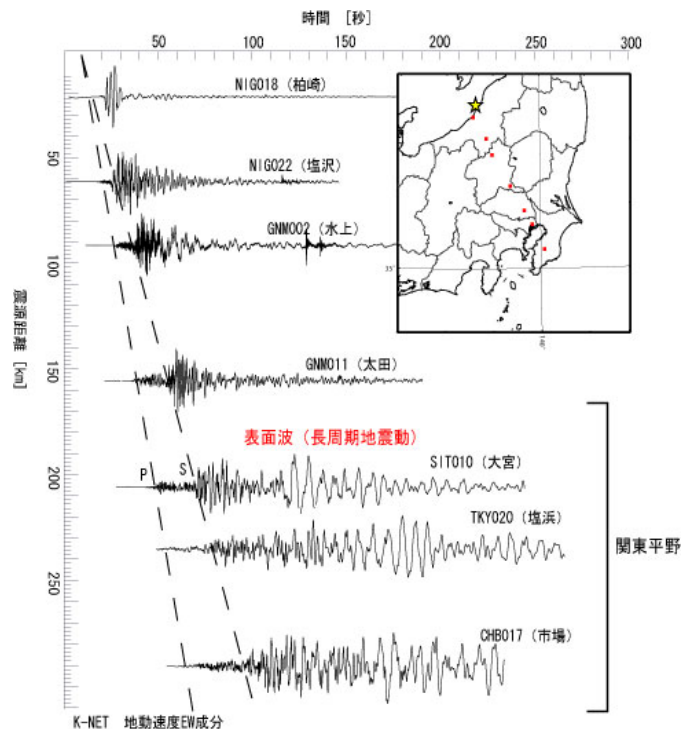




東京大学 地震研究所 ニュースレター

2007年8月・9月合併号



新潟県中越沖地震の地震波が関東地方に伝わる様子（図右上の観測点における地動速度EW成分）

新潟県中越沖地震（2007年7月16日）は、規模が大きく（M6.8）、かつ震源が比較的浅かったために、関東平野において長周期地震動が強く生成する条件がそろっていました。上図は震源から群馬-関東平野（埼玉-東京-千葉）にかけて地震計記録を並べたものです。防災科研のK-NET加速度波形を速度波形に変換（時間積分）し、最大速度で波形をそろえてあります。震源から放射されたS波が関東平野に入ると、周期の長い表面波（長周期地震動）が強く発生し、そして平野を伝わるにつれて次第に長い波群に発達していく様子がわかります（地震研究所強震動グループHPより）。

目次

今月の話題

- ・新潟県中越沖地震 p. 2
- ・一般公開・オープンキャンパスを実施 p. 2

第852回地震研究所談話会 p. 3

第16回公開講義 資料 p. 3

- ・予測が難しい直下型地震（島崎邦彦教授） p. 4
- ・電気と磁気でみる地球内部（歌田久司教授） p. 10

お知らせ

- ・人事異動 p. 17

今月の話題

■新潟県中越沖地震

2007年7月16日10時13分頃、新潟上中越沖でM6.6の地震が発生し、新潟・長野県において最大震度6強の強い揺れを観測しました。地震研究所では、本地震の発生を受け、地震情報および研究速報を地震研究所Webを通じて公開しました。

(→ <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/niigata20070716/>)

また、岩崎貴哉地震研究所教授を代表者とする大学・研究機関の研究チームは、「2007年新潟県中越沖地震に関する総合調査」のため、文部科学省科学研究費補助金（特別研究促進費）の交付を受けました。(→ http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/19/07/07072603.htm)

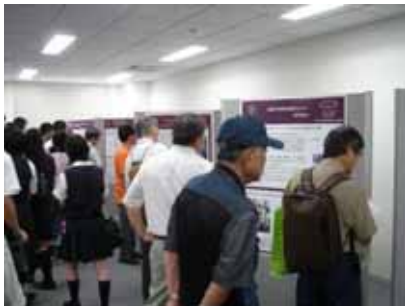
■一般公開・オープンキャンパスを実施

「ERI地球実験室」をテーマに、2007年8月2日、地震研究所は一般公開を実施しました。研究所1号館の一般公開には約850名、弥生講堂での公開講義には320名もの方々が来場され、地球全体が研究フィールドである地震研の活動を巡り教職員・院生と交流しました（公開講義については次のページをご覧ください。）。

今年は、院生が企画した実験展示が充実していました。断層にみたてた寒天にたまった力を偏光板で見る実験、ゼラチンを利用したマグマの上昇実験等、工夫を凝らした9つの展示が披露されました。また、地下構造を調査する探査車が野外に設置され、デモンストレーションとともに地下構造探査の原理が詳しく紹介されました。

お茶を片手に気軽な雰囲気の中で第一線の研究者が最新の成果を語る「地震カフェ」も大人気でした。7階ラウンジに約100名の方が詰めかけ、「揺れる関東平野」、「地震波で見つけたマントル深部への水の道」等の6テーマについて研究者・院生との対話を満喫しました。

一般公開の前日には高校生向けの東京大学オープンキャンパスがありましたが、地震研でも見学ツアーを設けて公開し、約150名の高校生を受け入れました。一般公開も合わせると、2日間で1,000名もの方が地震研を訪れたことになります。



パネル展示



うまくいくかな？

学生実験ブース



初めての「地震カフェ」



地下構造の探査車



オープンキャンパスの一コマ

第 8 5 2 回地震研究所談話会 (2007 年 7 月 27 日)

話題一覧

- 0-1. 新潟県中越沖地震による RC 構造物 (煙突、東電、学校関係) 被害調査の概要
壁谷澤 寿海・金裕錫・壁谷澤 寿一・壁谷澤 寿成、Santiago Pujol (Purdue 大学)
- 0-2. 新潟県中越沖地震における建物と近傍地表での余震観測
壁谷澤 寿一・壁谷澤 寿海・金裕錫・壁谷澤 寿成・三宅弘恵・瀨瀬一起・坂上実
1. SELENE (かぐや) /LMAG の科学目標と人工衛星搭載型高精度磁力計の地上較正について
清水久芳、SELENE/LMAG チーム
2. 地震研究所一般公開における学生実験への取り組みについて
地震研究所学生会、風間卓仁
3. 2007 年中越沖地震の余震活動と臨時観測
酒井慎一・加藤愛太郎・蔵下英司・五十嵐俊博・飯高隆・平田直・岩崎貴哉・金沢敏彦
4. 2007 年中越沖地震と 2004 年中越地震の関係について
加藤愛太郎・酒井慎一・蔵下英司・五十嵐俊博・飯高隆・平田直・岩崎貴哉・金沢敏彦
5. 2007 年中越沖地震震源域の地質構造とテクトニクス
佐藤比呂志・加藤直子
6. 新潟県中越沖地震で観測された強震動と長周期地震動
強震動グループ、古村孝志
7. 2007 年新潟県中越沖地震の震源過程 (速報)
引間和人・瀨瀬一起
8. 1751 年越後高田地震、1828 年越後三条地震、2003 年中越地震、および 2007 年中越沖地震の強震度域の位置関係
都司嘉宣、行谷祐一 (産総研)、小野友也
9. 車載 360 度カメラによる新潟県中越沖地震の緊急現地調査速報
天野篤・千葉達朗 (アジア航測)、鷹野澄

第 16 回公開講義 (2007 年 8 月 2 日)

8 月 2 日午後、一般公開に合わせて第 16 回目公開講義を開催しました。例年安田講堂が会場ですが、今夏は改修中のため、農学部弥生講堂で行いました。相次ぐ地震を反映してか、講堂 (定員 300 人) は満席となり、講演をビデオ中継した地震研会場でも約 100 名の方が聴講されました。

