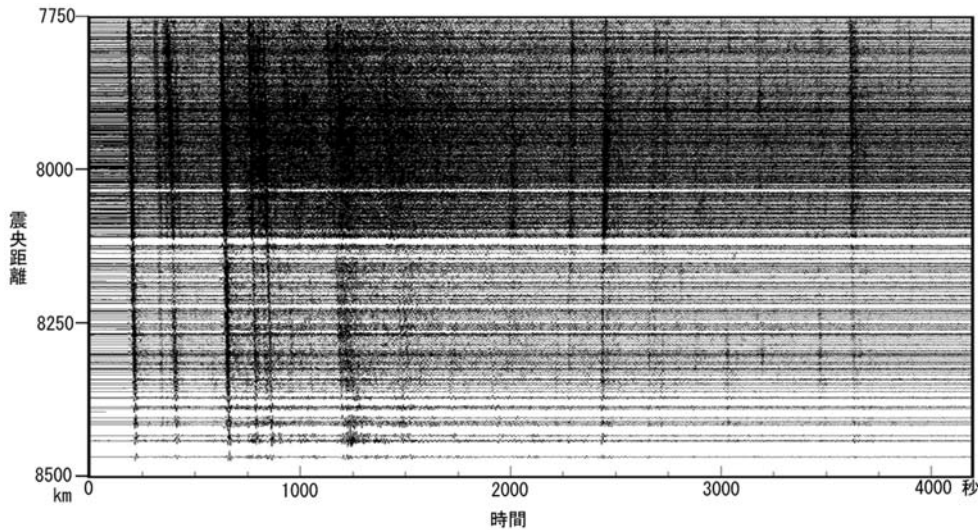


- ・地球深部望遠鏡としての日本列島
- ・2002年の主な地震活動

- ・列車を地震から守る！  
鉄道総合技術研究所での「地震」の仕事

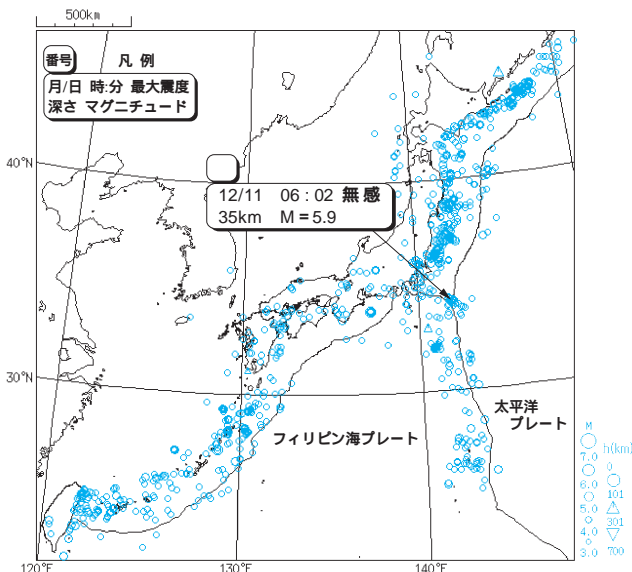


地震波のタペストリー。大地震のあとに響く「地震波のこだま」で織り上げられています。  
(詳しくは、p.2-3の記事「地球深部望遠鏡としての日本列島」をご覧ください)

## 2002年12月～2003年1月のおもな地震活動

2002年12月～2003年1月に震度4以上が観測された地震は1回でした。図の範囲の中でマグニチュード(M)3.0以上の地震は、936回発生し、このうちM5.0以上の地震は8回でした。

2002年12月1日～2003年1月31日 M 3.0 地震数=936



毎号この欄で紹介しているのは、(1) M5.5以上の地震、(2) 震度5弱以上を観測した地震、(3) M5.0以上の地震でかつ震度4以上を観測した地震ですが、この基準に該当したのは次の地震1回だけでした。

### 房総半島南東沖

震度1以上を観測した地点はありませんでした。この付近では1953年11月26日(60km M7.4)、及び1984年9月19日(13km M6.6)の地震で津波が発生しましたが、津波による被害はありませんでした。

### 世界の地震

M7.0以上あるいは死者50人以上の被害を伴った地震は以下のとおりです。(発生日は日本時間、Mは米国地質調査所によるものです)

- ・1月20日17時43分  
ソロモン諸島(M7.8)
- ・1月22日11時06分  
メキシコ西岸(M7.4) 死者29名以上、負傷者300名以上

(気象庁、文責：眞坂精一)

