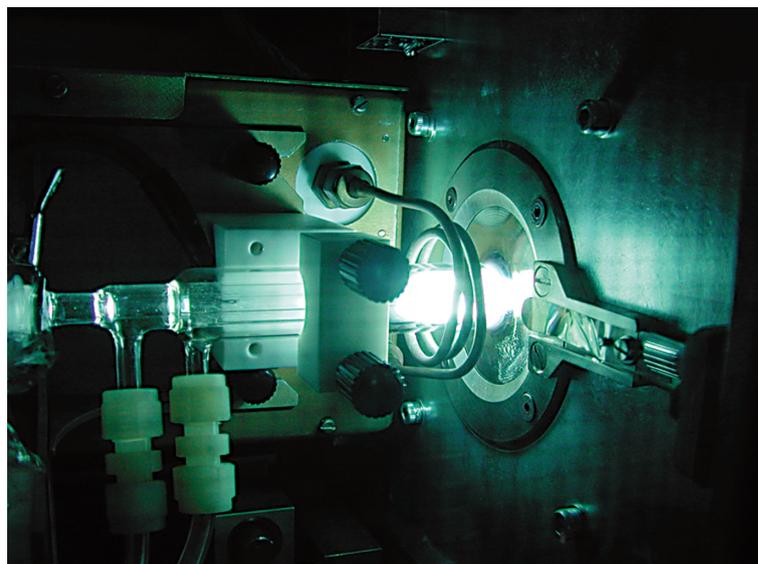




図 1 (本文 p. 2) 地震研究所に設置された Micromass 社のマルチコレクター型誘導結合プラズマイオン源質量分析計 IsoProbe . 高精度同位体比測定が可能なセクタータイプである . プラズマイオン源のためイオン化効率が高く , 従来の質量分析計でイオン化が難しかった元素の同位体比測定が可能である . レーザー削摩装置と組み合わせることにより局所同位体比分析が可能である .

図 2 (本文 p. 2) 誘導結合プラズマイオン源 . プラズマ中心部は 7000 K に達しイオン化効率が高い .



目 次

同位体で火山現象を解明する	2
地動の回転成分を観測する新しい地震計の開発	5
1999 年度地震研究所公開講義 (1) 「活断層の深部構造と内陸地震の発生」	9
1999 年度職員研修 (技術発表会) 実施について	13
外部評価の実施についての報告	15
New Staff ・ 移動	16

同位体で火山現象を解明する

地球ダイナミクス部門 中井俊一

1. はじめに

平成9年度より、地球化学的手法を用いて火山現象の解明を目指して、地球化学実験室の整備を行ってきました。昨年度末に、高精度の同位体組成測定装置であるマルチコレクタ・型誘導結合プラズマイオン源質量分析計（表紙図1）が設置されたのを機会に、研究の内容や目的の紹介を行います。

2. 同位体で何が解かるか

地球化学とは地球からの試料を分析し、化学組成や同位体組成を調べ、試料の起源や生成過程などを解明したり、試料の生成年代を調べる研究分野です。この中でも同位体の研究は重要な位置を占めています。自然界に存在する元素の多くは、陽子数が等しく中性子数が変化して原子核の重さが異なる、いくつかの同位体で構成されています。同位体の組成は、蒸発などの物理過程や、天然に存在する放射性核種の壊変により変動します。私達は主に放射性核種の壊変による変動を研究に利用します。例えば原子番号38のストロンチウム（Sr）という元素は、質量数が84, 86, 87, 88の四つの同位体により構成されていて、それぞれの同位体の自然界の存在度はおよそ0.56%, 9.86%, 7.00%, 82.58%となっています。自然界にはいくつかの放射性同位体があり、 ^{235}U や ^{238}U はよく知られていますが、ルビジウムという元素のうち ^{87}Rb という核種も放射性同位体です。この核種は半減期488億年で ^{87}Sr に壊変します。放射壊変起源の ^{87}Sr 量を定量することにより岩石の年代測定が可能になります。また $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の同位体比をトレースとして利用することが可能です。例えばマントルから直接得られた岩石では $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は0.7025から0.7045程度ですが、地殻物質の同位体比は年代効果により高く場合によっては0.730以上になることもあります。この差を利用すれば、例えばマグマが地表に噴出する前に地殻物質とどの程度相互作用をしたかを知ることが可能です。

3. 誘導結合プラズマイオン源質量分析計

ここで同位体測定のための質量分析計の原理を説明します。元素を何らかの方法でイオン化し、生成したイオンを真空中で数千ボルトの加速電圧で加速します。加速されたイオンを、電磁石による磁場に導くと、磁場中を通過する際に質量数によって異なる曲率で曲げられ質量分離され、各同位体によるイオン電流の大きさの比から同位体比を測定することができます。

固体元素の高精度の同位体比分析には、これまで表面電離型質量分析計が用いられてきました。この装置は岩石などから分離精製した元素をレニウムやタンタルなどの金属フィラメント上に塗布し、真空中で金属フィラメントに電流を流して加熱し、熱イオンを作るものです。これに対して今回地震研に設置された質量分析計はイオン源として誘導結合プラズマを採用しています（表紙図2）。この装置では酸溶液にした元素を、テフロンチューブによって吸い上げ、霧状にしてプラズマ内に導入します。ここで脱溶媒、原子化、イオン化が起こります。7000度程度の高温のプラズマをイオン源とするためイオン化効率がすぐれ、従来の表面電離型質量分析計でイオン化が困難だった元素の同位体比測定が可能になるという利点があります。このタイプの質量分析計は1990年代になって開発され、タングステンやハフニウムなどの元素の正確な同位体比測定を可能にしました。この結果、タングステン同位体比を用い地球の核が形成した年代が従来考えられてきたより遅く地球形成後6千万年以降であることを示す研究が行われたり、ハフニウム同位体比により地球の初期地殻のもととなるマントルが未分化なものであったことなどが指摘されるなどの成果が上がり、地球進化史の研究に大きな貢献を果たしました（例えば Lee and Halliday, 1995, Amelin et al., 1999）。

4. ウラン - トリウム放射非平衡

昨年度末に、所に設置されたプラズマイオン源質量分析計で行う研究の中心課題のひとつには、ウラ

ン-トリウム放射非平衡を用いて火山現象へタイムスケールを付けることがあります。これは同位体の変化から年代を決める研究の一例です。

最初に述べたように天然の岩石は放射性核種の ^{238}U や ^{232}Th を微量含みます。一般の火成岩ではウラン濃度は数ppm(1gの岩石中に数 μg)程度です。 ^{238}U は最終的には安定な ^{206}Pb に壊変しますが、途中に ^{234}U 、 ^{230}Th 、 ^{226}Ra などの放射性核種を経る壊変系列をつくります。ある岩石や鉱物が50年以上閉鎖系に保たれていると、これらの放射性核種の放射能は等しくなり、これを放射平衡と呼びます。図3には縦軸に($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$)の放射能比を、横軸に($^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$)の放射能比をプロットしています。放射平衡にある物質は図3の傾き1の平衡線上にプロットされます。放射平衡にある物質にマグマの生成や結晶分化などの化学分化作用が働くと、ウランとトリウムの分別が起こり、分化した物質(A, B, C, D, E)は水平線上に分布します。新しく生じた物質は放射非平衡状態にあり、放射性核種の半減期の10倍程度の時間をかけて放射平衡の状態(A'', B'', C'', D'', E'')へ戻ります。この間A'相からE'相の($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$)と($^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$)の放射能比を測定してやりA'-E'の傾きを求めると、化学分別が起きた出来事の年代が判ります。 $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})$ が均一なマグマから晶出した鉱物がA'相からE'相を構成すれば結晶の晶出年代を求められます。 ^{230}Th の半減期は7万5千年程度であり、この方法によって数万年から40万年程度の年代測定が可能になります。この時間間隔は火山の活動史を研究するうえで重要ですが、他の方法では測定が難しい年代です。例えば炭素14法では古すぎ、カリウム-アルゴン法では若すぎる期間で正確な年代情報が得られませんでした。