今年は、日本地震学会会長の島崎邦彦教授と、地球電磁気・地球惑星圏学会会長の歌田久司教授が競演。島崎教授は、「予測が難しい直下型地震」と題し、最近相次いで発生した能登半島地震や中越沖地震等の直下型地震に関する研究の現状を紹介しました。直下型地震の 3 割は発生場所の予測ができないこと、震災に「自分だけは大丈夫」は通用しないこと等の怖い話をやさしい口調で語り、東京でも建物の耐震化が急務であることを訴えました。

また、歌田教授は、「電気と磁気で見る地球内部」と題し、電磁気から地球のコアやマントルを調べる研究を紹介しました。地震波による方法とは独立な情報が得られるので、地震や火山噴火をもたらす地球内部の活動をより深く理解できます。普段感じることはありませんが、コアが作りだす地磁気は太陽から吹き付ける荷電粒子をさえぎるバリアとなって地球の大気や生命を守っているとのこと。

以下、公開講義の際に配布した資料を掲載します。

1. 予測が難しい直下型地震 (地球流動破壊部門 島崎邦彦教授)
2. 電気と磁気でみる地球内部 (海半球観測研究センター 歌田久司教授)



予測が難しい直下型地震

島崎 邦彦

1. 地震動予測地図

地震が起こるたびに、地震動予測地図が話題に上るようになりました。12年前の阪神・淡路大震災を契機に、全国の主要な活断層帯の地震や海溝型地震の長期予測が国の地震調査委員会によって行われ、その結果を1枚にまとめたのがこの地図です(図1)。話題になることで、地震対策を進めるきっかけが生まれれば良いと思います。残念ながら能登半島地震の場合は、「予測が当たらないじゃないか」という批判を浴びました。30年間で震度6弱以上になる確率が0.1%程度にもかかわらず、震度6強の揺れが記録されたからです。震度6弱の揺れでは、耐震性の低い家屋が倒壊することがあります。また、耐震性の低い家屋が多く倒壊するのが震度6強です。

能登半島地震は、震源の規模を表すマグニチュードが6.9、石川県能登半島の七尾市、輪島市、穴水町で震度6強の揺れ、志賀町、中能登町、能登町で震度6弱の揺れが記録されました。輪島市では灯笼の下敷きとなって52歳の女性が死亡、住宅580棟が全壊し、29名が重傷、298名が軽症を負うという惨事となりました。

実は、この程度の震源規模の地震は、日本全国どこでも起こります。予測地図の色が薄い地域でも、確率がゼロではない以上、いつかは激しい揺れに襲われることは間違いありません。一生の間に、被害が伴う地震が身近で起きなければ、たまたま幸運であったに過ぎないのです。しかし、多くの方はこの地図を見て、赤くなければ大丈夫と思われてしまうようです。「自分だけは助かる」とは限りません。

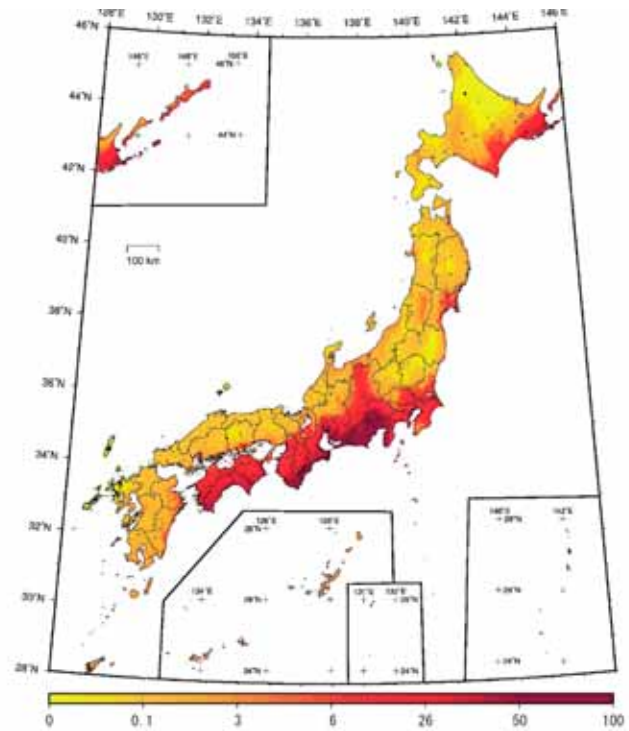


図1 今後30年以内に震度6弱以上の揺れに襲われる確率(地震調査委員会, 2006)。「赤くないから大丈夫」と思うのは、大間違いです。

この地図の赤色に惑わされないように、「世界地図で見れば日本は真っ赤なんですよ」などと注意をする必要があると思います。

2. 地震国日本

地震国に住んでいながら、ほとんどの人が地震の危険度を正しく捉えていません。それは、たまたま震災が少ない時期に人生を送った大人と、その大人に育てられた子供、そして孫が、この社会の大半を占めているからです。

今回の被災地域の確率が低いのは、後で説明するように、海の活断層が勘定に入っていない

ためですが、日本全国を見てみると、他にも同程度の確率の地域があることがわかります。ただ、この確率は、本当に低いのでしょうか？ 同じ30年の確率で、交通事故で死亡する確率や火災で死傷する確率は0.2%です。子供が外に出かける時は、「車に気をつけて」と一声掛けるでしょう。また、寝る前には、「戸締まりと火の用心」を誰もが忘れないと思います。このような日常から考えれば、能登半島の数字が決して低いわけではないことが、分かって頂けることと思います。

能登半島地震のように、沿岸も含む陸域の震源によって、50人以上の犠牲者を出したケースは、約9年に1回発生しています（過去200年間の統計による）。そのうち、調査が行われた主要活断層帯の活動とみられる地震は半分にすぎません。一方、千人以上の犠牲者が出た陸の地震は約20年に1回起きています。主要活断層帯が活動した地震の割合は7割と増えます。逆に被害が少ない地震ほど、予め震源が分かっている場合が多いのです。

陸の活断層による地震の影響は、地震動予測地図では見えにくくなっています。それは、海溝型の地震の影響の陰に隠れてしまっているからです。真っ赤～黒っぽく塗られているのは、ほとんどが海溝型地震による揺れの可能性が大きい地域です。海溝型地震は繰り返し間隔が短いため、30年の発生確率が大きな値となりやすく、その揺れが強調されます。活断層で発生する地震の繰り返し間隔は、海溝型地震の間隔より一桁以上長いので、その影響が赤っぽく見えることは、余りありません。例外の一つは、長野県を縦断する糸魚川-静岡構造線活断層系です（図1）。