掲載基準や図の見方の詳細については「なみふる」No.31 p.7をご覧ください。

# 地球深部望遠鏡としての日本列島

## はじめに： 望遠鏡としての日本列島地震観測網

まず表紙の図を見てください。この横線とたて線が織りなす模様はいったい何だとおもいますか。これは昨年8月19日に南半球のフィジー諸島（日本ではトンガ王国が良く知られていますね）周辺で起きた巨大な深発地震（深さ300 km 以深の地震）を日本列島に新たに展開された高密度・高精度の地震観測網（通称Hi-net）で記録したものです。横糸は各々の地震観測点の地震波形、たて糸は多くの観測点でほぼ同時に観測される大きな振幅をもった“素性の分かった”地震の波にあたります。（ここでは、地殻/マントル/外核/内核といった地球内部の主要な境界に地震波が当たって生成される波を“素性の分かった波”と呼びます）

この図からは、地震が起きてから1時間以上にわたって、いろいろな地震波がトンガから日本に届いていることが分かります。たて糸の一本一本はほぼ垂直ですが、よく見ると少し傾いていて、遠い観測点ほど地震波が遅れて到着していることに気がきます。（縦軸は震央（地震の真上の地表点）から観測点までの距離を示しています）しかしながら、なかには遠い観測点ほど逆に早く届いている波も見つかります。不思議ですね…。実は、これらは地球の反対側を回ってきた波なのです。

Hi-netの地震観測網を図1に示します。日本中で500近い地震計が100 mよりも深い井戸の中から大変質の良い地震データを提供しています。この観測網は日本周辺の地震活動や地下構造を調べるために展開されたものですが、本来の目的以外に、地球深部を調べる高精度の「望遠鏡アレイ」として地球科学にとって重要な役割を果たします。表紙のようなきれいな記録はめずらしく、地震学者はこのような波形を見ると、地球深部のどんな新しい情報をもたらしてくれるのかとワクワクしてくるのです。

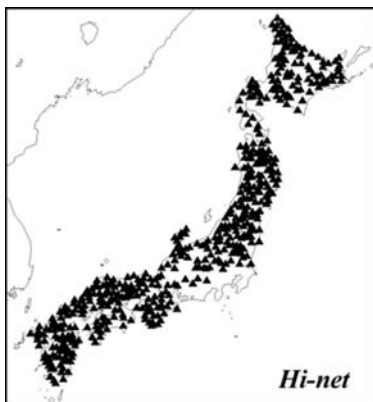


図1 Hi-netの観測網。

## 地球の裏側からのこだまが聞こえる

では表紙の図を拡大してみましょう（図2）。はっきりとしたたて糸以外にも沢山の情報が隠れていることが分かります。PPとするされた波は、トンガから中心核を通過して地球の裏側に達し、そこで反射され、もう一度中心核を経由して日本まで伝わってきた波です。遠くの観測点の方に早く波が伝わってくることからそのような伝達経路が予想されます。この波の150秒ほど前に、同じような傾きを持った微弱な信号が見えます。これはP'P'とほとんど同じ経路を通過してきて、地球の裏側の地表のちょっと手前、上部マントルと下部マントルの境にある不連続面から反射された波です。普通はこんなにきれいに見えないのですが、Hi-netのデータでは下に述べるようなアレイ解析を行わなくても波が確認できてしまいます。この反射点はちょうど大西洋中央海嶺のあたりなので、巨大な海底山脈を形成するマントルの上昇流に対応した構造が検出されるのではないかと期待されています。現在この不連続面の形状のマッピングがされているところで、その結果についてはいずれ地震学会などで報告が行われるでしょう。

## 地震波のスナップショット

天文学でも同じですが、複数の望遠鏡を使うことで波の来る方向を正確に決めることが出来ます。このような解析方法はアレイ解析と呼ばれています。一例として、インドネシアで起きた地震についての解析結果を図3に示します。それぞれのコマは4秒間のスナップショットで、空を眺める代わりに地球の中をのぞき込んでいると思ってください。まず、最初に到来する波（P波）に照準を合わせます。図で十字の交差点がP波の方向ですが、地震波のエネルギーが来る方向を白く示してあります。最初のコマ（地震が起きてから

