深海の測量調査とメタンハイドレート

富山大学名誉教授
一般社団法人立山黒部ジオパーク協会学術顧問　竹内 章

本日午前中のセミナーから参加させて頂いて、最先端の測位測量技術その活用技術ということで非常に深く感銘を受けています。こういう場でお話しさせて頂くことを大変光栄に思っています。本日は多少とも皆さんの中には関わっておられる方もいるかと思いますが、陸上とか空中とかではなく海底の話を中心に、今回のセミナーの地理空間計測・活用に関係するということでお話しさせて頂きます。

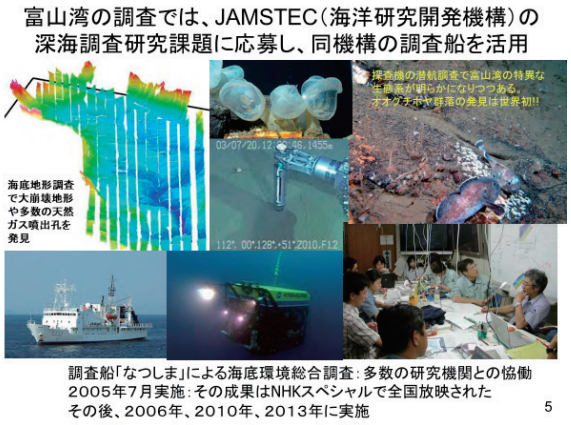
タイトルは、「深海の測量調査とメタンハイドレート」ということでご用意しました。まず自己紹介ですけれども地質学が専門です。その中でも活断層とか、これは陸上の活断層のことですが、昨今はドローンとか8Kの映像とかを使うような形になってきていますし、陸だけでなく海底の調査で活断層のこともやっています。現在は富山の北アルプスの黒部川ダム排砂評価委員会に関わっており、多少ともその方面でも測量に関係しています。もともと陸上の活断層から始まっていますが、海の方にも関係してきています。活断層というのは陸上だけではなく海、同じ活断層が陸上から海に伸びているところも日本全国各地にあるからです。

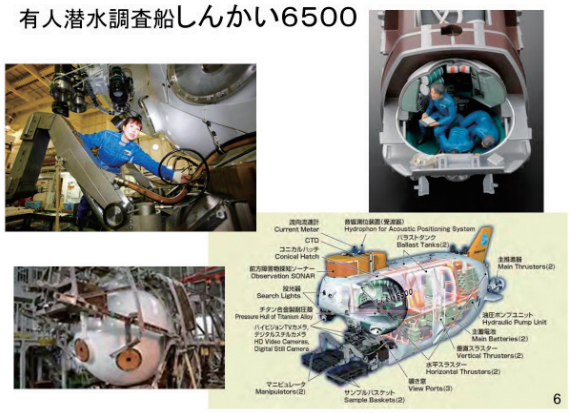
今日は石川県に来ていますので能登の海女さんの写真をお見せしていますが、私は素潜りではなく潜水船を使うかたちで海の中、海底に関わってきました。

潜水船には母船がありまして、その母船で運ぶことになっています。もう退役しましたが「しんかい2000」という有人の潜水船で、製造直後の早い時期から富山湾とか日本海に来ています。下図はその母船「なつしま」という船で、この船も現在は退役してしまって新しい調査船になっていますが、色々な研究者と一緒に調査をしました。潜水船は有人ですと、何かあった場合の救難艇が必要です。「ドルフィン3K」と呼んでいましたが、そういった無人機も積んでいました。しかしそれをただ救難だけで載せておくのは勿体ないのでこのロボットもふだんの調査に活用するということも行われています。

実際、私の関わった富山湾調査では、主にこれらの潜水船と母船とか探査機器は海洋研究開発機構（JAMSTEC）の持ち物でして、そこの研究課題に応募して使わせて頂くという方式です。富山湾で、まず海底地形の調査をし、そこからどこでどういう調査をするか計画を立てて出かけるわけです。そういう中で、例えばオオグチボヤという非常に世界でも珍しい群生場所が見つかったり、色々と普段見ることのできない海底の様子がNHKスペシャルで放映されたということもありました。

富山湾では「しんかい2000」という有人潜水船でし





たが、現在その後継船は「しんかい6500」で、実際は10,000mぐらいまで潜れますが、有人ですので安全をみて運用上は6,500mまでしか潜らないという形で運用しています。3人乗りで様々な機器が付いております。これも色々と改良を加えていまして、私が乗っていた頃はメインのプロペラとかスラスタは1基でしたけれども、現在は2基付いています。船を操縦する際に使うメインのプロペラのほかに、スラスタという左右に首を振ったり上下に移動したりするような装置もありますし、中性浮力を保つためのタンクがあったり、ロボットアームも付いています。その他は計測関係でほとんどが音響によるものです。測位装置とかソナーとか色々なものがあります。

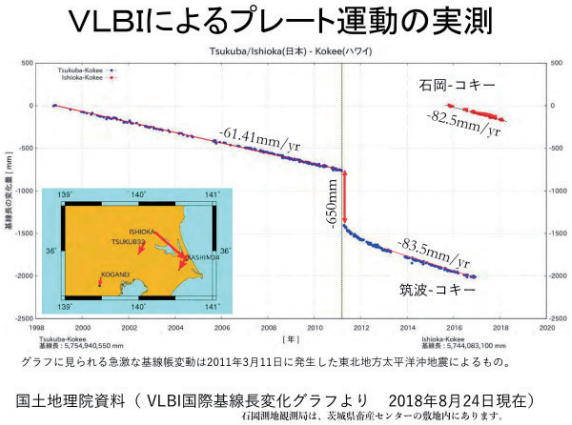
海底では色々な対象を観察しますが、船長さんのパイロットと機関長のコパイロットと研究者の3人で見ます。右上の図は映像記録の例で、画角が狭い感じがすると思いますが、今ではもっと広くて画質が良くなっています。有人の場合は覗き窓もあったりして海底では非常に広い視野の中で作業しています。例えば、船尾にあるプロペラが上げた泥煙がだんだん目の前にやって来るので、それまでに仕事を済ませるとか、そういう判断をしています。

無人探査機の場合も似たような感じですが、無人ですので光ファイバーケーブルを通じて母船の操縦室にいくつもディスプレイがあって、カメラも前後左右たくさん付けてそれを見ながら判断するという形です。この探査機はカナダで製造されたということで、まだまだ純粋な日本製がそう多くないというのが現状です。

このようなことに関わってきましたが、実際に深海底の測地測量とはどういうものなのかというご紹介に話を進めてまいりたいと思います。深海調査は何故必要なのかということ、学術研究上どんなことが必要なのかということ、フランスでは実際に深海底の土木工事というのも結構やられておりますが、色々なことで使用目的を考えてどんなシステムが必要になるのかということは、本日の発表の中で色々な面でのお話がありましたが、それと全く同様です。私に関して言いますと、現在の地殻変動を調べるとか、地震とか火山に関係した地球の運動の現場観察をするということは、やはり有人の作業を行う探査機が必要だということを

