

## 第6回 環境サイエンスカフェ

テーマ 「新しい地震の科学」  
 講師 木村 学さん（東京大学大学院 理学系研究科 教授、「かなめ」プロジェクト代表）  
 日時 2011年11月23日（水・祝日） 13:30~15:00  
 会場 国立科学博物館 日本館講堂  
 参加者 96名



### ■ 自己紹介：3度の巨大地震を体験

木村先生：今日は地震の話をさせていただきます。ただし、私は地震学者ではありません。主に、岩石による変形、破壊、断層を研究しています。最近、地震の源というのは断層、岩石が壊れるときに発生するということがわかってきて、断層、岩石の破壊と地震との関係を調べる研究が非常に活発になってきています。この研究は、今後ますます重要になってくると考えておりますので、そういう意味での新しい地震のお話をさせていただきますと思います。

私は北海道生まれの北海道育ちで道産子です。ずっと北海道に居住していたのですが、1980年代以降、四国、大阪を経て、1997年から東京に住んでいます。その過程で3回の大きな地震を経験しました。最初は高校3年生のとき、午前の授業中に1968年の十勝沖大地震が起きたのです。壁は崩れる、何もかもが倒れるようなことで大変でした。それが最初の経験で、2回目は阪神淡路大震災です。そのとき私は大阪におりました。夜明け前にとんでもない揺れで、どうなることかと思いました。今回の3月11日に起きました東日本大震災が人生3度目の大地震です。（図1、図2）

## 自己紹介

- 1950, 12, 20 夕張市にて教員の子として生まれる
- 1957-66 新十津川町、芦別市、奈井江町
- 1966 岩見沢東高校入学
- 1969 北海道大学入学
- 1974 同大学・大学院理学研究科進学
- 1980 大学院修了・理学博士  
(鳥羽会合部のダイナミクス-北海道形成の新理論)

(図1)

- 1981 学術振興会奨励研究員
- 1982 香川大学教育学部・講師、助教授  
北海道、スピッツベルゲン島、米国、カナダ、中国、サハラ、ヤップ・パラオ海域、オーストラリアなど調査
- 1990 カナダモントリオール大学招聘研究員
- 1993 大阪府立大学総合科学部・教授  
1996 国際深海掘削計画・中米海溝(コスタリカ沖)首席研究員
- 1997 東京大学・大学院理学系研究科・教授 現在に至る  
2006-2008 日本地質学会・会長、2006-2014 日本学術会議連携会員  
2006-2007 日本地球惑星科学連合(48学協会)議長  
2008- (社)日本地球惑星科学連合・会長  
2007- 統合国際深海掘削計画・南海トラフ地震発生帯掘削・共同首席研究員

(図2)

## ■ 研究の動機：「知りたい」にドライブされて

地震を3回経験し、その間に地球に関することを勉強し、研究するようになりました。今は、南海トラフという地震が起こるであろうと想定されている海溝の研究をしておりますが、東日本大震災はその最中に起こりました。日本海溝で起こった地震ということで非常に注目しています。

最初にお話したいのは、私たち地球を研究する多くの人たちはどういう思いでやっているかという話です。私たちの心の中にある主な動機は2つあります。1つは「知りたい」、これがいつもあるんです。歳を取ってくればくるほど分かってきたことは、世の中は分からないことの方が圧倒的に多いという事です。私自身が分からないということもありますが、そうではなくて人類そのものが自然に関して分かっていないということが圧倒的に多いんです。そのような「知りたい」という思いがずっと心の中にあります。ゴーギャンの有名な絵のタイトル「私たちは何者、どこから来てどこへ行くのか。」というのは、よく聞くフレーズですが、それと同じ思いが根本的な動機としてあるのです。「知りたい」ことというのは、人間の生命の延長や安心、安全に繋がるので非常に重要な本能だと思います。

このフレーズの「私たち」という主語を、地球はどこから来てどこへ行くの？日本人はどこから来てどこへ行くの？生命はどこから来てどこへ行くの？と、こういうふう置き換えて私たちは科学をやっているんです。そういう意味で、地球とか太陽とか惑星とかを、それらはなにもの？どこから来てどこへ行くの？と置き換えて日々研究をやっているのです。

## ■ 研究の動機：「役に立ちたい」にドライブされて

もう1つの非常に重要な動機は「役に立ちたい」。このことが私たちの心の中には常にあります。それは何かというと、地球に関して言えば、やはり持続可能な地球をつくりたいということです。

今回のように大規模な自然災害が起きる。これは単に日本だけのことでなくて、例えば2004年に起きたスマトラ沖の海溝の大地震では大津波が起きて20万人以上の方が亡くなりました。このときの被害は、起きた場所のスマトラ、インドネシアとかあの近辺だけではなくてインド洋の周り

全部が被害を受けたわけです。ですから、今回のように日本で地震・津波が起きると、それは太平洋を超えてはるか彼方まで行ってしまいます。1960年にチリで起きた地震は22時間半後に三陸に押し寄せたんです。何も分からないうちに突然大津波が来る。自然災害というのは単に1国の問題、1地域の問題でなくて地球全体の問題なのです。

それから、最近特に話題になっていますが、地球の温暖化が非常に叫ばれています。温暖化というのは単に地球がちょっと暖かくなって海岸沿いが5メートルぐらい水面が上がってゼロメートル地帯は全部水没する、というだけにとどまりません。皆さんご承知の方も多いと思いますが、極端気象、大規模な台風などが発生しています。その台風の発生地域が赤道周辺に限られていたのが、発生地域がどんどん広がり、規模もどんどん大きくなっています。そういう極端気象を引き起こすということが非常に懸念されて、地球環境を研究する人にとっては非常に重要なテーマになっています。

地球人口がどんどん増えて、ちょっと前に70億を超えました。今世紀中に100億に達するだろうと言われています。我々人間には生きるために1人当たり最低必要カロリー、基礎代謝というのがあります。これは男なら大体2,000キロカロリー、女性なら1,600くらいでしょうか。ダイエットを希望する人は、それよりちょっと落とせばほっておいてもどんどん痩せられます。人間の基礎エネルギーは決まっているわけです。日本人は生活のために1人平均どのくらい使っているのでしょうか？この10倍、1日に25,000キロカロリーぐらい使っているのです。北米大陸のアメリカ人は1日1人当たり50,000キロカロリーを使っているんです。地球に住んでいる人がみんな1人頭それだけのエネルギーを使いたいということになるとこれはもう全然足りない。

有名な物理学者のアインシュタインは、ほんのわずかな質量をエネルギーに変えることができるという話をしました。それで原爆や原子力発電所ができたんです。ところが、物質から取り出せるエネルギーを取り出すとしても、100億の人類を文明国並みに養うエネルギーはとても足りない。だから、実は地球環境問題というのはエネルギー問題なんです。当然、食料、資源、水の問題もありま

す。そういうことを考えるときに、やはり我々は地球をよく知っていないと、この問題に対する対応も間違ってしまう。人類のこれまでの戦争がそうであったように、下手したら食料争奪・エネルギー争奪戦みたいな戦争に突入する危険性があります。だから、地球環境問題、温暖化問題というのは実はエネルギー問題なのだと考えて取り組む必要もあります。

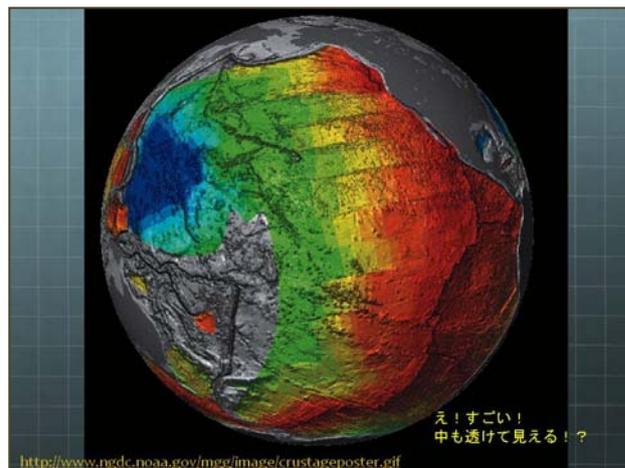
大学には理系の専門がたくさんありますが、理学部は「知りたい」ということにドライブされてやっている人の割合が大きいんです。結果としてそれが「役に立つ」。ところが、応用系の学部、工学部だとか農学部、薬学部、医学部などがありますが、こういうところは主に「役に立ちたい」ということがまずあって、そのためにいろいろなことを知らなくてはいけない、こういう順序立てになっています。だから、「知りたい」ということと「役に立つ」ということは実は密接不可分なんです。だから、そういうことを念頭に置いて地球のことを考えたり、地震のことを考えたりする必要があります。

### ■人工衛星を使って海底の地形図を作る

皆さんご存じのように地球というのは太陽系の中にぽっかりと浮かぶ、エメラルドグリーン、サファイヤブルーと言いますか、とてつもなく美しい星です。私は先ほどの履歴で示しましたが1969年大学入学です。お歳を召した方はお分かりの年ですが、東大安田講堂で大攻防戦があって東大や東京教育大学（今の筑波大学）で入学試験がなかった年です。実は私はそのとき、ちょうど高校3年で受験当事者でした。大変だったのですが、非常に感銘を受けたのは1969年7月のアポロ11号の月からの実況生中継です。その実況生中継の映像の中に地球が浮かんでいたんです。そこところが、私が実は地球のことをやるようになった非常に重要な最初の動機づけになったわけですが、そこからもう既に40年以上経ちます。

その後、科学はどうなったのかということで、最初にそういう話を少しします。アポロ11号が飛んだときから40年の時を経て、その時分かっていたことと今を比べると地球のことはとてつもなく分かってきました。1つは、(図3)です。地球の、海の所に色が付けてある絵ですが、これは実は想

像の絵ではないのです。これは着色してありますけれども、この下にボツボツと見えるのは、太平洋の海底の地形図です。



(図3)