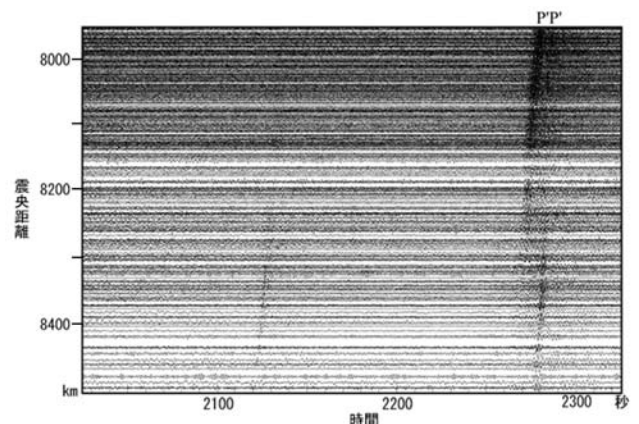


図2 表紙の図の一部を拡大したもの。

478秒後)ではP波が見えています。その次の4秒間も主にP波ですが、その次のコマでは右上の方からエネルギーが来ています。これはたぶん日本列島周辺の複雑な構造によって散乱された波と思われる。4コマ目では、P波とほとんど同じ方向(本当は少し下側)からエネルギー(S720P)が来ていて、これは震源近くの地震波速度が急激に早くなる場所(マントル不連続面)で生成された波です。そのあとまた散乱波が到来する時間帯があり、7コマ目でまたP波の方向から波(S1080P)が観測されます。そして最後のコマ(地震が起きてから553秒後)では、マントルの底のマントル/核境界からの反射波(PcP)が見取れます。この反射波が真ん中の線から左にずれているのは、マントル/核境界の凸凹を反映している可能性があります。

### アレイ解析から見えてくる構造

さて上に、表紙の図のたて糸に対応する波は、素性の分かったものだと書きました。では図3に見えている波はどうでしょう。このなかでは、はじめのP波と最後のPcP波だけが素性の分かっている波で、その間に観測される波(S720P、S1080P)は素性が良く知られていない波です。このように沢山の地震計のデータを使ってアレイ解析をすることで、今まで知らなかった波が見えてくることがあり、地球の中の新たな構造が見えてきます。

図4はその一例で、インドネシアのマントル構造の断面図です。上段は地図、真ん中は断面図に地震と不連続面によって生成されるS720Pなどの生成場所をプロットしたもの、下段は地震波トモグラフィによる地球内部の地震波速度異常を示しています。下段の図は、沈み込んだ海洋プレート(黒色の地震波速度の速い部分)が地震の発生する上部マントルよりもさらに深い下部マントルにまで潜り込んでいることを示していま

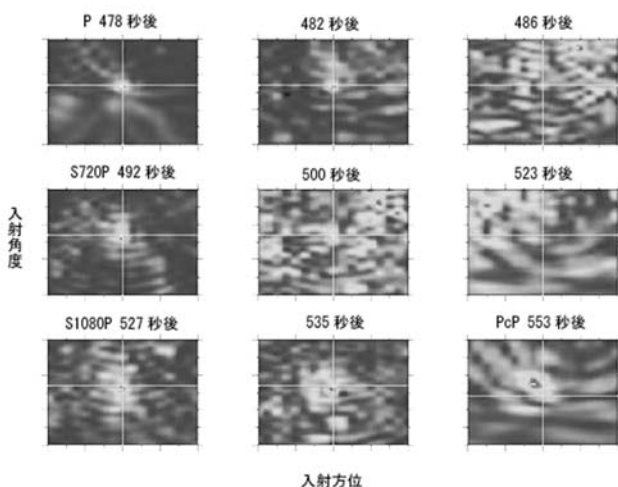


図3 インドネシアから到達する地震波のアレイ解析によるスナップショット。

す。それとともに、この高速度部分の下の950-1080 kmの深さに、不連続面があたかも高速度部分をささげるようにつながっているように見えます。このような微細な構造は、ひと世代前の日本列島の地震観測網が整備された頃から徐々に明らかになってきました。Hi-netの登場によって、沈み込んだ海洋プレートがマントル内でどのような一生をたどるのかなどが今後さらに明らかになっていくものと期待されます。

### 地震はおもしろい!?

ここではマントルの底・地球中心核などのデータは示しませんが、それらに関しても今、大変興味深いデータがどんどん蓄積されつつあります。今後Hi-netを使った地球深部の研究がなされるにつけ、地球内部のダイナミクスに関する新たな発見がどんどん出てくるでしょう。とかく地震は「恐ろしいもの」と思いがちですが、地球深部を覗く道具として見てみると、興味深い別の見方がでてきませんか?いま日本には、そのためのまたとない道具がそろいつつあります。地震をわくわくとしてみる、そのような視点もふまえて地震現象をとらえることも大切かもしれません。

(東京大学地震研究所/パリ地球物理研究所

川勝 均)

