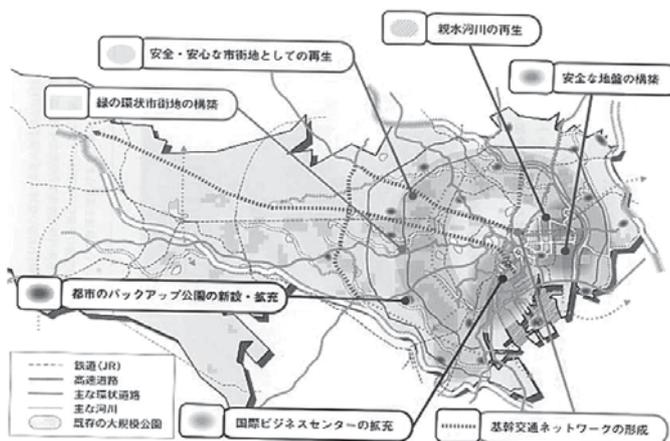
マニュアルは、制度が変わったりするとメニューが変わるため、バインダー方式になっています。図表 42 の右にあるのが目標像を示したグランドデザイン、中央がどう復興するかを示したプロセス編です。グランドデザインは10年前に作ったままなので、来年から見直そうと、東京都と議論しています。復興の準備という意味では、私が座長を仰せつかっている東京都震災復興検討会議があります。ですから、もし明日地震が起きると、私は明後日呼び出されます。その検討会議で少なくとも1回は、東京の復興の議論をしよう、起きてから委員会を立ち上げるのはとても大変なので、できれば今から立ち上げておこうということで発足しまし

東京都の事前復興対策
震災復興マニュアル（施策編）／（プロセス編）／震災復興グランドデザイン



図表 42

復興戦略プロジェクト「震災復興グランドデザイン」



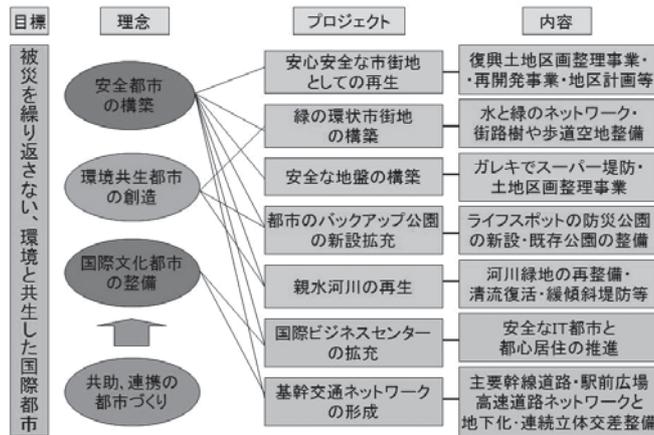
図表 43

た。私は、復興検討会議が毎年東京都の復興に関して事前に何をしたかということをチェックする役目を仰せつかっています。

震災復興グランドデザインでは、被害想定を基に、被害を受けるところでどんな復興をするのかという復興戦略プロジェクトを公表しています（図表 43）。また、どんな復興をするのかをあらかじめ知っておいてもらおうということで、目標も立っています（図表 44）。それによると、理念、安全都市の構築と環境共生都市と国際文化都市を整備し、共助と連携で復興し、木造密集市街地を安全・安心な市街地に再生し

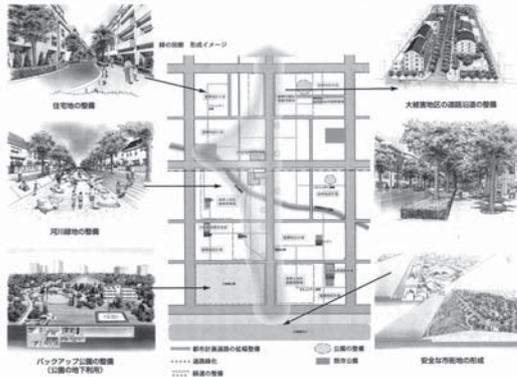
ます。また、緑豊かな市街地に再生します。東京東側にたくさんある海拔ゼロメートル地帯の地盤を強いものにしていきます。木造密集市街地は、都市計画をしていないので公園がありませんが、それをバックアップできるような公園を作ります。また、川をうまく使ったり、国際ビジネスセンターを拡充して国際文化都市の基盤をつくります。それから、幹線道路を含めた交通インフラをきちんと整備するということ、戦略プロジェクトにするということで、既に出しています。図表 45 のようなイメージ図も公表されています。

