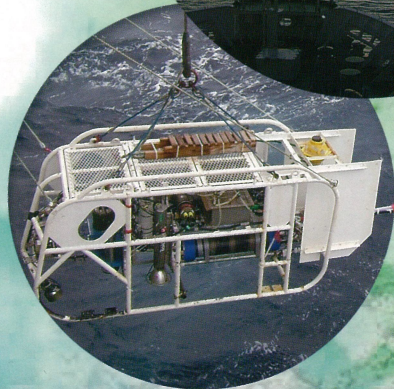
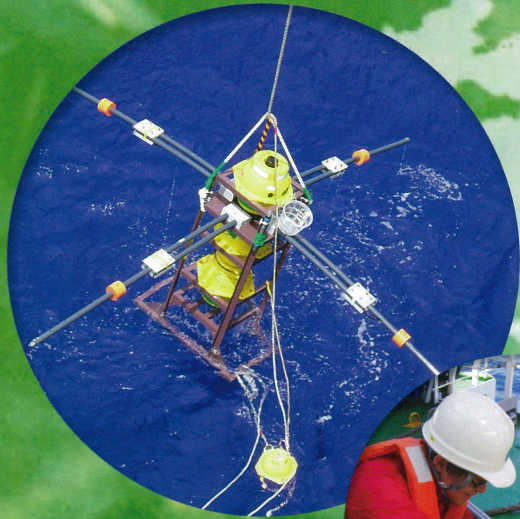
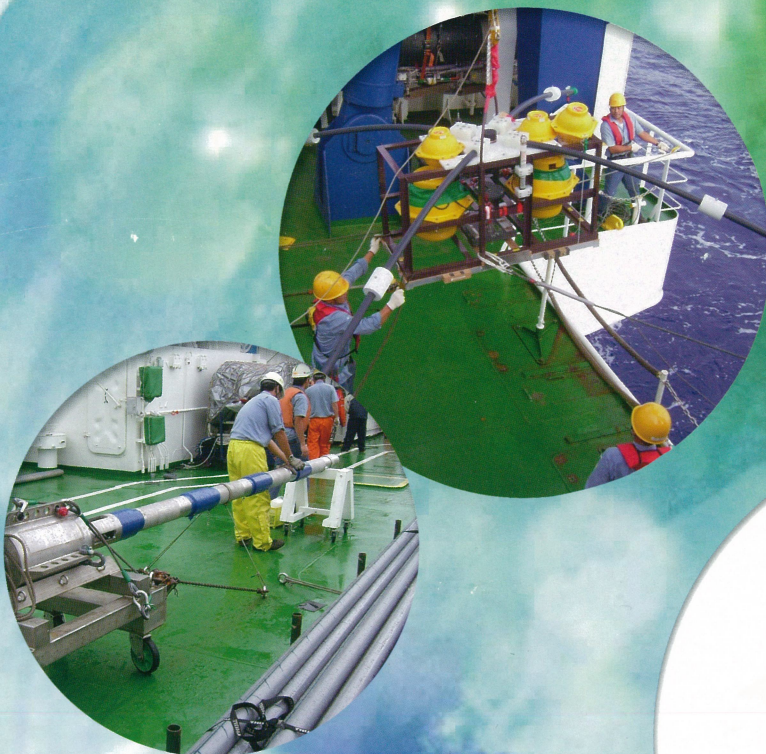