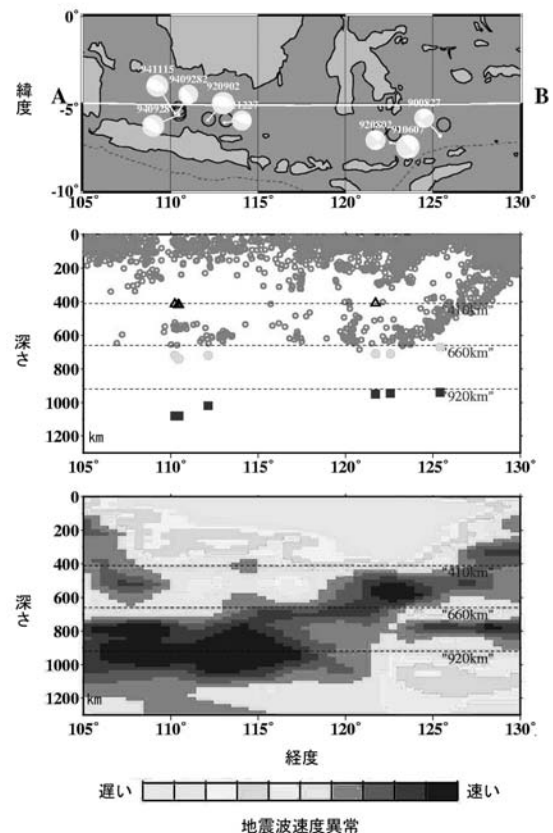
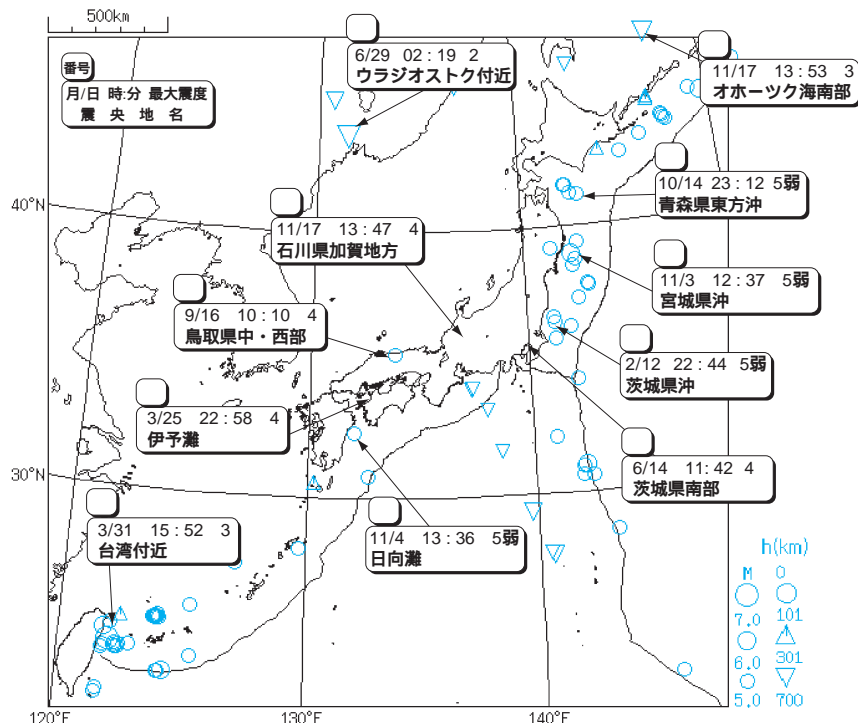


図4 インドネシア下のマントルの様子(深さ1300 kmまで)。

# 2002年の主な地震活動

2002年1月1日～12月31日 M 5.0 地震数 = 84  
 (図中の、及び 番はM5.0未満のため震央表示なし)



## 1. 日本付近の地震

### 【概況】

2002年に、日本国内で被害の発生した地震は8回でした。

震度4以上を観測した地震は28回(2001年は37回)でした。M6.0以上の地震回数は13回(2001年は12回、過去77年間の平均は16.8回)で、ほぼ通常の多さの年であったといえます。

津波を観測した地震(外国の地震を含む)は3回(2001年は2回)で、過去77年間の平均が2.2回であることから、ほぼ通常の多さの年であったといえます。

最も強い震度を観測した地震は、2月12日22時44分の茨城県沖、10月14日23時12分の青森県東方沖、11月3日12時37分の宮城県沖及び11月4日13時36分の日向灘の地震(最大震度5弱)でした。