「震災復興グランドデザイン」の構成

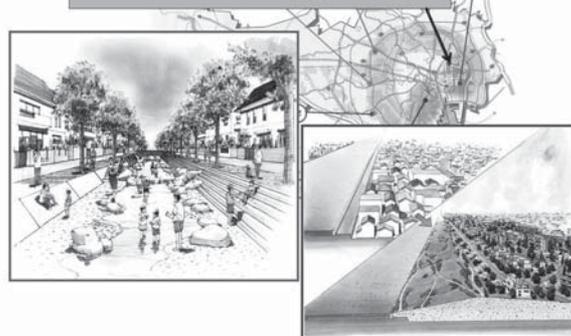


図表 44

木造密集市街地の復興：「緑の回廊」プロジェクト



親水河川プロジェクト & スーパー堤防プロジェクト



図表 45

東京都の事前復興の取り組み

- ①東京都主導の「都市復興模擬訓練」
 - * 行政職員による都マニュアル「復興施策」の実践的訓練
 - * 都市整備局主導で1998年度から毎年開催(第14回)
 - * 「地域協働復興」による都市復興の進め方の疑似体験。
- ②区市の「復興マニュアル・復興条例」づくり
 - * 復興の最前線となる区市の事前復興の取り組み
 - * 19区1市で様々な取り組みが進展中
- ③「復興まちづくり模擬訓練」
 - * 復興まちづくりプロセスの地域社会との共有化
 - * 16区市40地区以上で「復興まちづくり訓練」を実践し、区市のマニュアルづくりや新しい防災まちづくりの展開に。

図表 46

さらに、このようなものを作って棚に入れて終わりでは駄目なので、毎年、東京都主導で、区市町村の行政職員に対し、災害復興の訓練をしています(図表46)。そこでは、マニュアル

の実践も含めて、どういう進め方をするのかを訓練します。それらの訓練を通して、復興の現場である区市に復興マニュアルや復興の準備を進めてもらおうとしています。現在は23区中

19区でマニュアルができて、さまざまな取組が進んでいます。

さらに、行政が町へ出て、町の皆さんと一緒に復興を考えています。今は40地区以上で、6年ぐらいかけてやってきました（図表47）。その内容は、まず町を歩いて、皆さんの町の危険をあらためて確認してもらいます。こんなに危険があるから何とかしようという意識が従来の防災まちづくりでしたが、この危険が顕在化したらどうなるかを知るため、シミュレーションで町を燃やしてしまうのです。皆さんが被災者になった場合に避難所はどうするか、仮設はどうするか、その先どんな復興をするかということテーマに、何回もワークショップを重ねて、復興がいかに大変かということを疑似体験する

のです。そこから巻き戻って、不幸にして大きな被害を受けてしまったらどう復興するかを考えたけれども、今やれることは何なのか、今から被害を減らすための取組もあるのではないかと、新しい切り口でも防災まちづくりを考えています。