活断層のある地域で防災対策を進めるには、その活断層の地震で、どの程度の揺れとなるかを示した地図を用いるのが良いでしょう。

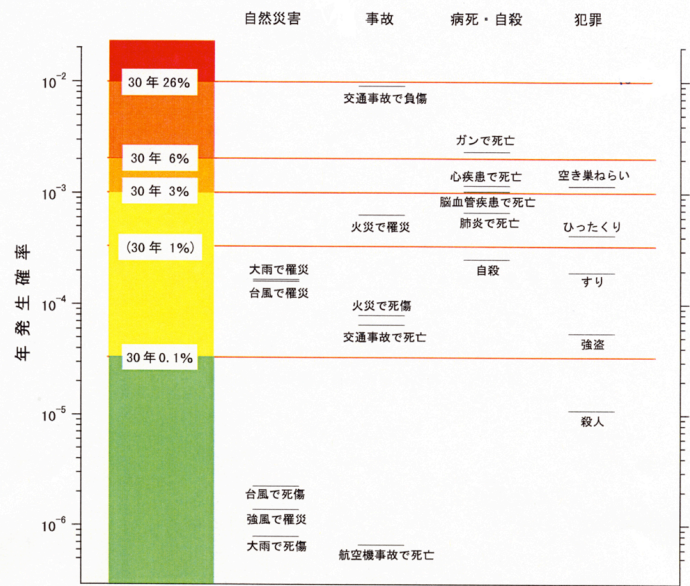


図2 発生確率の比較（地震調査委員会長期評価部会資料，2005）

地震調査研究推進本部の地震調査委員会で詳細な評価を行ったものは14断層だけですが、政府や自治体でも積極的に作成が進められています。各地域の実情に応じて、最も適した資料を用いて地震対策を進める必要があります。国が公表している地図は、最小単位が1kmx1kmの範囲なので、自分の家がどの程度揺れるのかまではわかりません。より詳細な情報は地方自治体に委ねられていますが、幾つかの自治体では、50mx50mの範囲の揺れまで予測をし、公表しています。例えば、横須賀市では防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター川崎ラボラトリーとの共同研究で作られた震度マップ（最小単位50mx50m）を公開しました（web:よこすかわが街ガイド）。発生確率の高い三浦半島断層群（武山断層帯）で地震が発生した場合に、自分の家がどの程度の揺れに襲われるかがわかります。耐震改修など、地震対策が進むでしょう。

全国には地震に弱い家や建物が多数あります。現在ほぼ4軒に1軒の建物は地震の激しい揺れ

に耐えることができません。政府は10年以内に、地震に弱い建物を10軒に1軒へと減らすことを目標としています。弱い建物の多くは、木造家屋で現在約1千万棟あります。目標のためには、約9百万棟の改修或いは改築を行わなければなりません。

改修あるいは改築する木造家屋9百万棟を、もし自由に選べるとしたら、どのように選ぶのが最も効果的でしょうか？最も地震の被害を少なくするには、どのように選ばよのでしょうか？答えは図1を見ればわかります。最も揺れやすい、黒っぽい地域から始めて、次第に色の薄い地域へと選んで行けば、予想される被害が最小となります。このように時間やお金が限られている場合には、この予測地図が優先順位を教えてください。実際、政府が東海地震や東南海・南海地震、首都直下地震など、特別な法律を作って重点的に対策を進めている地域は、いずれも黒～赤に塗られています。

一方、危険な施設は色が薄い場所でも安全でなければ困ります。また、時間もお金もかからない基本的な対策は、色が薄い地域でも当然進めなければなりません。耐震改修や改築も本当は、色の濃淡にかかわらず、日本全国で進めるべきだと思います。人の命にかかわることですから。

3. 能登半島地震

能登半島地震は、海底活断層が引き起こした地震です。この海底活断層の存在は、原子力関係者による2005年の論文で既に公表されていました。地震直後、この活断層の調査にあっていた北陸電力や原子力関係者から発言がなかったため、作成中だった産業技術総合研究所の海底地質図が脚光を浴びてしまったようです。地震調査委員会では、今回の地震が、この北東-南西に延びる長さ約20kmの南東傾斜の逆断層が活動したものと考えられると評価しました。

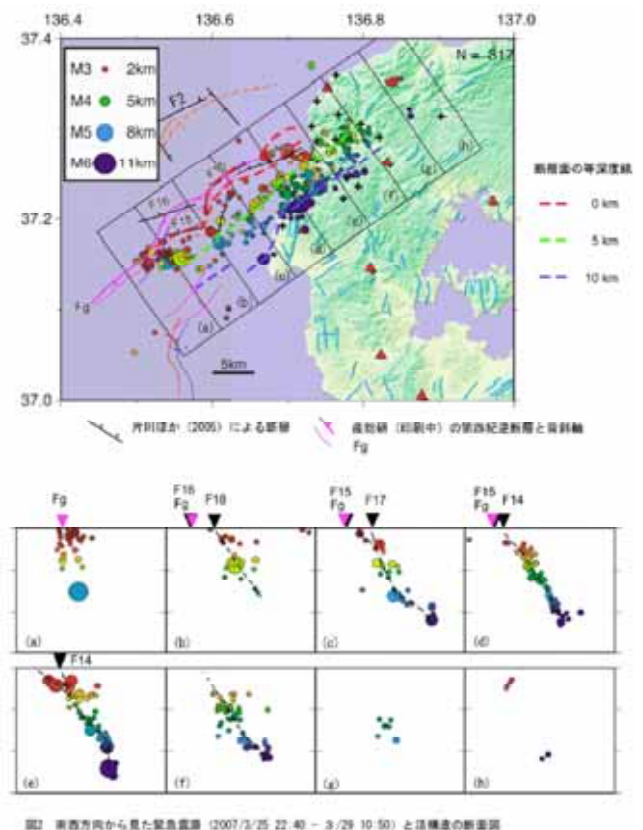


図3 能登半島地震の余震分布と海底活断層 (地震調査委員会提出, 地震研究所資料)

図3 能登半島地震の余震分布と海底活断層 (地震調査委員会提出, 地震研究所資料)

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/07apr_noto/pl1.htm

これらの調査結果が、地震動予測地図に反映されていけば、確率はより高くなっていたと思われます。

海底の活断層については、地震調査委員会の発足当時から調査研究の必要性が認識され、阪神・淡路大震災直後の1995年度から、海上保安庁海洋情報部(旧水路部)による沿岸海域活断層調査が始められました。2003年に13地域の調査を終え、終了したようです。この成果などをもとに、主要活断層帯のうち、6活断層帯で主に海底活断層の調査結果に基づく長期評価が行われています。

4. 主要活断層帯の長期評価

阪神・淡路大震災後の10年で、主要98活断層帯が調査され、評価され、その結果が公表されました。このうち、東京湾北縁断層帯、岐阜一宮断層帯、荒川断層帯が活断層ではないと判断され、元荒川断層帯については上尾市より南部の部分が活断層ではないとされています。元荒川断層帯の北部は、関東平野北西縁断層帯に含めて評価されました。この間、主要活断層帯に加えるべき12断層帯が発見され、現在それらについての調査および評価が進められています。

主要98活断層帯のうち、活断層と認められた94活断層帯は、将来活動する区間(一つの地震を起す範囲)として159に分けられ、そのうち116区間で今後の地震発生確率が求められました。43(=159-116)区間については、地震の平均繰り返し間隔や、最後の活動時期が不明なため、確率が求められていません。これらの活断層帯は、マスコミなどで報道されにくいので、地域の人も知らないことが多いようです。また、116区間のうち、20区間では最後の活動時期が不明なため、確率の値としては、必ずしも正確には求められていません。このように残された課題は多く、現在の調査体制は十分とは言えません。

地震の平均繰り返し間隔と最後の活動時期が明らかとなった96区間について、確率の値が大きい断層帯(全体の約1/4)、やや大きい断層帯(約1/4)をそれぞれ、赤とオレンジで図4に示しました。残りの約1/2は緑で示してあります。今後30年のうちには、この赤の区間のどれかで、大地震が発生する可能性は、かなり高いものと思われます。