どうやってこれを作ったのかというと、人工衛星を使っているのです。人工衛星は地球の周りを回っているわけです。あれは落ちそうで落ちない。落下しているんですけど、落下するまでに長い時間がかかる。あの人工衛星の軌道というのは、実はふらふら揺れている。どうして揺れているかというと、地球の表面近くに密度の大きいものがあると人工衛星の軌道はちょっと地球にひきつけられる。下に密度の小さいものがあると、ちょっと離れる。ですから、その人工衛星の軌道のわずかなずれを使うと、実は足元の地球の下にある地形的に高いところ、低いところが分かります。地形的な高いところというのは大体その下の岩盤の密度が小さいことを意味するので、それを地形に置き換えるという作業をするのです。こうして、最初にアメリカが地球上の海の下を丸見えにしまったのです。

もう今から30年ぐらい前ですが、私もびっくりしました。地形情報というのは、1990年より前の東西冷戦の時代、ソ連でも中国でも全部国家機密だったわけです。地形図を勝手に持ち出すとスパイ扱いされた。しかし、宇宙から丸見えになって以降、地形図というのは情報として隠す意味がなくなりました。

重力データも国家機密だったわけです。日本は違います。どこかの国へ行って重力データなんか持って「はい、ここの重力はいくらです。」みたいなことをやると、国家機密法違反で大変なことになる。ところが、これも人工衛星を使うと、

その下の重力が分かる。重力はどのようにして国家機密かということ、ミサイルを飛ばすときの軌道計算をするのに非常に重要なんです。ところが、これももう科学が進展してきて国家機密としてほとんど意味がない。科学の進歩がそういう政治的軍事的なしがらみを乗り越えて前へ進んでいくわけです。更に、地球の中も見えるようになってきました。その話は後でします。我々が地球に対する見方が変わったのはこういう海底の様子が極めてよく分かるようになったということが大きなきっかけでした。

## ■ ウェゲナーの大陸移動説



(図4)

今度の地震でも、太平洋の下のプレートが日本列島の下に日本海溝から沈んでいることが地震の原因だということが、マスコミで何度も繰り返し言われています。そのことにつながる最初のきっかけは何だったかということ、20世紀の最初ぐらいに、ドイツのウェゲナーという人が大陸の形がパズル合わせのようにピタッと似ていると言った。例えば、こういうふうに南米があって、北米があって、アフリカがある。アフリカのここはメキシコ湾のこのところにピタっとはまる。これもはまっちゃう。そうやって見ると、ほかのところも良く似ている。地球上にある全ての大陸は元々1つでくっついていたのではないかということをも1912年に言ったんです。そして超大陸という意味のパンゲアとよんだ(図4)。

ところが、非常に時期が悪かった。第一次世界大戦、第二次世界大戦という時代に突入していく時だったんです。おまけにウェゲナーという人はドイツ人です。ドイツというのは連合国側から見

ると第一次世界大戦でも第二次世界大戦でも敵国だったわけです。そういうこともあったのかどうかわかりませんが、このウェゲナーの説は強烈な反対にあいました。

ウェゲナーの考えをもとにすると、大陸が一つに集まるだけではなくて、その上に住んでいた生物の分布も説明できる。大陸が一つに集まっていた時代は、この国立博物館にも展示されているあの恐竜が住んでいた時代です。つまり、恐竜が住んでいた時代というのは、大陸がみんなくっついてたんです。恐竜は海の中に住んでいるもの以外は陸上には住めませんが、陸上に住んでいた恐竜が中国大陸とか、はるか離れたアメリカに同じものがいたことがわかっています。ティラノサウルス、レックスみたいなものがあちらにもこちらにもいたわけです。人間のように海を渡っていけるものと違って、陸の上しか歩けない恐竜があっちにもこっちにもいるというのは変だね。でも、大陸がくっついていたら簡単に渡れるじゃないか。いろいろなことが超大陸説と符号する。それで、彼は強く確信をして、こういう説を出すのですが、この当時は猛烈に反対されます。科学者はみんなほとんど反対しました。特にアメリカの地質学者とか物理学者はこぞって、こんなばかな話があるかというわけです。

ウェゲナーは悔しくて悔しくてたまらなかったのでしょうか。俺は証明してやると考えた。どうやって証明するかということ、大陸が動いているならば星を見れば分かる。時間合わせをして、何月何日何時何分、北極星が北の方向の何度に見えたら、グリーンランドでは違った方向に見える。その星の角度の違いが実は年々歳々離れているということをも証明してくれるはずだということです。そのため彼はグリーンランドに渡ります。しかし遭難にあって、死んでしまいます。1930年のことです。

このときは、ちょうど第一次世界大戦と第二次世界大戦のはざままで、おまけに世界大恐慌ですから、科学者は忘れてしまうんです。実は、このとき日本の中にはこのウェゲナーの大陸移動説にちゃんと反応する人がいました。寺田寅彦という「災害は忘れた頃にやってくる」という有名な言葉を残した科学者で、東大の地震研究所の設立にも貢献しています。熊本から東京大学に来て地球を随分研究していた人です。この人が「大陸が移動し

たってすごく面白いね」と完全に理解しました。

もともとくっついていた大陸が割れて間に海ができたということだから、日本列島だってアジア大陸にもともとくっついていたものが、間に日本海ができて分かれたに違いないと彼は想像したのです。わかり易さを説明するために斑猫の模様を例に、黒い部分は離れていなくてももともと一つだったということだよ、と書いています。寺田寅彦は 1935 年に死んでしまいますからこれも忘れ去られて、サイエンスロマンの時代は去って世界中大戦争に突入するという事になったわけです。

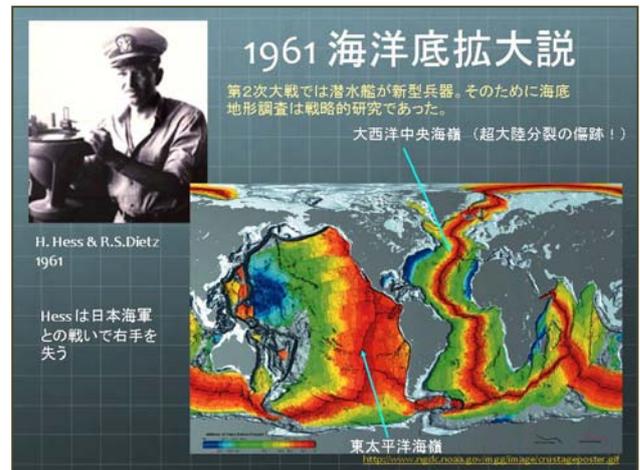
### ■第二次世界大戦でも海底地形調査

私はもちろん戦後の生まれです。第二次世界大戦で特に重要な戦争の武器として登場するのが潜水艦です。潜水艦が突然海の中でドンと魚雷を発射します。潜水艦をどういふふうに見つけ出したり、あるいは潜水艦が敵に見つからないように近づくかは非常に重要ですが、潜水艦は海の中にいるので目で見るわけにいかない。音を出して音の跳ね返ってくることによって敵がいるかどうかによって進む。ぶつかっては困るので海底に山があるかを全部調べる。映画で多分ほとんどの人が聞いたことのあるピコッピコッピコッというあの音です。音が反射してくるのを測っているのです。

それと同じ原理を使って、海底を調べたり、船を調べたりすることを当然アメリカ軍もドイツ軍もやり続けました。特にアメリカ軍は、アメリカ大陸からヨーロッパまで、あるいは太平洋では日本まで、潜水艦運航のための対策として海底を徹底して調べるということをやったんです。海底地形図をまとめあげ、潜水艦や船の航路の安全を確保する。ヘスとかディーツという、アメリカ海軍の科学将校だった人が、海底の探査の結果を戦後まとめ上げたわけです。

まとめ上げた結果、アメリカ大陸とヨーロッパ大陸の間に大西洋中央海嶺という大山脈が延々とつながっているということを見出すのです。これは世紀の大発見です。人類史上初めて海底にこんな山が出ているということを知るわけです。山と言っても、これは水の下ですから、水の上には出ていない。ところどころ出ていますが、圧倒的に海面の下にある。ところが、周りが-5,000メ

ーターぐらいの水深があるに対して、ここは-2,000メーターぐらい。ですから、3,000メーターぐらいの大きな山が非常に広い裾野を持って延々と連なっているのです。その発見された山脈の形を見ると、ウェゲナーが指摘していた超大陸の分裂場所と同じ形をしているのです。この海底地図ができあがった瞬間にヘスとかディーツは、ウェゲナーが言っていた大陸分裂の場所を発見したのだと思ったに違いないのです。



(図5)

この大発見が公表されたのは 1960 年代の初めですが、世界中がびっくり仰天。そこで、ウェゲナーの大陸が分裂したという説は本当ではないかということになって、60年代以降、地球に関する研究は大飛躍の段階を迎えます(図5)。

### ■ひょっこりひょうたん島

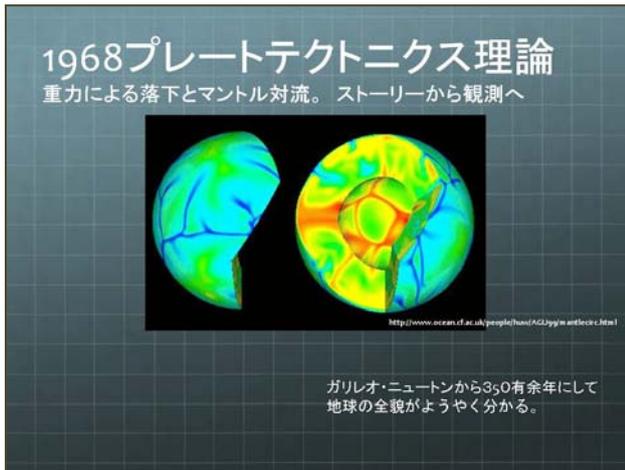
<海洋底拡大説>

日本では、1964年から69年にかけて、テレビで「ひょっこりひょうたん島」という人形劇をやっていました。根強い人気でリメイクされました。ちょうど私が中学生のときで、毎日見ていたんです。夕方やっていたので、学校から急いで帰って、まずテレビをつけて「ひょっこりひょうたん島」を見る。宿題はそれより後。