最も規模の大きかった地震は、6月29日02時19分のウラジオストク付近の地震(M7.2)でした。この地震は深さ589kmで発生した深発地震で、日本の各地(18都道県293点)で震度が観測される異常震域という現象がありました。

以下に2002年に、M7.0以上あるいは被害を伴った地震を掲載します。番号は図の番号と共通です。

2月12日22時44分、茨城県沖(M5.5、最大震度5弱)  
 負傷者1名

3月25日22時58分、伊予灘(M4.7、最大震度4)  
 負傷者1名

3月31日15時52分、台湾付近(M7.0、最大震度3)  
 与那国島で12cm程度の津波を観測

6月14日11時42分、茨城県南部(M4.9、最大震度4)  
 負傷者1名 ブロック塀被害4件

6月29日02時19分、ウラジオストク付近(M7.2、最大震度2)

9月16日10時10分、鳥取県中・西部(M5.3、最大震度4)

住家一部破損8件、ブロック塀等被害4件

10月14日23時12分、青森県東方沖(M5.9、最大震度5弱)

負傷者2名

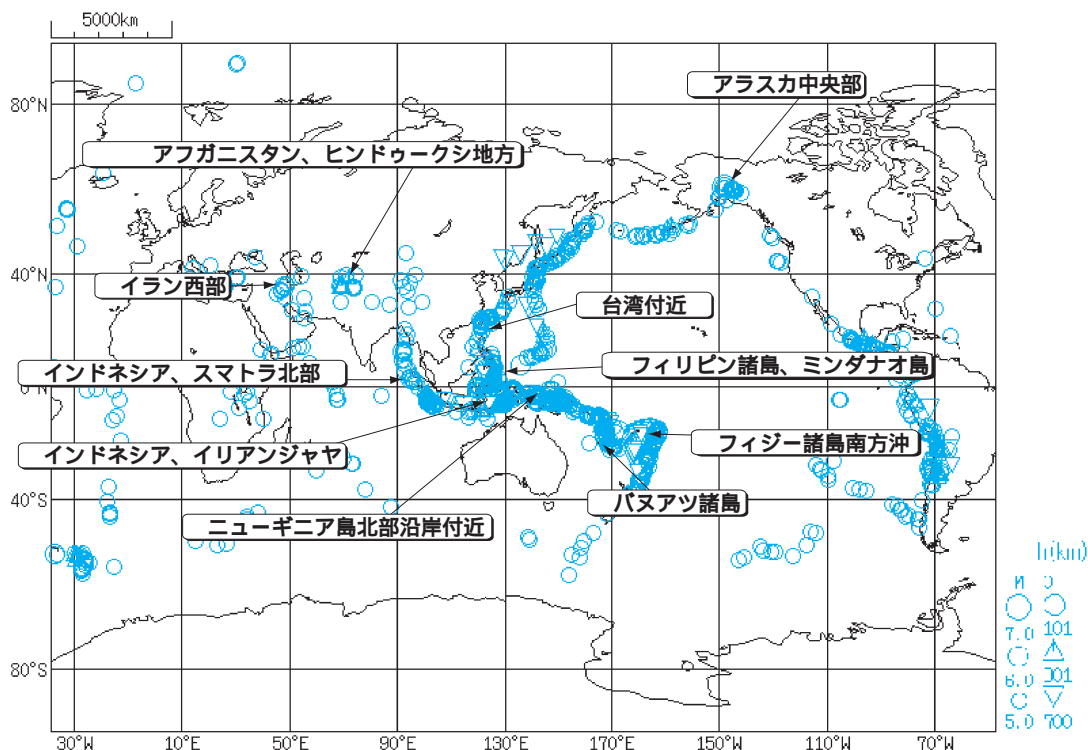
11月3日12時37分、宮城県沖(M6.1、最大震度5弱)  
 負傷者1名

11月4日13時36分、日向灘(M5.7、最大震度5弱)  
 窓ガラス破損1枚

11月17日13時47分、石川県加賀地方(M4.5、最大震度4)

負傷者1名、住家一部破損2件等

2002年1月1日～12月31日 M 5.0 地震数 = 1088



11月17日13時53分、オホーツク海南部 (M7.0、最大震度3)

## 2. 世界の地震 (日本付近の地震を除く)

震源などは米国地質調査所 (USGS) によります (10月以降は速報)。Mは表面波マグニチュード ( $M_s$ )、不明の場合は実体波マグニチュード (mb) を使用。発生時刻は日本時間 (協定世界時間 + 9時間)。