なお、図4に加え、福岡市をほぼ南北に貫く警固断層帯南東部(マグニチュード7.2程度)も可能性が高いと今年3月に評価されました。

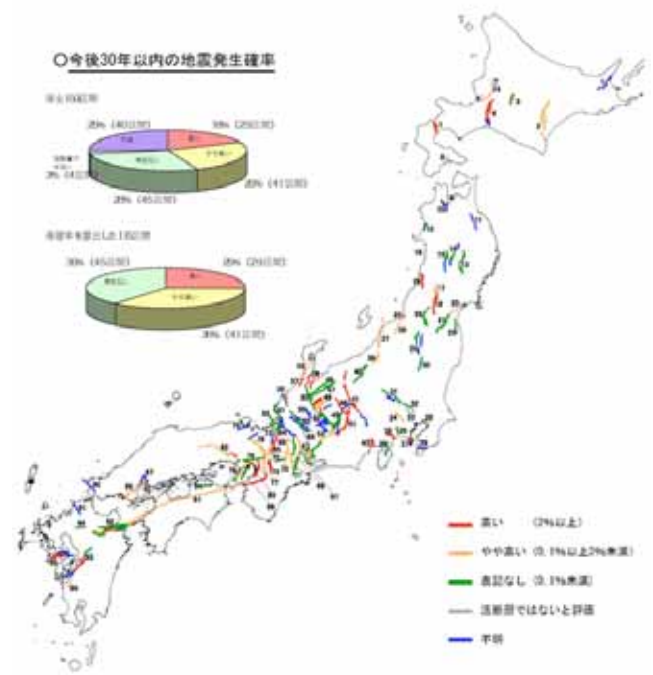


図4 主要活断層帯の地震発生可能性(地震調査委員会長期評価部会, 2005)

主要活断層帯の他にも多くの活断層があります。また、活断層が見えなくても地下に将来の震源となる断層が隠れている場合もあります。目に見えない震源を多くの人に気づいてもらうには、このような活断層の調査をさらに進めて、地域の人に知ってもらうことが重要です。

マグニチュードが7に達しない地震でも、浅い陸の地震では、大きな被害を及ぼすことがあります。震源断層が地表まで届かないため、地面には傷跡が残らず、歴史に記録されない限り、地震の証拠は残りません。このような地震は予め震源の存在を知ることができず、予測は極めて困難です。

活断層で起こる地震の長期評価については、今後も改訂作業が進められるので、海陸を問わず最新の結果を取り入れるようにしていきたいと思えます。

5. 南関東直下の地震

関東地方は日本列島でも、地震の多い地域です。ここには、東の日本海溝から太平洋プレートが沈み込み、南の相模トラフからフィリピン海プレートが沈み込み、これらが関東直下で重なって、プレートのサンドウィッチができています。このようなプレートの三枚重ねは、世界的に見ても極めて珍しく、地学的に興味深いものです。地震が多いのは、このためでしょう。しかし、このような地域に首都があることは、問題ではないでしょうか？

関東地方では、浅い地震はそれほど活発ではなく、時おり、あっと感じる揺れの震源は、深さ40から90kmのことがほとんどです。ですから、カタカタ（或いはガタガタ）という上下の揺れ、初期微動がかなり長く続き、それからユラユラ（或いはユサユサ）と横揺れ（主要動）になります。図5に示すように、これらの震源の多くは、茨城県南西部や千葉県北部の地震の巣にあります。また、銚子付近にも、地震の巣が見えます。このうち、茨城県南西部の深さ40-60kmの地震が、陸のプレートとフィリピン海プレートの境界で起こる地震、他は、フィリピン海プレートとその下の太平洋プレートとの境界で起こる地震です。この他、陸のプレート内、フィリピン海プレート内、太平洋プレート内でも地震が起こります。

日本の中で関東地方は、よく地震を感じます。しかしその多くは、足下の陸のプレート内で起こる地震ではなく、やや深い地震です。活断層は、中部地方や近畿地方と比べると、数が少なく、活動もやや低めです。東京付近では、立川断層帯、三浦半島断層群などがあります。よく地震を感じる一方で活断層が少い関東地方と、余り地震を感じないが直下に活断層を多数抱える近畿地方とは対照的で、やや皮肉な状況となっています。

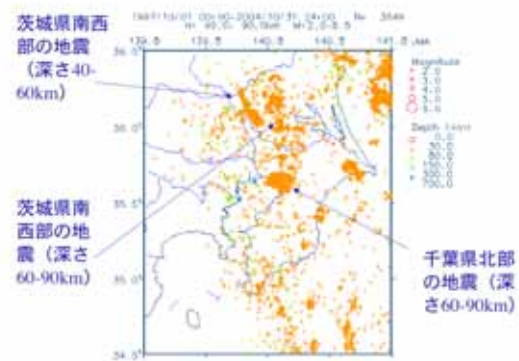


図5 関東地方の地震（深さ40-90km）

関東大震災の原因となった、1923年大正関東地震は、相模トラフから沈み込むフィリピン海プレートと陸のプレートとの境界で発生しました。武村・他の研究によれば、大正関東大震災では揺れによって約11万棟の家屋が倒壊、約1万4千人死亡。その後の火災で21万棟が焼失し、総計10万5千人の命が奪われたとのことです。一サイクル前の地震は、1703年元禄関東地震で、赤穂浪士の討ち入り（新暦では1月30日）のあった年の大晦日に相当する日（旧暦では、元禄十六年十一月二十三日）に起こりました。元禄以前の関東地震については、残念ながら知られておりません。津波の痕跡や、陸に残された過去の海岸線の跡、また、現在の地殻変動などから、繰り返しの間隔は200-400年程度と推定されており、当分は大丈夫のようです。

関東地震のように巨大なプレート境界の地震は、周辺の地震活動に大きな影響を与えます。地震の活動期という言葉が聞かれた方が多いと思いますが、中～西日本は現在活動期であると多くの研究者が考えています。ただ、活動期と言っても、毎年地震被害があるというほど地震活動が活発ではなく、その前の期間に比べて被

害の頻度が2-3倍程度となるくらいです。ただし、中～西日本では南海地震の前後の数年間は、毎年のように大震災が繰り返すという、恐ろしい活動期となります。さて、関東地域の活動期ですが、関東地震の前80-90年位の間、その前の時期より明らかに活発化します。大正関東地震後10年弱の期間は余震を始めとして、比較的活動が高かったのですが、それ以降は静穏期が続いていました。今後は次第に活発化していくと予想されます。ただし、活動期に入る時期がいつかはわかっていません。

最近起こった地震については、どのプレート境界、或いはどのプレート内の地震であるか、震源の位置、断層面やずれの向きから判断することができます。しかし、地震計の記録もない江戸時代の地震については、被害分布しか手がかりが無く、しばしば見解が一致しません。死者一万人とも言われる安政江戸地震については、陸のプレート内から、太平洋プレート内まで様々な説があります。

地震調査委員会では、1885-2004年の119年間の資料を用いて、地震の平均発生頻度を23.8年に一回と推定しました。これは、南関東の深さ30-80kmでマグニチュード6.7-7.2の震源が対象です。これにより、今後30年以内の地震発生確率を70%と推定しています。地震の発生位置は、予測が困難で、南関東の陸のプレートとフィリピン海プレートの境界で起こる地震、フィリピン海プレートとその下の太平洋プレートとの境界で起こる地震、フィリピン海プレート内の地震、太平洋プレート内の地震を含みます。

この長期評価の公表後発生した、2005年7月23日の千葉県北西部の地震は、78台のエレベーターで閉じこめが起これり、首都圏の交通網を混乱させたので、記憶に残りました。この地震は、フィリピン海と太平洋のプレート