この人形劇は、ひょっこりひょうたん島という島が地球上を赤道に行ったり、北極に行ったりする。その島の上で大冒険がいろいろ起きるわけです。島がどんぶらどんぶらと動いてくという話なのですが、これが本当であるということが、大陸移動説、海洋底拡大説なんです。ただし、起こる時間スケールはまるで違います。実際の大陸や島の移動は、何百万年、何千万年、何億年とかけて

起こったことです。私は非常に大きな感銘を受けます。

<プレートテクトニクス理論>



(図6)

大陸がどのように動き、海洋底が拡大するのかわかるということは1968年、プレートテクトニクス理論としてまとめ上げられました。どのような内容かといいますと、地球の表面の岩盤、大陸も海底の水の下は岩石で、岩石は固体です。地球の中に行くと、どんどん暖かくなって地球の中心核は溶けています。(一番中心部はまだ固体ですけれども。)だから、表面に近い岩盤は球殻状の板という意味でプレートと呼ぶわけです。ところが、地球の中に行くとだんだん柔らかくなる。柔らかくなると密度がちょっと小さくなる。そうすると、ということが起きるかということ、油を引いてその上にそっと水を乗せると、水というのは油よりちょっと密度が大きいので不安定となり、水と油は逆転することと同じ事が起こります。

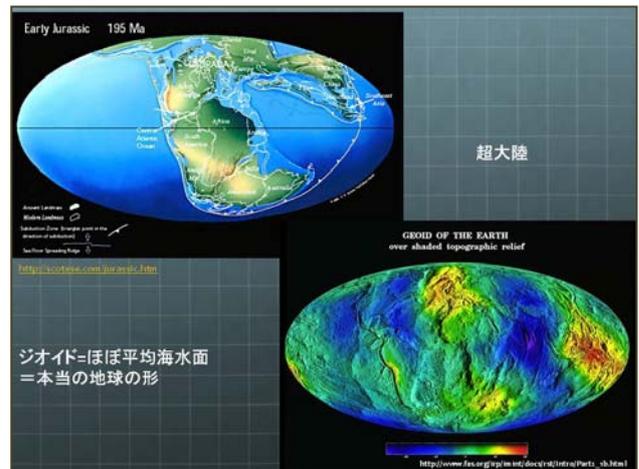
地球の重力の場では、密度の大きいものが下、密度の軽いものが上となると安定するんです。ですから、一番表面のプレートの岩石の密度が下の密度より大きいということは不安定です。ちょうど今、冬になってきました。水がどんどん冷えて氷が張りますよね。水の場合は、氷の方が水よりちょっと密度が小さいという特殊な物質ですので浮いているんです。ところが、普通の岩石は、冷えて固まった岩石の方が、ほんの少しですが熔けている岩石より密度が大きいんです。

岩石からなるプレートというのは地球の表面はがらがら冷やされて、密度の逆転によって海溝から落下していく。重力が表面の板を水平方向に引っ張っている。そうすると、温かいものは上に上

がってくるという、そのような対流が起こらないとバランスが取れません。熱に駆動されたマントル対流と重力による落下、このことが組み合わさってプレートは動くのだということです。このようにプレートテクトニクス理論で大陸移動説、海洋底拡大説の原因が説明できます。ようやく私たち地球の大枠が分かるようになったのです(図6)。

大枠は分かった。しかし、学校の教科書では、もうすべてが分かっているかのように教えられてしまう。ところが、大枠は分かっても、分からない部分がたくさんある。日々分かることがどんどん更新されていく。ガリレオ・ガリレイとかニュートン、こういう人たちはもう400年前、350年前に基本的な落下の法則だとか、万有引力の法則とかということを見つけていたわけですが、実は足下の地球のことをちゃんと理解するのは、そこから350年経ってようやく分かってきたというわけです。それでも、わからないことは沢山ありますので、今日の話に繋がっていくわけです。

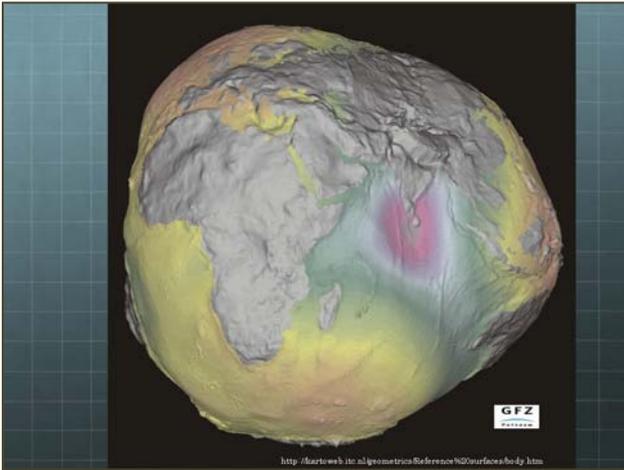
## ■地球をジオイドで見る



(図7)

ウエゲナーの超大陸、パンゲアと言いますが、今ではこのように非常にきれいに復元されていますけれども、この痕跡は今の地球の形に実は非常にちゃんと残っている。これは何かというとジオイドと言って、地球の本当の形ですけれども、ほぼ地球を全部水で覆ってみたら、どういう形になるかというものです(図7)。あるいは海はそのまま、陸の上に運河を掘って、そこに海の水が入ってくると、その平均的な水面がどういう形になるか等、ポテンシャル面といいます。その形のことです。この黄色いところはちょっと盛り上が

っています。それが、このように縦長になる。これはちょっと見づらいくせけれども、ここにアフリカ大陸、ここに南米大陸があって、ここに大西洋中央海嶺がずっとつながっています。大西洋中央海嶺から少しずれて、ここのところにこういう非常に大きな盛り上がりがあります。太平洋側は、ここが千島海溝、日本海溝、伊豆マリアナ海溝で、日本がここにあります。ここのちょうどインドネシアからミクロネシア諸島にかけて高い盛り上がりがある。



(図8)

こういう観測データを使って地球の形を強調して復元するといびつな形をしています(図8)。地球は遠くから見るとほとんど完全な球です。教科書によると、ちょっと潰れているよ、南極の方がちょっと凹んでいると習うのですが、三次元的にはこんな形をしています。もちろんこれは非常に極端に描いています。それで、ここの非常に盛り上がっているところの上に、昔のパンゲアという超大陸が覆い被さっていた。超大陸は2億5,000万年とか3億年ぐらい前、地球上に存在した大陸です。更に、この太平洋の側の盛り上がりはパンゲアより1世代前の10億年ほど前の超大陸がここにあったであろうと想定されるようになってきました。地球の形はその長い歴史を反映しているようなのです。

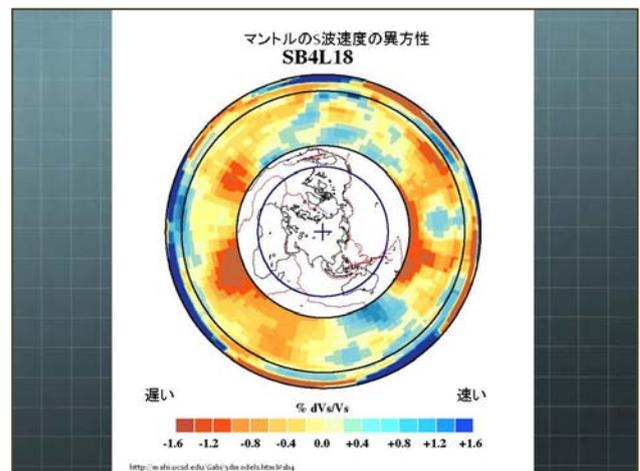
### ■地震波で地球内部が見える

地球の過去にさかのぼって多くのことが分かってきています。地球の中のことも知りたくなりますね。われわれは、地球の中を知りたいときに地震の波を使ってみるわけですけど、波に関して重要なスネルの法則というのがあります。小学生

には難しくて分からないかもしれないのですが、コップの中に水を入れ、箸や鉛筆を入れると曲がって見える。これはどうしてですかと聞かれたときに、これはスネルの法則ですねと高校生ぐらいになると習います。お年を召した方は昔聞いたことがあると思います。

それと同じことで、地震の波が伝わる時に、こういうふうに曲がるんです。例えば、日本海溝、東北地方で地震が起きるとします。するとその地震の波が地球の内部を通過して伝わります。それでアメリカ大陸であろうが、ヨーロッパ大陸であろうが波が観測できるわけです。なんでそんな遠くで観測できるのかというと、地震の波がまっすぐに伝わるのではなくて、地球の中に入ると曲がるからなのです。

それをうまく使ってやって、じゃあ、どこを通過してきたかということ推定すると、地球の中の伝わってきた場所における波の伝わる速さがわかるんです。では、速さってどうやって測るんですかということ、速さというのは、距離を時間で割ると得られますから、どのぐらいの距離を伝わってきたかを何分何秒かかったかで割ると、伝わってきた速さが分かります。その結果、地球の中の波の伝わる速度の速いところ、遅いところがあることが分かってきました。地球の中で赤く示したところは遅い、青いところは速い。地球内部は一樣じゃないんです(図9)。



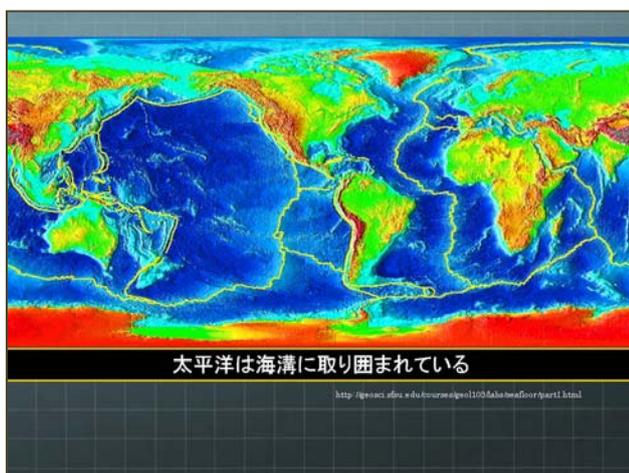
(図9)