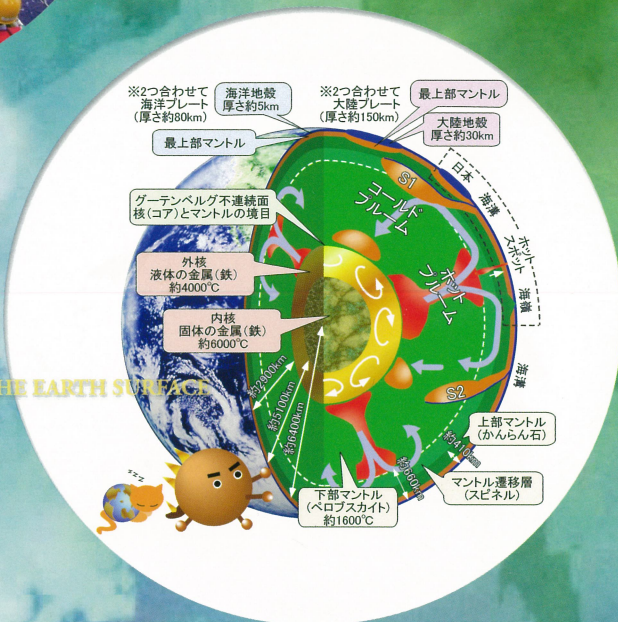
THE SCIENCE BENEATH THE EARTH SURFACE

地 底 の 科 学

地面の下を電気で探る



THE SCIENCE BENEATH THE EARTH SURFACE



〈お問い合わせ先〉

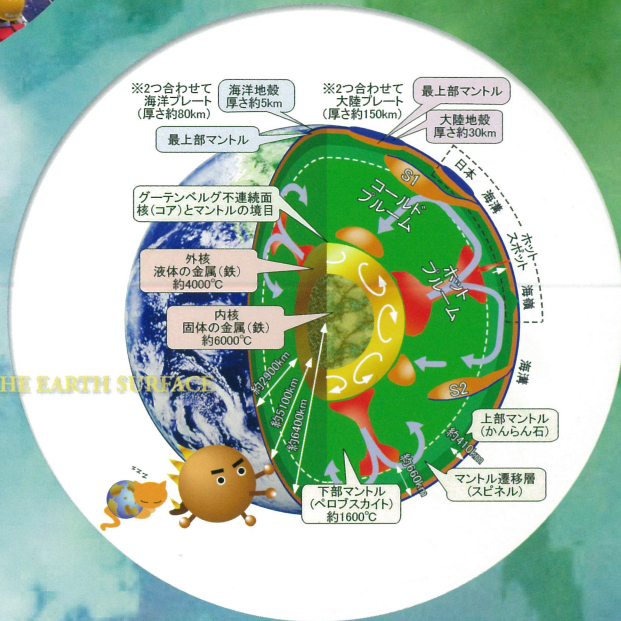
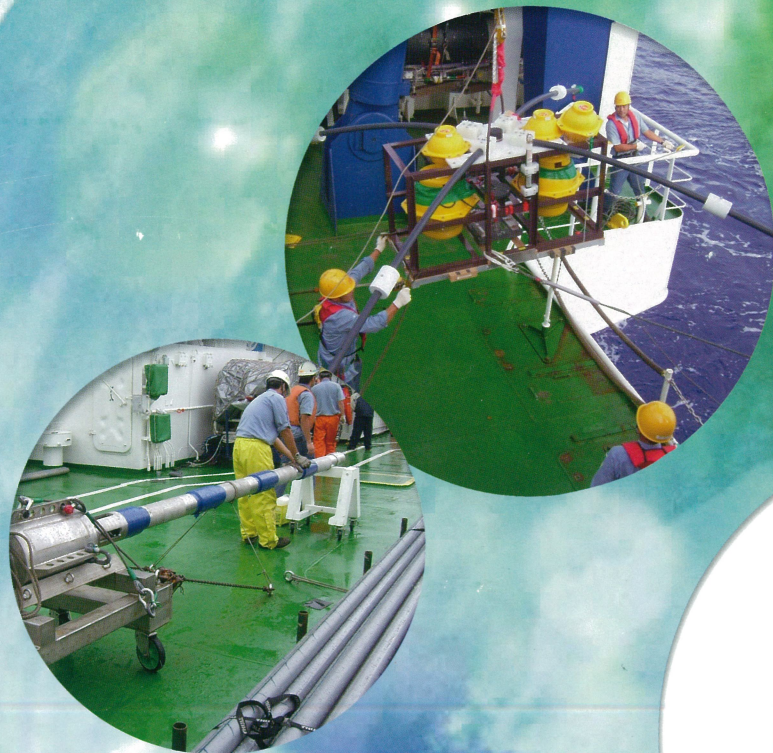
京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
資源工学講座応用地球物理学分野
後藤 忠徳 (准教授、海洋学・物理探査学)

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-1-113
メール: goto.tadanori.8a@kyoto-u.ac.jp

ホームページ: <http://obem.jpn.org/>
ブログ「海の研究者」: <http://goto33.blog.so-net.ne.jp/>

本パンフレットの図や写真は以下の書籍に掲載されたものです。
図の出典や詳しい解説などはこちらを御覧ください。
後藤 忠徳 著「地底の科学 地面の下はどうなっているのか」(ベレ出版)
<http://obem.jpn.org/chitei>

※本パンフレットは日本学術振興会
「ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～ KAKENHI」の支援を得て作成しています。



THE SCIENCE BENEATH THE EARTH SURFACE



〈お問い合わせ先〉

京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
資源工学講座応用地球物理学分野
後藤 忠徳 (准教授、海洋学・物理探査学)

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-1-113
メール: goto.tadanori.8a@kyoto-u.ac.jp

ホームページ: <http://obem.jpn.org/>

ブログ「海の研究者」: <http://goto33.blog.so-net.ne.jp/>

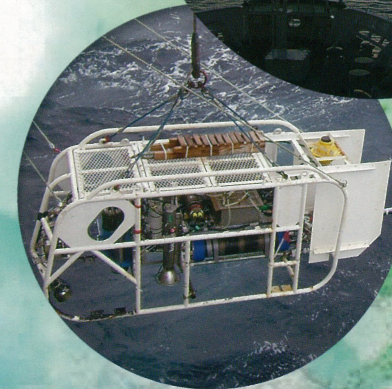
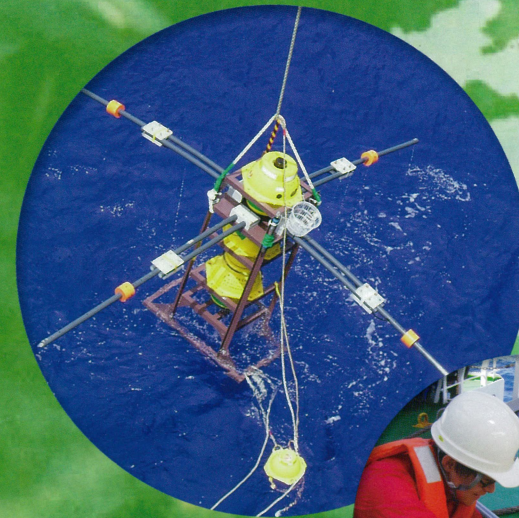
本パンフレットの図や写真は以下の書籍に掲載されたものです。

