

「日本列島周辺の沈み込み帯の特徴

―海溝型地震発生帯の目視観察と地下構造―



(独)海洋研究開発機構特任上席研究員
藤岡 換太郎（ふじおか かんたろう）

要旨

地球上にはプレートの沈み込み帯が30ほどあり、共通する特徴によって2つのタイプに区分できる。堆積物が陸に付け加わる付加体（タイプ1）と陸が食べられる構造浸食（タイプ2）である。後者は蛇紋岩海山の有無によってさらに2区分できる。

日本列島周辺には4枚のプレート、太平洋、フィリピン海、ユーラシアそして北米のプレートがありそれぞれ千島海溝・日本海溝・小笠原海溝、南海トラフ・駿河トラフ・相模トラフ、日本海東縁に沈み込んでいる。日本には3つのタイプがすべて見られる。

潜水調査船による海底の目視観察や音波探査（地震探査）によって知られる海底の地下構造はこれらの3つで典型的に異なる。

タイプ1は海溝底の堆積物が沈み込むプレートによって陸側へ運ばれる時に変形し厚みが増すと同時に変形が進んで褶曲や断層を、さらに陸を形成していく。タイプ2では海溝底の堆積物は地球内部へと運ばれる。海側にできた地塁・地溝（ちるい・ちこう）構造や海山が陸側の斜面を削り取って地下深部へと運ぶ。堆積物の無い海溝底では上部マントルのかんらん岩が変質した蛇紋岩の泥が蛇紋岩海山を作る。

3つのタイプの沈み込み帯は海溝型の地震の原因を考える上で重要である。

皆さん、こんにちは。ただ今ご紹介いただきました藤岡です。

私は地質学が専門で、地震の専門家ではないのですが、少し違った観点から地震を見ていこう、ということで、今日はこのようなタイトルでお話しします。

スライド2が本日お話しするメニューです。私は新潟のお酒が好きで、こういうものを並べるのですが、最初に我々が住んでいる日本列島全体がどういう場所にあるのか、なぜ地震が多いのかということを見てから、各論として千島海溝・日本海溝、伊豆・小笠原海溝、マリアナ海溝、そして古村先生からもお話があります南海トラフに

ついて、海底の目視観察、あるいは海底下の地下構造を見ていくことで地震を考える材料にしたい、というお話をします。最後に、私の所属しております海洋研究開発機構で行っている地震に関係する取り組みについてお話をしたいと思います。

さて、日本列島は非常に地震が多く、昔から「地震、雷、火事、おやじ」という言葉がありますが、今でもやはり地震は1番怖いものでしょう。なぜ日本列島は地震が多いかということをまずご説明します。**スライド3**は、海上保安庁海洋情報部が作っている日本列島周辺の海底地形図です。日本列島の東側には、千島海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝という非常に水深が深い海溝があります。西側には、駿河湾から四国の沖にかけて、南海トラフがあります。

日本列島のこの地形配列には、4枚のプレート、すなわち、太平洋プレート、ユーラシアプレート、北米プレート、フィリピン海プレートが関係しています。たとえば、東北日本は、東西両側からプレートによって押されて陸上が隆起している状況です。プレートの動きによって、非常に大きなひずみを受けているのが日本列島なのです。**スライド6右図**はプレートの境界を赤で示していますが、太平洋プレートは年間約10cmずつ押し寄せていて、南側のフィリピン海プレートも年間約4cmずつ押し寄せています。おまけに、日本海側からユーラシアプレートも押し寄せています。こういったプレートの運動に伴って地震が起こる、それが日本列島の宿命なのです。

そのプレートとは何なのかといいますと、地球の半径は大体6400kmくらいあるのですが、その地球の表層を覆う100kmぐらいの厚さの硬い板、岩盤がプレートです。プレートは、日本列島からうんと遠くにある海嶺という場所で作られて、1年間に約数cm～10数cmの速度でどんどん移動してきます。そして、日本列島の近くに来たプレート