この遅いところはどこにあるかということ、この図に示されています。断面がどこを輪切りにしたかということ、ここの青い線のところを輪切りにしている。ちょうどアフリカ大陸の下が遅い。この遅いところが、まさに先ほどのジオイドの盛り上

がっているところなんです。地球の形で盛り上がっているところは、実は地球の中で地震の波の伝わる速さが遅いところということが分かってきました。その上にパンゲア大陸が乗っていたんです。そうすると、パンゲア大陸というのは、その下の地球内部に速度の遅いマントルがあって、それが沸き上がってきて大陸ができあがったのではないかと想像したくなりますね。マントルは、組成が同じだとすると、温度が高くなると地震の波の伝わる速さが遅くなります。2億年から3億年ぐらい前の痕跡はまだ地球の中に厳然と残っています。太平洋も、先ほどのジオイドが盛り上がっているところ、そこは、10億年前の超大陸の痕跡がまだ残っているとみなしたくなる。地球の内部に関する研究は今、非常に盛んに進んでいます。

### ■太平洋は海溝に取り囲まれている

さて、そういうふうに地球のことがどんどん分かってくる中で、今度の東日本大震災の地震が起きました。ですから、そういう地球全体のことを考えて今度の地震の意味を考えなければなりません。なぜ地震が予知できないのかとか、どうにかならぬのだろうかというご意見、ご質問が非常に多いのですが、そのことにも少しずつ答えながらお話させていただきたいと思います。



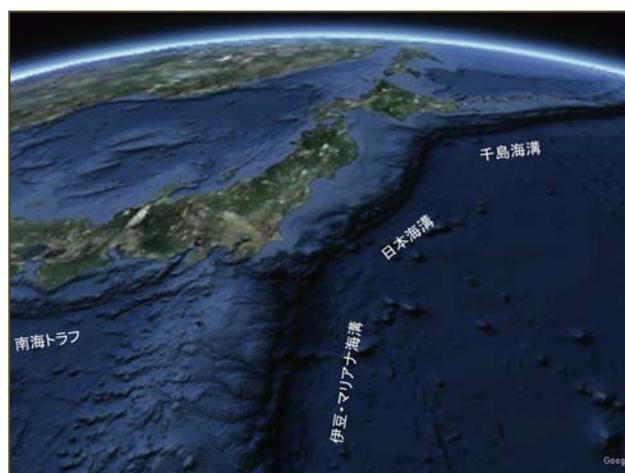
(図10)

今回の地震は、もう皆さん既にご存じのように、日本海溝で起きたわけです。さらに、これから関西の沖合にある南海トラフという海溝で巨大地震と津波が起こるかもしれないと言われています。それは皆、海溝なんです。海溝というのは、地球上でどこにあるかというと、太平洋の周りに多くあります。大西洋にもちょっとあります。例えば、

ここ、カリブ海の東、それから、このところのサンドイッチ諸島の東にあります。インド洋にはご存じのスマトラ地震・津波を起こしたスンダ海溝、さらには地中海地域にちょっとあります。しかし、圧倒的に環太平洋地域です(図10)。

これはどういうことかという、プレートテクトニクスが生まれたときに、大西洋が割れてヨーロッパ・アフリカと北米・南米が離れていきました。間に大西洋という非常に大きな海ができてしまう。そうすると、地球の大きさが変わらない以上、どこか縮まないと膨らみっぱなしになってしまうのです。ウェゲナーが大陸移動説を提案したとき、地球が膨らんでいるのではないかというふうな話がありました。しかし、今ではそういうことは起こり得ないと考えられています。万有引力定数というのがありますが、これが変わらない限り起こり得ない。それは宇宙の開始から宇宙の終わりぐらいまで変わることはない。地球は46億年しか経っておりませんが、その中で万有引力定数が変わったとは今はだれも考えません。ですから、地球はマントルが水を吸ったり吐き出したりする事でちょっと膨らんでちょっと縮んだりすることはあるかもしれませんが、過去から現在に至るまでほとんど膨らんだり縮んだりということは起きていない。

というので、こちら側で新しい海がどんどんこんなに開いてしまったら、地球のどこかで縮まなくては帳尻が合わない。その場所が海溝だというふうにプレートテクトニクスが成立する中ではっきりした。その重要な現場の1つが日本の周辺です。



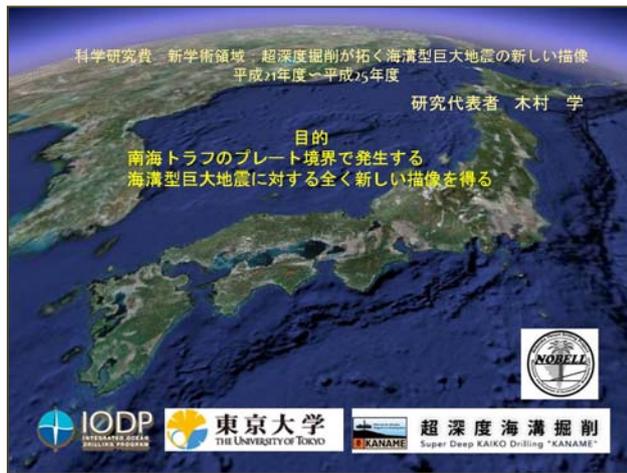
(図11)

千島海溝、日本海溝、伊豆マリアナ海溝、ちょ

っと浅いのですが、南海トラフ、これも海溝です（図11）。これらの海溝で太平洋側の海底の岩盤が日本列島の下に沈み込んでいる。そこで大規模に地震が起こり、海洋のプレートが沈み込んだところからマグマが上がってきて、日本列島の火山になる。この火山も地震も、皆、この太平洋のプレートが日本列島の下に沈んでいるということが原因です。

こういうことが、1960年代の終わりから70年代に入って新しい理論として確定しました。太平洋側のプレートが一定の速さで沈み込んでいるので、ここでくり返し起こる地震は予知できるのではないかという期待が1970年代の初頭に広がりました。プレートテクトニクス理論が成立した熱い思いと、ひょっとしたら役に立つのではないかという期待が大きかったわけです。ところが、もうそれから40年以上経ちました。

## ■地震の記録

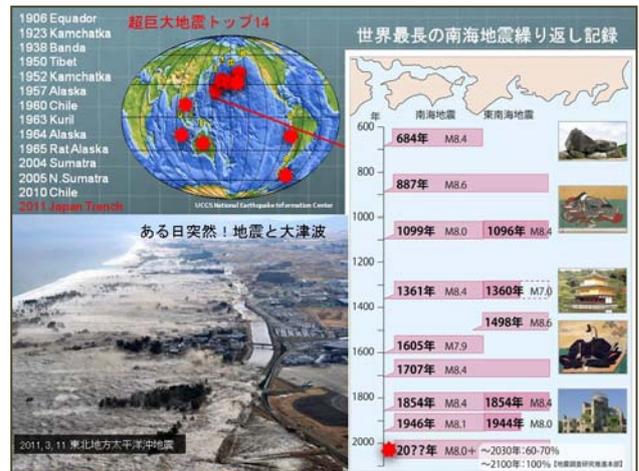


(図12)

プレートが沈み込むところで大きな地震が起きる。それは一体どういうメカニズムで起きるのかというのは、なかなか分からないんです。というので、私たちもこの問題に関わる研究をすすめています（図12）。特に四国、紀伊半島、九州沖合に南海トラフという海溝があって、ここからプレートが沈み込んでいる。そこで、繰り返し地震が起きてきた。この先も起きる可能性が非常に高いと言われています。南海トラフには世界で最も長期間に及んで記録された地震の記録があるんです。

世界の歴史を俯瞰すると、ざくっと人類の歴史8,000年、ローマ帝国、中国5,000年。日本の歴史で文書ではっきりと記録が残っているのは飛鳥

時代以降、約1,400年です。日本の歴史は最初日本書紀にまとめられました。壬申の乱が起きて、天智天皇の息子と天智天皇の弟が争い、天武天皇が天皇になって、その天武天皇が日本を統一した直後に、実は南海地震が起きるのです。それが日本書紀に記された日本で最初の南海地震の記録です。関西が日本の歴史の中でずっと中心です。飛鳥、奈良、京都と都が変わりますが関西における地震の記録が累々とちゃんと残っていて、それが世界最長です（図13）。



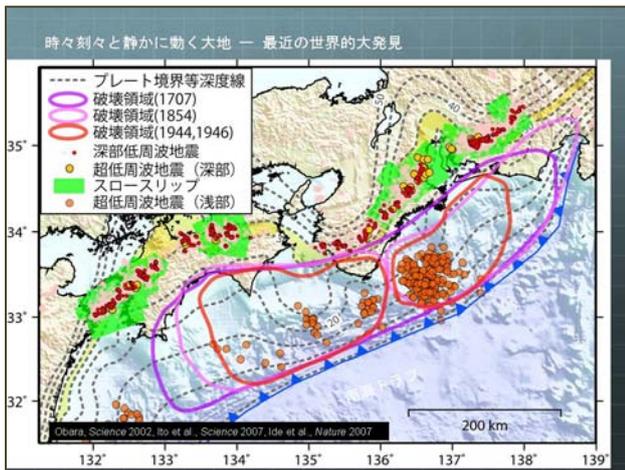
(図13)

その他、ローマ帝国は非常に古い。ここも今世紀以降の地震観測記録があります。ローマ帝国というのは地中海世界です。地中海の海溝でももちろん地震は起きるのですが、南海トラフほど頻繁に起きていません。中国も歴史が長い。ところが、海に面している部分を中国は持っていないので、日本の歴史が世界最長の詳細な地震の記録だというわけです。