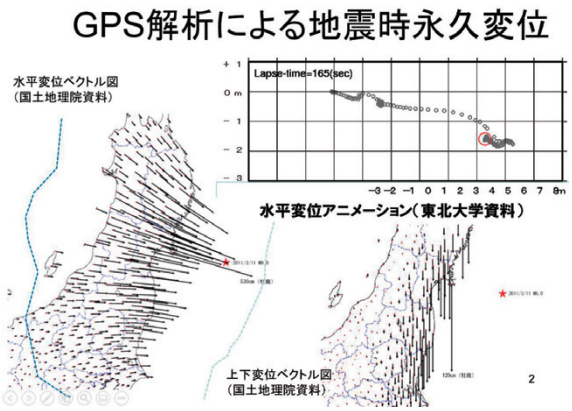
思っているわけですが、これは有人の宇宙船が必要かどうかという議論と全く同じです。無人ですべてできるという考え方もありますが、やはり有人の良さはあると思っております。

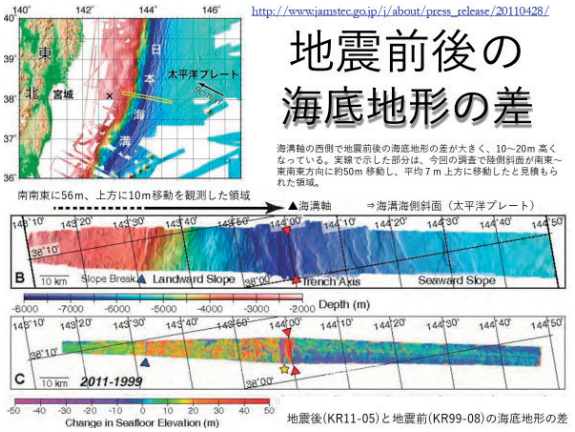
地球の活動で地震、火山、津波などが起きたりします。ご存知かと思いますが地球上はプレートという固い殻で囲まれていて、それが運動をしているわけです。ハワイ島が動いているとか、アジア大陸が各地で動いているとか、プレートの運動をしているわけです。早いものですと年間10cm位、遅いものでも年間2～3cmというような動きをしているのがプレートの運動です。



最近は超長基線干渉法VLBIという技術によるプレート運動の実測があります。上図は筑波とハワイ間の基線長を測量しているものです。グラフがジャンプしており、下は短くなる方で、急に短くなっていますが基線長の変化量は65cmあります。3･11東北沖の超巨大地震のジャンプです。それまでは太平洋プレートの運動は、筑波とハワイの間で測ると年間6cmくらいだったのですが、その後ジャンプして最初早かったのですがだんだん収まっていて8cmくらいになっています。場所を変えても同じくらいです。こんな計測がプレート運動に関して行われています。

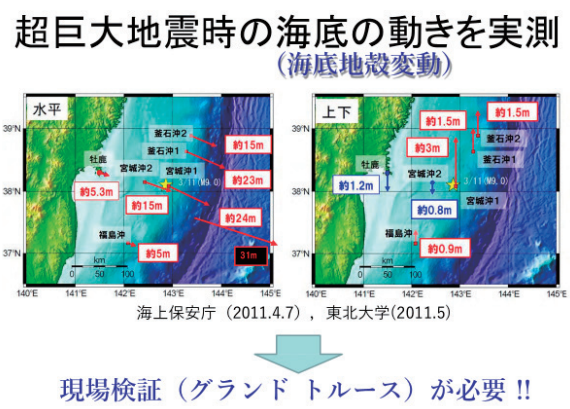
その3･11地震の時ですが、現在は準天頂衛星「みちびき」も使えますけれども、当時はGPSとかGLONASSしかなかったのです。つぎの図は東北大学のキャンパスでの動きですが、地震の時に6mくらい東の方向に動いて少し戻って収まったというデータが得られています。それをベクトルに示すと、水平変位とか上下変位になりますが、このようなことがあったということは皆さまなら良くご存じだと思います。

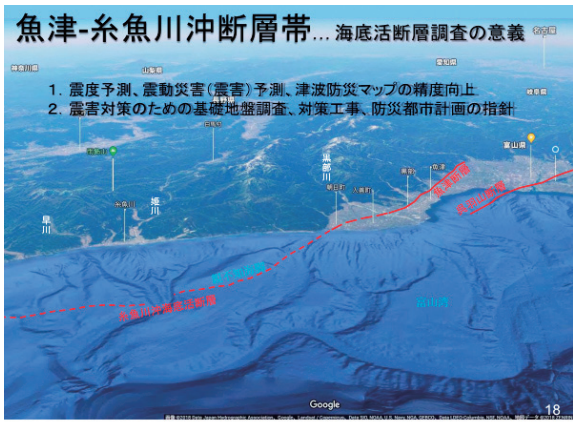




海底の方はどうなのかということですが、巨大な津波を引き起こしました。その津波が起きたおおもとの場所では、海底地形や海底形状が変化したことによって津波ができたわけです。現象としては地球科学的な表現では､東北日本の北アメリカプレートがはね上がったということになっています。これはどのように調べたのかと言うと、地震の前後で測っているわけです。これは船を走らせるので航跡が図から読み取れるかと思いますが、直下だけではなくて一定の幅で地形の調査ができます。それを並べることによって面的な地形図になっていくわけです。震源付近の海域で同じ測線を比べてみたわけですが、それを地震の前後で差分を取っています。あまり変化してない所は黄色、寒色系は沈降した所で、隆起した方は暖色系です。そうすると赤い三角印が最も隆起した箇所となり、量も出ています。50mくらいです。そういった方法で調べたところ一つの測線ですけれども、このあたり一帯が東北日本にのっている北米プレートの先端がせり上がったという評価になりました。