スライド 2

本日の献立

百寿: 日本列島周辺の海溝の特徴

千寿: 千島・日本海溝

紅寿: 伊豆小笠原、マリアナ海溝

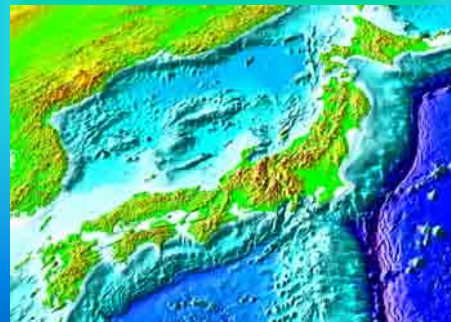
翠寿: 南海トラフ

碧寿: 地震に伴う現象

万寿: JAMSTECの取り組み

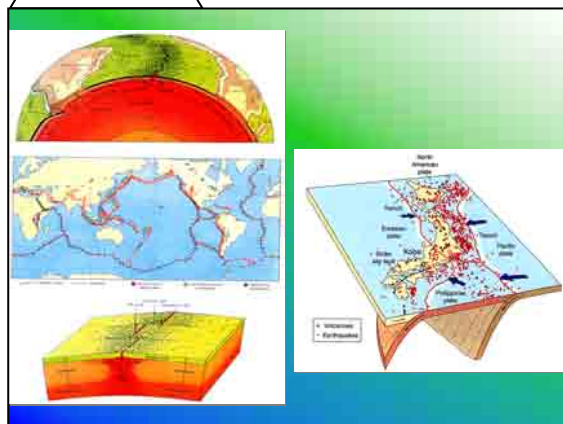
スライド 3

日本列島周辺の地形



海洋情報部による3D地形図

スライド 6

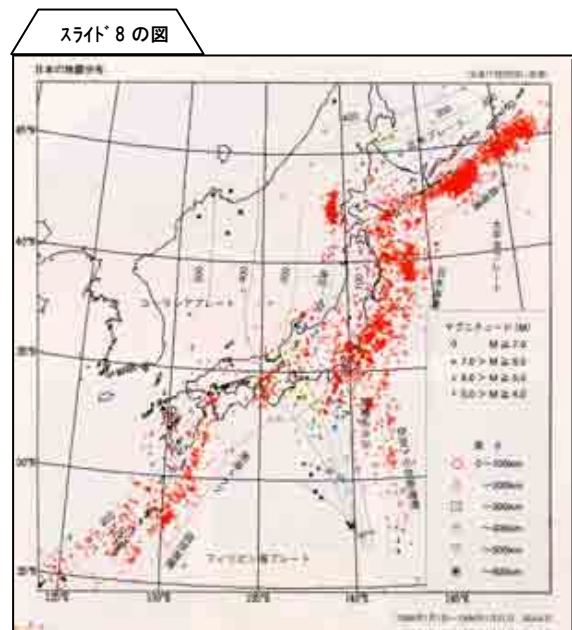


は、不思議なことに地球の内部に戻っていきます。地球の内部に戻っていくとプレートはスラブと呼ばれますが、両者は同じものです。プレートは深さ660kmくらいのところまでずっと潜っていき、そこに横たわります。海溝では、そのようにプレートが押し寄せてくるためにひずみがたまります。ひずみが大きくなって、周辺の岩石の強度を超えてしまうと岩石が破壊されて地震が起こります。これが地震発生メカニズムです。プレートは地球上に10数枚ありますが、日本列島は其中でも先に述べた大きな4枚のプレートがせめぎ合う場所になっています。日本列島は、このようにプレート同士がせめぎ合うために非常にひずみが多く、しょっちゅう地震が起こる場所になっているということです。

スライド8の図は、日本列島周辺の地震の空間分布を示したものです。地震は、海溝付近から大陸に向かってたくさん起こっていますが、起こる深さは大陸に近づくに連れて徐々に深くなっています。この事実は、1934年に和達先生が発見されています。

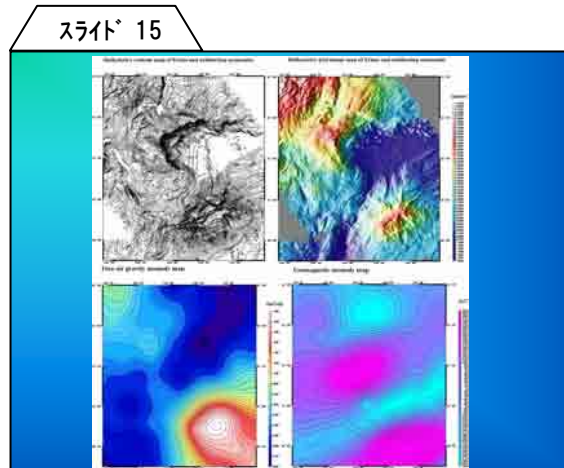
また、地震にはさまざまな規模（M）のものがああります。Mの大きい地震は、地震が起こってもたまったひずみを一度に解消できず、何度も何度も小さな地震が起こっていきます。そういったものを余震、余震が起こる範囲のことを余震域と呼んでいます。余震域の範囲が大きな地震ほど地震の規模が大きいということがいえます。その分布を見ますと、そういう大きな地震は日本海溝、千島海溝といった海溝の周辺に集中していることが分かります。中でも、東北日本の太平洋側、西南日本の南海トラフ、もう1つは日本海東縁で大きな地震が集中して起こっています。そういった特徴が日本列島周辺にはある、ということを入念に入れておいていただきたいと思います。