それを見ると、90年から150年ぐらいの間隔で、繰り返し繰り返し地震が起きているのは明らかです。それを基に、日本政府は今世紀2030年までに地震が起きる確率は60~70%、今世紀中に確実に起こるだろうと、長期予測をしているわけです。だから、南海トラフでの地震を想定して、研究も、防災対策も、みんな頑張っでどんどん進めていたのです。そのさなかに全く予想だにせず、日本海溝で地震が起きてしまったのです。日本海溝であれだけの規模の地震が起きるとはまじめに考えられていなかったのです。そういう意味で、今、地震学界では大きな反省の議論が続いております。最近の南海トラフの地震は、第二次世界大戦が終わる前の年と後の年です。その前は幕末のころで

す。ちょうど黒船がやってきた翌年、大地震が起きました。私は大河ドラマが大好きなのですが、最近の大河ドラマの「龍馬伝」にも出てきた安政の大地震です。それから、「篤姫」にもちゃんと出てきました。私は幕末のドラマを見ると、この地震はどういうふうに世の中に影響を与えたかという別の興味がわきます。

## ■時々刻々と静かに動く大地



(図14)

1995年に阪神淡路大震災が起きました。当時の科学技術庁長官の「地震予知は何をやっていた」などの発言のように地震学者にすごいプレッシャーがかかりました。地震予知は、もっと知らないことには始まらない、あまりにも分からないことが多すぎるということになりました。

日本列島はそもそもプレートがぶつかって、海のプレートは海溝から沈む。その上に乗っている日本列島というのは時々刻々歪んでいるんです。どういうふうに歪んでいるのかということをしきりと検出できる技術が1990年代に確立するんです。皆さんご存じのGPSです。GPSを大地にしっかり固定して置いておくと、時々刻々とどういうふうに大地が動いているか検出できる。すごいですね、最近ではほとんどの携帯にGPSが付いていて、今、私はどこにいますか、うちの子はどこかで遊んでないか、というのが全部分かってしまうようになりました。ところが、GPSは地殻変動を検出するのに役に立つのです(図14)。

日本列島では、阪神大震災以降、いろんなところにGPSのステーションが設置されました。これは携帯電話で使われているものとは比べものにならないくらい精度が良くて、ミリメートルスケ-

ルで時々刻々の地殻の変化が検出ができるという優れものです。阪神淡路大震災の後に、日本列島ではほぼ1,000箇所ぐらい一気に設置されました。これは世界で最も稠密です。こんな国はほかにありません。

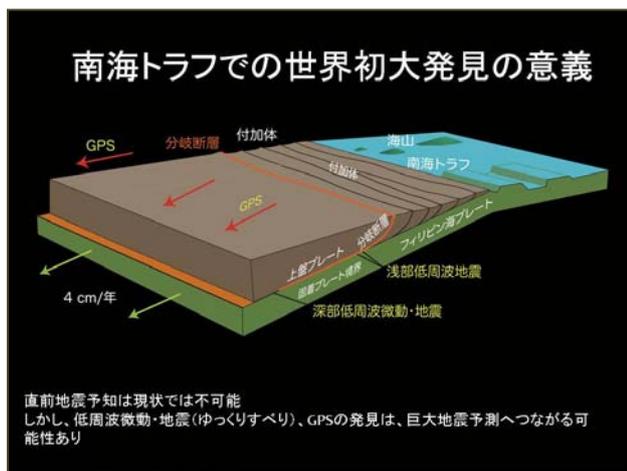
GPSから得られたデータはどのようなことを示しているのでしょうか。四国とか紀伊半島を基準にして観測しているんですが、みんな西へ西へと動いているんです。1年間に2センチどころではない、4センチぐらいの大きさでどンドン動いているんです。2センチとか4センチというのは、実は私たちの生活感覚の中にあるんです。何だそれというので、私がよく例に出すのは、皆さん何カ月に一遍床屋に行きますかと聞くことにしています。床屋に行ったときに髪の毛何センチ切りますか。私は2カ月に一遍でこのぐらいです。爪はどのぐらいの頻度で切りますか。切った爪というのはどのぐらいありますか。1ミリですか。2ミリなんか伸びたら爪の中にいつもごみがたまって大変ですよ。大体1ミリぐらい。大体1週間から10日ぐらいで1ミリ伸びますから365日、そうすると、3.6センチとか4センチぐらい伸びるんです。すなわち日本列島の地面は、爪の伸びる速さ、もしくはちょっと速い部分で髪の毛の伸びるぐらいの速さでもう全部動いているんです。これは実に驚くべくことです。

## ■地震で一瞬にして動く

ところが、地震が起きると、どうなるか。移動してきた方向が全部反対に向きます。反対に向いて、一瞬にして何メートルも動きます。今度の日本海溝地震もそうです。今まではずっと東に向いてた矢印が突然反対を向いて、それで何メートルも動くということが起きました。じゃあ、それはどのぐらいの時間の間に起きるかということ、ほんの10秒ぐらいの間に1メートルとか、2メートルとかというとてもない速度で動いてしまうんです。1秒間に、例えば1メートルとか10メートルってどういう感覚ですか、というと、1分は60秒、1時間はその60倍ですから3,600秒です。ですから、1秒間に1メートル動くということは1時間に3,600メートル、すなわち3.6キロ。1秒間に10メートルというと1時間に36キロです。これはどういうスピードかということ、先週の日曜日に女子

マラソンをやっていましたが、2時間半で42.195キロの距離を走り切る。普通の人間は1時間で約4キロ歩きます。1秒間に1メートル動くということは、すなわち人間が歩くスピードです。マラソンランナーは、2時間で大体42キロですから、時速約20キロです。時速20キロ、下手したらもっと速い。原動機付自転車(50CC)は制限速度30km/hです。要するに歩くスピードからマラソンランナー、もしくは原付のスピードぐらいで日本列島が全部動くんです。それも単にすーっと動くのではなく、震えながらどドツと動くんです。だから、みんな壊れるんです。というのが、実はGPSのデータが西や北西を向いているということは、その大地震に向けて、準備がどんどん進んでいるということを示す実に恐ろしいデータなのです。

### ■南海トラフでの大発見



(図15)

今世紀に入って、この南海トラフでは、世界に先駆けて新しい発見が次々とありました。全部は難しいので省略しますが、南海トラフから沈み込むプレート境界の深いところでゆっくりとすべっているところのあることが発見されました。薄い緑色で記しています。これは人間にはもちろん感じません。非常に高精度の地震計のみが感じる地震です。それぞれの枠を調べた結果、この部分は1707年宝永地震の推定されているプレートの境界のすべったところ。これは安政地震、そしてこれは昭和の大地震です。発見されたゆっくりすべっているところは、全部、それより深いところで起きているんです。この大発見は地球を研究する科学者を非常に驚かせました(図15)。

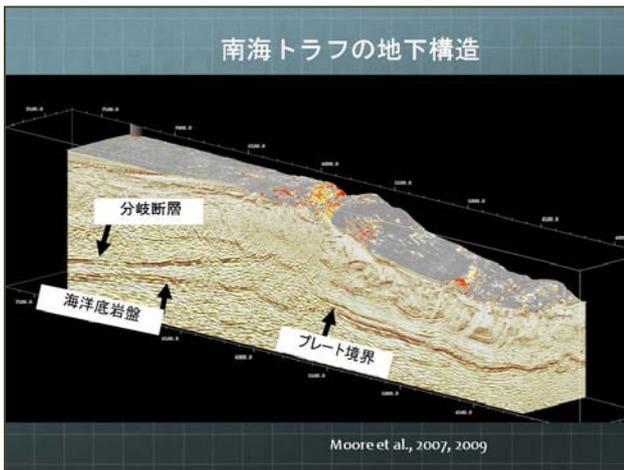
大地震の発生を事前にキャッチできないかということに対する挑戦が続いているわけです。先ほど言いましたように日本列島の上に配置したGPSがみんなこっちの方向に、北西もしくは西向きに動いている。これは爪が伸びるぐらいの速さですよという話をしました。これはこのフィリピン海プレートが平均年間4センチぐらい日本列島の下に沈んでいる速さとほぼ同じなのです。プレートの境界というのがいつもするする滑っていると、こうはなりません。ところが、同じだということは、プレート境界は今くっついているということの意味します。大地震がくるとはずれて、上に乗っているプレートは一気に太平洋に向かって動くということが起こるのです。ですからプレート境界や上に乗っているプレート内部が今どういうふうになっているかということが大問題なんです。

人間の耳には聞こえないゆっくりとしたすべりが今世紀になって観測され、それが世界の科学者の中では大きな話題になっていると言いました。それはどうしてかということ、巨大地震を起こすプレート境界の上の日本列島というのはくっついていっているので一緒に動く。ところが、地下30キロぐらいのところではもはやプレート境界はくっついてなくて沈み込んでいるプレートがぬるぬると沈み込んでいっている。プレートの沈み込む原因は重力による落下です。ですから、これはプレートを下から引っ張っているのと同じです。そうすると、ここではぬるぬると滑っているのに、くっついているところでどんどんひずみがたまっていくんです。それで、限界に達すると、どーんといってしまうというふうになります。ですから、このゆっくり滑っているところを見ていると、巨大地震を起こすプレート境界が剥がれるという様子が見えるのではないかという期待が非常に大きく高まっているのです。世界中の海溝で、このゆっくりすべりはどんどん見つかっています。このところを集中観測すると、本当にいつ、巨大地震が発生するかという予測につながるのではないかと、非常に関心を集めて研究されているわけです。ところが、その研究途上で日本海溝で東日本大震災が起きてしまったのです。これは科学の到達点が追いつく前に起きてしまったという災いなのです。同時に、浅いところでも実はぬるぬると滑っているというのが分かってきて、本当にくっついている