($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$)と($^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$)の放射能比は従来放射線計測により測定されてきましたが、多量の試料が必要で、この方法の普及の障害となってきました。1980年代後半に質量分析計の性能の向上により、 $[(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})]$ の同位体比測定が可能になりました。(この章で($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$)は放射能比を $[(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})]$ は同位体比を表します。)測定された同位体比は容易に放射能比に換算できます。質量分析計を利用したほうが、少量の試料で分析が可能になり、数百mgまで岩石試料の必要量を下げることができました。今回設置されたプラズマイオン源質量分析計は高いイオン化能力を持つため、トリウムの同位体比測定には有力と考えられ、従来の表面

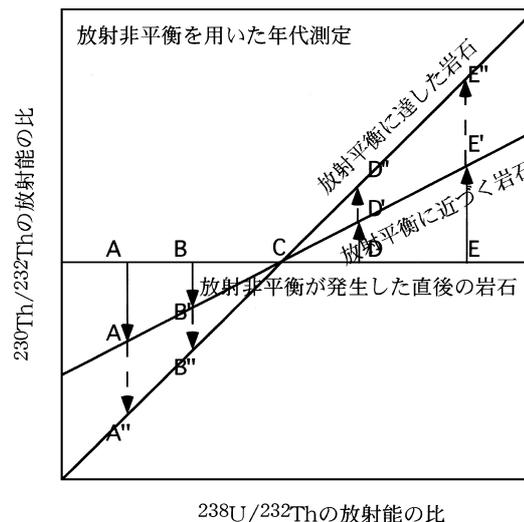


図3 ウラン トリウム放射非平衡による年代測定の原理

電離型質量分析計よりも少量のトリウムが分析可能になると期待しています。これまでの予備実験ではトリウム数十ngで同位体比測定に十分な強度のイオンビームを得ることが出来ました。正確な同位体比測定のためにはまだ解決すべき問題がいくつか残っていますが、鉱物分離試料など少量のサンプルの分析が可能になると期待しています。

5. 放射非平衡から得られる知見

前の節で説明したように、ウラン トリウム放射非平衡により数万年から40万年前の期間に起きたウラン トリウムの化学分別現象の年代を、決めることができます。マグマが地表に噴出する直前に結晶が晶出した場合には、放射非平衡は火山岩の噴出した年代を与えます。しかしより複雑な場合もあります。例えばカリブ海セントヴィンセント島のスプリエール火山のケースでは、放射非平衡の年代が火山岩の噴出年代を有意に上回っています。この現象について、結晶が火山岩の噴出より前に晶出して、マグマ溜りに滞留していたという解釈があります(Heath et al., 1998)。もしこの考え方が正しいとすると、マグマがマグマ溜りに長期間滞留していたことになり、噴火のプロセスやマグマ溜りの寿命などを考える際の制約条件となります。日本の各火山でこのような情報を得ることは火山災害を予測する上での基礎的なデータとなります。

個々の火山を離れ、よりグローバルな視点で見ると、放射非平衡の情報と他の地球化学的情報を組み合わせることにより、沈み込み地帯での物質循環のタイムスケールに一定の制約を与えることが出来ます(Elliott et al., 1997)。

6. 斑晶の局所分析

プラズマイオン源質量分析計のもう一つの特徴としてレーザーサンプリング装置と組み合わせて局所同位体比分析ができるという特徴があります。レーザーサンプリング装置は、常圧中で固体試料にレーザーを照射し、生じたエアロジェルをアルゴンガスでプラズマへ導入するものです。後は溶液試料と同様にイオン化し、質量分析計で同位体比分析をします。レーザーの波長により照射スポットサイズが変わりますが、現在よく使われているNdYAGレーザーの4倍波長の紫外レーザーを用いると40 μ m程度のクレータを開けることができます。この方法により岩石中の鉱物の局所同位体比分析が可能になります(Christensen et al., 1995)。

従来局所同位体比分析には二次イオン質量分析計(SIMS)が主に利用されてきました。プラズマイオン源質量分析計は、SIMSに比べ空間分解能が劣る欠点がありますが、同位体比の測定精度はSIMSをしのぐものがあり、今後の装置の性能の向上に期待がもてます。

局所同位体比分析が、何故必要なのでしょう。火山岩の斑晶はマグマ溜りの中に長い時間滞留したものと考えられています。マグマ溜りは、より深部からマグマが流入したり、マグマが火成岩となって地表に噴出するため、物質の出入りに関して開放系になっています。従ってその中のマグマの化学組成や同位体組成は時間を追って変化します。マグマから晶出する斑晶はこの変化を記録し、斑晶の中心部と外縁部では化学組成や同位体組成が変わってきます。これを分析すればマグマ溜りの化学進化に制約を付けることができ、噴火過程の理解にもつながります。この種の研究は米国のカリフォルニア大学ロサンゼルス校などで始められています。

Davidson教授らはマイクロドリルを用いて斜長石やサニディンなどの斑晶の微小部分を削り取り、化学処理しSrを分離精製した後、表面電離型質量分析計を用いて、斑晶の各部分のSr同位体比測定を行っています。その結果から、マントルから上昇したマグマが地殻物質と混合する過程を読み取っています(Davidson and Tepley, 1997)。

プラズマイオン源質量分析装置をレーザーサンプリング装置と組み合わせ、より空間分解能を上げた議論が可能か挑戦する予定です。既存のレーザーサンプリング装置を、四重極タイプのプラズマイオン源質量分析計と組み合わせて、岩石・鉱物中の微量元素の局所濃度分析を行うことにこれまで取り組んできましたが、この経験を新しい装置を用いた同位体比分析にも応用することが可能です。

7. おわりに

ここでは放射非平衡と局所同位体比分析を中心に紹介しましたが、誘導結合プラズマイオン源質量分析計では、従来のネオジウム、鉛などのトレーサーの同位体比測定も可能です。また遷移金属元素の高精度同位体比測定にも利用でき、新たな研究分野が開かれる可能性があります。

参考文献

1. Christensen, J.N., et al. (1995) Earth Planet. Sci. Lett., 136, 79–85.
2. Davidson, J.P., and Tepley III, F.J. (1997), Science, 275, 826–829.
3. Elliott, T., et al. (1997) Jour. Geophys. Res., 102, 14991–15019.
4. Heath, E., et al. (1998) Earth Planet. Sci. Lett., 160, 49–63.
5. Lee, D.-C., and Hallyday, A.N. (1995) Nature, 378, 771–774.