海洋研究開発機構では、特に私は地質学が専門なので、いろいろな船を使って海洋底を観察したり、あるいはそれより深いところの構造を調査したりします。深海底を調査するためには、例えば有人潜水船の「しんかい6500」や無人探査機を使ったりしています。これから日本列島周辺のいろいろな海溝、特に大きな地震が起こる場所の海底を皆さんにご覧いただきたいと思います。



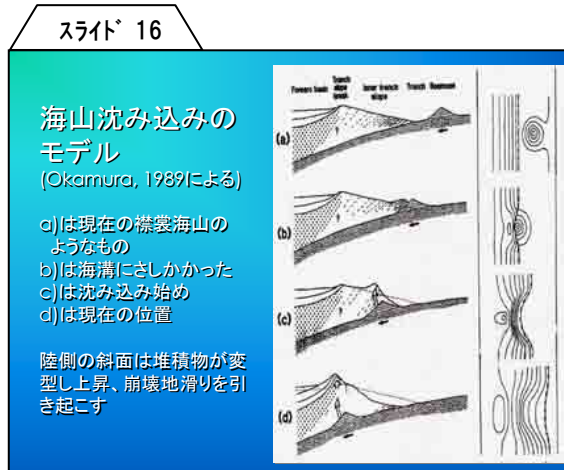
千島海溝・日本海溝を最初に見ていきましょう。東北日本の近くには、太平洋のずっと東の方から、1億年ぐらい前にできたプレートが年間約10cmの速度でどんどん押し寄せてきているとお話ししました。**スライド13**はその様子を簡単に示したものです。約100kmの厚さのプレートがずっと沈み込んでいって、深さが約110～140km程度になるとマグマをつくり、そのマグマが火山をつくるわけですが、地震はそれより少し浅い、深さ70～80kmくらいのところで非常に起こりやすい、とイメージしてください。そういう場所に潜っていきましょう。

まず、千島海溝です。千島海溝は日本海溝の北にありますが、その2つの海溝の交点には襟裳(えりも)海山という山があります。富士山ぐらいの大きさの山なのですが、この山は、今から大体1億1000万年前にずっと南の方でできたものが、プレートに乗って移動してきたもので、それが今まさに日本列島に押し寄せてきているという状況です。しかし、実はその先に、これよりも古い海山がもぐり込んだような場所があるのです。そういう場所の地形を見ますと、**スライド15**のような馬蹄形の非常に急峻な地形をしています。これは一種の大崩壊地形です。さらに、その地下は非常に重力が高く、地磁気の異常があります。つまりこの下には、襟裳海山と同じようなものが過去に沈み込んでいったということが分かります。



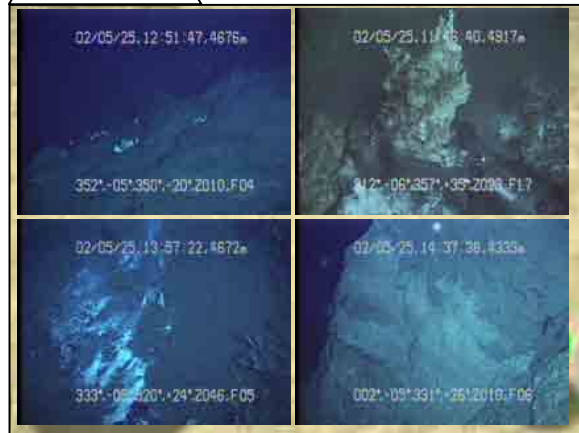
海山が海溝に沈み込んでいくと、**スライド16**のようなことが起こります。すなわち、海山がプレートに乗って移動してきて ((a))、これが海溝に差し掛かると沈み込んでいくときに障害となり ((b))、陸側にあった堆積物が押し上げられていきます。さらに、その下にもぐりこむと、堆積物が非常に高く盛り上がり、地形的に不安定になります ((c))。そしてさらに深いところにもぐりこむと大崩壊が起こります ((d))。このようにして、**スライド15**のような馬蹄形の地形ができるわけです。こういった場所で音波探査を行うと、非常に顕著な反射面が見られ、もともと水平だった地層が、海山が沈み込むことによって伸し上げられて、現在非常に急峻な地層になっているというを確認することができます。