これは一種のリモートセンシングなので現場の検証



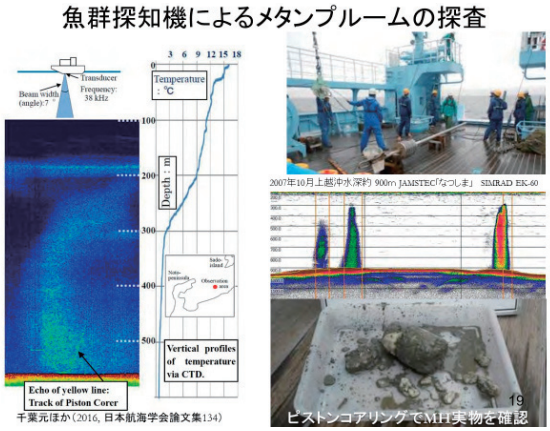


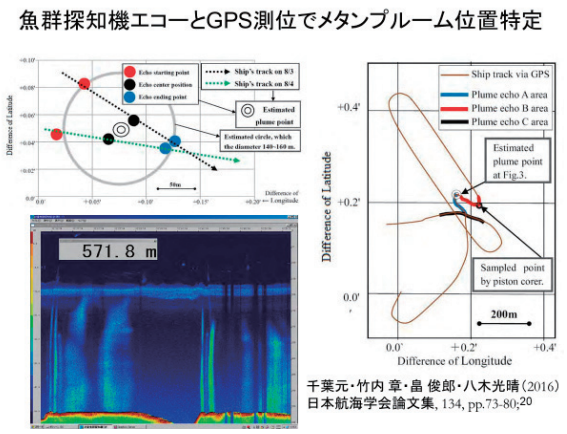
が必要なわけです。陸上でも同じことだと思いますが、海底にもそういうセンサと言いますか、地殻変動を測るものが置いてあります。しかし深海底では直接電波測位というような技術が使えないので音響測位になります。海岸に置いた測器はGNSSを利用していますが、海底については音響です。あるいは海底に直に測器を置いてそこで記録したものを後で回収するというやり方がありますが、その結果得られた地震時の動きというのが赤色で示した矢印です。水平の動き、上下の動き、先端に置いていないのでちょっと数字が小さめですが、先程のリモートセンシングで出ていたものと調和的な結果が得られたということになっています。

深海底の調査技術を列挙してみますと、メインは、地形図を作るものです。海上保安庁もやっております。それから海底面の探査、サイドスキャンソナーとか合成開口手法とか色々な技術が使われています。浅いところは航空レーザも使うことができます。近年は陸上や空中とも同じでAUVが使われています。AUV「うらしま」はJAMSTEC所有です。その他、東京大学や九州工業大学とかで開発されている探査機もありますし、三菱重工とか色々な機関で作られています。あと音波探査です。人工地震探査、測位関係、それから物質科学的な採泥作業も調査の中にあります。これは一番原始的でなかなか技術が進歩しない分野ですけれども重要なのです。

右上図で具体的なお話をさせて頂きます。下側が日本海、上側が陸上で日本海の方から太平洋側を見ているわけですが、北アルプスがあり、黒部川があり、沿岸に扇状地が並んでいます。活断層は陸上の行政的な何県、何市とか関係なく、それから陸だとか海だとかも関係なく存在しているわけで、例えば魚津断層は糸魚川沖に100㎞くらい続いています。呉羽山断層もやはり陸上から海の方まで伸びています。海の中であっても断層に沿って丘とか山脈ができているわけです。防災関係の仕事では、色々な予測、実際の土木工事などにこういった海底活断層の調査が必要であると思われます。

その中で本日はメタンハイドレートの話をするわけですが、海底の資源探査、石油とか天然ガスに関係した測量というのもあります。新潟県の南西部に糸魚川市とか上越市があり、その沖合にメタンハイドレートがあるのですが、そこではメタンガスが出てきます。そのガスは泡になって出てきて普通の魚群探知機でも捉えられるのです。実際は単なる泡ではなく、気泡と海水の間はメタンハイドレート、ガラスとかシャボン玉のような殻がついていて、それがよく反射してその反射が強いので普通の海水よりは白っぽく映っているプルームと呼んでいるものが上がってきています。水深200mくらいのところでそれ以上上がらなくなって、浮力の関係でそこで漂うような現象が認められています。そういう海域でピストンコアという鉛の板を何枚か重

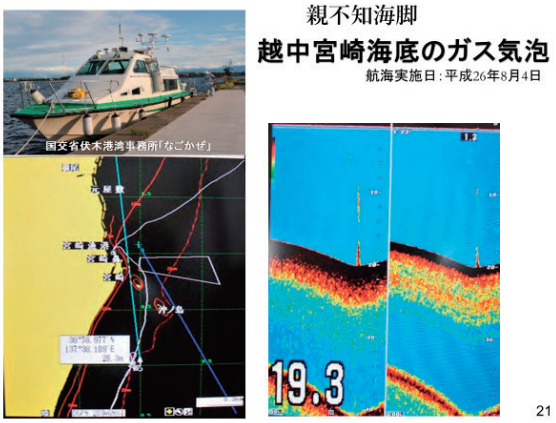




ねて錘にしたパイプを落として、重力式のサンプラーを使うとメタンハイドレートが回収できるというわけです。

上図ではプルームが何本も見えていますが、同じ場所を船が行ったり来たり、あるいは違う方向で取ったりして、出てくる場所を特定するということです。原始的ですが船を右往左往させながら、一番はっきりした出口を探してそこでサンプリングすると確実に取れることになります。これはその時の作業でこの記録を見ながらやるわけで船の航跡はこんなふうになっています。「ここを通ったときはこう見えた、このように通った時はこのように見えた」というようなやり方で、非常に原始的ですけれども測位は測位です。

もっと原始的な方法ですが、国交省の小型船舶に乗って、その船についている魚探で魚津断層の延長部を見に行きました。下図は昔から漁師さんが「海底から泡が出ているよ」という場所があって、そこを確かめに行った時の魚探の映像です。やはり活断層が造る山脈や丘陵の稜線に近い場所から泡が出ていることを確かめることができました。

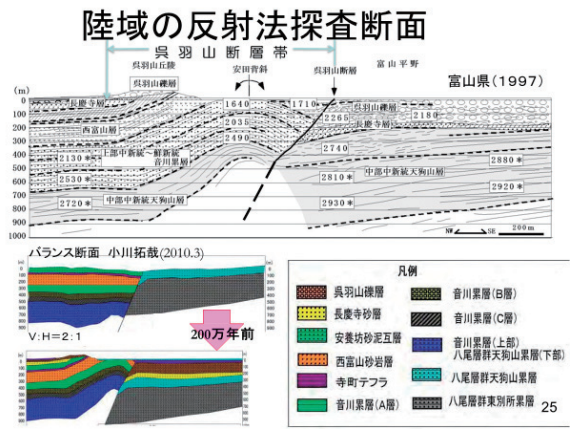


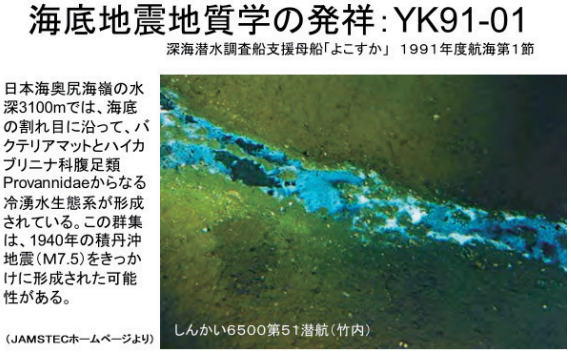
21

ということで、活断層の調査をしている面と、化石燃料とかエネルギーの調査をしている面の、両方の側面があります。上の地図では新幹線や高速道路が通っていて、交通のルートを活断層が横切っているというのがよくわかります。これは日本全国の活断層の中でもリスクの高いSランクの断層です。先程の魚津断層というのはこの画面の右手の外です。