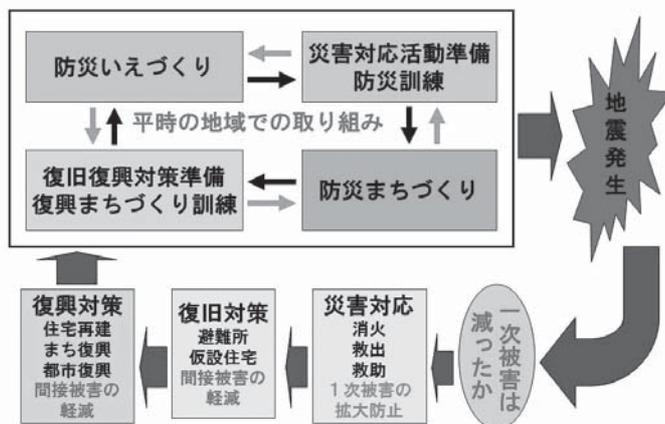
6. 東日本に学んですべきこと

今の東京の防災まちづくりとしては（図表48）、まず、家づくりをきちんとすることが必要です。これはなかなか進みませんが、耐震改修や不燃化を進めるということです。それから、いわば被害者にならないための防災訓練をしています。また、そうした訓練を生かすための舞台作りとしての防災まちづくりや、ここ数年は



図表 47

事前復興の取り組みで「災害に強いまち」を



図表 48

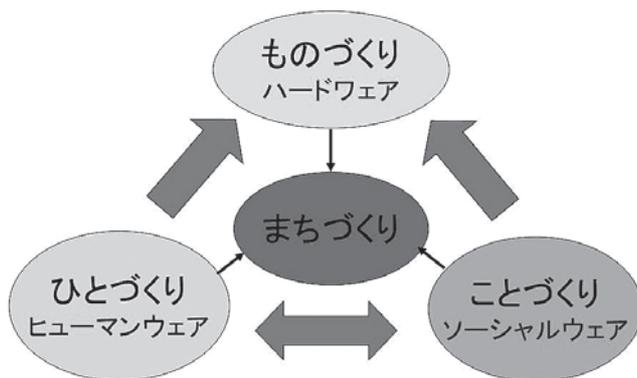
復興まちづくりに取り組んでいます。被災者になってみたらどうなるのかということ、思い切って発想を転換して疑似体験してみる。以上の四つをぐるぐる回しながら、各地域での防災まちづくりを進めていこうとしています。こういうことが、次に地震が起きたときに被害を減らすことにつながって、被害が減ればうまく対応ができ、うまく対応ができれば復旧・復興もよりスムーズになるでしょうし、もしかしたら復旧・復興は要らないかもしれません。そういうまちを目指して、それぞれの地域で継続的な取組をしていくことが非常に大事ではないでしょうか。

そのためにまずは、やはり人間が動かないと何も始まりません。気付きも含めて、みんなが

防災達人になれば、いろいろなことができます。そういう仲間を集めるために、ことづくりをしています。地域で何かをやってみるといったように、ソフトウェア的に動きだして、初めてものができてくる。時間はかかるでしょうが、このような展開でやるしかないだろうと思います（図表 49）。

地縁社会という古色蒼然ですが、防犯にも福祉にも、顔が分かるまちづくりが大事です（図表 50）。それから、緑をどれだけ守るかということが災害を防ぐ上では重要なのではないのでしょうか。ブロック塀を生け垣にすることで、だいぶ町の安全が変わるのではないのでしょうか。ヒューマンスケールやコミュニティスケール、自立性、サステナブルなど、防災とは違う

3つ「つくり:とりくみ」と「まちづくり」



図表 49

「顔」が分かる「街づくり」、 緑に触れられる「街づくり」を 基本とする「都市づくり」とは コンパクトシティ

- 「ヒューマンスケール」
- 「コミュニティスケール」を大事にする「都市」
- 「自立性」を保持する都市
- 「サステイナブル」な都市
- そして、それは「安全／安心」の都市である

図表 50

言葉が災害に強いまちづくりの鍵になるのではないかと思っています。つまり災害は、日常のまちづくりを問うテストなのです。日常的にどのようなまちづくりをしていたかによって、災害発生後にどういう状況が生まれるか、どう災害を乗り越えるかが決まってしまう。起きてからでは遅いと考えて、防災でなくてもまちづくりをしておくことが、災害に対する究極の備えにつながるのではないかと思っています。