さらに、実際に潜水調査船で潜てみると、**スライド18左上写真**のような、シロウリガイという化学合成生物群集が非常にたくさんいます。また、炭酸塩チムニーという炭酸カルシウムでできた煙突状の構築物 (**スライド18右上写真**) が出てきたり、非常に大量のバクテリアが



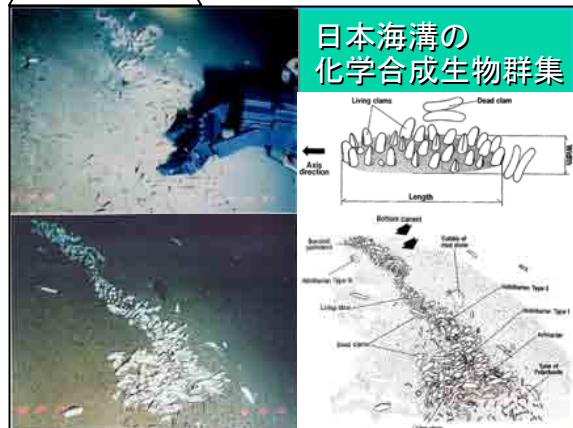
地下から出てくるメタンや硫化水素などによって生息しており化学合成生物群集と共生している、という奇妙なことが起こっていたりします。そういったことが起こるのは、実は先ほどのもぐり込んだ海山がつくっている急峻な地形であり、ここからメタンや硫化水素が上がってきていて、これらの生物を養っているということが言えます。以上が千島海溝の特徴です。ここでは、海山がもぐり込んでいるために、周辺の地層が変形を受けてぼろぼろになっているということをご説明しました。

スライド 18



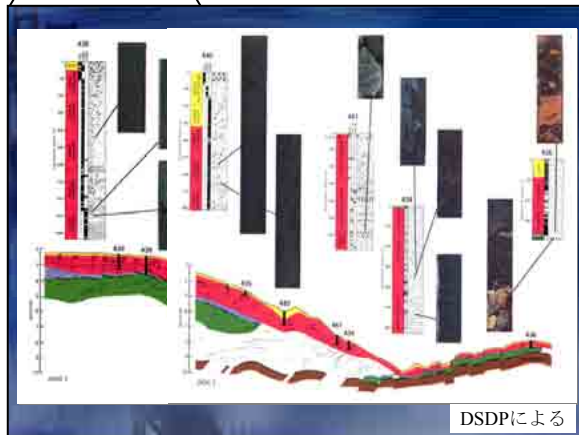
次に、千島海溝の南の日本海溝を見てみましょう。ここに潜水調査船で潜ってみると、やはり非常に大量のシロウリガイ群集を発見することができます(スライド20)。この生物を養うためには大量の栄養物が必要ですから、これは水深6200mくらいの深海で、地下からメタンや硫化水素が上がってきていて、ここに生物を養うようなものがあるということが言えるわけです。そして、このメタンや硫化水素は、断層から上がって来ることが分かっています。

スライド 20



今、海洋の表面のお話しかしていませんが、もうすこし深いところを調査するには深海掘削を行います。掘削船によって、深海をずっと深いところまで掘ってやり、どのような地層があるかを調べるわけです。深海掘削は、「カス-1号」から始まり「グローマー・チャレンジャー号」、「ジョイデス・レゾリューション号」などの掘削船が活躍してきました。海洋研究開発機構も「ちきゅう」という海底下7000m程度まで掘削できる掘削船を持っています。こういった掘削船を使い深海掘削を行えば、非常に深いところの地層を見ることができます。

スライド 24



前までの地層を全部連続的に見ることができます。すると、例えば「日本海溝の海溝軸に非常に近いところに2000万年程前に大きな火山活動があった」というように、過去に起こった事象を知ることができます。また、非常に大きな断層があってその上の岩石と下の岩石は時代も全然違い、顔つきも全く違う場合、その大きな断層は、そこに大きな地震が起こったということを意味しています。深海掘削は、古い時代のものを見ることができる一種のタイムトンネルのようなもので、たくさんの地震の跡を見ることができます。このように、掘削も地下の構造を見るために非常に重要な手段であるといえます。

今まで日本海溝の陸に近い陸側斜面を見てきましたが、逆に沈み込んでいく太平洋プレートの上側はスライド25のような地形をしています。黒いところは非常に急峻な斜面となっていて、凹みと高まりが繰り返されています。太平洋プレートが日本列島周辺に沈み込むときにたわんで、このように表面に割れ目ができるわけです。こういった割れ目ができたときには非常に大きな地震が起こりますが、たとえば1933年に起こった三陸津波地震がその例です。