主な江戸/東京被害地震年表

1613-1702 活動期 90年	震度5が10回 1615, 1649, 1679年の被害地震
1703-1712 巨大地震と余震 静穏期 10年	1703年元禄関東地震 死者1万人を超える
1713-1842 静穏期 130年	震度5が3回
1843-1922 活動期 80年	震度5が11回 1855年安政江戸地震、1894年明治東京地震
1923-1931 巨大地震と余震 静穏期 7年	1923年大正関東地震 死者10万5千人
1932-	1987年千葉県東方沖地震(死2)、東京震度4 1983, 1992年東海震度5

境界で発生しましたが、過去の地震計記録との比較から、約25年の平均間隔で繰り返し起こっていることがわかりました。このように一つ一つの地震の繰り返しがわかれば、より正確な長期予測ができます。このため、「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の一環として、今年度から調査・観測が開始されています。

中央防災会議では、東京湾北部のフィリピン海と陸のプレートとの境界に推定されるマグニチュード7.3の震源の活動が、ある程度の切迫性を持ち、首都機能から見て重要としています。東京湾北部沿岸や東京区部東部で震度6強の激烈な揺れ、東京都東部、埼玉県南部、千葉県西部、神奈川県東部では震度6弱と予想され、冬の夕方、風速18mの場合には、85万棟の建物が全壊・全焼し、一万一千人が死亡、重傷三万七千人という途方もない巨大災害が想定されました。揺れによる全壊建物は荒川周辺に集中し、焼失建物は環状七号線、環状六号線沿いに集中しています。帰宅困難者は約650万人で、その対策が検討されています。

(参考)

地震調査研究推進本部

<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>

中央防災会議

<http://www.bousai.go.jp/index.html>

電気と磁気でみる地球内部

海半球観測研究センター 歌田 久司

1. はじめに

地球の中はどうなっているのか、あるいは、地球の中では何が起っているのかを、さまざまな手段で調べるのも地震研究所の研究の重要な目的の一つです。本日の私の話では、電気や磁気の観測という手段が地球の研究にどのように用いられているのかを紹介したいと思います。「電気と磁気」と聞いて意外に感じられる方も多いかと思いますが、少し例え話で説明しましょう。皆さんが飛行機に乗る前に金属類を身に付けたまま検査のゲートをくぐると、ピーとブザーがなって係員の身体検査が始まります。あの機械では、電気と磁気の性質を利用して金属を感知しています。金属は電気を通しやすい、あるいは電流を流しやすいという性質があります。電流は磁気を作ることができます、逆に磁気の時間変化は電圧あるいは電流になります。磁気の時間変化を電磁波として与えると、金属の中には電流が発生して、電磁波を歪ませます。金属がなければこのようなことは起りませんから、ちょっとした工夫をして測定するとごく小さな金属でも感知することができます。宝探しや地雷の探知で用いる道具もほぼ同様の原理で動作します。同じ原理を地球にあてはめると、金属資源を探索する手段として実際に利用することができますし、もっと一般的に「地球の内部構造」を調べることもできます。

さて、昔から、磁石あるいは磁気の手というの不思議なものとしてされてきました。どのくらい昔からかという、古代ギリシャ、プラトンやアリストテレスなどの哲学者が自然の原理を考えていた頃からです。磁石は、磁石同志が引き付け合うだけでなく、鉄を引き付けます。手で物に力を

伝える時には、その物に触れる必要がありますが、磁石は離れている磁石や鉄を引き付けます。つまり相手に触れずに力を及ぼすのが、とても不思議なことに思われたのです。実は、磁石と磁石の間に働く力は単なる引力ではありません。ご存じのように磁石にはNとSという2つの異なる磁極があつて、同じ極同志は反発します。皆さんは、ハイキングなどに行った時、方角を知る時に磁気コンパスを使われると思います。磁気コンパスのN極は地球上のどこでもおおよそ北の方角を示しますが、このことは北極あたりにS極が、南極あたりにN極があることを意味します。つまり地球は全体が磁石になっているということができません。前置きはこのくらいにして本題に入り、地球全体の磁石としての性質に関するお話から始めたいと思います。

2. 地球磁場の発生を探る

磁石の針が北を指すという性質は、紀元前2世紀ころの中国（始皇帝の頃）ですでに知られていたということです。地球全体が磁石になっていることが明らかになったのが16～17世紀ころです。ちょうどエリザベス一世の治世（シェイクスピアと同時代）に、イギリスの科学者ギルバートが実験によって示し（図1）、本に著わしました。どういう仕組みで地球の磁場（地磁気）が発生しているのかについては、20世紀の中頃以降になって急速に研究が進んだ分野です。

地磁気の分布は、地球中心に棒磁石をおいた場合のものによく似ていますが、本当にそうになっているわけではありません。「富士山の青木ヶ原では磁気コンパスが効かない」という話を聞いたこ

とがある方も多いと思いますが、火山から噴出する溶岩は強い磁気を帯びている場合があります。これは永久磁石ですから、地球の中が永久磁石になっている可能性はあるわけです。しかし、温度を変えながら溶岩の磁性の測定をしてみると、温度とともに弱くなり多くの場合に 600℃くらいで

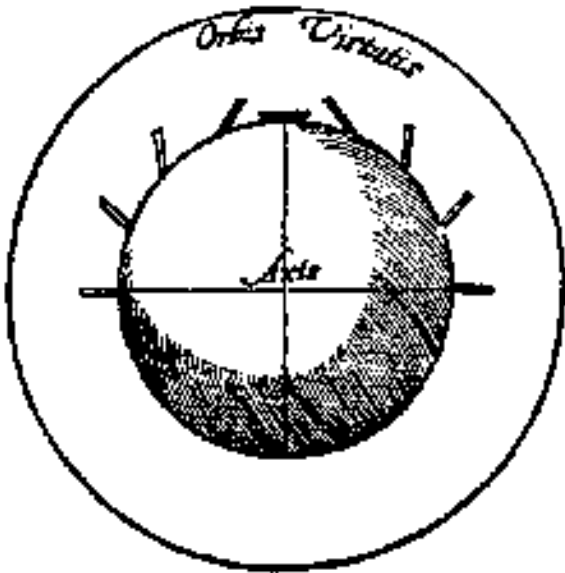


図 1 ギルバートによる模型実験の図。球形にくり抜いた磁石の周りの磁針の向きが地球上の伏角の分布と一致することを示した。

磁性がなくなってしまうことがわかります。地球の内部は、深さとともに高温になっているので、全体として永久磁石が存在することはできないことがわかります。地球の磁場が時間変化していることも永久磁石では説明できません。時間変化をするどころか、地質時代を通しておよそ百万年に一回の頻度でN極とS極の極性が反転した(図2, 地磁気の逆転)ことも知られています。

答えを明かすと、地球の磁場は外核に流れる電流で発生している、つまり、地球は電磁石になっているのです。地球の内部構造のおさらいをすると、地表から地殻・マントル・外核・内核に分けることができることはご存じだと思います。地球中心部の核は鉄を主成分としていますが、外核は流体(溶けた状態)で内核は固体という違いがあ

ります。流体の外核では、活発な運動があると考えられています。プレート運動でマントル対流のスピードは、1年に1cmから10cmと見積もることができます。これに対して、外核の運動速度は時速1mくらいにもなると考えられています。マントルの動きに比べ圧倒的に速いことがわかりますね。このスピードの見積もりは、「地磁気の西方移動」という観測データが元になっています。