地動の回転成分を観測する新しい地震計の開発

地震地殻変動観測センター 武尾 実

何故、地震動の回転成分を計るのか

地面の動きをとらえることは地震学の基本であり、1960年代以前の地震学では正に地震計の開発が中心課題の一つでした。また、1960年代の世界標準地震観測網の展開によるグローバルな観測により大地震の発生機構についての理解が深まり、他の地球物理学的観測データと相まってプレートテクトニクスによる地球の運動の解明が進むなどといった例にもあるように、固体地球物理学上の重要な発展が新たな観測手段の進展を契機として引き起こされることは、これまでしばしばありました。最近では、広帯域地震計のグローバルな観測網の展開や海域（海半球）における大規模な観測網の展開により、地球のダイナミクスに対する新たな理解が進むことが期待されています。このように、固体地球物理学における観測の重要性は広く認識されていますが、我が国では最近20年ほどの間、残念ながら新機軸を開く様な新しい地震計の開発は行われてきませんでした。

1995年兵庫県南部地震の際に神戸市内で記録された強震動記録は、これまでの私達の予測を越えた特異な波形で、大きな揺れの続く時間が短かったにも関わらず大変大きな被害をもたらしました。ところで、現在、地震観測に使われている地震計はいずれも地動の並進成分（上下の揺れや横揺れ）を記録するものですが、地面の動きにはこの並進成分の他に、回転の動きがあります。水道管や鉄道などの長大構造物が多いライフラインに対する影響を考えた場合、地震動の回転成分がどの程度の大きさになっているかを正確に知ることは重要と思われます。しかし、これまでの地震学では地震時の地面の回転成分はかなり小さいものと考えられて、観測の試みもほとんど行われてきませんでした。私達の予測を越えた地面の揺れは兵庫県南部地震の強震動記録の例のように大いに起こりうることです。

最近の私達による一般的な塑性変形理論に基づく地震波励起の理論的研究の結果、地動回転成分を地動並進成分と併せて解析することで、地震の震源過

程や火山の噴火過程に関しこれまでのモデルの枠を越えた現象の解明ができることが明らかになりました。一方、地球内部構造の研究においてはこれまで地球自由振動の伸び縮みモードが主に用いられてきましたが、捻れモードについてはノイズが大きいため十分に活用されてきませんでした。このノイズの原因は、広帯域地震計等の水平動成分が地動の傾斜にたいしても感度があるため捻れ振動と傾斜を分離できないことにあります。しかし、捻れ振動を直接計測する回転地震計を用いれば、地球自由振動の捻れモードを正確に観測できるので地球内部構造に関しこれまでになく新たな知見が得られることが期待されます。また、鉛直軸回りの回転成分は横波に関する感度が高く並進成分よりも精度良く横波の到達時刻を読みとれるため、この回転成分を観測する事により横波に関してより高精度の速度構造を知ることができます。

このように、地震動の地動回転成分を計測することは、固体地球物理学の広い分野に涉って極めて学問的に利用価値の高いものであるだけでなく、耐震工学の分野でも、これまで考慮されてこなかった地動の成分を正確に計測しデータを蓄積することで新たな貢献をするものとなります。また、重力波検出をめざす実験物理学の分野でも、その検出精度向上のために地動の微弱な回転成分を正確に計測することが求められており、高精度の回転成分地震計は自然科学の広い範囲で活用される可能性を持っています。

どの様に、地震動の回転成分を計るのか

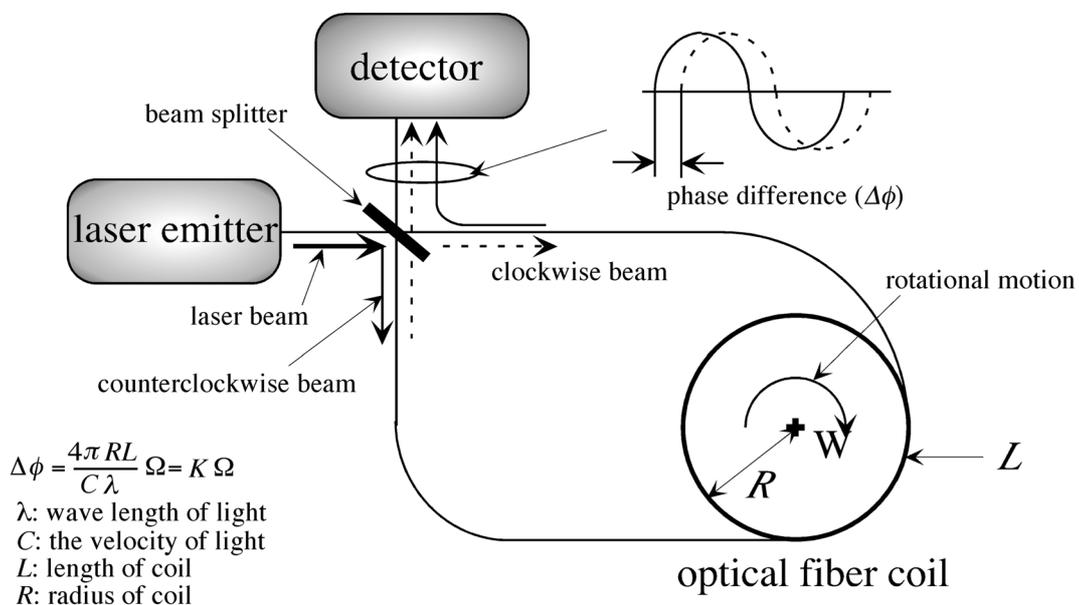
これまででは微小な回転運動を検出するセンサーが無かったこともあり地震動における回転成分の観測は行われてきませんでした。群列観測（アレイ観測）網のデータを用いて並進成分の空間微分から回転成分を求めた例は極僅かありますが、この様な観測網は大変規模の大きなものとなりどこにでも展開できるものではありません。そこで、私達は航空機や人工衛星、ミサイルなどの慣性航法や姿勢制御に用いられるジャイロ技術に注目し、この計測技術を地震

動観測へ活用して回転地震計の開発に取り組んでおります。ここでは、回転地震計の開発とその到達点、今後の見通しを紹介します。

ジャイロ技術には、古典的な独案を使ったものや水晶発振子に働くコリオリ力を計って回転運動を検出するもの、リング状にした液体に働く慣性を利用したもの等の機械式ジャイロと、光ファイバーやレーザー技術を応用した光学式ジャイロなど幾つかの系統があります。この中で、最近では特に光ファイバー技術を用いた計測方法の発展がめざましく、計測原理、現時点での分解能レベルと感度向上の可能性から判断して、この技術を活用した回転地震計の開発が最も実現可能性の高いものと思われまます。そこで、私達は光ファイバー技術を用いたジャイロ開発で高い実績のある(株)日本航空電子の技術陣と連携して、地震や火山活動で励起される微弱な地震動も計測可能で比較的取り扱いの手軽な可搬型の回転地震計と、地球自由振動の捻れモードの観測を実現する長周期用回転地震計の実用化をめざして開発を行っています。それぞれの回転地震計の具体的な感度の目標として、可搬型の回転地震計では数十ヘルツの高周波までを 10^{-9} rad/sec のオーダーの分解能で観測することを、自由振動観測をめざした長周

期回転地震計では周期数秒以上の長周期で 10^{-11} rad/sec のオーダーの分解能で観測することを設定しています。

では、どの様にして高感度の回転成分の計測を実現するのでしょうか。光技術を用いたジャイロのひとつにファイバオプティックジャイロ (FOG) というものがあります。光を使って回転運動を計測する原理は1913年にSagnacによって発見されたもので、Sagnac効果と呼ばれています。図1に計測原理の概念図を示してありますが、その右端に光ファイバのコイルが付いています。このコイルに右回りと左回りにレーザー光を走らせておきます。この系に回転運動が加わると右回りと左回りの光に光路差ができ、二つの光の間に位相差が現れます。この位相差を検出して入力した回転運動を計ります。その分解能の理論的限界はフォトンノイズによるもので明らかになっていますし、感度の向上はファイバ長やコイル径を大きくする事と光量の増加、光電変換回路の低ノイズ化により実現できます。この見通しにたって開発中の地震計の写真が図2(裏表紙)に、センサーの構成が図3に示してあります。Erbium-Doped Fiber を使った光源で光量の増加をはかると同時に、5kmの偏波面保持ファイバを内