図の出典や詳しい解説などはこちらを御覧ください。

後藤 忠徳 著 「地底の科学 地面の下はどうなっているのか」(ベレ出版)
<http://obem.jpn.org/chitei>

※本パンフレットは日本学術振興会

「ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～ KAKENHI」の支援を得て作成しています。



THE SCIENCE BENEATH THE EARTH SURFACE

地底の科学

地面の下を電気で探る

「地底人を探せ!」

“決して地上には姿を現さない地底人、はてさて、どうやって探しますか?”
私はよく学生さんにこんな質問をしますが、「穴を掘る!」という答えが多いです。穴掘りはとてもわかりやすい地下探査の方法ですが、問題もあります。ちょっと掘り下げて考えてみましょう(穴だけに!)

地下を掘れない理由

問題その1 時間やお金がかかる。

地下を掘り進むには掘削装置や多くの人手、長い時間が必要で、お金がかかります。(深さ100mの井戸を掘るのに数百万円、1kmの深さまで掘ると数千万円~1億円以上!)

問題その2 掘るにも限度がある。

ロシアにある世界一の井戸の深さは約12km。しかし地球の半径は約6400km。もしも地球がサッカーボールの大きさなら、この穴の深さはボール表面の皮の厚さの、さらに10分の1以下にすぎません。

問題その3 掘っちゃいけない。

地下の遺跡を調査する際に、闇雲に掘っていては大切な埋蔵物を粉々にしてしまいます。地下水を調べる際も、井戸をたくさん掘りすぎると自然環境を破壊してしまいます。地底人も穴を掘る時の騒音で逃げ出してしまうでしょう。掘る場所は最小限に抑える必要があります。



地球のお医者さん 「物理探査」

どうすれば掘らずに地下を調べられるのでしょうか? ヒントは「病院」にあります。お腹が痛くて病院に行ったら即手術!ということは少ないです。まずは体温や血圧を測ったり、心電図を撮ったり、レントゲン撮影をしますね。体を切り開かずに間接的に「見る」ことで、体の内部の様子を「診る」わけです。地球の場合も同じです。温度、圧力、音、電気などのさまざまな「物理現象」を「センサー」で測定し、間接的に地球の中を探ります。このような技術を「物理探査」と呼んでいます。

「地底人を探せ！」

“決して地上には姿を現さない地底人、はてさて、どうやって探しますか?”
私はよく学生さんにこんな質問をしますが、「穴を掘る!」という答えが多いです。穴掘りはとてもわかりやすい地下探査の方法ですが、問題もあります。ちょっと掘り下げて考えてみましょう(穴だけに!)

地下を掘れない理由

問題その1 時間やお金がかかる。

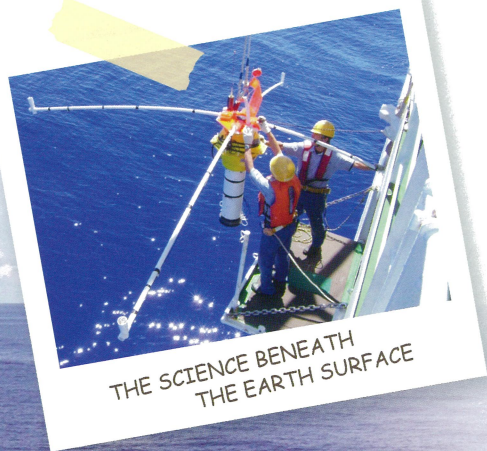
地下を掘り進むには掘削装置や多くの人手、長い時間が必要で、お金がかかります。(深さ100mの井戸を掘るのに数百万円、1kmの深さまで掘ると数千万円～1億円以上!)

問題その2 掘るにも限度がある。

ロシアにある世界一の井戸の深さは約12km。しかし地球の半径は約6400km。もしも地球がサッカーボールの大きさなら、この穴の深さはボール表面の皮の厚さの、さらに10分の1以下にすぎません。

問題その3 握っちゃいけない。

地下の遺跡を調査する際に、闇雲に掘っているのは大切な埋蔵物を粉々にしてしまいます。地下水を調べる際も、井戸をたくさん掘りすぎると自然環境を破壊してしまいます。地底人も穴を掘る時の騒音で逃げ出してしまうでしょう。掘る場所は最小限に抑える必要があります。