先ほどから、「磁気コンパスの針が北を指す」という話をしていますが、厳密にはこれは正しく

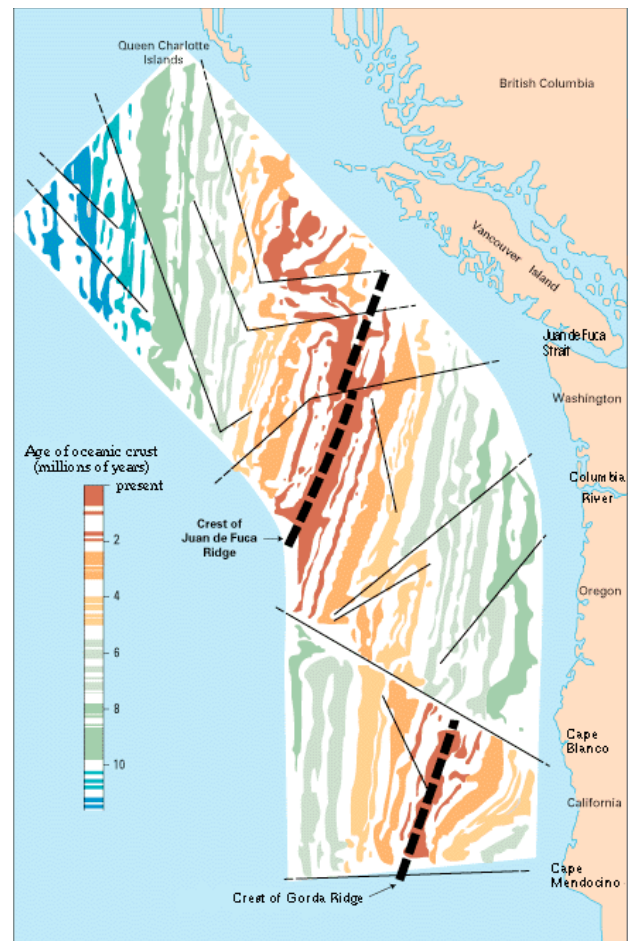


図 2 海底に残された地磁気逆転の歴史。中央海嶺で海底ができる時、海洋地殻の玄武岩はその時の地磁気の方に磁化される。海洋底拡大とともに海底は中央海嶺から左右に移動するので、正反の縞模様ができ、離れた場所ほど古い時代の地磁気の方に磁化している。

ありません。針が指す方角と真の北の方角（これは地球の自転軸の方角）との間の角度を「偏角」とよびます。偏角は、場所によって違いますし、時間的にも変化しています。コロンブスらが活躍した大航海時代以降最近まで、磁気コンパスは航海の必需品で、偏角が場所によって異なることも当時から知られていました。それだけでなく、航海日誌にはその時々における偏角の測定値が記録されています。それらの記録によれば、ヨーロッパとアメリカ大陸の間の大西洋には、偏角が極大になる場所があり、その位置（経度）は時代とともに西方へ動いたことが判ります。その移動速度は、およそ千年で地球を一周（ 360° ）するくらいになります。この移動が外核の表面でおきていると思うと、先ほどの時速1mくらいの速度になるというわけです。つまり、地磁気のパターン（偏角が最大になる場所）の移動は、外核の流れに乗っているためと仮定したことを意味します。川の流れの速いところでは渦ができますが、渦が流れに乗って動いて行くと、渦を見て流れの速さがわかります。渦を磁場におきかえたこの仮定が正しいという厳密な証明はなされていませんが、他に方法がないという理由もあって、この値が広く用いられています。

このように、地球の磁場は外核が鉄を主成分とする導体の流体でできているため、導体の運動と磁場との電磁誘導によって運動エネルギーが磁場のエネルギーに変換されて発生していると考えられます。さらに、運動の元として大事なものは、地球の自転と対流の効果であると考えられます。自転の効果の説明は省略して、対流の効果の説明しましょう。対流運動とは、表面に重いものがあると沈み、底に軽いものがあると浮くという半径方向の運動です。底をあたためて表面を冷やすと起る対流を「熱対流」と呼びます。対流は熱を効率良く運ぶので、外核とマンツルの対流によって地球は全体として徐々に冷えてい

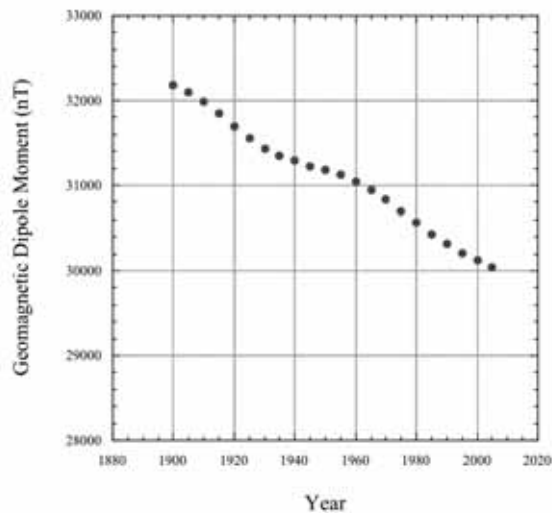


図3 最近約百年間の地球（双極子）磁場強度の変化。

ます。その結果、約25億年くらい前に、地球の中心が鉄の固化する温度にまで冷え、内核ができたものと考えられています。内核はそれ以降、次第に大きくなってきました。外核は鉄を主成分としますが、それ以外にもいろいろな元素が溶けています。内核表面で鉄が固化すると、あとと一緒に溶けていた鉄よりも軽い元素の割合が多い部分が残され、これは周囲よりも軽いので浮かび上がります。この浮かび上がる運動も対流の一種で、「組成対流」と呼びます。

最近では、外核の流体運動によって磁場が発生するメカニズムをコンピュータシミュレーションで再現（ダイナモ計算などと呼ばれます）しようという取り組みが行なわれるようになってきます。コンピュータの能力の飛躍的な向上とともに、ダイナモ計算も精密かつ大規模になってきましたが、外核と同じ条件での計算の実現はまだ先のことだと言われています。最近百年あまりの地球磁場の強さはほぼ一様に減少しています（図3）が、このまま無くなってしまいかどうかを天気予報のように数値的に予測することも、将来可能になるかも知れません。

この分野で地震研究所が行なっている、ユニークな観測を紹介します。それは、外核の変動を電

圧の観測で捉えようという試みです。電圧の観測といってもテスターを使って測定するわけではなく、地球を相手にする場合は、数千 km もの長さのケーブルの両端を接地（アース）して、アース間の電圧を精密に測り続けるのです。こんなに長いケーブルを自前で引くことはできませんので、KDDI などの電話会社が使っていた電話回線用の海底ケーブルが運用停止になったものを譲り受けて観測に利用しています（図 4）。外核の変動は、最も時間スケールの短いものでも 30〜60 年程度であると考えられているので、このような測

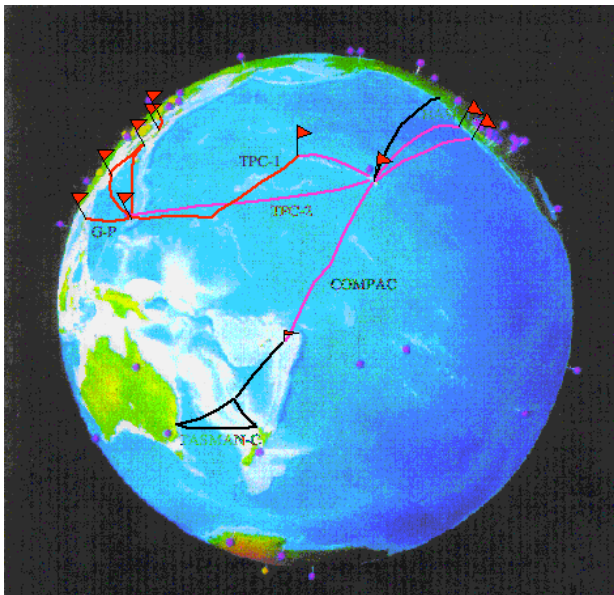


図 4 地球の電圧を測定している、太平洋の海底ケーブルネットワーク。

定は気長に続ける必要があります。今すぐ成果になるわけではありませんが、磁場の観測だけでは得ることのできない貴重な情報を将来もたらしてくれるでしょう。

3. マントルの不均質を探る

普段感じることはありませんが、地球は太陽からの荷電粒子の流れ（太陽風と呼びます）の中にいます。磁場は運動する荷電粒子に対して反発力を与える性質があるため、地球の磁場によって、