Schematic Figure of Fiber Optic Gyro

図1 計測原理の概念図。Sagnac効果による右回りと左回りのレーザー光の位相差で回転を計測する。

径約 35 cm のポビンに巻いて感度を向上させました。このセンサーのノイズを確認するため入力のない状態での出力スペクトルをシグナルアナライザーで解析した結果を、図4に示します。この結果から分かるように、約 1 Hz よりも低周波の領域では 10^{-9} のオーダーのノイズレベルとなっており、分解能の初期目標値をほぼ達成しています。このデータは光量の増幅を行っていない状態のもので、光量を増すことによりさらなる感度の向上が期待されます。今年の9月からこのセンサーを地震研究所の鍋山地殻変動観測所や他の観測点に設置して試験観測を開始します。この試験観測により、フィールドにおける器機の性能確認と改善点を明らかにして、最

終的な可搬型回転地震計の開発につなげていきます。

一方、地球自由振動の捻れモードによる地動回転速度を見積もると、M7.5クラスの地震のG3で 5×10^{-10} rad/sec程度です。これまでに達成したFOGの分解能の到達点と光量増幅の潜在能力から判断して、自由振動を観測するための目安となる 10^{-11} rad/secの分解能は近い将来達成可能です。また、捻れ振動の計測と合わせて地動の傾斜振動も観測できるため、広帯域地震計記録の傾斜によるノイズの除去が可能となり、これまでの広帯域地震計の活用範囲を広げることにもなります。

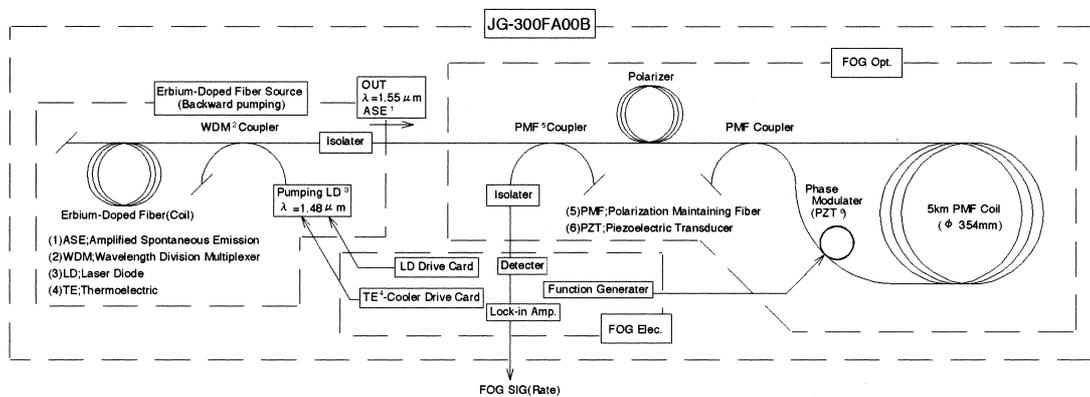


図 3 地震計の構成図。

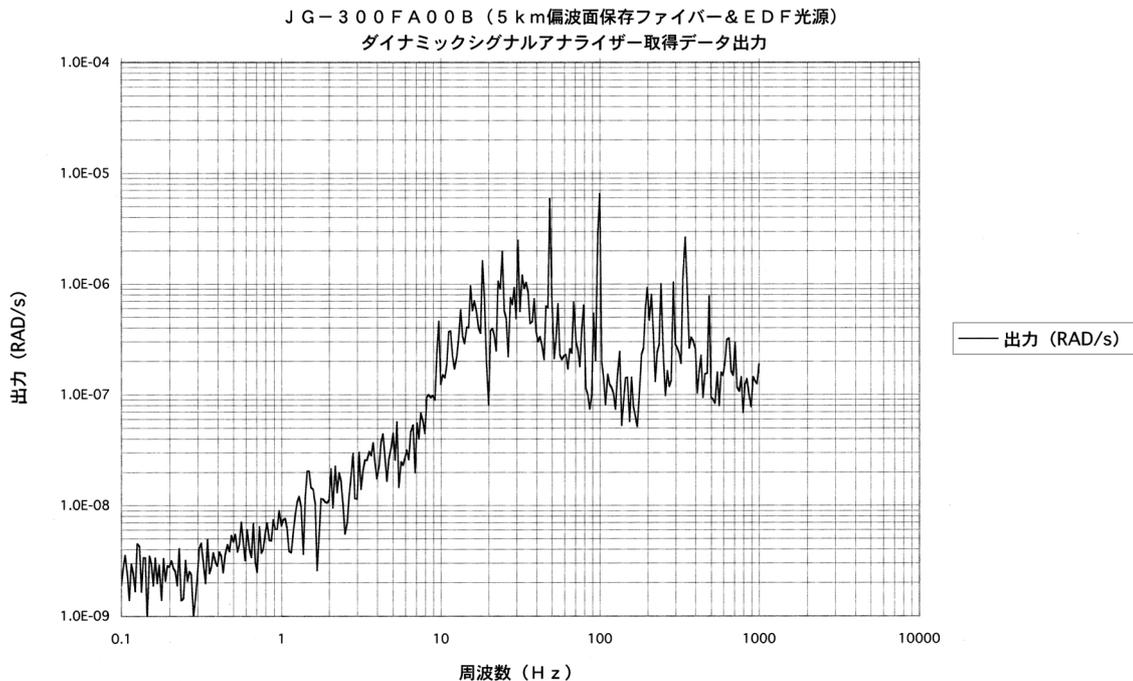


図 4 地震計内部ノイズの確認。入力のない状態での出力スペクトルをシグナルアナライザーで解析。1Hz よりも低周波の領域では 10^{-9} のオーダーのノイズレベルが実現している。

これまでの観測で何が判ったか

ここでは、現在開発中の回転地震計のセンサーについて紹介してきましたが、実は、私達は伊豆半島において水晶発振子のジャイロセンサーを使った地震動の回転成分観測を実施し、1997年3月の伊東沖群発地震活動中に世界で初めて震源域近傍における地動回転成分の観測に成功しました。観測された回転成分はほとんどの地震で単純な食い違いモデルに基づいてこれまで予想されていた値より大きいもので、最大で $2.6 \times 10^{-2} \text{ rad/sec}$ という大きな値が記録されました。この事は、回転成分の観測データを蓄積する事が耐震工学上も重要であることを示しているといえます。さらに、液体の慣性を利用したジャイロセンサーの高感度回転地震計を試作し、1998年4月～5月の伊東沖群発地震活動の際にも多数の地震について地動回転成分の観測に成功しました。その結果、震央距離10km以内の震源域近傍でM1以下の小地震でも $4 \times 10^{-6} \text{ rad/sec}$ 以上の回転動が記録されました。このセンサーは残念ながら2Hzよりも高周波側にしか感度がないため、より広い周波数帯域で感度のあるFOGを用いた回転地震計の完成が待たれます。

僅か1観測点のデータしかないため、大きな地動回転成分の成因を特定することは難しいですが、私達が行った地震動回転成分励起の理論的研究の定式化に基づいて、地震断層上でのすべり速度空間分布の急激な変化を推定する事を試みました。その一例

として、1997年伊東沖群発地震活動の最大地震の例を図5(裏表紙)に示してありますが、観測された大きな回転運動を説明するためには断層南東端で急激な滑りの停止があったと考えればよいことが明らかになりました。このように、地震動の回転成分の観測は震源で起こっている現象をより詳しく理解する上で大きな助けになります。

まとめ

ここで紹介した回転地震計の開発は、関連する内外の研究においてもほとんど行われておらず先駆的なものです。そこで、この独創的な回転地震計が一度実用化されれば、それは他に類似製品が全くないため、世界中の地震学コミュニティーで採用される可能性も高いといえます。