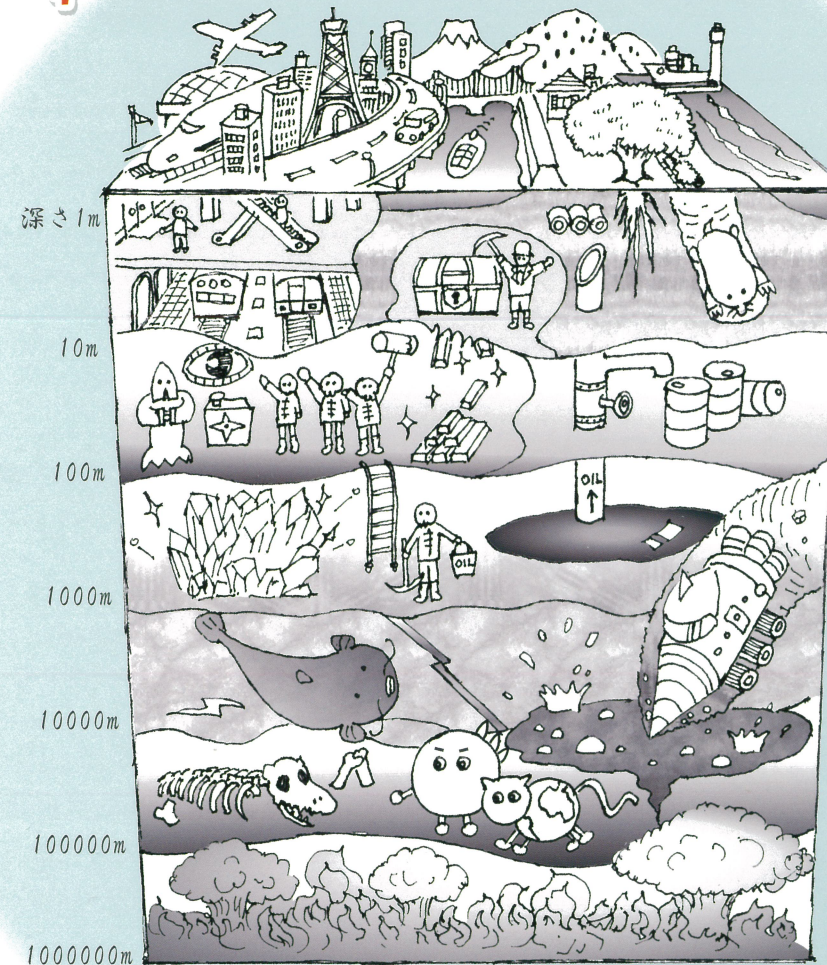
地球のお医者さん 「物理探査」

どうすれば掘らずに地下を調べられるのでしょうか？ ヒントは「病院」にあります。お腹が痛くて病院に行ったら即手術!ということはありません。まずは体温や血圧を測ったり、心電図を撮ったり、レントゲン撮影をしますね。体を切り開かずに間接的に「見る」ことで、体の内部の様子を「診る」わけです。地球の場合も同じです。温度、圧力、音、電気などのさまざまな「物理現象」を「センサー」で測定し、間接的に地球の中を探ります。このような技術を「物理探査」と呼んでいます。

空想上の地下の世界。



実際の地下はどうなっているのかな？



1mの地下 - 暮らしと地下世界

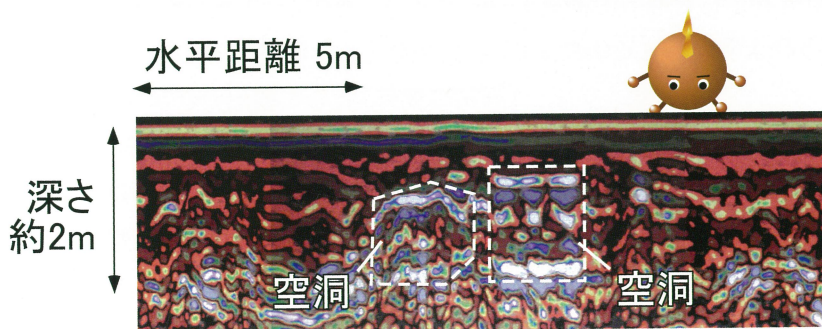
まずは身近な、
数十cm～数mの
地下の世界を
「レーダー」で
探ってみましょう。



SF映画などでも耳にするレーダーは、架空の道具ではありません。その原理はやまびこ（やっほー!）と同じ。例えば気象レーダーや航空用レーダーでは、まず空中に電波を飛ばして、雲や飛行機などの「障害物」から跳ね返ってくる電波をキャッチし、電波が往復する時間から障害物までの距離を割り出します。



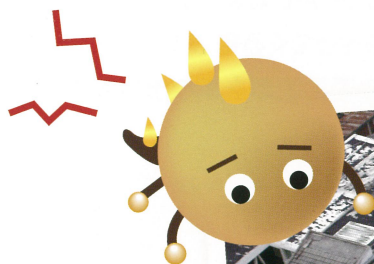
地中レーダーの原理も同じです。まず地中レーダーのアンテナ（掃除機のノズルに箱がついたようなもの）を地表に置きます。アンテナから地中へ向けて電波を送り、跳ね返ってきた電波を受信して、地下に埋もれた金属物や水分を多く含む地層の深さを調べます。



地中レーダーを使えば、レントゲン撮影のように地下の断面図を得ることができます。例えば遊歩道の下を調べたところ、電波をよく跳ね返す場所（白色の部分）が2箇所見つかりました。これはもう使われなくなった古い排水路（空洞）でした。左側の排水路は右側と比べると潰れているように見えます。補修が必要です。放っておくと、そのうち地表面も陥没してしまうかもしれません。