陸上では、地下の様子を調べるのは音波探査・人工地震探査で、この起震車を使って人工地震を起こして反射とか屈折を見てイメージングするわけですが、海の方は船を使って同じことをやります。探査船が音源、つまりウォーターガン、ダイナマイト、電気パルスを出すスパーカーとかを使いしますが、音波が行って返ってくるエコーをハイドロフォンという受波機を並べているストリーマケーブルを後ろに曳いて受信します。長いものは2kmとか10kmとかを曳くことがあります。最近は数本で2D、3Dのデータを取得することも行われています。

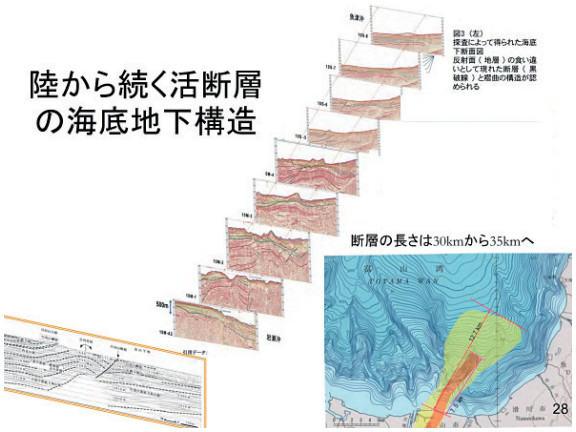
陸上では起震車を使います。次図は逆断層で地層





が切れていますが、持ち上がった側に地層が曲がった背斜という構造ができて、丘陵を作る褶曲が起きています。現在の状態から過去に遡りますと、昔は曲がっていなくて水平に溜まっていたものが現在では図の右下のようになってきたと分かったりします。この構造は実は海の方までずっと伸びているだろうということで海の調査をしたわけです。

な腐敗臭、硫黄の酸化物の匂いですが、地割れから地下水が出ていてそれをエサにしているバクテリアが膜を作っています。この頃から、海底ではこのような現象が起きていることがわかってきて、海底の地震地質学というのが始まったことになります。近代地震学そのものも日本で始まったわけですが海底の方も同様の経緯をとっています。

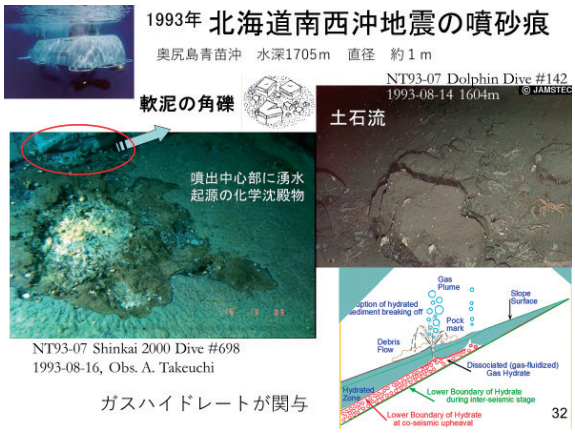


その結果を並べたのが上図で、右下は陸の断面ですが、海底の方はやはり同じような構造がずっとあり、だんだん消えていっています。呉羽山断層と呼んでいるものは陸上だけではなくてさらに沖合13kmくらい伸びているということで断層の長さが長くなった。従ってその断層が起こす地震のマグニチュードは大きくなったわけで、そんなこともわかってきました。

海底では実際に目で見たり写真を撮ったりすることも重要です。これは「しんかい6500」で私が撮った海底の写真です。地割れがあって褐色部は海底面ですが、黒や青っぽく見えている帯が地割れで、地割れの中は実際に真っ黒い泥です。この泥は卵の腐ったよう

陸上は歩いて確かめることができるので詳しいことがわかります。東日本では今回の3·11地震の前にも明治に三陸沖の巨大地震と津波がありました。その二ヶ月半後に陸羽陸羽地震があって、1枚の水田がこんなにせりあがって、ベタッと崩れたようになりました。このスケッチは山崎直方という地球科学の先生が、立山の山崎カールの名付け親ですけれども、こんなようになったことを描いています。同じようなことが台湾でもありました。断層というのは結構顕著な変化を起こすため、分かりやすいので海底でも発見しやすいことになります。

先程お見せした図は、1940年積丹沖地震が起きた

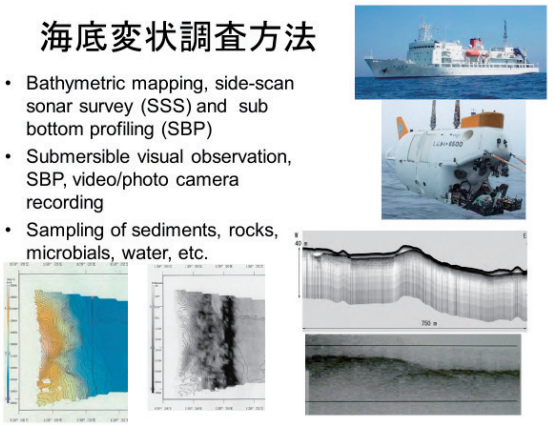


震源地の様子ですが、上の図は1993年の北海道南西沖地震で、海底に写真のような模様があって最初何か分からなかったのですが、噴砂の跡です。陸上でも噴砂があちこちであります。吹き出した時に泥水も噴出してくるのですが、海底では時間がたつとその水はきれいに澄んでしまいます。噴砂の出口がこんなふうに残っていて地下水も湧き出して染み出していますので、ここでもバクテリアが繁殖しています。ほかに土石流の跡もあります。こういうものを実際に調べて記載しておくというのが非常に重要だということで課題を書き出しています。