今回は想定外ということを言いましたが、究極は復元力（レジリエンス）という言葉がよく使われます。つまり、このまちに住み続けたいという思いをまちの皆さんがどれだけ持つかということが、これからの時代の災害を乗り越える力につながるのではないのでしょうか。東日本大震災の被災地で、その土地を離れてしまった人が大勢いますが、その人たちが戻ってくれるかどうかで、復興がうまくいくかどうかが決まります。みんなが戻って楽しく生活ができれば、新しい人が参入してくるかもしれません。復興をもたらす底力は、災害前の生活で、その生活に対する愛着や誇りなどを皆さんがどれだけ持っていたかにかかっているのではないのでしょうか。そういう意味で、私たちは自分のまちで、

どれだけ誇りや愛着を持って日常生活をするかということをもっと大事にすべきでしょう。

災害発生前の災害に対する備えは、半分以上は想像の世界です（図表 51）。今回は想定外という言葉がはやりましたが、想像力がない人にとっては何が起きてても想定外です。想像力がたくましい人は、そんなことが起きるかもしれないと思っていたことが起きた場合は想定内ですから、落ち着いて対応ができます。そういう意味で、イメージネーションの力（想像力）が必要ですし、イメージができれば、今の対策はどうなっているのか、対策がない場合はどうすれば克服できるのかという創造力も大切です。この二つの「そうぞう力」をたくましくすることが、想定外を乗り越えることにもつながるのではないのでしょうか。それは、日常のまちづくりの中で、お互いにコミュニケーションしながら高めていく力ではないかと思っています。

（司会）先生、ありがとうございます。事前復興や二つの「そうぞう力」という話も本当に分かりやすく、興味深かったと思います。今日のご静聴ありがとうございました（拍手）。

「想定外」を乗り越え、復興させる 「まちの危機管理力」とは

- 「国土」「地域」「まち」「コミュニティ」に復元力（レジリエンス：この街に住み続けたいという愛着）を培う、日常のまちづくりを！
- そして一人ひとりが二つの「そうぞう力」を

①「想像力」

②「創造力」

図表 51

防災アカデミーアーカイブ vol.5
「被害から復興へ 3.11 東日本大震災」

発行年月：2012年3月

発行・編集：名古屋大学災害対策室
〒464-8601 名古屋市千種区不老町

印刷・レイアウト：株式会社 クイックス
〒456-0004 名古屋市熱田区桜田町 19-20



2011/5/10

東日本大震災の 発生予測をめぐる諸問題



島崎邦彦

東京大学名誉教授・地震予知連絡会会長

第71回名古屋大学防災アカデミー

平成23年7月4日(月)18:00~19:30 環境総合館1階レクチャーホール

主催：名古屋大学災害対策室 / 減災連携研究センター

問い合わせ先：名古屋市中区区不審町
TEL：052-788-6038 FAX：052-788-6039

災害対策室 検索

西澤邦秀

名古屋大学名誉教授



福島のホウレンソウ

東電原発事故による環境汚染が 地域住民に及ぼしている影響

—衣・食・住・被曝・健康・法規制—

第72回名古屋大学防災アカデミー

平成23年9月13日(火)18:00~19:30
名古屋大学環境総合館1階レクチャーホール

主催：名古屋大学災害対策室・減災連携研究センター
〒464-8601 名古屋市中区千代田
TEL：(052) 788-6038 FAX：(052) 788-6039



名古屋大学大学院工学研究科・
減災連携研究センター教授

液状化を含む 地盤の 地震時被害



第73回名古屋大学防災アカデミー

2011年10月17日(月)
18:00~19:30
環境総合館1階レクチャーホール

主催：名古屋大学災害対策室・減災連携研究センター
お問い合わせ先 / 災害対策室
TEL：(052) 788-6038 / FAX：(052) 788-6039
http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/taisaku/



復興の 国土づくり

東日本の復興から首都圏・西日本の事前復興へ



中林一樹

明治大学大学院政治経済学研究科特任教授

第75回名古屋大学防災アカデミー

平成23年12月2日(金)
18:00~19:30 環境総合館1階レクチャーホール

主催：名古屋大学災害対策室 / 減災連携研究センター

★お問い合わせ：名古屋大学災害対策室 TEL：(052) 788-6038 FAX：(052) 788-6039