実は

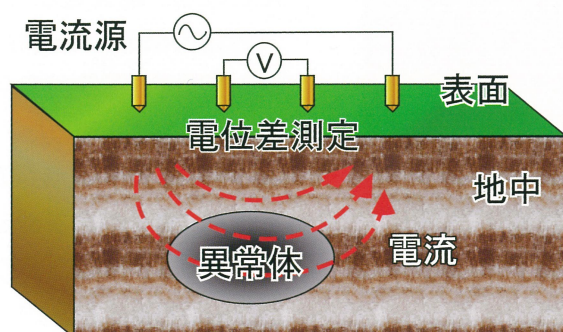
アスファルトなどで舗装された道路には、突然大穴があくことがあります。忘れ去られた古い空洞や、地下水が地下の土砂を押し流した跡が「落とし穴」になるのです。南米グアテマラでは深さ100mの陥没が突然発生したこともあります。怖いですね!!
地中レーダーを使った道路などのメンテナンスが欠かせません。



地下の空洞を探す時には、地中に電気を流して地下の電気の通りやすさ・通りにくさを直接調査する「電気探査」という方法も用いられます。空気で満たされた空洞ならば、電気の通りにくい

「異常な物体」として検出できます。

逆に空洞が水で満たされていたり、空洞の壁が鉄骨で囲われている場合は、電気が通りやすい物体として検出できます。



10～100mの地下 — 地下水や地下資源を探そう

水や石油・天然ガス・
金属資源は人間が
生きていく上で
欠かせません。

例えば
水

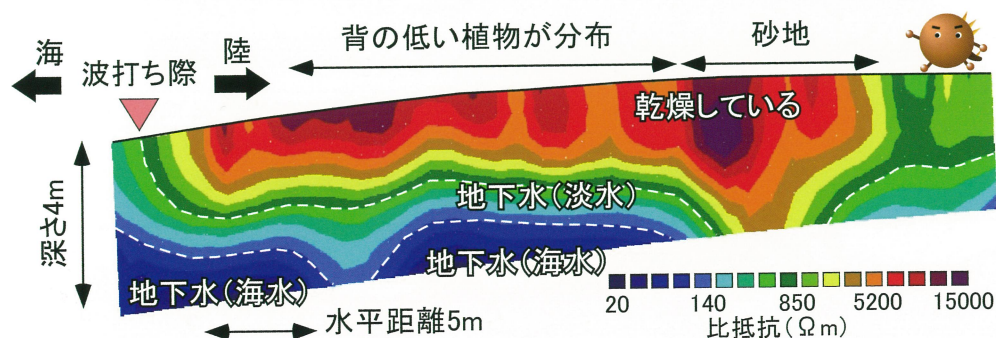


私たちが利用する水のうち、約7割が農業用です（飲み水などは約1割、工場用に約2割）。農業にはたくさんの水が必要なので、そこで世界中（特に砂漠地帯）で地下水探査が行なわれています。

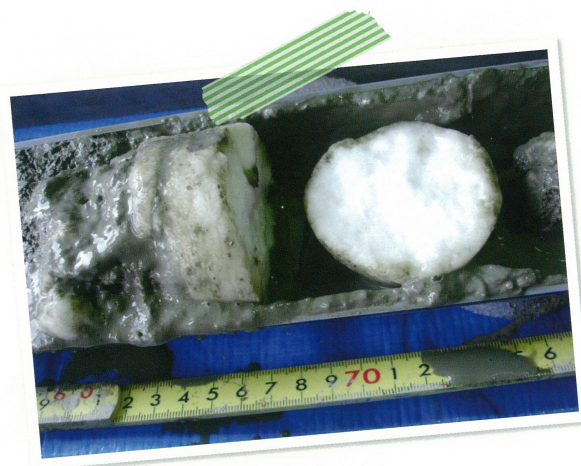
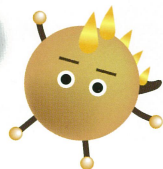
砂浜で電気探査を行なった例を紹介しします（写真）。電極（金属棒）を地面に軽く突き刺して、装置本体から地中に電気を流して、電圧（電位差）を測定すると、地面の電気の通りにくさ（比抵抗）が分かります。さらに電極の間隔を大きくすると、電流が地中深くまで届くので、地下深くの比抵抗を測定できます。



得られた断面図をみると、地表付近の比抵抗は高いのですが、植物が生えている地域の地下2m付近に比抵抗が低くなる地層が見られます（図：緑色～水色の部分）。地下水は電気を通しやすいので、地下2m付近には地下水を含む地層があるのでしょう。地下4m付近では比抵抗はさらに低くなります（青色の部分）。この深さでは、電気をよく通す海水が海底からしみ込んで地下水になっているようです。