こうした実用化がもたらす科学的貢献度以外にも、社会に関連の深い分野で様々な貢献が想定されます。例えば、1997年3月の伊東沖群発地震で初めて観測された震源域での地動回転成分は、これまでの予想を上回るものでした。これまで、地動回転成分がどの様に構造物に影響するかという問題はあまり取り上げられてこなかったように見受けられますが、回転地震計の実用化により地動回転成分のデータ収集・解析が可能となれば、このような問題の検討が進むものと期待されます。この結果は、社会的に見ればライフラインなどの長大構造物に対する耐震設計に役立つものと思われ、災害軽減に役立つことが期待されます。

活断層の深部構造と内陸地震の発生

地震地殻変動観測センター 平田 直

はじめに

1997年の秋から今年(1999年)の夏まで、内陸の大地震の発生するしくみを調べるための大規模な観測が東北地方で行われました。東は岩手県沖の太平洋の海底から、奥羽山地、西側は秋田県沖の日本海の海底までの地域で、全国の大学から50人以上の研究者が参加し、数100台規模の地震計を用いた大実験です。

研究の目的

「地震」とは、地下の岩石に力が加わることによって、岩石が破壊し、その周りに地震波という振動が発生し、その結果として地表がゆれる現象です。地震以外の原因でも地表がゆれることがあります。たとえば、大型の自動車がそばを通ったり、道路工事のための作業が行われると地面が振動します。しかし、このような、地表での活動による振動に比べ、地震による振動は非常に広い範囲で感じられ、時として、丈夫な建物が倒れるほど大きな「ゆれ」になります。これは、地震を発生させた力がけた違いに大きいからです。このような、大きな力がなぜ生まれ、地震が地下のどこで、どのようにして起きるのかを知るためには、地震の起こる地下の岩石の性質を理解することが必要です。これからご紹介するのは、地震の起こる地下の様子を調べる研究です。つまり、地震の発生する「場」の研究です。

地震の発生する「場」を理解するには、地下数10kmくらいまで岩石の性質を調べる必要があります。このくらいの深さは、地殻(ちかく)と呼ばれています。地殻の深部で岩石に力が加わると、岩石は「せん断破壊」します。これは、岩石がずれるように破壊することです。岩石がある面を境にしてずれる、つまり、断層が生じる現象が、地震が発生するという事です。地震が大きいと、地下で発生した断層が地表まで到達することがあります。地震は、ほぼ同じ場所で繰り返す性質があるため、地表に到達した断層は、何万年、何十万年という長い年月を経ると、特長的な地形を形成します。これが、活断

層地形です(図1)。

活断層の分布や変位量は地表で詳しく調べられています。私たちが注目しているのは、地表で観察される活断層が、地下10kmでどのような3次元的な形なのかということです。地下の断層と小さな地震の分布の関係や、奥羽山地のような山脈ができるしくみを知ることも、内陸の大きな地震の発生を理解するためには大事なことです。

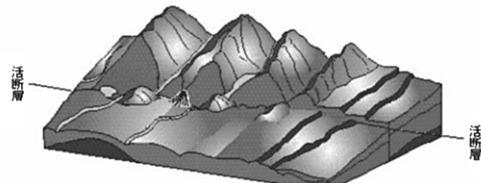


図1 活断層によってできた地形

東北日本弧

東北日本は、日本列島の東半分を占める地学的な単位になっています。東北地方には、その中央部に背骨のように奥羽山脈が南北に連なり、太平洋側も、日本海側も海岸線はだいたい南北に走っています。これらの連なりは詳しくみると北から南に向けて太平洋の方へせり出す弓なりになっています。山脈や火山の分布、海底地形の特徴などを見ても、太平洋側にせり出した弓なりの形が観察できます。そこで、日本列島は弧状列島あるいは「島弧」といわれています。島弧は、世界的にみると太平洋の周りにたくさんあり、太平洋プレートが大陸のプレートの下に沈みこむ場所、収束帯に存在します。東北日本は日本島弧のうち特に島弧としての性質をよく備え、地学的な構造がきれいに南北に配列しています。活断層の分布も例外ではありません。三陸沖の太平洋の海底にある巨大な溝、日本海溝もほぼ南北に連なっています。そこで、東北日本弧を東西に横断する測線を設け、その周りで各種の観測や実験を行うことで、東北日本弧の横断面をつくることができます(図2)。

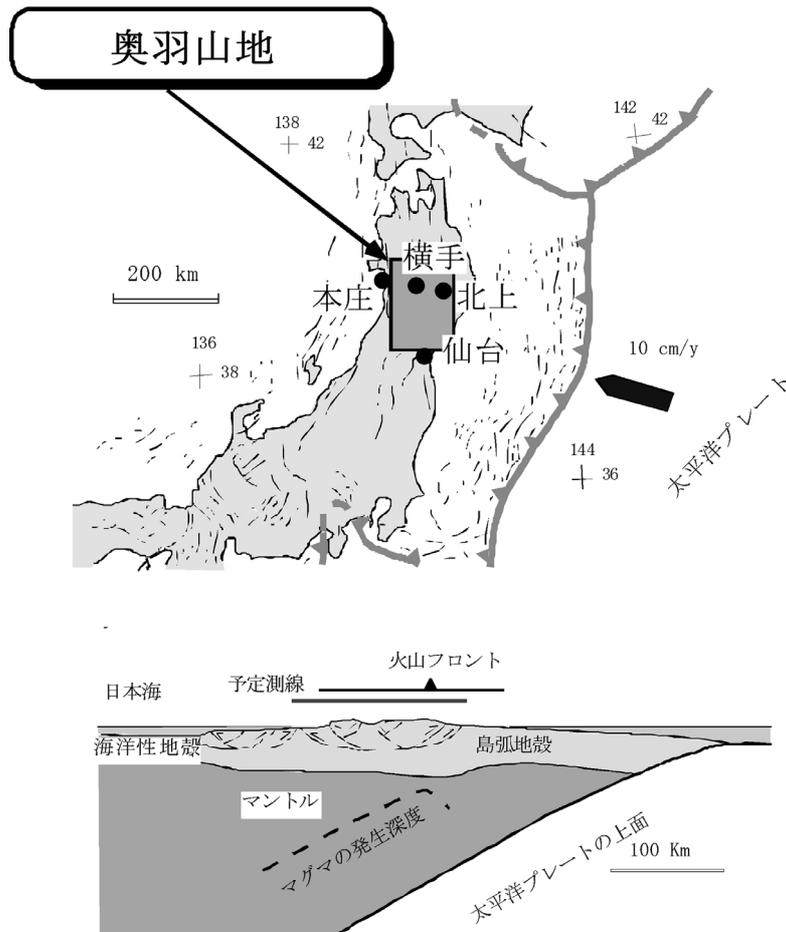


図 2 東北地方での研究対象地域と東西断面図（概念図）

合同集中観測

1997年の秋から行われた観測は、これまでいくつが国内で行われてきた地震観測に比べて、大規模かつ集中的な観測でした。観測の基本となるのは、奥羽山脈の中央部、岩手県、秋田県を中心とし、宮城県と山形県にもかかる領域で行われた「広域テレメータ観測」です。これは、衛星通信を用いた臨時地震観測点を約50ヶ所に設置した観測です。この地域に既に設置してある気象庁や大学の観測点からのデータもリアルタイムで統合してデータベース化しています。観測点は全部で80ヶ所程度になります。衛星通信を用いた観測は、全国の9つの国立大学が共同で開発した新型の地震波収集システムです。観測結果はリアルタイムで日本中のどこからでも参照することができます。この観測には、全国から多くの研究者が参加しているので観測の結果を日本中から容易に見ることのできるこのシステムは研究を進めるために大変役立っています。地震だけでなく、GPSを用いた地殻の変形の観測もこの観測