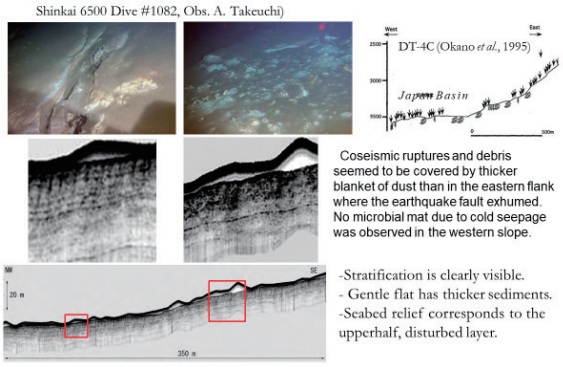
海底地震地質学の課題

1. **地震時海底地盤変動調査**：海底活断層ついては地震発生時の海底地変に形状の経年変化が認められる。新旧判定や編年が可能なため、地震発生長期予測のデータとなる。ただし、陸上と同精度で議論できるようになるためには、**測量調査技術の向上と観察事例の蓄積が必要**である。
2. 2011年東北沖地震のような海溝型巨大地震の震源海域においては、海溝軸での地変が著しいと予想される。これまで精密地形調査や深海掘削などさまざまな調査が行われており、それらと連携して海溝軸での地震地質学的調査を早急に行う必要がある。
3. **有人潜水船の魅力**：有人潜水船による探検の特徴はその臨場感。それによって乗船研究者の感性が高まり、勘が研ぎ澄まされて、そこから新しい発見の成果につながる。これまで以上に先端技術を活用次世代潜水船の開発が望まれる。

その他に色々な調査方法がありますのでご紹介しておきます。地震関係の海底の調査としては、地震によって起きた噴砂もありますが、地盤が陥没するとか盛り上がるとか地盤変状が海底でもあります。そういった現象はソナーを使った調査を行いますが、面的に一種の写真を撮るような使い方の方法と、プロファイルや断面を描くような方法があります。潜水船ではサブボトムプロファイラという断面を取るような装置とかサイドスキャンソナーをつけてデータを取得します。上図では右下の段差に断層がありますが、地下で濃く見えるのが断層面です。

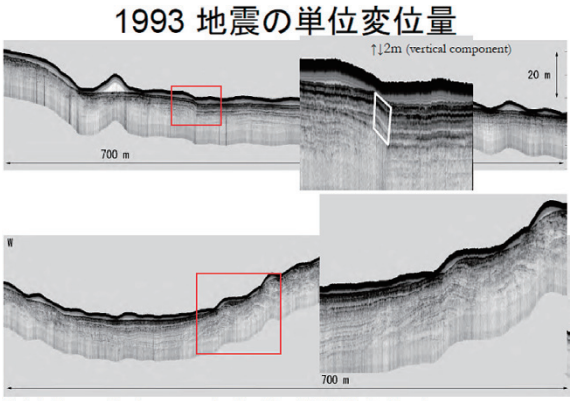


M 7.8の震源地での現場検証



上図は北海道南西沖の震源地の例ですが、海底の震源地ではどういうことがあるのかというと、地割れもありますし海底面がガサガサになっています。非常にガサガサで角張って割れているように見えますが、実際のものは表面の泥ですのでぶよぶよの泥です。豆腐とかプリンのようなものですけれども、瞬間的に割れるので角張ってしまうわけです。この断面図で濃い線は、探査機が上がったり下りたりする様子です。その下に海底と地層も見えますが、縦に割れているのが地割れです。調査ではそういうマッピング作業を一定の広い面積で行うのです。

それから海底で地震を起こした断層が実際にどういうずれをしたのか、どれくらいの量がずれたのか、そういう変位量を出すということも重要な仕事です。上図はサブボトムプロファイラのプロファイルです。もともと平らな場所が、赤枠の所でずれているのがわかると思います。プロファイルの左端は奥尻海嶺の斜面に



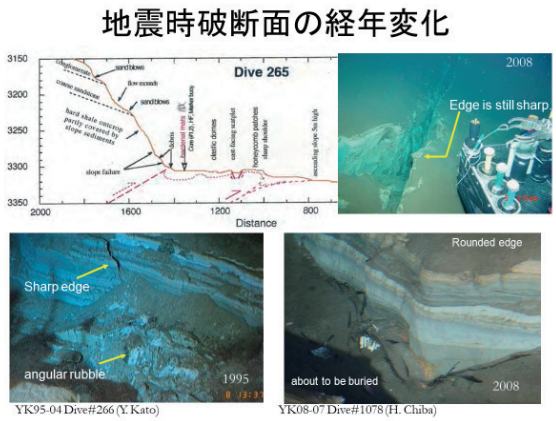
Sub-bottom profiler image acquired by Dive #1080 (M. Joshima)

なっています。山麓の平坦面が断層でどれくらいずれているのかというと、2、3mずれているということがわかります。その他こういう地層が褶曲したりそういうのもプロファイラでは見ることができます。具体的に単位変位量というのは詳しく調べますと、上下成分としては2mくらいあるだろうということです。大きな赤枠の箇所では地層が褶曲して地表面まで曲がっているとか、そんなことがわかりました。これは地震時に変形したということになります。

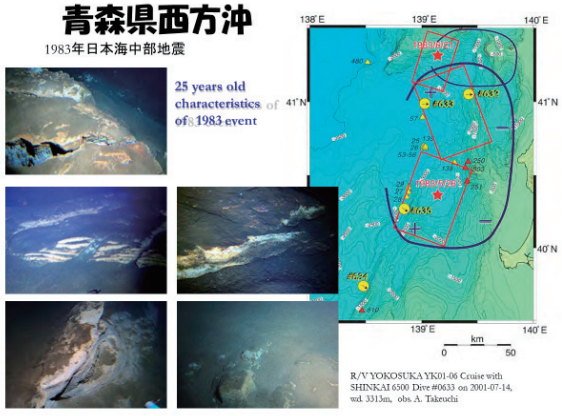
それから地震時には色々な割れ目ができたりしますが、時間が経つとどんどんシャープさがなくなっていきます。そのなくなり方を調べると、ある程度その断層がどれくらいの年代で地震を起こしたのかという見当をつけることができます。そういう海底活断層の履歴を調べるということを陸上でも全く同じことをしています。実際は、陸上では考古学と同じようなトレンチの発掘調査をしますが、異なる時期に同じ場所に行って調べるということです。下図は、1995年の時の写真とほぼ同じような場所で2008年に行ったときの写真です。左図ではシャープですが、右図になりますと角が丸くなり泥の被りが多くなっています。割れ目の上縁は多少丸くなっていますが、まだ見えます。現在はさらに10年経ちましたから、今度行くともう少し変化が見えると思います。

上の写真は、1995年時点ではこんな広いバクテリアマットがあった場所（右上）が、13年経った時に海底のバクテリアマットがどうなっているかという比較です。こんなに少ししか残っていないというような変化もあったりするわけです。これは海底の環境の変化で生態系も変化していることになるかと思いますが、変化を見るということは、過去から現在、それからこれからどうなるかという将来予測にも役立つと考えています。これはもともとの跡が少し残っているので、もとはこれだったと分かると思います。