### 【概況】

M7.0以上の地震は8回、死者50人以上の被害地震は4回ありました。最も規模の大きかった地震は、11月4日7時12分に発生したアラスカ中央部の地震 (M8.5) で、負傷者1名、道路等の被害が発生しました。この地震は、記録が残っている内陸で発生した地震では最大級のものでした。人的被害の最も大きかった地震は、3月25日23時56分のアフガニスタン、ヒンドークシ地方の地震で、震源地に近いナフリンでは町の90パーセントが破壊する甚大な被害があり、死者は1,000名以上に上っています。

以下に、M7.0以上、あるいは、被害の大きかった地震 (死者50人以上) を掲載します。

なお、被害はUSGSによるものです (2003年1月4日現在)。番号は図の番号と共通です。

3月3日21時08分、アフガニスタン、ヒンドークシ地方 (mb6.6、死者166名以上)

3月6日06時16分、フィリピン諸島、ミンダナオ島 (M7.2、死者15名以上、負傷者100名以上)

3月25日23時56分、アフガニスタン、ヒンドークシ地方 (M6.2、死者1,000名以上、負傷者数百名以上)

3月31日15時52分、台湾付近 ( $M_s$ 7.4、死者5名以上、負傷者200名以上)

4月12日13時00分、アフガニスタン、ヒンドークシ地方 (M5.9、死者50名以上、負傷者150名以上)

6月22日11時58分、イラン西部 (M6.4、死者261名以上、負傷者1,300名以上)

8月19日20時08分、フィジー諸島南方沖 (mb7.0、人的被害なし)

9月9日03時44分、ニューギニア島北部沿岸付近 (M7.8、死者4名、負傷者70名以上)

10月10日19時50分、インドネシア、イリアンジャヤ (M7.8、死者6名以上、負傷者170名以上)

11月2日10時26分、インドネシア、スマトラ北部 (M7.7、死者3名以上、負傷者60名以上)

11月4日07時12分、アラスカ中央部 (M8.5、負傷者1名)

1月3日02時22分、バヌアツ諸島 (M7.5、負傷者数名)

(気象庁、文責：眞坂 精一)

# 列車を地震から守る！

- 鉄道総合技術研究所での「地震」の仕事 -

## 1. はじめに

「地震・雷・火事・親父」という諺まであるように、日本は世界でも有数の地震国であり、それだけ多くの地震による被害に遭っています。鉄道もその例外ではなく、1872年に日本で初めて鉄道が開通してから、関東大地震（1923年）や福井地震（1948年）をはじめ、最近の兵庫県南部地震（1995年）や芸予地震（2001年）など数々の被害を経験しています（写真）。



写真 1948年福井地震による鉄道の被害。(気象庁より提供)

鉄道総合技術研究所（鉄道総研）では、地震による鉄道災害を少しでも軽減するために、地震防災に関するさまざまな研究を行なっています。言うまでもなく、地震対策においては、地震による強い揺れ（強震動）に十分耐えうる構造物を設計することが重要です。しかし、鉄道の場合には、構造物を頑丈にするだけでは十分ではありません。なぜなら、構造物や地盤上に作られたレールの上を旅客や貨物をのせて高速で走る列車があるからです。

したがって、被害を及ぼすような地震が発生した場合、それを素早く検知し、列車の運行をコントロールして事故を未然に防ぐことによって乗客の安全を守ることが、鉄道における地震防災の大きな使命の一つであると言えます。仮に地震の発生が事前に予測できれば、列車を安全な場所に停車させるなどの対応がとれます。しかし、現状では、そのような地震は限られていると言われています。そこで鉄道総研などでは、被害を及ぼすような地震波の到来をいち早く検知して列車をコントロールするシステムを考案・開発し、実用化してきました。以下では、これらの取り組みについて簡単に紹介いたします。

## 2. 対震列車防護システム

列車は、急ブレーキをかけたとしても、すぐには停

車できません（例えば、時速270 kmで走行している列車では約3.9 kmの距離が必要です）。安全運行の面からは、地震で大きく揺れる前に、列車を減速あるいは停車させることが重要になります。そこで考案されたのが対震列車防護システムです。このシステムは、地震動がある基準値を超えた場合に警報を出し、変電所の電源を自動的に切って列車を停止させます。ストップなどの対震自動消火装置と似たしくみと言えます。同システムは、1965年に初めて東海道新幹線の沿線に設置され、その後改良が加えられ、現在ではその他の新幹線や在来線沿線でも稼働しています。