太陽風は途中で跳ね返され、地表に直接吹きつけることはありません。ちなみに、火星は固有の磁場がないので、太陽風によって大気ははがされてしまい、生物が住めない環境になっています。

太陽の活動の変化によって太陽風の圧力が急激に増大したりすると、地球磁場の振動を起こすことがあります。変動量は地球磁場の強さの百分の一程度かそれよりも小さいものでしかありません。したがって、磁気コンパスの針をじっと目を凝らしてみても、その動きを目で捉えることは難しいと思います。この振動は、地球内部に電磁誘導を起こします。高精度の観測を行って電磁誘導の様子を調べることにより、地球内部の構造を電流の流れやすさを示す物理量（電気伝導度といいます）で見ることができます。

医療分野では、CT あるいは MRI スキャンという技術で体の断面を撮影（トモグラフィーと呼びます）することができるようになって、治療に著しい進歩をもたらしました。地球内部を研究する場合でも、内部の断面の写真をとることによって得られる知見は重要です。地球科学の分野では、地震波の伝わり方を調べて 3 次元的に地球内部構造を見る方法が、20 年あまり前から行なわれるようになり、現在では詳しい図が得られるようになっています。

例えば、図 5 は地震波の P 波の伝わり方で描いたトモグラフィーで、赤い所は伝わる速度が遅い部分、青い所は速度が速い部分を表します。仮にこの不均質が温度だけによっているとすると、赤い所は温度が高く、青い所は温度が低いと解釈できます。例えば、この図の日本列島の下で青い部分が J の字を引き延ばしたようになっているのは、沈み込む冷たい海洋プレートであると考えられます。この図は、沈み込んだプレートは、マントルの中をどこまでも突っ込んで行くのではなく、上部マントルと下部マントルの境界付近で一度横たわって溜まるらしいことも示しています。こ

れが映画の「日本沈没」では「メガリス」という名前前でよばれたもので、大きくなったメガリスが一気に落ち込む時一緒に日本列島も巻添えにするというのが、映画のストーリーでした。

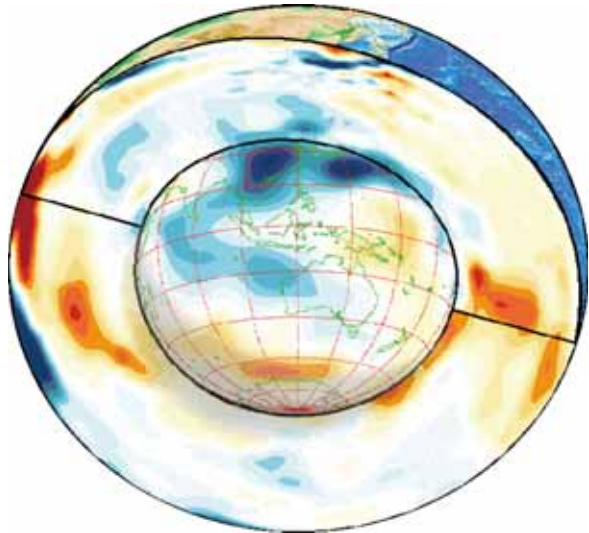


図5 地震のP波の伝わり方で見た地球内部構造. 伝わり方は、青い部分では速く、赤い部分では遅い。

実際の地球内部の不均質構造は、温度の効果だけでなく、さまざまな要因によってできています。従って、1種類の画像しか得られなければ、要因を区別することはできませんが、多種類の画像が得られれば、原理的には画像の種類の数までの要因に分けることが可能になります。地震波を使った方法では、P波の速度だけでなくS波速度や減衰などで画像を描く方法も開発されています。

地球内部で発生している電磁誘導を観測して電気伝導度のトモグラフィーができれば、地震波を使う方法とは全く独立な画像が得られることが期待されます。この画像を得るためには、太陽活動の影響による地球磁場の変動が地球内部に起こした電磁誘導を観測によって調べる必要があります。時間変動の周期の違いによって見える深さが異なります。上部マントルを見るためには1時間から10時間くらいの周期変動、上部マントルから下部マントルへの遷移層(深さ400~660kmに対応)を見るためには、数日から数十日の周期

の変動を解析します。このくらいの長い周期のデータ解析をするためには、1年以上の長期観測が必要です。ここでは、後者、すなわちマントル遷移層に着目して行なった研究から、最近の成果を紹介します。

電気伝導度も、地震波と同様に平均的には半径方向のみに値が変化する、球対称な分布をしているので、地球上のどこで観測しても磁場や電場の変化はおおまかにはこの平均的球対称(1次元)構造で予想されるものになります。しかし、これを精密に調べると、場所によって誘導電流の強弱があることがわかります。この誘導電流の強弱から、地球内部の電気伝導度不均質を見積もることになります。地震研では、このような研究をするために1997年から2002年にかけて「海半球計画」というプロジェクトを実施して、太平洋地域に地震・電磁気・測地(GPSなど)の総合的観測ネットワークを構築しました。こうして得られた観測データから、世界で始めてマントル遷移層の3次元の電気伝導度分布を求めました。図6は、フィリピン-マリアナ-ハワイを通る断面で、左にP波の速度構造、右に電気伝導度構造を比べたものです。それぞれ、速度が遅く電気を通しやすい部分が赤で、速度が速く電気を通しにくい部分が青で示されています。細かな違いはあるものの、二つの独立な画像にはよい対応が見られ、大局的にはこれらの構造が温度の不均質によってできていると説明することができます。ただ一か所だけ、フィリピン海下の遷移層上部にある非常に電気を通しやすい部分は、温度だけではどうしても説明できません。

では、温度以外の何が原因なのかが問題になります。いろいろな解釈が可能ですが、今最も有力な考えと思われる一つが、水の効果です。最近の高温高压実験によれば、遷移層の物質は重量比で数%もの水を貯え得ることが示されました。また、水を含んだ状態では、含まない状態よりも電気伝

導度が著しく増大することも実験で明らかにされています。実験値を参考にして図6の電気伝導度分布を水の分布に変換すると、赤の濃い所は最大0.3重量%程度もの水の存在量に対応することが示されました。

なぜ、水の存在を問題にするのでしょうか。地球は「水の惑星」と呼ばれるくらい、地球および生命にとって水はなくてはならないものですが、地球内部にとっても、水は重要な働きをしています。例えば、日本列島のような島弧の火山のマグマの発生は、沈み込む海洋プレートの地殻の部分に含まれている水を含む鉱物が高压下で分解して吐き出した水によって島弧下のマンツルの物質の融点（溶け始めの温度）を下げる結果であると考えられています。マンツル深部の岩石は水を含むと強度が低下する（流れやすくなる）効果がある

たのかも重要な問題になります。まだ、地球上のいろいろな場所で調べられているわけではありませんが、丁度ここが沈み込み帯にあたることから、沈み込む海洋プレートとともに水が遷移層まで運ばれたというのが有力な考えです。