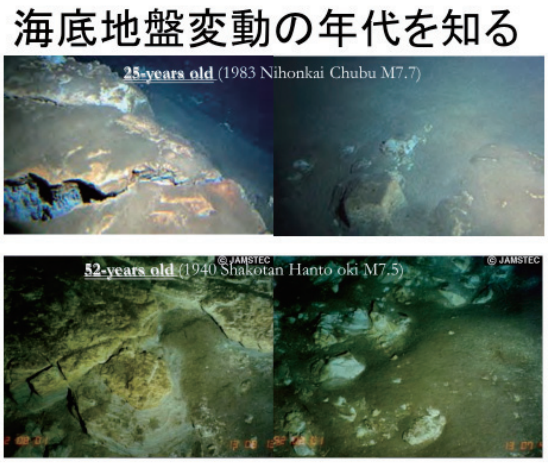
1983年には日本海中部地震があり、上図は男鹿半島、青森の深浦の沖ですが、津波の波源域で津波の波形を調査しますと、津波が発生した時はこの辺が沈降してこの辺が盛り上がったということがわかっています。それは津波の波形からですけれど、それを現場で確かめようということで行ってみました。25年経って



YK95-04 Dive#266 (Y. Kato)　YK08-07 Dive#1078 (H. Chiba)

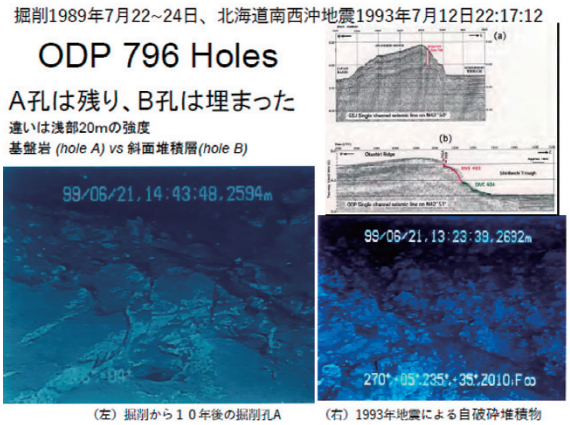


いるのでシャープさが失われているのがわかるかと思います。実はこの日本海は海底の活断層だらけです。日本海東縁は、太平洋側とは少し違うのですが、ほぼ匹敵するプレート境界だと言われているので、海底の活断層に関する調査は非常に重要なのですが、なかなか行われていないのが現状です。

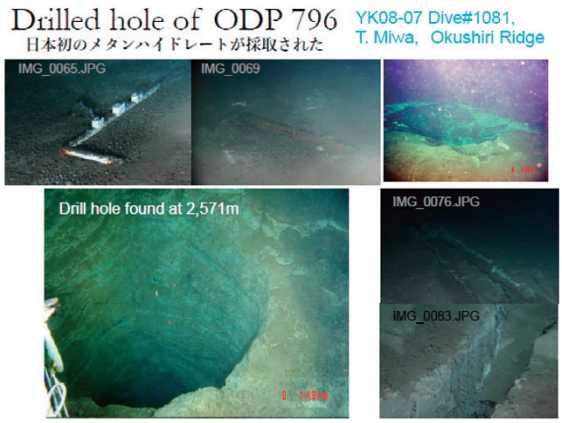


この写真は積丹半島沖地震から52年経ったときの様子ですから、かなりもうはっきりしなくなっています。25年、四半世紀ですとまだ割れ目がはっきりしている。経年変化を調べることによって、そんな違いくらいは判るのではないかというふうに考えています。これが太平洋側ですと100年から200年に一度地震が起きるわけですから、どの活断層が地震を起こしたのか、海底の活断層のどこが動いたのかということの判断はこういうことでわかるのではないかと思っています。

オーシャンドリリングプロジェクト（深海掘削計画）という国際プロジェクトがあります。現在は「ちきゅう」という日本の船が活躍をしています。この時はまだ「ちきゅう」はできていませんでしたが、1989年7月に奥尻



（左）掘削から１０年後の掘削孔A　（右）1993年地震による自破砕堆積物

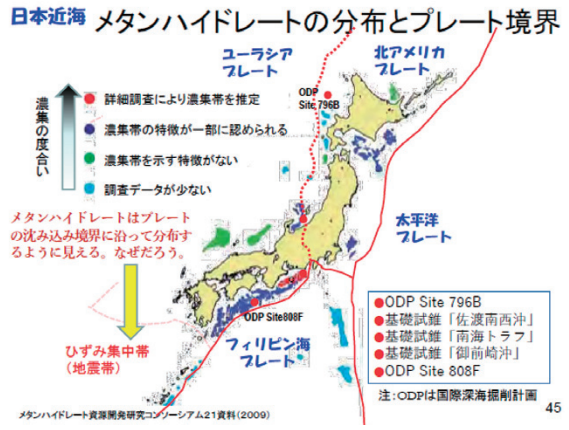


海嶺という海底の山脈がありそこを掘りました。日本海に日本海盆という3,000mを超える深い海盆があり、その東縁に丘陵があります。そこで掘削が行なわれて、日本で初めてメタンハイドレートのサンプルが採取されました。

しかしその後1993年にほぼこの地域が震源域となる地震が起きました。その時に穴はどうなったか、掘削孔は壊れたのではと皆思いました。今は何度も同じ掘削孔を掘削してどんどん深く掘るように入口に大きいロート状のものを置いていますが、この時は置いていなかった。なので、まずこの穴の場所を探すのが非常に大変でした。何回もチャレンジしましたが見つからなかった。というのは、この当時1980年代のGPSは全然精度がなかったからです。船にも積んでいましたが、全然精度がなくて100mぐらい違っていても全然おかしくない状況です。

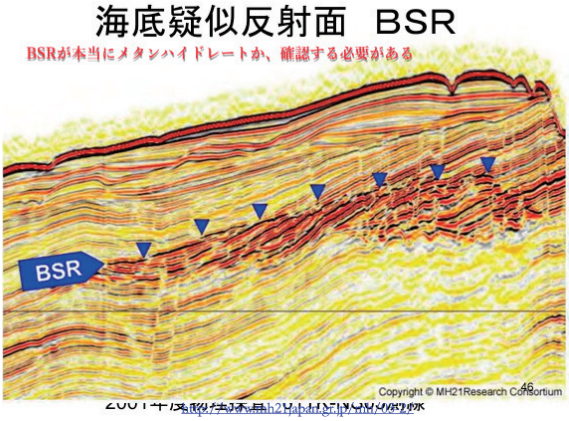
掘った場所はその時の記録はあるのですが、同じ数値の場所へ行っても全然見つからないという状況でしたが、とうとう1999年に見つけることができました。掘削から10年後です。その掘削孔の周辺は、当時鉄パイプとか色々なものを捨てていたわけですが、それもまだ残っていました。ボーリング孔は本来丸いはずで円筒状になるはずですが、もうガサガサになっています。割れ目が入っているということですが、その割れ目はさらに掘削孔から外側にずっと続いている状況も観察することができました。