日本海溝のこういった陸側の特徴は、陸側の地面がどんどん浸食されているような沈み込み帯であるといわれています。スライド28のように、こういった地塁・地溝構造をしているわけですが、これがずっと年間10cmで沈み込んでいくと、陸側の部分を剥ぎ取って、どんどん地球の内部に持って行ってしまいます。

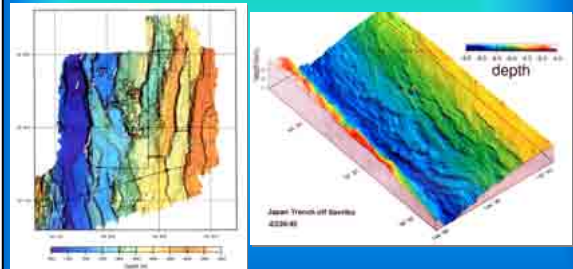
時間の関係上、伊豆・小笠原海溝とはばして、マリアナ海溝を見ていきましょう。

マリアナ海溝は、日本海溝と同じ構造浸食のタイプなのですが、日本海溝に比べてプレートの沈み込んでいく角度が非常にきついということが分かっ

スライド 25

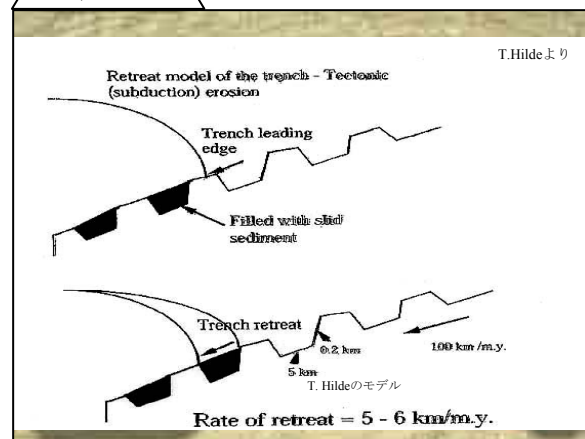
海側斜面の地形

顕著な地塁・地溝構造



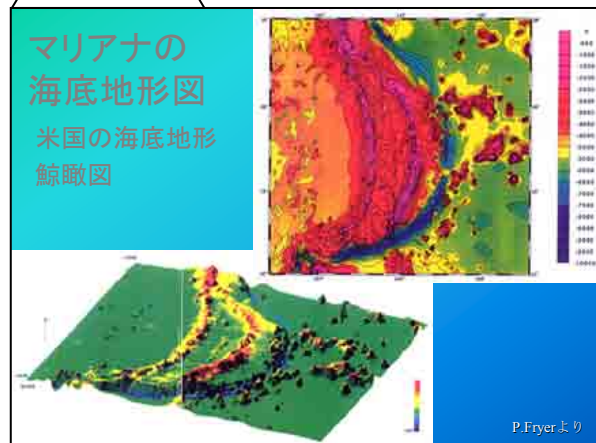
西沢あずさ氏による

スライド 28



スライド 30

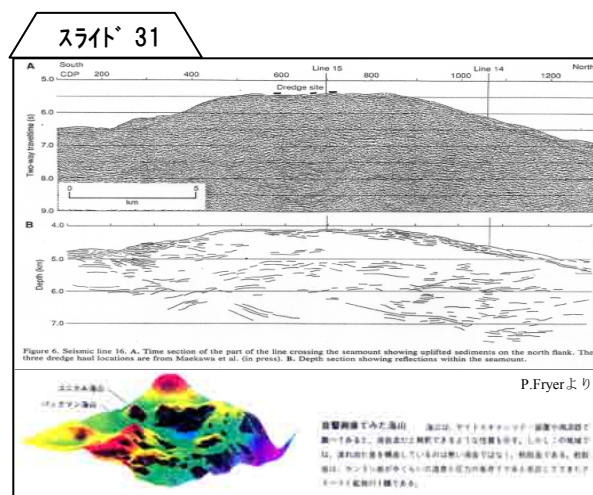
マリアナの海底地形図 米国の海底地形 鯨瞰図



P.Fryerより

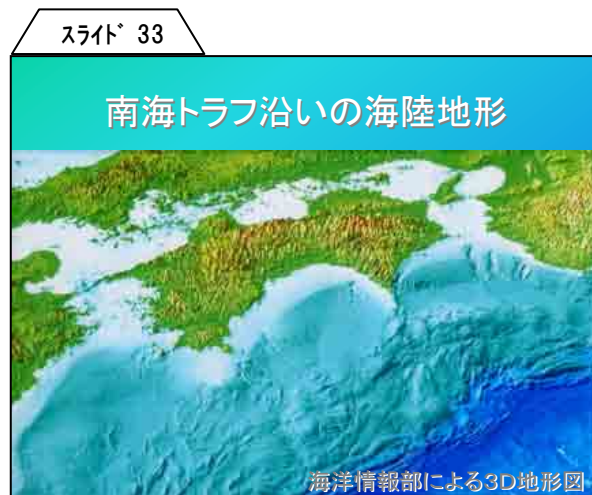
ています。例えば、マリアナ海溝には世界で一番深いチャレンジャー海淵というところがありますが、ここには非常にたくさんの蛇紋岩という岩石でできた山があります。日本海溝に沈み込んでいるプレートは、約1億1000万年前にできたものと先程言いましたが、ここに沈み込むプレートでは約1億8000万年前の海底の溶岩や、生物の死骸がたまったチャートという地層がもぐりこんでいます。

そういう場所の地下構造を見ますと、**スライド31**のような構造をしています。これは蛇紋岩という岩石でできている山なのですが、内部構造が全く見えません。非常に密度が低い物質が大きな変形を受けたりすると中の構造が見えなくなることがありますが、この山をつくっている岩石は、上部マントルをつくっていたカンラン岩というものが変質してできた蛇紋岩で、非常に流動しやすいものです。こういう場所に潜ると、蛇紋岩が泥になったようなものが



が流れて蛇紋岩フローをつくっている様子が見られるし、ものによっては、地下の上部マントルから出てきた物質と一緒にまだあったりします。それから、炭酸塩チムニーという炭酸カルシウムでできた煙突みたいなものが出てきます。さらにある山では、先ほど出てきたような化学合成生物群集が出てきていて、こういうところには地下からやはりメタンや硫化水素が上がってきているということが分かっています。