部分が限られることとなってきたわけです。

### ■南海トラフの下を調べる

海溝ではいろいろな発見が続いているわけですが、やはりもっと集中的にいろんな研究をする必要があるというので、南海トラフの下がどうなっているのかというのを徹底して調べようという研究を私たちは進めてきたわけです（図16）。その1つは、プレートの境界をもっときちっと見るということです。これは国際共同研究ですけれども、船を使って、非常に大きな音を出し、その音が海底で跳ね返ってくる、あるいは海底よりもっと下に行って跳ね返ってくるというのをいくつものマイクロホン、ハイドロホンとも言いますが、そういうものを並べて、それをコンピューターを使って多重的に重ね合わせると、実は地下が見えるんです。魚群探知機の非常に高価なやつだと思っていたら結構です。



(図16)

そうすると、南海トラフの下でプレートが沈み込んでいく様子が丸見えなんです。これは幅が12キロで、こちら側が数10キロというスケールです。ここのグレーのところは海底です。地下を見ると、ここに赤い色がつながっているところがあります。ここにもつながっているのが見えます。これは何かというと、ここは沈み込んでいっているプレートの岩盤の上面なんです。そして、プレート境界というのはそのちょっと上に、ここに薄く見えますが、ここがプレート境界です。南海トラフでの地震を考えると非常に重要なのは、プレート境界と共にこの断層です。断層が非常にはっきりと見えています、これが海底に顔を出したところを見ると、ここに大規模な海底の地滑りがある

んです。分岐断層といいます。分岐断層の分岐というのはどういう意味かというと、もっと深いところでプレートの境界から枝分かれしてきて、それでできている大断層という意味です。この断層が、これまで何度も繰り返し地震を起こしてきただろうと考えられています。

### ■「ちきゅう」：直接診断するための世界唯一の道具



(図17)

今まで述べた今世紀に入ってからの大発見は、ゆっくりすべり、GPS大規模展開でみえた時々刻々とひびく日本列島、そして地下の構造だったわけですが、これは言ってしまうと、プレート境界の現場から非常に遠く離れて見ている。このことを私はよく医学に例えます。病気を調べるときに、今のお医者さんの多くはコンピュータ上のデータを見ておまへはここが悪いと言うかもしれません。しかし、昔はちゃんと手を使い、とんとんと音を聞いて、脈を取ったりしましたよね。「お父さん、ちょっと飲み過ぎですよ。ここら辺がちょっと腫れてますよ」と昔のお医者さんはやった。間接診療です。間接診断は非常に重要な情報をもたらしますが、それでもちゃんと見えないので、そのうちだんだん医学も進歩して、直接体の中を見たりするというふうになって今に至るわけです。それに例えれば、これまでの観測と発見は聴診器を当てて聞いているようなものなんです。そうではなくて、やはりもっと直接的にプレートの境界を見て、そこにいろいろな観測装置を持ち込んでとか、そういうことができれば多分我々の理解は飛躍するだろうと思うのです。というので、日本は世界に先駆けて、そのことをめざして、「ちきゅう」という船をつくったんです（図17）。

「ちきゅう」は、技術的には海底面から10キロまで掘れますというふうになっていますから、十分にプレートの境界に届くという船です。世界中にはほかにはありません。これはとてつもなくお金のかかった船で、造ったときは数百億円だそうです。「ちきゅう」は、東日本大震災では、ちょうど八戸に停泊していて、その沖合の日本海溝を調べる予定だったのですが、津波の被害を受けました。これはスクリーが6つ付いているんですけども、1つががれきにやられたそうです。それでも今スクリー5つで動かしているそうですが、来年にはそれを修復して、南海トラフの前にまず日本海溝の掘削調査をする予定です。津波を起こしたところを直接見たいということです。これは完全国際共同研究として実施します。今年の正月にちょうど南海トラフで調査中の国際チームから送られてきた写真ですが、世界中の科学者が参加して実施しています(図18)。南海トラフでは今年もやりましたし、来年、再来年、また引き続きやる予定です。



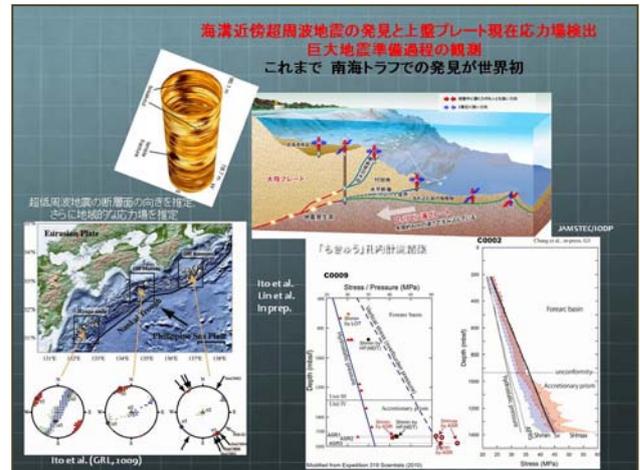
(図18)

### ■プレート境界に孔をあけて調べる

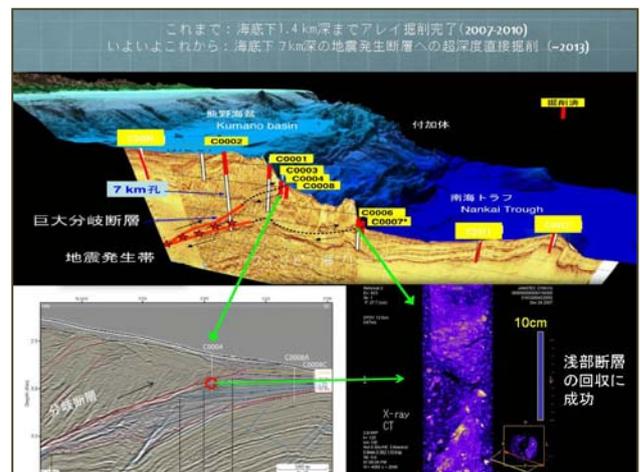
2007年から南海トラフでプレート境界を調べるために掘削しています。なかなか一気にには到達しませんので毎年毎年少しずつ進められているのです。今のところ2キロ弱の孔ですが、これまでいろんなことが分かってきました。それを少し紹介します(図19)(図20)。

上に乗っているプレートがどういうふうにかを受けて、歪みつつあるのかということが見えてきました。孔は放っておくと潰れるんです。それはどうしてかということ、岩盤が非常に大きな力を受け

て押されているので、孔の壁に割れ目ができる。その割れ目の方向を調べることで、どの方向から、どのぐらいの大きさの力を受けているのかというのが分かるのです。



(図19)



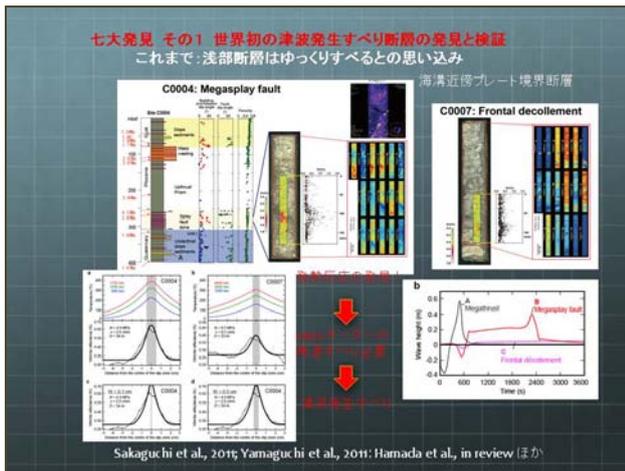
(図20)

今後もどんどん掘削を進めます。断層に近づくとしたがって、応力と言いますが、受けている応力がどれぐらいの大きさであるのかが分かり、その変化を連続して観測する。岩石というのはどのぐらいの力を受けると壊れてしまうかは大体分かりますから、プレート境界の我慢の限界が見えてくる可能性があるというので、今後、特にその観測は非常に重要なテーマの1つになっています。

### ■津波を起こした断層が見えた

南海トラフでこれまで随分たくさん穴を掘ってきたわけですが、「ちきゅう」による2番目の大きな成果は、海溝に一番近いところの掘削によって断層そのものを回収することに成功したことがあ

ります (図 2 1)。



(図 2 1)

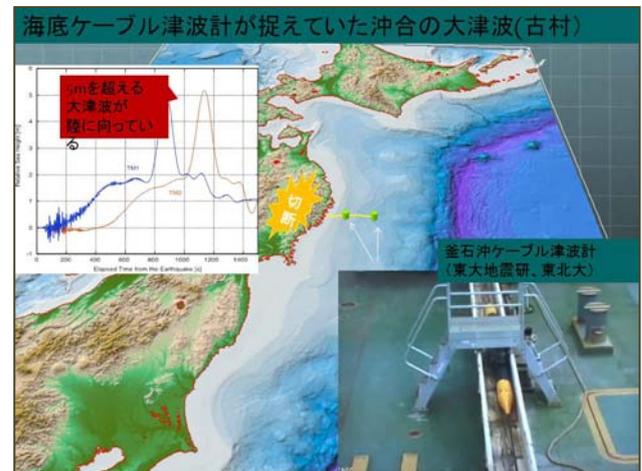
地震を起こす、あるいは津波を起こす断層というのは、とてつもなく岩石が壊れた断層を想定する人が多いようですが、実はそうではなくて、地震を起こすときというのは、岩石と岩石がちょうど厚さ数ミリぐらいの断層に沿ってすーっと滑っていくんです。それを先ほど言いましたような、1秒間に1メートル以上の速さ、人間の歩く速さ、あるいはもっと速くはマラソンランナーの速さですべるわけです。そうすると、この厚さ1ミリの断層で接したところで岩石と岩石がこすれ合うわけですから、その運動は熱を発生するわけです。摩擦発熱です。昔、原始人が火を起こす時、木と木をこすり合わせてポッと燃える、あれと同じ原理ということです。その熱を発生した痕跡が見つかったんです。海溝ではこれが世界で初めての発見でした。