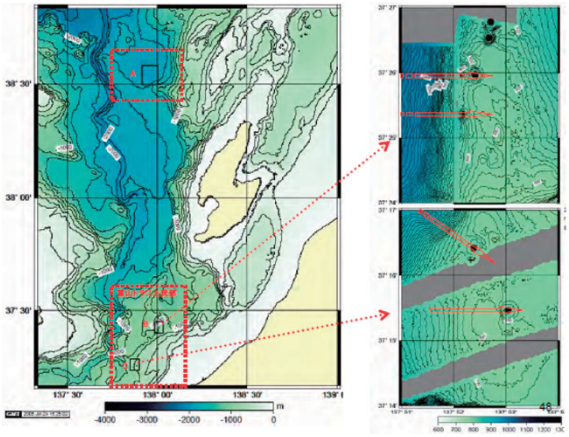
メタンハイドレートの話をしたいと思います。日本で初めてそのサンプルが採取されたのが奥尻海嶺です。この海嶺は北海道南西沖地震の震源でもあり、積丹半島沖地震、日本海中部地震とともに南北に並んで起きています。次の図で赤い丸は経済産業省が行なって



いる基礎試錐というボーリングの場所です。近年メタンハイドレートが確認されたり、その兆候が確認されたりしています。赤色の海域はボーリングだけではなく、いくつかの手法で調査が組み合わせて行なわれており、メタンハイドレートの濃集帯がある場所、濃い青色は濃集の特徴が認められた可能性のある所、緑色は濃集の特徴がない所、水色は調査データそのものがなく可能性があまりない所です。実は、こういう可能性があるとか実際に確認されたという海域は、ほとんどプレート境界に沿っています。青色の海域は、近年調査が進んで確認されたりしている所もあり、特に日本海の東縁から太平洋の南海トラフは完全にプレート境界沿いにメタンハイドレートが分布していることがわかります。これは何故だろうということになりますけれども、これは石油や天然ガスが形成される場であり蓄積される地質構造になっています。先程の断層で地層の褶曲の話をしましたが、まさにこういう場所は地層が本当に曲がっていたりする場所が沢山あります。

その一例ですが、BSRという海底疑似反射面のこの調査でよく使われる認識方法としてあります。この海底面とほぼ平行に相似的に色が濃くなっているバンドがありますが、この海底面とここまでの間にメタンハイドレートが出現するのです。ここは簡単に言うと氷です。凍っていなくてもガスで言えば固体状態、ドライアイス状態、こちらはガス状態で境界面での反射があるので強く出たりします。波形に詳しい方は位相が逆転するということがお分かりかと思いますが、そういうことが起きるわけです。音響的な性質がここで変わるということが同時に起きて、それは海底面とほぼ平行に起きるということです。こういうのがあるとメタンハイドレートがあるということが想像されるのですが、実際にボーリングで確かめるということが行なわれています。



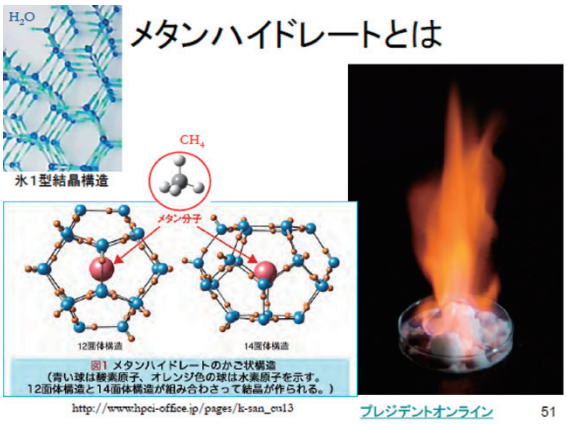


陸上は国土地理院が地図を出していますが、海底の方は海上保安庁が同じような地図を出していて上図のような詳しい地形を見ることができます。海底地形の赤枠部分を拡大しますと、穴が開いている。これは天然ガスが大量に出た跡で噴火口のようなものです。概ね水深1,000mぐらいの場所なのですが、穴が開いている所はこの黒丸です。窪みではなく盛り上がった所もあったりします。

実際ここに行って無人探査機を降ろして見ますと、メタンハイドレートに関係していました。穴の中は壁が全部氷です。ホコリをかぶっているので氷に見えないかもしれませんが、壁の中の洞窟を覗きますと、白濁していますが半透明です。実際写真のような塊が穴の底にあり、泥がのっている状態ですが、この先を拡大しますと白い膜が覆っています。この被膜は実はバクテリアマットで、メタンハイドレートの氷と泥の境目にできた微生物の膜です。これをロボットアームでガサガサとやるとズルッとむけて泥が落ちてしまいました。泥が落ちると氷は当然海水より軽いので浮かび上がって行きますから、海面でタモ網を使って拾うことがで

きますが、海面まで来る間にどんどん分解して不透明な真っ白になってしまします。

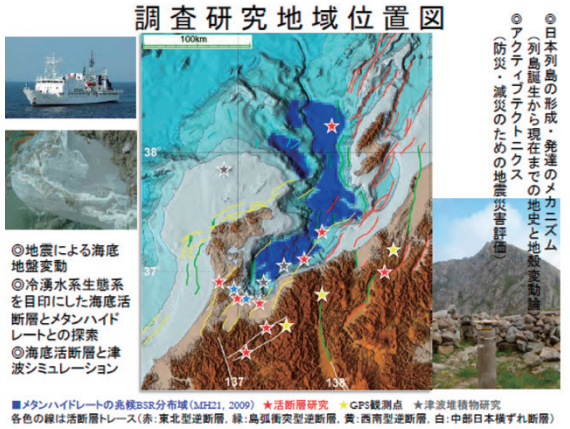
メタンハイドレートは氷の分子の中にメタンの分子が入っています。氷はH_2Oなのですが、こういう五角形のサッカーボールみたいなもので12面体だったり、14面体だったりするのですが、その中心部分にこのメタンの分子が入った状態になっております。これが分解しますと体積は一気に増えて700倍以上になってしまいます。ですから「燃える氷」なんていうふうに言われたりもします。