の一部として実施しています（図3）。

合同観測のもう一つの柱は、火薬や起震車などの制御震源を用いた地震探査実験です。1997年の10月に、陸上に10カ所と日本海の海上に2カ所の火薬の発破（薬量100～500kg）を行い、東北日本弧を東西に横断する約150kmの線上に約300カ所に小型の地震計を設置して観測しました（図4）。観測点は道の途絶えた山奥にも設け、器材をリュックサックに詰めて沢を登って地震計を設置したところもありました。岩手・秋田県境をはさんだ40kmの区間では、特に詳しい測定が行われました。ここでは、大型の起震車を用いた反射法探査を行い、50m間隔に設置した約700カ所の地震計でデータを集め、地下の構造を調べました。この区間には、1896年陸羽地震（M7.2）で地表に現れた断層（千屋断層）があり、この活断層の地下への延長を調べるのが調査の目的の一つでした。

さらに、1998年には、岩手県を中心とした地域で、北上盆地の西縁の断層系を調べる実験が行われました。

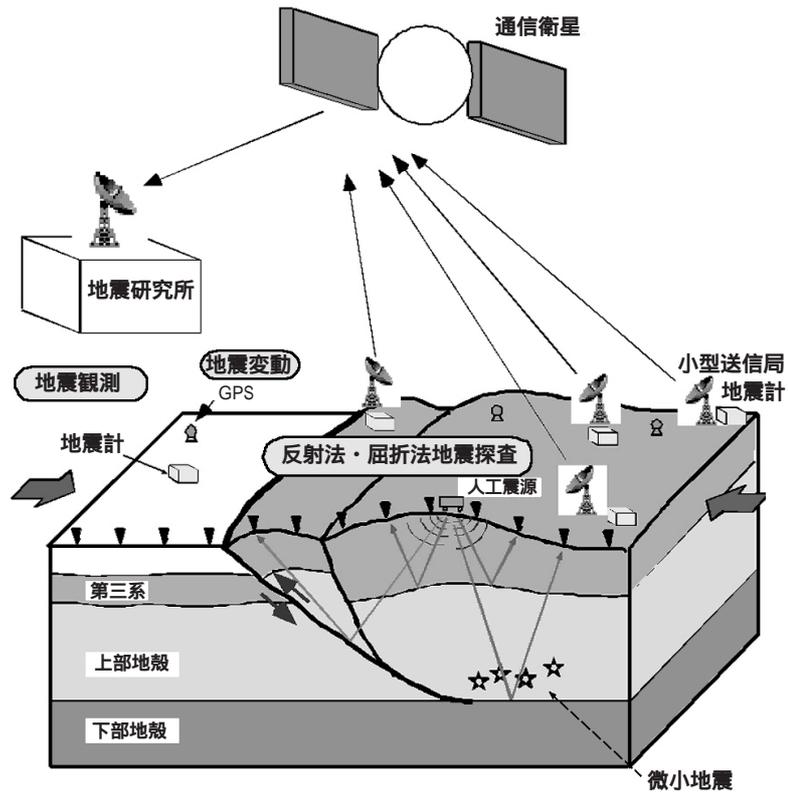


図 3 東北合同観測の概念図

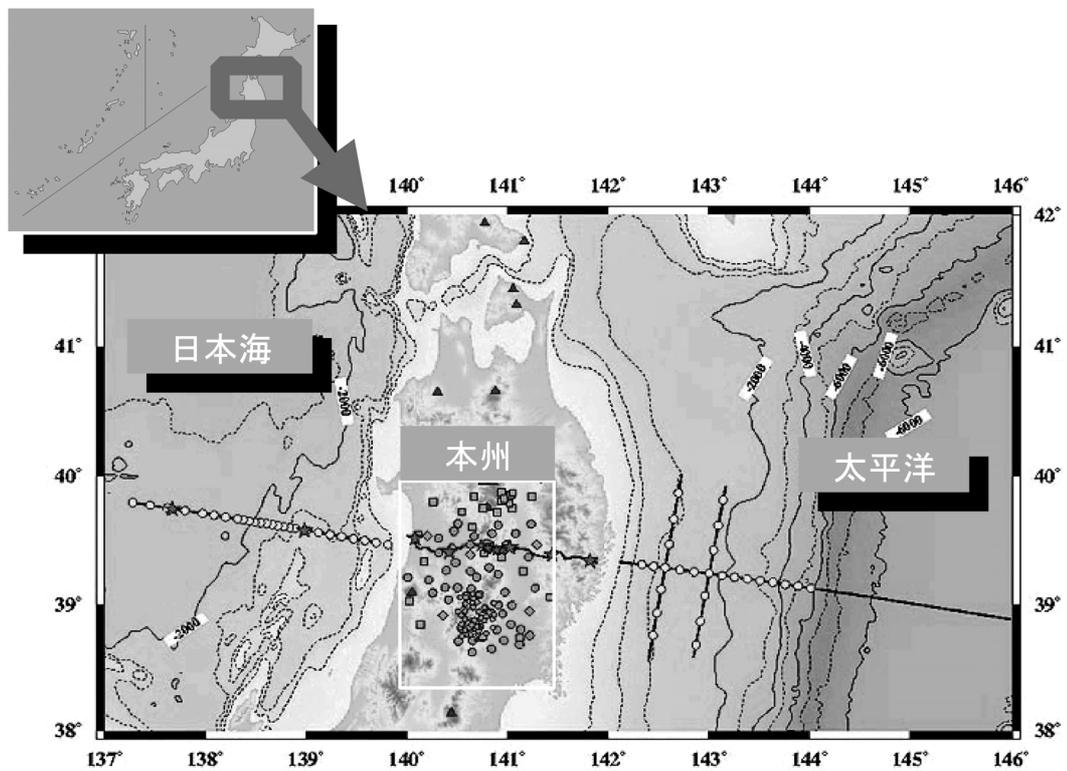


図 4 地震観測の配置図

これまでの成果

最終的な研究成果がまとまるにはもうしばらく時間がかかりますが、現在までに分かかってきた大事なことは以下のようなことです。まず活断層の深部構造です。地震観測によって、あたかも人体のX線CT画像を撮るように、地下の様子がイメージングされてきました。その画像を図5に示します。1997年の制御震源の目標とした千屋断層の深部延長は深さ10km以深にまでおよび、深くなるほど低角度（水平に近づく）になることが分かかってきました。断層の面は東ほど深くなり、地下深くでは、ほとんど水平になって、上部地殻と下部地殻を隔てる面（デタッチメント断層）になっていることが分かかってきました。

また、秋田側の千屋断層と岩手側の上平断層は地下10km程度でYの字の形に合わかっている様子が描き出されました。Y字の二股の間が奥羽山地に対応します。つまり、地表で観察される活断層は地下

深部でひとつの断層系を形作り、東西の圧縮力によって、断層に沿うように山地が隆起したと考えられます。

これらの断層の深部での位置と小さな地震の発生場所には、密接な関係があるようです。こうした情報をもとに、地表の変形と地下深部での岩石の変形、すべりの関係を調べるのが今後の課題となります。さらに、もっと深いところ（下部地殻）には、地震の横波を能率的に反射する流体層の面があることも分かかってきました。

まとめ

大規模で総合的な地震観測が東北地方で実施されて、断層の深部構造が明らかになりつつあります。

秋田県の千屋断層と岩手県の北上低地帯西縁の断層運動によって、東北地方の背骨である山地（奥羽脊梁（せきりょう）山地）が形成され、1986年陸羽地震タイプの内陸地震が発生したことが理解できるようになってきました。