後ほど古村先生からもお話があります南海トラフ沿いでは、非常に大きな地震が起こっています。ここは水深が4800m程度と非常に浅いので、海溝と言わずにトラフと呼んでいます。実際には海溝と同じものです。陸側は、堆積物が非常に厚く堆積しているため水深が浅くなっています。南海トラフでは、フィリピン海プレートが沈み込んでいて、さらにフィリピン海プレートの上にある海山や海嶺が沈み込んでいます。**スライド33**は四国沖の南海トラフの地形を示しています。陸側に非常に顕著な高まりと低まりのような構造があり、付加体というものを作っている典型的な構造が見られます。それが南海トラフです。さらに、先ほどご説明した千島海溝と同じように一種の崩壊地形があり、この下に海山が沈み込んでいった、というようなことが分かります。



南海トラフの場合は、トラフの軸にたまっているものは全然変形していないのです

が、これが陸に近づくに従ってだんだん変形していき、場合によっては断層を介して、それがもう一度盛り上がる、ということを繰り返していることが分かってきています（スライド34）。たまった堆積物は次々と陸側に押しつけられ、付加体というものをつくります。こういった付加体をつくるための大きな断層はすべて大きな地震によってまかなわれている、というのが南海トラフの特徴です。そこにいろいろな構築物、例えば銭洲海嶺という、海山のもっと大きなものがあります、こういったものが地下に沈み込んでいっていることも分かっています。

それから、地下からはやはり水に溶けた泥、一種の噴砂みたいなものですが、こういったものがかなり大きな山をつくっています。さらに、地下からメタンや硫化水素が上がってきているために、化学合成生物群集が非常に顕著に見られます。同じように、そこにできている地層はぼろぼろに変形してたまっている、ということが起こっています（スライド37）。

南海トラフでも深海掘削を行い、1000mくらいまで掘っています。こういった付加体を全部掘り抜いて、沈み込むフィリピン海プレートまで掘っているのですが、その中でも非常に大きな断層を介して、地層が大きく変形していることが分かっています。

以上、日本列島周辺について今見たことをまとめると、スライド39のようになります。

日本列島の周辺には4枚のプレートが沈み込んでいて、沈み込み帯をつくっています。すなわち、海溝型の地震が発生するような地震帯が存在します。その沈み込み帯で、沈み込んでいくプレートは場所によって角度が大きく変わります。実はこのことは、地震の発生に大きく影響します。例えば伊豆・