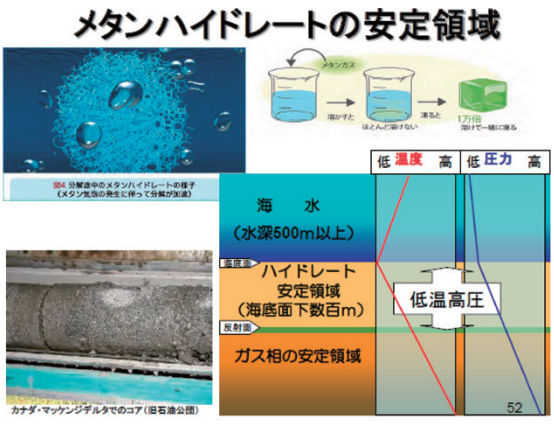


これは安定条件がありまして、温度が一定程度低くないといけないのです。それと圧力が高くなくてはいけません。青色が海水で、水深が500mの海底面があるとすると、BSRとの間の海底面下数百mが安定領域になります。水の加重がかかっているので圧力は高いのですが、地下増温率でどんどん温度が上がります。ですからある深さで安定領域が不安定領域に入ってしまうわけです。そういう安定領域しかこのメタンハイドレートは存在できないということになります。

そこで指標になっているBSRの分布を見ますと、富山トラフと呼んでいる溝状の場所は、その延長上も含めて濃い青色の場所は全部メタンハイドレートが海底下にあると考えられています。ただしこの辺は1,000mくらいで、1,500mとか2,000mとかあって、この辺は3,000mになっていますから、大深度になればなるほど実際に採取するのが難しいというふうになっています。

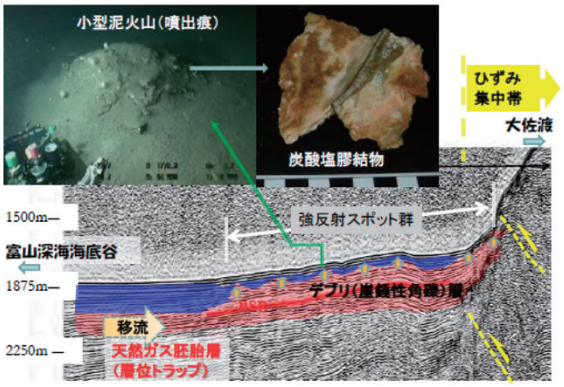
海底はどうなっているのか、そのメタンハイドレートのある海底はどうなっているかのというと、これはベニズワイの漁場です。それはこういうバクテリアマットがあるわけです。それをエサにバクテリアを食べる小さい巻貝だとか、ウロコムシみたいな節足動物、等脚





類とかいるのですが、それをさらに食べるものが来て生態系をなしている。この写真はAUVで撮ったものです。ドローンでやるような形で連続的に撮っていった映像の中でこういう塚が無数に散らばっていることがわかりました。

大佐渡西沖の冷湧水帯概念図

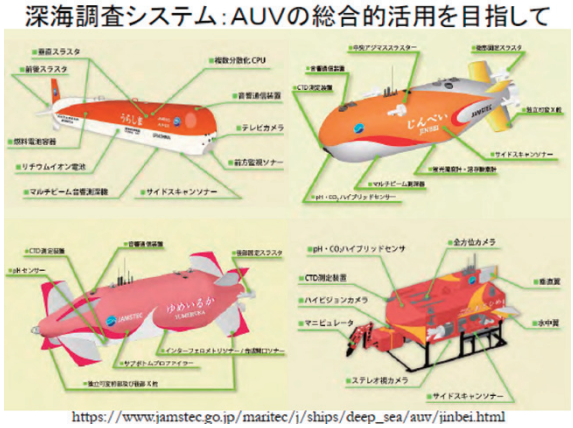


色々な調査をして、活断層とメタンハイドレートとか炭化水素鉱床といっている石油天然ガスとの関係が密接にあることがわかってきました。断層によって上下のずれがありますと低い方に地層が溜まります。そういう所には有機物を含んだものがたくさん溜まりますが、それが分解して天然ガスや石油の材料になる。海底の地下では軽いものとか石油のようなものは上へ上へと上がる性質がありますので、地層が斜めになっていれば、あるいは褶曲していれば上の方へ来て、キャップロックという透水性の悪いものがあるとそこへ溜まるということになっています。そういう溜まりの真上では、泥火山のような噴砂がよく起きたり、地震の時にはよく噴砂が起きる場所になったり、あるいは一気に噴き出すと逆に噴火口のようなものができたりします。というようなことで、活断層沿いにこういうようなものが比較的多く分布するということがわかってきました。

最後に今後のことですけれども、例えばJAMSTECも海底の方でAUVの利用、それも多角的、総合的に活用ということを言っております。色々なタイプのAUVが使われております。もちろんAUVではなくてROV遠隔操作のケーブル付きのものも活用するとか、色々な構想をもって調査研究業務をやっています。

無人化・自動化が進む傾向がある中でも有人で実際に人間が体感しながら考えながら調査するということは、やはりまだまだ必要です。あるいは人類にとって本質的に重要ではないかと思います。宇宙の探査でも

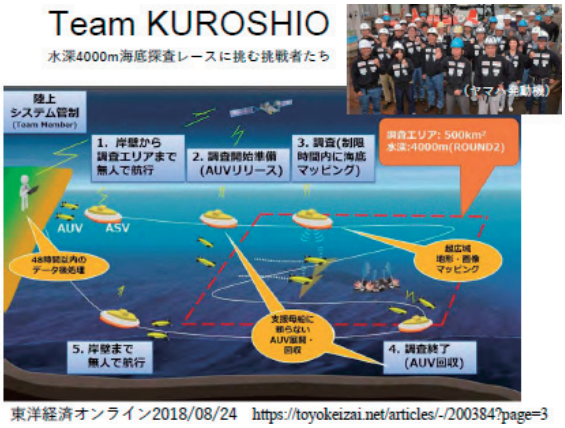
深海調査システム：AUVの総合的活用を目指して



https://www.jamstec.go.jp/maritec/j/ships/deep_sea/auv/jinbei.html

Team KUROSHIO

水深4000m海底探査レースに挑む挑戦者たち



東洋経済オンライン2018/08/24　https://toyokeizai.net/articles/-/200384?page=3

同じだろうと思います。宇宙を全部自動化すればよいか？決してそうではないと思いますが、深海でも同じだというふうに思っております。

最近は宇宙ですと『下町ロケット』というドラマがありましたし、農業の自動化というのも話題です。チームKUROSHIOの名は聞いたことありますか？国の巨大組織でなく、そうではなくて民間企業の意欲で色々な総合的利用、活用をして、海洋での測量技術をアップして具体的な成果につなげるプロジェクトが取り組まれています。私もそんな努力を応援したいと思っています。

時間となりましたので私のお話は以上にさせて頂きます。どうもご清聴ありがとうございました。

■講演者
竹内 章（たけうち あきら）
富山大学名誉教授
（一社）立山黒部ジオパーク協会学術顧問

本稿は平成30年11月29日に開催された当協会主催「地理空間計測・活用技術セミナー in 金沢」における竹内章様の基調講演の内容をまとめたものです。