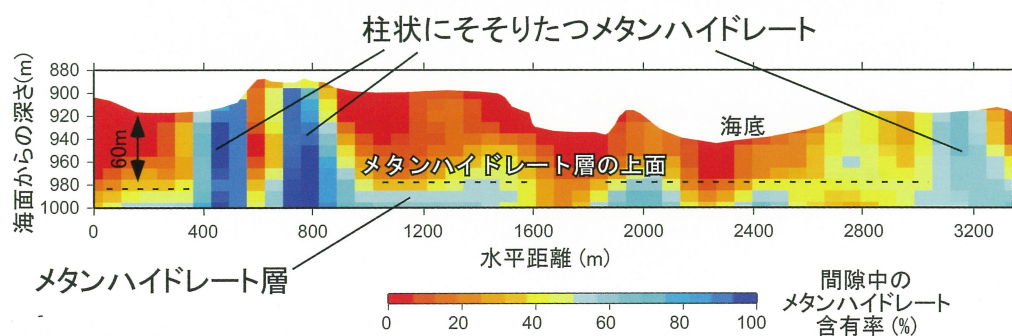
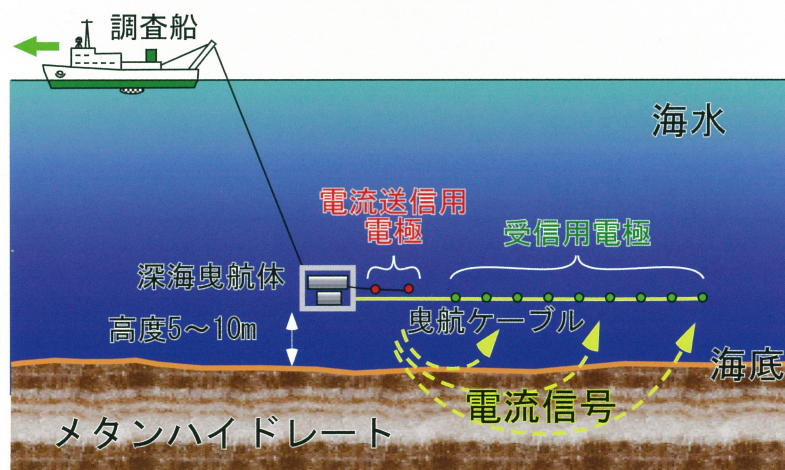


次に未来のエネルギー資源として注目されているメタンハイドレートを探査しましょう。



メタンハイドレート(写真)とは、メタンガスを大量に含む氷状の物質で、日本周辺では海底の下に分布しています。

氷は電気を通しにくいので、海底で電気探査を行なってメタンハイドレートを見つけよう！という試みが日本海で行なわれました。その結果、地中に電気を通しにくい地層が新たに見つかり、その一部はメタンハイドレートであることが海底で採取した泥から確認できました。この結果に基づいて地下の断面図を求めたところ、地中で柱状にそそりたつメタンハイドレートの存在が明らかになりました。地下資源を効率良く探すためには、このような新しい探査技術の開発が必要です。



1000~10000mの地下 — 迫り来る巨大災害

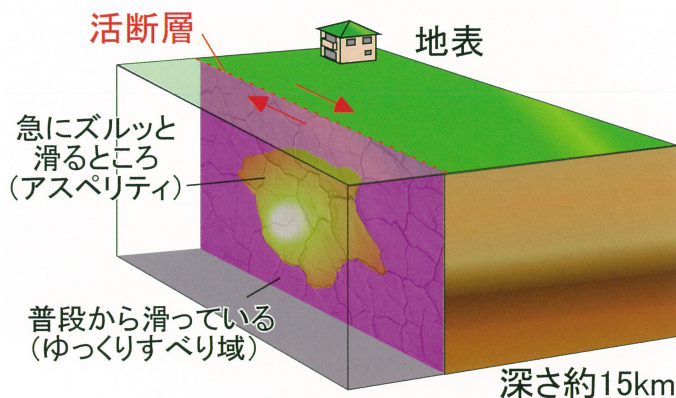
地下からは地震・津波・火山噴火といった災いがやってきます。

特に地震発生の様子は複雑です。

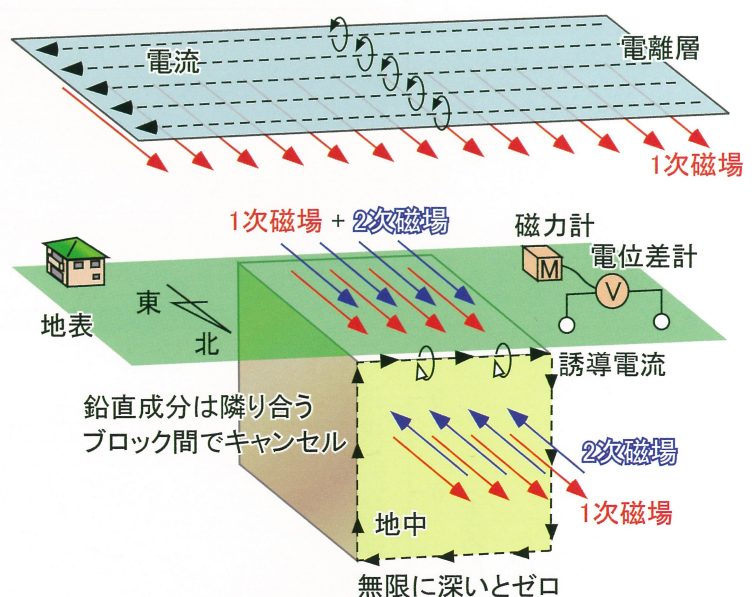


その原因の一つとして、地下構造の複雑さが挙げられます。そこで活断層の地下構造を集中的に調査して、どこで・どれくらいの地震が起きそうか評価しようという試みがなされています。