それで、調べると周りは 20℃ぐらいなのに対し、断層は 400℃弱ぐらいの温度になっている。この温度に達する熱を発生するためには、どのぐらいのスピードでここを滑らなければいけないかと計算で復元できます。すると、1秒間に 10cm オーダーの速さですーっと滑っている。先ほどの地震の滑りよりちょっと遅い。しかしながら、そのぐらいのスピードで滑るとその上の海底を隆起させ、津波を起こすことになることが分かったのです。これは津波を起こした断層の証拠だと分かったんです。

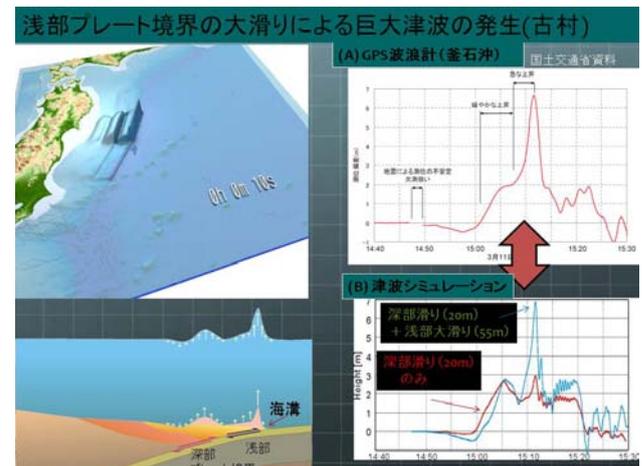
ちょうど日本海溝で地震が起きて、海溝まで全部プレート境界が壊れ大津波が発生した。そういうことはなかなか起こらないだろうと考えられていたのですが、南海トラフで私たちの海溝近くでの

速いすべりの発見とあいまって、海溝で起こる地震・津波に関するこれまでの考えを全面的に変えなければいけないということになりました。

### ■警報システム：痛恨の思い



(図 2 2)



(図 2 3)

もう1つ、日本海溝の地震で、地震学者が声をそろえて言う痛恨の思いがあります。それは何かというと、宮城のこの沖合には、海底に圧力計というのが置かれていたのです。これはその記録なわけですが、横軸は時間を表しています。海底でいち早く津波の観測をやっているんです。ここが過ぎて、ここから更に時間を経過して、陸に近いところでも津波を観測している。この地域でもう5メートルなのです。これが瞬時にして分かっていたら、海底地形などを考慮して津波の大きさまで警告できたはずだという痛恨の思いです。何が痛恨だったかということ、ケーブルが切断されて陸上で事前を知ることができなかったのです (図 2 2) (図 2 3)。

だから、もしもこれが陸上でいち早く知ること

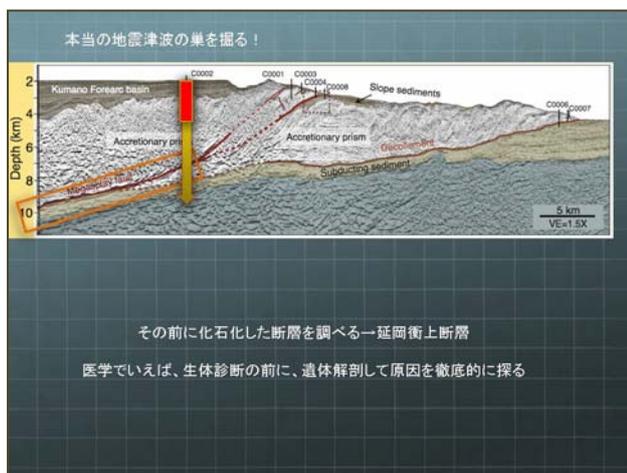
ができていたら、早い警告と、それから正確な津波の高さの予測を警報システムの中に取り入れることができたはずです。そして、多くの人命を救うことができたはずです。観測技術も完全にできていたにもかかわらず警報システムに取り入れられなかったという、そういう痛恨の思いがある。そういう意味でも、こういう観測システムが大地震・津波のときにきちっと機能するように保持するというのは非常に重要です。

### ■津波のシミュレーション

それで、南海トラフで海溝まで全部滑ったときにどうなるかということが大事です。これはよくテレビに出てくる東大古村先生にお借りした再現シミュレーションです。私たちの発見した海溝近傍の滑り、これは非常に重要な証拠だということで、そのことも組み入れている。そうすると、従来の予測の規模ではない、もっと大規模な津波になるということが最近では予想されておりまして、そのことに応じたいろいろな対策をしなくてははいけないというわけです。

### ■掘削による地震の直接診断

南海トラフの掘削は今後、来年、再来年、あと3年ぐらいかかる予定ですが、南海トラフで地震を起こして一気に浅いところまですべりが駆け上がってくる、このところで何が起きているかということをやっぱり本当にちゃんと現場を見たいと思っています。これまで地震の研究ではそのようなことはやったことがない。これを医学に例えると、間接診断からいよいよ直接診断をするということです（図24）。



(図24)

### ■提案：地震・津波予測値観測網

それで、先ほどの日本海溝での痛恨の思いから、関係研究者たちはある提案をしています。徹底した海底ケーブルでつないだ観測網を構築することです。これはもちろん津波の観測であると同時に、深い孔を掘って、その孔のなるべくプレート境界に近いところで、ノイズを消して、それで観測するというのをやりましょうという提案です。巨大地震に先行するゆっくりすべりももっと良く見えるはずですが、これはもう展開が始まっておりますが日本列島の周りにぐるりと張り巡らせる必要があります。

こういうリアルタイム地震、津波観測網というのは日本海溝で地震が起きる前から計画されておりました。それで、東南海地域ではその設定が始まっていたのです。これはやはり日本列島周辺に大規模に展開する必要があるということです。東北方はもちろんですが、関西、それから、日本海側。日本海側は、新潟地震とか日本海中部地震とかあるいは奥尻地震とか、ここも非常に重大な地震の津波の巣です。ですから、こういう陸と海の境界にまたがって大規模に地震・津波の起こるようなところで、こういう観測網を設置し、時々刻々の変化をきちっととらえる。地震が起きて地震の震動が伝わってくる。津波を起こす地震が起きて、それから津波が到達するまで、少しでも早く知る事ができれば我々は時間を稼ぐことができます。その時差をうまく利用して、ライフラインを全部安全にする、逃げる時間を確保できる。その構築に全力を挙げてやるということが、大変重要ではないかと思っています。

### ■地震予知から地震後の警報システムへ

地震予知とは何かというと、地震が起こる前、1日でもいい、1週間でもいい、1カ月でもいい、何とか知りたい。どこで、どのぐらいの規模で、いつ起こるかを知ることです。これが分かれば天気予報のようにものが言える。そのことについてずっと挑戦してきたわけですが、それは今の科学のレベルではとてつもなく困難です。そのことに期待をしすぎると、実際の対応を誤る可能性があります。ただし、地震が起きた後の観測体制、その警報システムへの組み入れる、これは現代の科学技術の水準でも相当のところまでいけます。日

常的な安全対策、避難の訓練を徹底し、市民、国民の方々にそういう警報に敏感になって対応していただくことが非常に重要だというのが多くの研究者たちから出されているメッセージです。

私たちは、地球を知る、特に海溝を知ることが非常に重要だと思っています。地震、津波から明らかかなように、自然災害、地震や津波というのは、言ってしまうと自然が予告なしに我々人類にもたらす大量殺りく兵器だと言えるわけです。だから、このことに対する恐怖から私たちは何とか解放されたいと思っているわけです。そのために、取り組むべきは、やはり科学と技術が最大のものだと思うわけです。やはり知りたいということにドライブされて、あるいは役に立ちたいということにドライブにされて、人のネットワークをつくっていくかというのは非常に大事なことだと思っています。

最後に子どもたちへのメッセージというか、高校生の話をする時に、私がいうことを紹介します。受験って目の前にありますね。試験、テストが目の前にあります。しかし、それをクリアして大学に入ることは目的ではないでしょう。目的と目標をちゃんと分けましょう、と。目的というのは、誰にも分かっていないことを「知りたい」とか、誰もなしていないことで「役に立ちたい」とか、であり、そのために、まず第1歩、これをやる、次にこれをやる、それが目標でしょう。ここを間違えると何をやっていいか分からなくなります。こんなことを言うと怒られますが、私は東大で教鞭を取っていて、東大に入ることが目的化している子を多々見受けます。こんなことを言うと、また怒られますが、今どき物心ついたころから塾漬けにすると、かなりの子が大学に入れるだろうと思います。でもそんなことだけをしていると、人生間違えよ、大学入学が目的ではないでしょうということにしています。なので、子どもたちには目的と目標をきちっと分けましょうねと言いたい。目的とは、それこそ人生全部をかけるくらいの事だと思うからです。

最後の最後に、今後の日本の復興を考えると、明治の時代、未開の国としての日本で、未来を見つめ若者に多くの影響を与えた人の話を少しします。私は北海道生まれの北海道育ちなので、非常に影響を受けたというか、ああ、素晴らしいと思

ったのが、クラークという北大、札幌農学校の最初の学長です。西部開拓時代のアメリカマサチューセッツから来たお雇い外国人です。「少年よ、大志を抱け！」と行って去って行きました。この影響を非常に受けた新渡戸稲造、ちょっと前の5,000円札の人です。これはクラーク精神とか、昔の武士道精神、いろいろな精神を継いで、非常に大きな貢献をする。国際連盟の事務局次長までやった人です。この新渡戸稲造の精神は南原繁という人が引き継ぎました。第二次世界大戦が終わる時の東大、戦後最初の総長です。日本軍の大本営、米軍GHQの難題に、身をもって学問の府の重要性を対峙した人です。この人たちがやはり日本全体のこと、未来を考え、若者たちのことを考え、非常に良い話しをしています。