## 3. 地震の早期検知（ユレダス）

近年の列車のスピードアップにともなって、警報をより早く発信する必要性が出てきました。この要請を受け、リアルタイム地震防災の考え方をいち早く取り入れ、世界に先駆けて実用化されたのが、早期地震検知警報システム・ユレダスです。

地震波には、地中を速く伝わるP波とそれよりも遅く伝わるS波や表面波があります。大きな揺れは、主にS波や表面波によって引き起こされます。ユレダスは、はじめに到来するP波の数秒間（初動）を自動的に解析し、その周期からマグニチュード、振幅の最大値や振動方向から震源の位置を瞬時に推定します。そして、被害を及ぼすような地震であると判断した場合に警報を出します。この情報によって、遅れて到来するS波や表面波による大きな揺れがくる前に列車を減速・停止させることが可能になります（図1）。

ユレダスは、1992年の時速270 kmで走行する「のぞみ」の導入にあわせて実用化され、現在では新幹線を中心に全国約20観測点で稼働しています。

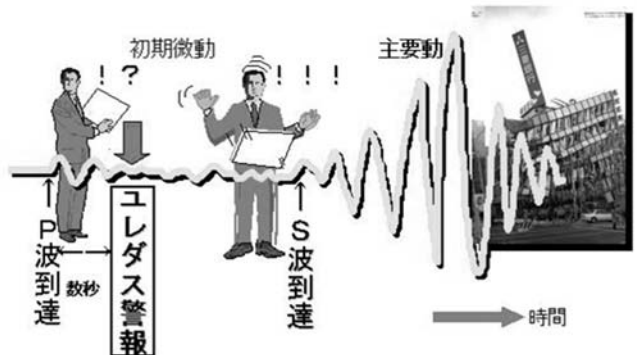


図1 P波初動部における地震の早期検知。

#### 4. 新しい早期地震警報システム

ユレダスが実用化されてから約10年になりますが、その間に地震学における新たな知見が蓄積されつつあります。また、1995年の兵庫県南部地震以後、公的機関による地震観測網が整備され、即時地震情報を配信する計画が進められています。

鉄道総研では現在、こうした最新の技術を取り入れた新しい早期地震警報システムの開発を気象庁と共同で進めています（なるふる34号をご覧ください）。

開発中の新システムは、P波初動から地震の発生位置やマグニチュードを推定し、大きく揺れはじめる前に警報を出すという点ではユレダスと同じですが、その推定方法が異なっています。新システムでは、近くで発生した地震ほどP波初動の傾きが急になるという特徴に注目して震源までの距離を先に推定します。そして、その推定値にもとづいてP波部分の最大振幅からマグニチュードを求めます。この新手法によって震源までの距離やマグニチュードの推定精度が向上しました。鉄道総研では、この手法を用いた早期警報用地震計の開発を進めています（図2）。

#### 5. おわりに

ここでは、主に地震時に列車を安全に減速・停止させるための取り組みについて紹介しました。その他に地震の後に、安全点検を行い、無被害であれば速やかに列車の運転を再開させることが、安定輸送の点から重要です。鉄道総研では、気象庁からの配信が予定されているナウキャスト地震情報や面的な推計震度情報を活用した運転再開支援システムの開発も行なっています（図3）。また、このような地震防災に関する研究以外にも、列車走行にともなう沿線の地盤振動の調査など鉄道を取り巻く「揺れ」に関する研究も行なっています。本紹介に関連した情報は、鉄道総研の地震防災研究室 Web サイト [http://www.rtri.or.jp/rd/openpublic/rd46/rd4640/erthq\\_index.html](http://www.rtri.or.jp/rd/openpublic/rd46/rd4640/erthq_index.html) からご覧になれます。

（（財）鉄道総合技術研究所 中村洋光・東田進也）

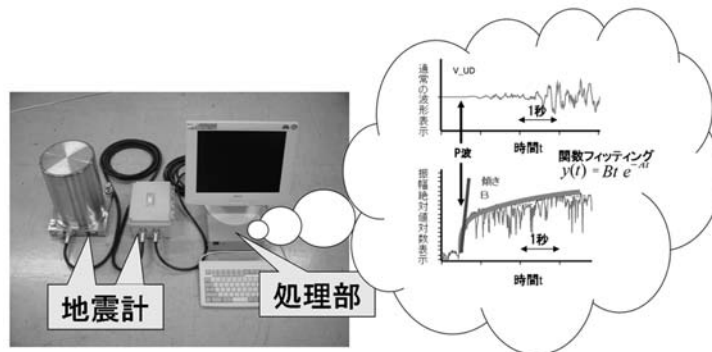


図2 開発中の早期警報用地震計。



図3 新しい早期地震警報システム。

## 木津川断層を舞台に「めだかの学校」

(社)日本地震学会が日本火山学会と共同で1999年から実施してきた地震・火山子どもサマースクールは、今年度、三重県の上野市社会福祉協議会などが年間行事として実施した小中高生向けの学生ボランティアアドバイザー養成講座「めだかの学校」に、2日間のプログラムを提供する方式で活動を行いました。