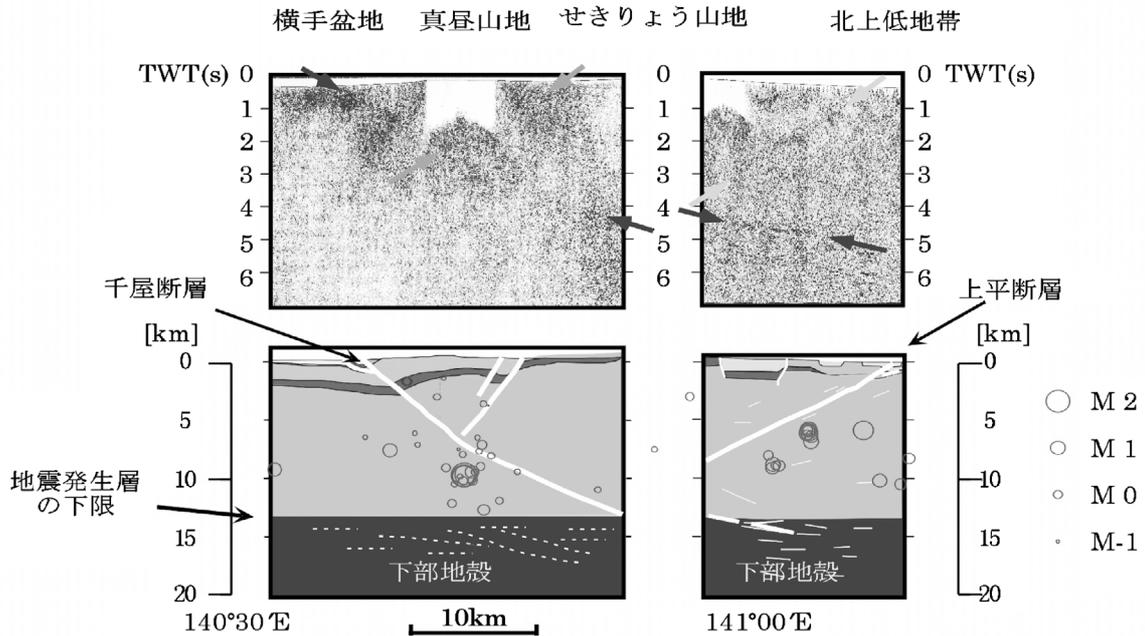


図5 反射法地震探査によってイメージングされた活断層の深部構造と微小地震分布

1999年度職員研修（技術発表会）実施について

研修運営委員会

本研究所では、昨年度より技術系職員による技術発表を主とする「全体研修」が行われるようになりました。本年度もこの「全体研修」が、6月30日（水）、7月1日（木）、2日（金）の3日間開催されました。ここにその概要を報告いたします。

1. 全体研修への参加者

3日間の全体研修に40名が参加し、研修報告書を提出した38名の技術職員（地震研30名、北海道大学1名、東北大学1名、名古屋大学2名、京都大学3名、高知大学1名）に、藤井所長より研修修了証書が手渡された。この他、大部分出席したものの、所用、体調不良などで一部欠席した技術職員が2名であった。「全体研修」では18名の技術系職員（昨年は11名）が、技術発表を行った。そのうち他大学の技術職員は5名（昨年は0名）である。この他に図書掛と助手各1名（昨年は3名）に、システムの紹介と技術発表をして頂いた。

「全体研修」の出席者内訳は、初日の所外研修（気象庁）参加者は44名、2日目の技術発表会は67名、3日目は56名、懇親会の参加者は56名（プラス事務職員）であった。

2. 全体研修の概要

初日の気象庁における所外研修は「地震・火山活動監視の最前線を見る」という位置付けで、森地震火山部長が快く引き受けて下さった。土井調査官をはじめとする地震火山部職員の案内で、気象博物館、地震・火山・津波監視現業室、判定会室を3班に分かれて見学した。最後に浜田地震予知情報課長から、気象庁地震火山部の業務内容と、大学等との連携とデータ交換について講演して頂いた。

技術発表会当日には、20件の報告があった。各々の内容をA4用紙1、2枚にまとめたアブストラクト集が配布された。発表の内容は多岐に渡っている。

- (a) 高度な技術的達成を報告したもの：「UNIXの2000年問題対応とサーバー再構築」、「携帯電話を利用したデータ収集システム」、「超

音波を利用した海中精密音響測距装置」、「浅間火山における水準測量の工夫とその成果」、「軽量小型の強震計の開発」。

- (b) 専門的な研究業務内容の紹介：「活断層判定のための空中写真利用」、「50年間の筑波観測所のデータ処理」、「東北大学における地殻変動連続観測」、「桜島火山観測所の紹介」、「有珠山での水位観測」。
- (c) 他部局にまたがるビッグプロジェクトの研究支援：「海半球プロジェクトの概要と経費管理、スケジュール管理」。
- (d) 観測方式の工夫：「磁力計センサーと太陽電池の工夫」、「富士山観測点の据え置き型密封蓄電池」、「東北合同観測における衛星可搬局の設置例」。
- (e) 図書掛からの紹介：「WEBによる図書・雑誌の検索」。
- (f) グループ研修報告：「伊豆半島・富士川観測所周辺の地震観測点現地研修」、「地震データ処理の高度化を目指したWINシステム講習」、「風化層での地震計台テスト」、「緊急時連絡システム」、「融雪装置の開発および実験」。



「緊急時連絡システム」の報告では、実際にパソコン、携帯電話、デジタルカメラなどを使用して、会場風景を直ちにWEBサイトに送ってスライドで見せるデモが行われた。

3. 技術発表会の反省点

昨年に比べて発表時間が短く、質疑応答が十分行われなかった。ポスターセッションを設けるなどして、口頭発表の時間を十分とれるようにする工夫が必要である。これと関連するが、アブストラクト集は発表当日より前に、配布すべきである。

何人が大学院生が発表を聞きに来てくれた。地震研は観測を主体とした研究が多い。若手研究者や大学院生にこそ、技術職員の経験やノウハウを伝えたい。彼らに興味を持たれるような発表を工夫し、宣伝にも努めたい。

4. グループ研修について

グループ研修は地震研の技術職員の技能レベルを全体として向上させるために、標準的技術や特殊知識の習得を目指して昨年度から開始されたもので、技術発表会での報告が義務付けられている。グループ研修の性格から、今年度もグループのメンバーを変えて、継続されるものがある。なお研修運営委員会では、今年度のグループ研修、個人研修を募集している。積極的に応募してください。

5. 平成12年度「技術研究会」について

東北大学の立花憲司氏より、平成12年度に東北大が実施大学となって開催が予定されている「技術研究会」について説明があった。この技術研究会は大学、高専、大学共同利用研究機関などで教育、研究に関わっている技術者相互の技術の向上を図り、幅広く交流を深めることを目的に、約20年前から開催されている。

平成8年度に国立天文台、電気通信大学、大阪大学、名古屋大学で、計測・制御技術、装置・回路技術、計算機・データ処理技術、化学分析技術などの分科会が開かれ、300名以上が参加した。平成12年度の「技術研究会」では、地球物理関係の分科会追

加が検討され、実現する可能性が高い。以下に主な情報を紹介する。

- ・開催予定日：平成13年3月1日、2日。
- ・会場：東北大学川内キャンパス。
- ・地球物理関係の分科会を実施する場合は、各大学の技術職員のサポートが必要。
- ・参加人数？（20-30人が理想）
- ・その後継続するかどうかは開催機関の判断による。

研修運営委員会では、積極的に参加する方向で検討している。

6. 来年の全体研修

平成12年は6月28日（水）、29日（木）、30日（金）に全体研修を予定している。年度始めの諸観測に忙しい時期ではあるが、この日程を考慮に入れて、他大学の技術職員が多数参加されることを期待する。今回の全体研修は研修運営委員（笹井、工藤（和）、大久保、武尾、橋本、平田（安）、長田、大竹）の他に、実行委員として井本、望月が加わった。