坂本龍馬は大人気ですが実によく似ているのです。その龍馬の甥の孫に坂本直行という人がいました。やはり龍馬の精神を引き継ぐのです。北海道で大農場を経営した人で破産するんですけども、貧しい農民のため、社会のために非常によく働いた人です。この人は絵を描くことが得意だった。宣伝するわけではないのですが、六花亭という北海道の有名ブランドのお菓子屋の包み紙は彼の絵です。千歳空港でお土産を買うときにそんな話があったなあと思い出してください。というので、もう最後にしますが、震災後、皆さんきっと「なでしこジャパン」に感銘を受けたでしょう。私も非常に感動をしました。いろいろな人がいろいろなところで頑張っているわけですが、困難に立ち向かうときに自分の持ち場のがんばり、あるいはそれらを組み合わせるときに非常に大きな力を発揮します。そのことを「なでしこジャパン」が教えてくれ、勇気を与えてくれたのだと思います。最後は今日の本題と直接は関係ないこととなりましたが、どうもご清聴ありがとうございました。

#### ◆質疑応答

会場：先ほどスマトラの大地震でという話があって、私はASEANにいたものですから、マレーシアとか、カンボジアとかベトナムというのはガス油田とか海底のそういうところで津波というのは非常にセンシティブなんです。だから、この辺の技術をアセアンの国に輸出するという技術的な外

交で、空母とかミサイルのような威圧的な外交ではなくて平和的な外交で国家戦略としてこの辺の技術を使って ASEAN の人たちがうまくやっていくというような形で、科学技術による日本発の海のシルクロードみたいな、そんな戦略みたいな形になるといいと思うのですけれども、経産省とかとはどんなお付き合いがありますか。

木村先生：最初におっしゃったことはまさにそのとおりで、インド洋に面してスダ海峡沿いのところというのは本当に歴史的にも何度も何度もやられてきましたし、観測網とか警報システム、そういうものは、はなはだ不十分でした。だから、そこに住んでいる住民は地震が来て、突然皆津波にのまれた。それもやがて時間が経つと忘れ去られていく。人間というのは非常に現金なもので、すぐ忘れてしまいます。だから、そういう意味で、災害に関わる科学技術できちっとコミットしていくのは大事です。

経産省の地質調査所、今は産総研の地質総合センターでは、アセアン諸国、アジア諸国ともネットワークを持っています。多くの国の地質調査所が防災に関わるいろいろな調査で、連携している。資源はもちろんですけど。そういうところが、恐らくこういう震災に関わるようなところでは国際的な部分はかなり強くコミットしてと思います。私は直接ありませんが、その人とはよく議論しますので、そういう体制ではないかと思います。

会場：私のメモで分からないことが 10 個くらいあります。そのうち重複するものもあるので、2 つにします。1 つは地震の間隔です。それが 1400 年を境にして、1400 年以前は 200 年ぐらいの間隔、1400 年以降は 100 年の間隔ということは、プレートの速度が変わっていたのかどうかということ。もう 1 つは、先ほどからプレートの話がありまして、南海トラフと今回の巨大地震は、南海地震の方は先生からご説明がありましたように、付加体がある。けれども、反対に、日本海溝側の方は付加体が全然ない。それはどういうふうに理解すればいいのだろうかということ、その 2 点を教えてくださいたいと思います。

木村先生：前半の方の間隔がなくて最近の間隔が

短くなっているように記録としては見えるということですよ。おっしゃるとおりですね。いろいろな議論があります。1 つはかつての記録が長い時間を経ていますので、本当に 200 年間隔なのか、その間にないのかという問題もある。その可能性も考えておかなければならない。その上で原因を考えなければ、机上の空論となる。

最近議論になっておりますのは、同じように繰り返してきたのではなくて、1000 年に 1 度ぐらい大きいのがあったり、間隔も一定ではないのが当たり前ではないかということ。ちょっと前、一番大きいのは宝永地震、1707 年、富士山がドンと一緒に爆発しました。そのときは南海トラフが全部破壊されて非常に大きい。2000 年ぐらい前に何やらとんでもない津波の記録があることが最近分かってきています。要するに東北地方のように非常に長い間隔があったり、あるいは間隔が近かったり長かったりという、ちょっと前まではみんな同じぐらいの周期で繰り返すからというふうに考えられていたそのものを見直さなければいけない。では、一体それは何がどうしてそういうことが起こるのかというのは、ほとんど分かりません。だから、そもそも同じような周期で来るというふうに考えていたこと自身が多分違うと思うのです。

それから、2 つ目の質問の付加体についてですが、深くご存知で、まさにそのことがちょっと前まで問題だったのです。地球上の巨大地震は、皆付加体のあるところで起こっているように見えていた。ところが付加体のない日本海溝で起こったわけです。付加体ありや無しやということを超えて、もう一度見直さなければいけないと私自身は考えています。このことがどういうふうに影響するのかというのは、はっきり言ってまだ分かりません。ですから、私も今、考えている最中です。

日本海溝の先端の、いつもずれていないところ海溝から差し渡し 50 キロぐらいの距離までは南海トラフの分岐断層から海溝までは大体同じぐらいのスケールです。日本海溝のそれは陸側の斜面から崩れたものが再び押し付けられたものと考えられています。付加体というのは海底にたまったものが陸にペタペタくっついたもの。どちらも完全に固結していないグサグサに壊れたもの、あるいは堆積物で、物性的には、同じようなもの。だから、どちらもプレート境界の破壊が海溝まで達す

る時は大きな規模の地震と破壊になるということでは違いがないことを示している。すなわち付加体があるかどうかは関係がない、と見るべきだと思います。

会場：よくテレビで震源は深さ何キロとか聞くのですけれども、深いのと浅いのでは揺れはどちらが大きいとかとあるのですか。

木村先生：浅い方が大きいです。地震が起きて、最初に非常に強い波を出す。しかし、深いと、浅いところに来るまでに減衰し、波が小さくなる。地震の波というのは、僕の声は今君が耳で聴いているのと同じです。近いとよく聞こえますよね。遠く離れると聞こえなくなる。地震の波というのは音と同じで、遠く離れば離れるほど小さくなる。だから、浅い方が大きいです。

会場：DONETという計測システムの世界戦略について、これは安全性、信頼性を高めるためにどうやってしたらいいのかという議論を今ちょっと考えてみたのですけれども。例えば有線通信だけではなくて、無線通信は、あと無線でもだめだった場合、やはり狼煙をつけて発光体とかでやるということはどうか。あと、地上の方で当然、停電が起きたり、断線が起きたりする可能性もあるので、例えば基地局を南海だけではなくて、ほかの土地に分散させるとかそういう方法もあるのかなと思います。そこら辺、信頼性について教えてくださいませんか。

木村先生：私はそのことにあまり関与していませんが、とても大事な指摘です。この前、日本海溝のときに圧力計があったのに、それを津波が断線してしまった。だから、あれはそもそも警報システムの方に組み入れる予定でつくっていたのではなくて、研究用で置いてあったらしい。だから、それがもしもつながっていると、多いに役に立ったとはずだと。

それから、今おっしゃったような、もしも壊れたときにどうするか。本当に起きてしまったときはどうするか。こういうリスクはどうするんだみたいなことは、いろいろな知恵を持ち寄ることがすごく大事だと思います。当然、専門家はみんな考

えてやるでしょう。だけど、そこには絶対はないというのがこの間のいろいろな教訓でもある。オープンにして、あらゆる知恵を持ち寄って、本当にちゃんとした体制をつくるというのは非常に重要なことかなと思っています。

私は今、学会関係でいろいろなお世話をしてますが、もうとにかく開け、情報はオープンにしろと。それによって悪いと言われることはあるかもしれないけれども、オープンにすることが最も大事なことだよと言っています。そういうことはご関心のあるなら、NET関係もいろいろなところで開かれていますから、いろいろ直接意見を言っていただくと非常に助かるのではないかなと思います。

会場：9クラスの地震というのは、例えばチリ、60年ぐらいだったと思うのですけれども、いろいろ起こっていて、今回は2段階の津波だったわけですけれども、日本の場合はマグニチュード8.いくつ以上は起こらないだろうと言われていて、実際9が起こったわけです。なぜそれは8.いくつぐらいしか起こらないかということ、古くて沈み込みの角度は急だから起こらないという説を読みました。チリの方は新しいから角度が浅くて、その代わり地震が大きなのが起こる。

そうしますと、今回みたいに、2段階の津波が起こる可能性というのは、日本海溝のように古くて角度が急な沈み込みのところで起こる可能性が高い特殊なパターンなのか、世界中どこでも、やはり起こる可能性は非常にあるのか、例が1例だと思うので結論を出すのはちょっと早計かもしれませんが、今の段階のお考えでいいので、その辺はどういう具合に思われますか。

木村先生：これは私の個人的な意見ですが、今回、地震大ききマグニチュード9とかというのは要するに一時に破壊されるエネルギーです。そうすると、それはどのぐらいの領域が破壊されるということにすごく依存してしまうので破壊領域をどれぐらい大きく見積もるかということがあります。だから、そのときに、角度が急だと接触面積が小さい、角度が大きいと接触面積が大きい面になるというのが根拠に言われていたんです。

それから、もう1つは要するに海溝近くまでプ

プレート境界が全部壊れるということはないと考えられていました。その分、海溝から 50 キロぐらいカットしてしまう。ところが、海溝に直交する方向に 50 キロ、海溝に平行方向に何百キロという膨大な面積を、これは範囲に入れないということになってしまう。そうすると、破壊する面積は小さくなってしまっていて、M9 は想定できないということだった。

ところが、今回の日本海溝では先端まですっぽ抜けたのです。そうすると、もう考えるべき破壊の領域の大きさの面積がもうとてつもなく大きくなってしまった。マグニチュード 9 です。関西の方は今までは、最大マグニチュード 8.5 ぐらいと言っていたのが、海溝まで全部壊れる、それから、西の方は九州の沖合、日向灘というのがあるんです、それも全部一緒に破壊されると考える。そうすると、こちらもマグニチュード 9 だということになる。そういう意味で、海溝のところまで最大規模で壊れる場合を考えなければいけない。だから、そのときに、ちょっと角度が急だというふうなことというのはほとんど影響がないと見た方がいいと思います。

海溝の長さでプレートの沈み込む方向の距離を考えて、破壊される面積を考えると、地球上どこで起きてもおかしくないということになると思います。

以上