昨年10月5日には、上野商業高校で実験を中心とした講習を行いました。午前中は、中島健さんと数越達也さんの現役高校教師が活躍。丹那断層でのサマースクールでも行ったスライドケースを使った断層模型実験(なみふる13号参照)と、水槽を使った液状化の実験をしました。小麦粉とココアの地層が逆断層状にずれる断層実験は、小学生でもうまく再現できました。

野外では、本物の地震計を使った実験を初めて実施しました。上下と水平方向の揺れをそれぞれ別々に計測する旧式の地震計3台と、3成分型の地震計3台、アンプとペンレコーダーを用意し、名大の山岡耕春さん、大阪市大の根本泰雄さん、京大の橋本学さん、加納靖之さんが、同高校のグラウンドの一角にセットしました。

まず、旧式の地震計の内部を見てもらった後(写真)、グラウンドで交互にジャンプして着地の衝撃で揺れを起こし、ペンレコーダーで記録を取りました。チューニングに少し手こずりましたが、仕組みが見える旧式の観測機器だからこそ、子どもたちも楽しく遊べたようです。

せっかく4台並べての記録を取ったのだからと、地震計に波が伝わってきた時間差を計って、地震波が地中を伝わる速度をチームごとに計算しました。専門家のサポートも受けながらですが、小学生も混じって計算し、3つのチームとも地表近くの速度としてほぼ正確な数値を求めました。

11月16日には、野外観察とまとめのお話を行いました。上野市は、1854年伊賀上野地震(死者・行方不明者約1500人)でずれた木津川断層が市の北側にあります。この日は、市の中心にある上野城天守閣から上野盆地の風景を観察し

ました。講師は、千葉大の苅谷愛彦さん、愛知県立大の鈴木康弘さん、京大の平原和朗さん。ランドサットからの写真パネルなどを持ち込み、たまたま居合わせた一般の人も、興味深そうに聞いていました。

その後、1998年にトレンチ調査を行った東高倉地区に移動、掘り返して埋め戻したトレンチ跡に、当時の写真やトレンチのスケッチのパネルをもとに、「みんなの足下に断層が埋まっているんだよ」と解説。断層線上に沿ってみんなで手を結んでみたり、周辺の地形を観察したりしました。伊賀上野地震の犠牲者のための慰霊塔を見学したあと、3Dめがねを使って航空写真から活断層を見たりしながら、2日間のおさらいをしました。

「めだかの学校」には、三重県の災害ボランティアコーディネーター養成協議会のメンバーも参加し、地域活動におけるプログラムとして、今回行った断層実験などを防災マップ作りや災害図上訓練などととも活用しはじめているそうです。

(日本地震学会広報委員 中川和之)



写真 はじめて見る地震計。「この機械で地面の揺れを測るんだ...!」

### 広報紙「なみふる」購読申込のご案内

日本地震学会の広報紙「なみふる」は、隔月発行(年間6号)しております。「なみふる」の購読をご希望の方は、氏名、住所、電話番号を明記の上、年間購読料(日本地震学会会員:800円、非会員1200円、いずれも送料込)を郵便振替で振替口座00120-0-11918「日本地震学会」にお振り込みください(通信欄に「広報紙希望」とご記入ください)。なお、「なみふる」は日本地震学会ホームページ(<http://www.soc.nii.ac.jp/ssj/>)でもご覧になれ、pdfファイル版を無料でダウンロードして印刷することもできます。

日本地震学会広報紙「なみふる」 第36号 2003年3月1日発行 定価150円(郵送料別)

発行者 (社)日本地震学会/東京都文京区本郷6-26-12 東京RSビル8F(〒113-0033)

電話 03-5803-9570 FAX 03-5803-9577(執務日:月~金)

編集者 広報委員会/

末次大輔(委員長)、吉本和生(編集長)、五十嵐俊博、石井透、加藤護、桑原央治、小泉尚嗣、武村雅之、東田進也、中川和之、中村浩二、山田知朗

E-mail zisin-koho@ml.asahi-net.or.jp

印刷 創文印刷工業(株)

本紙に掲載された記事等の著作権は日本地震学会に帰属します。