スライド 34

音波探査記録

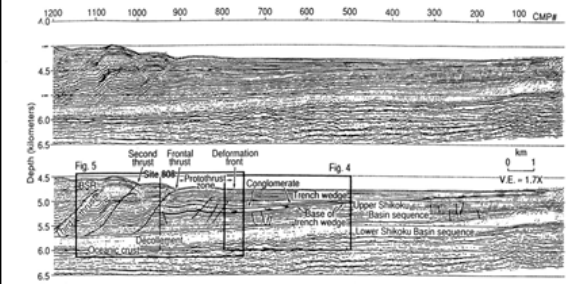
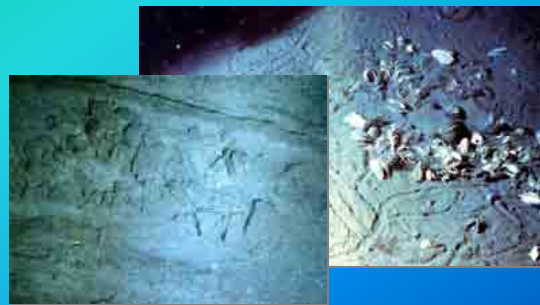


Figure 3. Depth-migrated section of seaward part of line NT62-8. Arrows indicate reflection terminations. Locations of Figures 4 and 5 are indicated with boxes.

スライド 37

南海トラフの底

化学合成生物群集であるシロウリガイの群集が見られる周辺の地層は著しく変形している



スライド 39

日本列島周辺のまとめ

- ・4枚のプレートの沈み込み帯が存在する
- ・沈み込むスラブはその角度が変化する
- ・伊豆やマリアナではスラブが670kmで横たわる
- ・沈み込み帯には付加型(南海トラフ)と浸食型(千島・日本海溝や伊豆・小笠原海溝)がある。浸食型には蛇紋岩がある伊豆・小笠原とない千島・日本海溝に分れる。
- ・堆積物の多い南海トラフと少ない日本海溝
- ・地塁・地溝の顕著な日本海溝
- ・海山や海嶺の沈み込みがアスペリティを作る

小笠原海溝やマリアナ海溝では、このスラブが670kmぐらいで横たわっているし、沈み込む角度は非常に急であることが分かっています。

千島・日本海溝、伊豆・小笠原海溝、マリアナ海溝を比べてみると、千島・日本海溝や伊豆・小笠原海溝は一種の浸食型です。それに対して南海トラフはものが付加していく付加型、すなわち陸を増やすものであるという区分ができます。以上が日本列島の周辺の特徴です。

最後に、我々海洋研究開発機構の取り組みをご紹介します。

スマトラ沖地震が最近起きましたが、これはおそらく世界最大の非常に大きな津波が発生し、20万人以上の方が亡くなっています。**スライド41**は津波が起こった海底に我々の調査船を持っていき、地震が起こった直後の海底を見てきたものです。地層がぼろぼろに変形し、そこで大きな地滑りや地割れが起こっているというを確認しました。

日本列島の近くでも、例えば1993年に北海道南西沖地震という津波地震が起こっています。このとき、青苗という地区は、津波に襲われると同時に陸上では家屋が燃えてしまう、という火攻め・水攻めに遭いました。**スライド43**はその様子です。津波によって家屋が全部なくなってしまう部分があります。この写真で大事なことは、陸には幾つかの段丘があり、かつて海岸線に近かった地面が隆起して、何段も平坦な面をつくっているということです。

こういった段丘は、地震によって地面が隆起するためにできるので、ここではそういうことがずっと繰り返されてきたということを意味しています。日本列島の周りには、こういった地形が非常にたくさんあります。

また、津波というと1933年の三陸津波地震も有名です。例えば吉村昭の『海の壁』という本がありますが、いろいろな人たちが語り継いでいます。綾里湾では最大28mの高さにもなりました。

地震を専門にやっている人は、前兆現象に関してはかなり懐疑的だと思うのですが、けれども、私は地質屋で勝手なことを言いますが、意外に似た前兆現象が過去の複数の

スライド 41



スライド 43



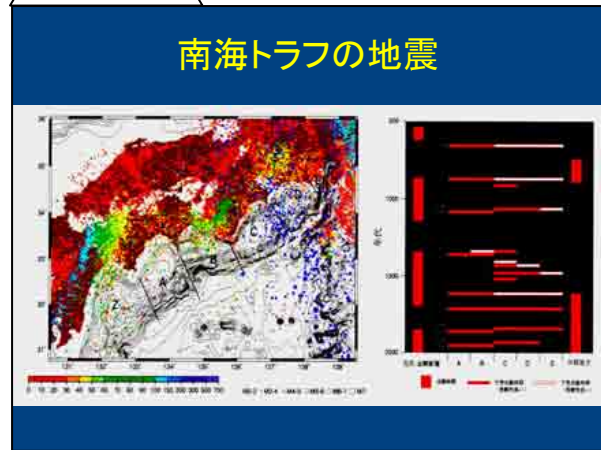
地震で起きたりしています。ですから、こういうものをきちんとした形で取り入れて、今後の地震の予知へつなげることもできるのではと思っています。