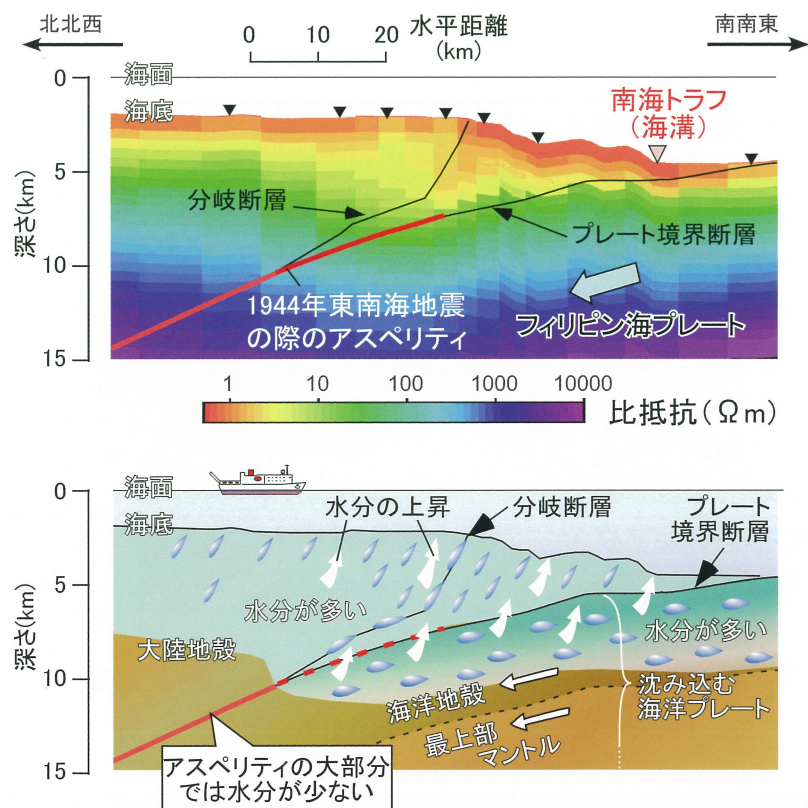
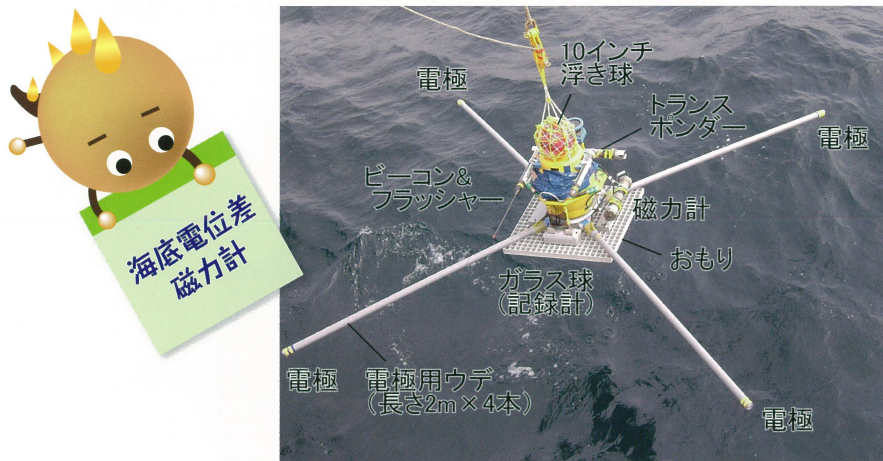
活断層の研究が進むにつれて、断層の内側には普段から少しずつ滑っている「ゆっくりすべり域」と、急にズルッと滑って巨大地震を引き起こす「アスペリティ」が混在していることがわかってきました(図)。アスペリティは「ざらざらしたところ」という意味ですが、実際にはどんな物質でアスペリティが作られているのかは分かっていません。



そこで地下探査の出番です。数kmを超える深さでは「電磁探査」が活躍しています。例えばMT探査と言われる手法は、電気探査とは違い、地下に自然に流れている「誘導電流」を利用します。誘導電流は上空の電離層(電気が流れる空気の層)で発生した磁場変動によって引き起こされたものです(電磁誘導)。地下の電気の通りやすさによって誘導電流の大きさは変わるので、地表で磁場や誘導電流の電圧(電位差)を測定すれば、地下の様子が分かります。



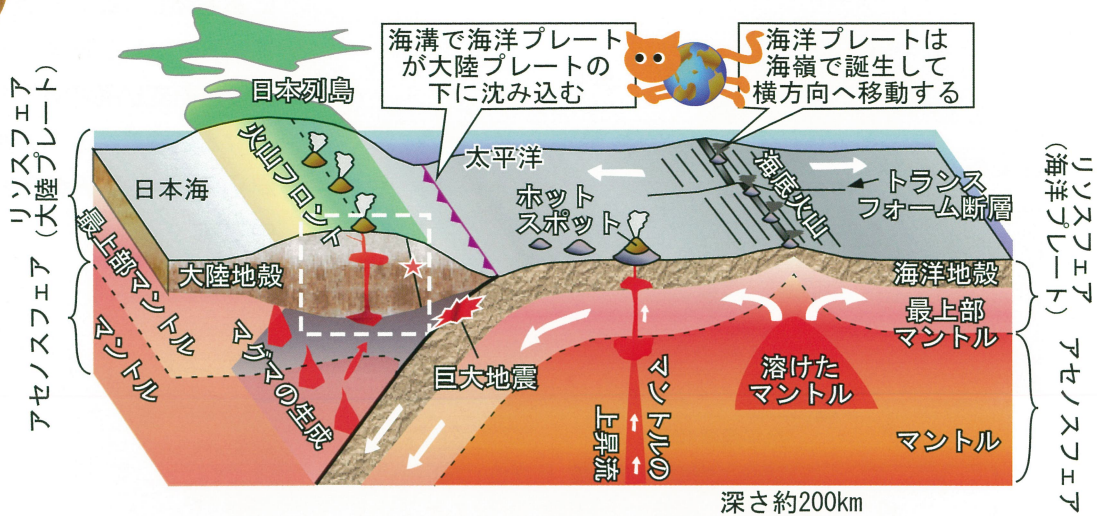
アスペリティの原因究明のために、紀伊半島沖（南海トラフ）で海底電磁（MT）探査が実施されました。海底で観測するために、海底電位差磁力計が使用されました（写真）。南海トラフでは1944年に巨大地震が発生していますが、探査の結果、地震時のアスペリティの大部分は高い電気抵抗（比抵抗）を示しました。つまり、この地域では水分を含まない活断層部分がアスペリティになるようです。現在、日本各地で同様の海底電磁探査が行なわれていて、アスペリティの正体が明らかになってきています。活断層の複雑さが解明できれば、地震の発生時期も予測できるようになるかもしれません。