こういう具合に想像力を膨らますといろいろなストーリーが考えられます。しかし、観測を行って地球内部に関する情報をできる限り正確に取り出すのが我々の役目です。実際、遷移層の電気伝導度構造の解析はまだ始めたばかりですので、まだまだ改善すべきところが沢山あります。特に、地球の磁場や電場の観測点は、海半球計画で建設したものを含めてもまだまだばらで、上に紹介した異常構造も十分な解像度で得られたものではありません。

改めて見わたせば、地球上のどこでも観測点が

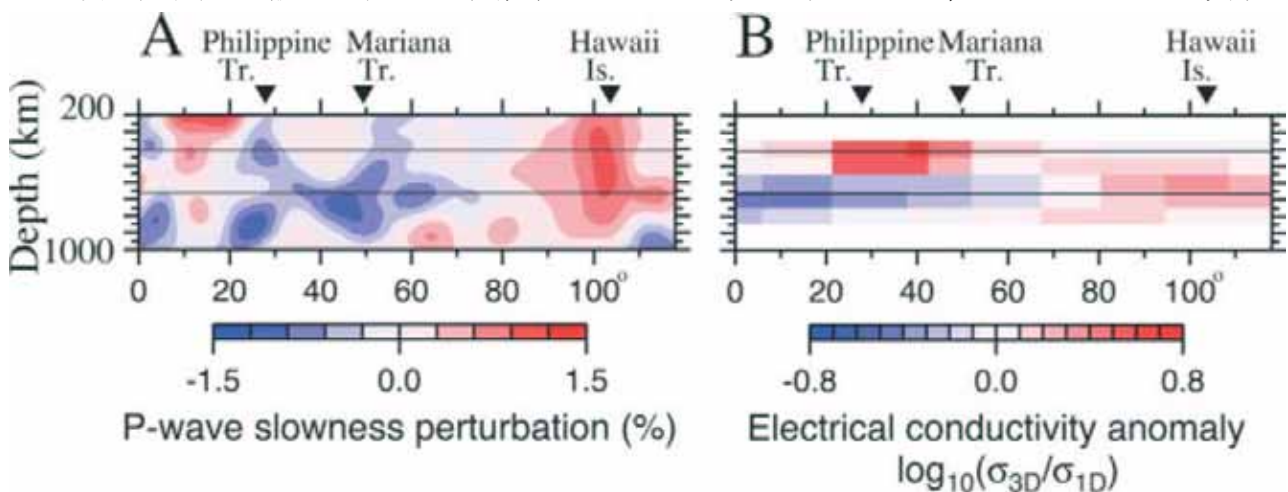


図6 フィリピン・マリアナ・ハワイを通る断面で比べた、P波速度構造（左）と電気伝導度構造（右）。

いずれも深さ200kmから1000kmの範囲を表示している。

ので、どのくらいの量の水が遷移層を含むマンツル深部に存在するのかは、マンツル全体の活動を考える上で重要な意味を持つことになります。また、水はいろいろなものをよく溶かすという化学的な特徴があるので、地球全体の物質の循環を考える上でも水の分布は重要なのです。

さて、このように大量の水が本当にフィリピン海下の遷移層にあるとしたら、どうやって運ばれ

不足しており、我々観測屋のやるべきことはいくらかでもあります。しかし、手当たり次第にやるわけにも行きませんので、現在は日本周辺特にフィリピン海に焦点を絞って、海底地震の研究グループと協力して海底電磁気の長期機動観測を行っています。この観測では、地震研究所が開発した海底広帯域地震計(OBS)と海底電磁力計(OBEM)という観測装置(図7)を、一度にそれぞれ十台以

上使って1年間海底に設置して行う観測を3回繰り返し、合計3年分の長期データを取得することを目指しています。観測は2005年の秋に開始して、2008年の秋に終了する予定です。このデータの解析により、図6よりもはるかに鮮明な画像を得て、沈み込み帯におけるマントル遷移層への水輸送などの問題の解明に貢献したいと考えています。このような大規模な海底観測を、しかも地震観測と電磁気観測とを一度に行なうことができるのは世界中を見渡しても地震研究所だけと言っていいでしょう。

4. まとめ

我々の住む日本列島は、地震活動が活発だけでなく、世界でも有数の火山国でもあります。元をただせば、これら地震活動や火山活動には、海洋プレートの沈み込みとそれによって運ばれる水が重要な働きをしています。プレートの運動は、マントル対流が表面に表れたものです。地球の中心部では、マントルよりもはるかに速い動きで溶けた高温の鉄が動いており、地磁気を発生しています。マントルの活動と核の流体の活動とはお互い無関係に起っているのではなく、地球史を通じて両者の密接な関係はさまざまな形で表れていることが知られています。従って、地球全体の活動を理解するのが大切で、地震研究所だけでなく世界中の研究者が解明のための努力をしています。本日の私の話はそのような研究の中から磁気や電気の観測を用いた方法を紹介しました。

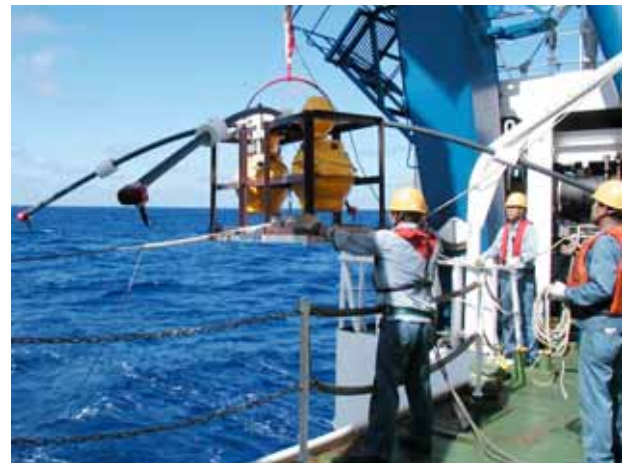
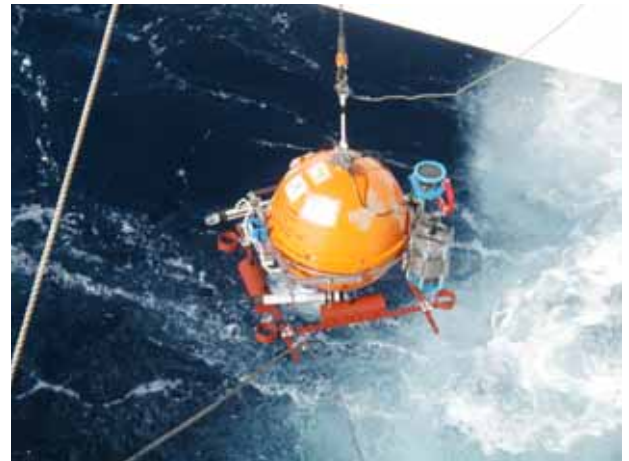


図7 海底広帯域地震計（上）と海底電磁力計（下）。
いずれも6000m以上の深海の水圧にも耐え、連続的に約1年間観測することができる。

お知らせ

■人事異動

平成 19 年 8 月 16 日付け

【昇任】

准教授（地震予知研究推進センター） 中谷正生

平成 19 年 9 月 1 日付け

【配置換】

助教（火山噴火予知研究推進センター） 市原美恵

平成 19 年 9 月 30 日付け

【退職】

助教（地球計測部門） 古屋正人 （→北海道大学理学研究院・准教授）

東京大学地震研究所ニュースレター

発行：東京大学地震研究所広報委員会

〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1

電話・FAX 03-5841-5643

電子メール outreach@eri.u-tokyo.ac.jp

ホームページ <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>

著作権所有：東京大学地震研究所 2007

Copyright 2007 Earthquake Research Institute,
University of Tokyo, All rights reserved