南海トラフの場合は、地震の起こるゾーンがA、B、C、D、…と幾つかのゾーンに分かれています。スライド45のグラフは、地震が大体二百～百数十年くらいの間隔で起こっている様子を示しています。いろいろなゾーンがいっぺんに破壊してしまうような地震が宝永タイプです。そういう大きな地震が起こると大変なことが起こりますが、地質的に重要な点は、スライド46の写真（室戸半島）のように、非常に高いところまで平坦面があって、もともと海面に近かったところが繰り返す地震のために隆起して行って、こういう形になってしまうということです。

海洋研究開発機構の地震に関連した研究として、地震発生帯の目視観察、過去の地震発生帯の地質調査、地下構造の調査、さらに、実際に掘削を行って、地震発生帯に例えば地震計を設置したり、あるいは傾斜計を置いたりして、地震の予知につなげる取り組みを行っています。それから、地震発生シミュレーションも行っており、これからの取り組みでいく予定です。例えば、沈み込んでいくプレートの構造は地震波の速度構造の解析からある程度推測することができます。南海トラフの場合では、スライド49のように地下大体30kmぐらいまでの非常に詳細な構造が分かるというわけです。

それから、掘削船「ちきゅう」によって、地震発生帯をつくる大きな断層の枝分かれの断層を掘り進めました。現在その調査が終わったばかりなのですが次はもう少し深いところまで掘削して行って、その場所でどういうこと

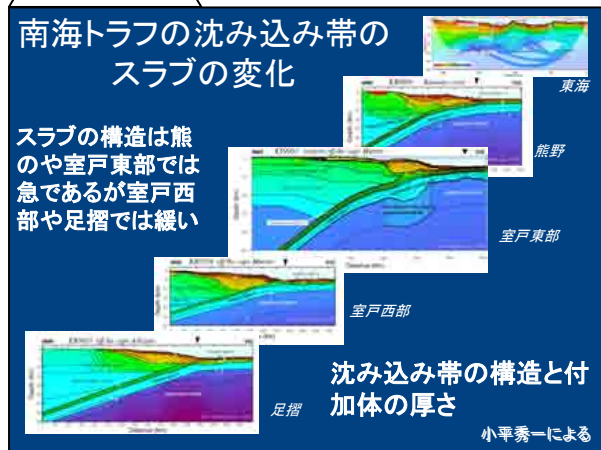
スライド 45



スライド 46



スライド 49



が起こっているかを見る予定です。

また、地震が起こると地面が短時間のうちに非常に激しくこすれるために周辺の岩石がものすごく高い温度で溶け、ガラス状の物質になってしまうことがあります。そういうものをシュードタキライトと呼んでいますが、そういった過去の地震の跡を観察することによって地震発生の予測につなげることも出来ると思います。

ご清聴、どうもありがとうございました。(拍手)

【質疑】

質問者 いろいろ知らないことをたくさんうかがったのですが、メタンとか硫化水素が出てきて、シロウリガイその他の生物が生息しているという話は前から聞いておりましたが、このオリジンは何なのでしょう。つまり、そういう深いところにもやはりメタンはあるのでしょうか。

藤岡 あります。例えばメタンハイドレートという言葉をご存じだと思うのですが、ある地層の中にメタンの元になる水和物が個体としてあるわけです。それが、例えば温度が上がったり圧力が減少したりするとガスになって上がってきます。そのもととは基本的には有機物なのですが、陸から運ばれてくるいろいろな砂とか泥の中に大量の有機物が含まれています。例えば、落ち葉とか、そういうものがどんどん地下深いところにたまっていき、酸素がない状態で分解するとメタンができるわけです。あるいは生物がつくるとか、幾つかの可能性がありますが、基本的には有機物とか、あるいは生物が合成してできます。それが、地下の上がりやすい場所から吹き出してくるわけです。そういうパスウェイというのは地層の境界であったり、あるいは断層そのものであったりします。あるいは、砂みたいなものにはすき間がいっぱいありますから、そういうところからじわっと上がってくるということです。

質問者 どうもありがとうございました。