新しい研修制度が発足して2年目となる今年の全体研修は、初めて他大学の技術職員も技術発表を行ったこと、発表数が増えたこと、準備から発表会の運営に至るまで技術職員が自立的に実行したことが特徴である。今後も技術発表会の充実に努めたい。

最後になりましたが、今回の全体研修実施にあたっては、地震研究所内外の多くの方々にお世話になりました。気象庁地震火山部では職員研修の意義を理解されて、所外研修に多大のご協力を頂きました。また新年度の様々な観測が開始されて多忙なこの時期に、各大学の関連する機関の施設長は所属の技術職員に対し、地震研の全体研修に参加するよう奨励して頂きました。2日間の技術発表会には、所長、事務長、主任、センター長を始め、教官や大学院生にも出席して頂き、発表者と参加者に大きな激励となりました。とりわけ事務部には運営や懇親会設営などで大変お世話になりました。以上の方々に深く感謝いたします。

外部評価の実施についての報告

外部評価準備委員会

6月14日(月)から5日間にわたり、下記のようなプログラムで本所の外部評価を実施しました。学術発表会では、世界のトップランナーである外部評価委員の先生との間で白熱した議論がかわされました。教職員に対する個人面談(一人当たり15分程度)は、所内では初めてのこととあって、緊張した面もちで面談にのぞむ人が多かったようです。学生との昼食会では学生生活一般の話の他に、学生自身の研究内容をポスターで説明する時間もとりました。参加した学生諸君にとっては相当の学問的な刺激になったものと思われま。

最終的な外部評価報告書は現在とりまとめている最中ですが、本年中に公表の予定です。

外部評価プログラム

6/14(月)

- 9:00-10:00 開会(外部評価委員, 所長+外部評価準備委員; 第2会議室)
- 10:00-17:45 学術発表会(公開; 第1会議室)
- 18:00-20:00 歓迎レセプション(外部評価委員, 教授会; 山上会館)

6/15(火)

- 9:00-12:15 学術発表会(公開; 第1会議室)
- 13:30-15:30 外部評価委員による審議(第2会議室)
- 15:45-17:45 地震研究所の運営等に関する概要説明と質疑応答(外部評価委員, 外部評価準備委員+所長補佐+所内委員会委員長; 第2会議室)

6/16(水)

- 9:00-11:00 施設・建物見学
- 11:00-12:00 外部評価委員による審議(第2会議室)
- 13:30-18:00 教授・助教授に対する個人面談(第2会議室, 第1輪講室, 第2輪講室)

6/17(木)

- 9:00-12:00 助手・技術官・事務官に対する個人面談(第2会議室, 第1輪講室, 第2輪講室)
- 12:15-13:30 学生との昼食会(第3会議室, 第3輪講室)
- 13:30-15:30 外部評価委員による審議(第2会議室)
- 15:30-17:45 地震研究所将来計画の説明と質疑応答(第2会議室)
- 18:00-20:00 晚餐会(外部評価委員, 主任会議メンバー)

6/18(金)

- 9:00-11:00 外部評価委員による審議(第2会議室)
- 11:00-12:00 外部評価中間答申(外部評価委員, 所長; 第2会議室)

なお、本外部評価の目的および外部評価委員名簿については広報No.25のP.20に記載の通りです。また6/14(月)~6/15(火)に開催された公開の学術発表会プログラムは広報No.25のP.2に記載しています。

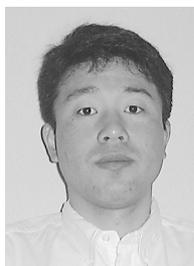
New Staff



名前：^{おりはし ゆうじ}折橋 裕二
所属：地球ダイナミクス部門・
助手
前任地：東京工業大学理学部地
球惑星科学科

抱負：風紀を乱さず，地球化学分野でがんばりたい
と思います．

趣味：酒（アル中ではありません），ドライブ（と
ばし屋ではありません），ボクシング（あく
まで見るだけです）



名前：^{とだだ しんじ}遠田 晋次
生年月日：昭和41年12月10日
所属：地球流動破壊部門・助手
前任地：(財)電力中央研究所
地質部

抱負：活断層研究に地震学的側面を強く導入したい
と思います．フィールドワークとコンピュー
タとをバランスよくこなすつもりです．前任
地ではどこかで“電力のため”という部分
がありましたが，これからは“国，国民のため”
にも社会に貢献できる研究を目指します．税
金を無駄にしないように一生懸命努力しま
す．よろしくお願いします．

趣味：昔は将棋と草野球．一時期ゴルフ．今は読
書．



名前：^{たけうち のぞみ}竹内 希
生年月日：昭和44年7月7日
所属：海半球観測研究センタ
ー・助手
前任地：東京大学理学系研究科
地球惑星物理学専攻

抱負：究極の波形インバージョンを目標にして，グ
ローバル地震の限界に迫ります．

趣味：近鉄バファローズ・西村京太郎・インターネ
ット（という言葉で代表されるもの）

移動

1999年8月1日付で下記の方が移動されました．

地震予知研究推進センター：
佐藤 利典 助手（千葉大学理学部地球科学
科・助教授）

東京大学地震研究所広報
発行 地震研究所広報委員会
担当 吉田真吾，藏下英司
電子メール kouhou@eri.u-tokyo.ac.jp
〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1
東京大学地震研究所
電話 03-5841-5666 (庶務掛)
FAX 03-3816-1159
印刷 創文印刷工業(株)



図 2 (本文 p. 6) 開発中の回転成分地震計の写真．上が地震計の外観，下が内部の様子．光ファイバの巻いてあるボピンの内側に電子回路等が組み込まれている．

Off-shore Ito event on March 4, 1997
12:51(JST) $M_{JMA} = 5.7$

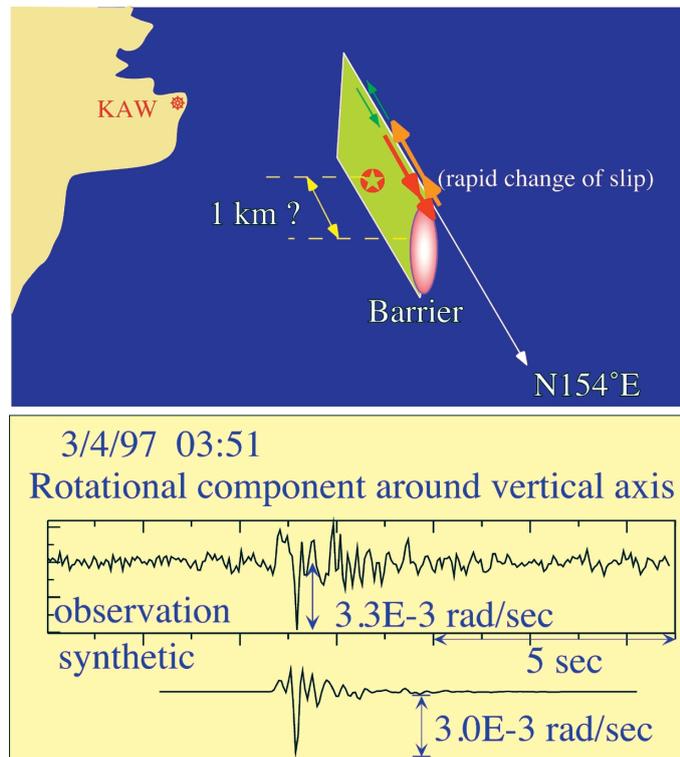


図 5 (本文 p. 8) 1997年3月4日伊東沖地震 ($M_{5.7}$) の断層すべり空間分布の推定．上が川奈崎での地動回転成分から推定された断層南東端で急激な滑りの停止の様子を示す．下は，観測された鉛直軸周りの回転成分記録と，モデルから計算された理論波形との比較を示す．