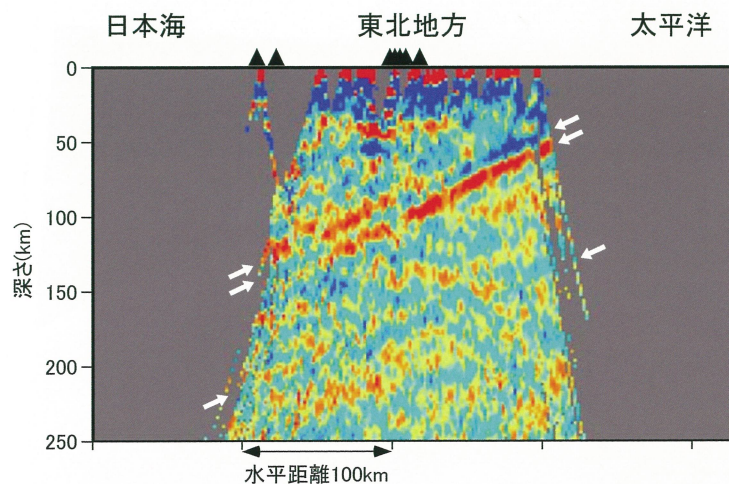
100000m~1000000mの地下 — 日本列島の地下深部

プレート

地震や火山噴火を引き起こす原因であり、日本列島そのものを誕生させた「プレート」。プレートの沈み込みは肉眼では見えませんが、地下探査で見ることができます。

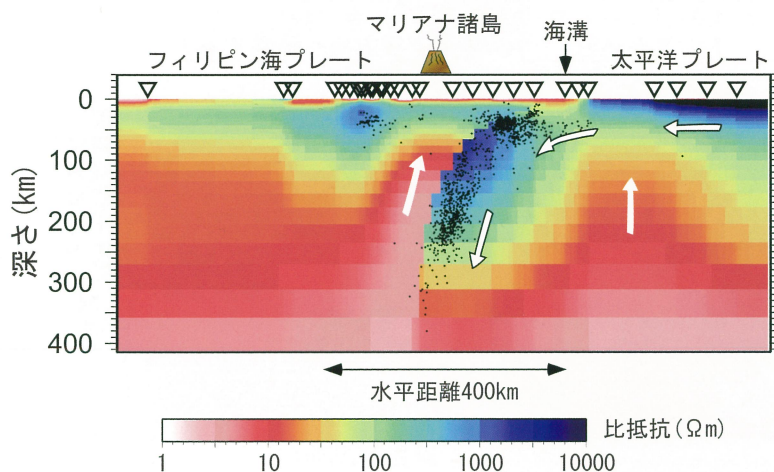


例えば地震波を用いて地下深くの海洋プレートを追うことができます。ここでは、地下を伝わってくる地震波（P波）が地層境界で別の種類の地震波（S波）に変換される現象を利用して、東北地方の地下深部を透視した例を見てみましょう。図では右上から左下に向かう斜めの縞模様が見えますが、これが沈み込む海洋プレートの上面や内部の地層境界です。約30度の傾斜角で沈み込んでいます。



マンツルの電磁探査も行なわれています。日本の南に位置するマリアナ諸島で海底電磁探査を行ったところ、沈み込む海洋プレートとその周辺のマンツルの様子が明らかになりました(図)。まず下向き矢印で示されているのが、マリアナ諸島の下に沈み込む海洋プレートです。その周囲のマンツルは非常に電気を通しやすいようです(赤色)。沈み込むプレートがマンツル深部へ「ダイブ」しているために、深部

にある熱い(電気を通しやすい)マンツル物質が巻き上げられているのかもしれませんが、現在、日本列島の周辺で同様の調査を計画中です。



求む、
若者たち!



地球だけでなく、月でも地下探査が行なわれています。日本の月周回衛星「かぐや」は地中レーダー(4本のX字のアンテナ)を搭載しており、月の周りを飛びながら地下数kmまでを「透視」しました。他の惑星でも同じような探査を実施可能です。特に火星や木星の衛星「エウロパ」には地下に氷や水があるらしく、そこには未知の地球外生命もいるかもしれません。「地下探査」による「生命探査」の時代が訪れつつあります。

