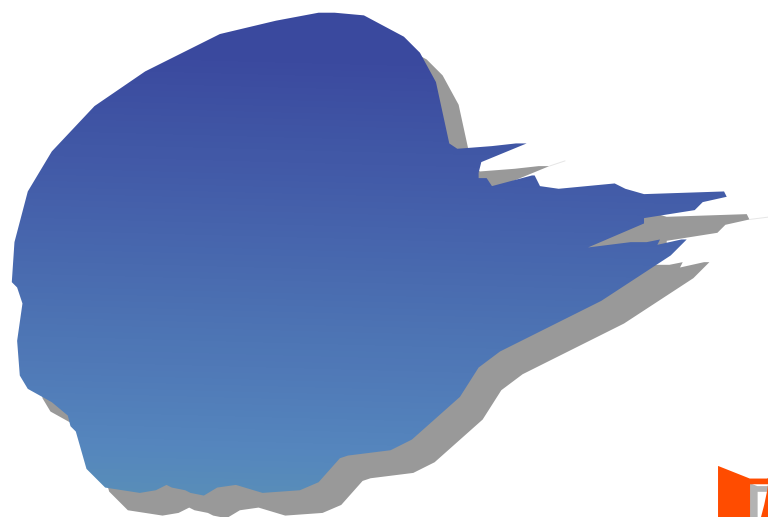


防災

研究



National Research Institute

for

Earth Science

and

Disaster Prevention

防災科研 NEWS

気圧観測で捉えた三宅島のカルデラ形成

地震・火山噴火と電磁場変動

地震被害を宇宙から観る

セミアクティブ・パッシブダンパーを用いた免震構造に関する研究

—サマーインスティテュートがきっかけとなった日米共同研究—

研究交流棟竣工式並びに第2回成果発表会開催報告

第44回科学技術週間一般公開

—川崎ラボラトリー初公開—

川崎だより



気圧観測で捉えた 三宅島のカルデラ形成



固体地球研究部門 主任研究員 山本 英二

三宅島では2000年6月から火山活動が活発化し、写真1および2に示すように、7月から8月にかけて山頂部で陥没が発生し、これにより直径約1.6 km、深さ約500 mのカルデラ（くぼ地）が形成されました。島内に設置してある気圧計が個々の陥没を捉えており、このデータを解析した結果、カルデラの形成過程が明らかになりました。

陥没発生 の 証拠

三宅島で火山活動が始まってからは、いろいろな機関が上空から幾度となく山頂部をビデオカメラで撮影していますが、陥没の瞬間は撮れていないようです。一方、私たちが行っている観測では陥没の発生時期に、急激な傾斜変化と、これと同時に発生した特異な地

震を捉えています。これらは陥没により生じたと考えられますが、これについては本ニュースの第137号、141号で別の研究者が取り上げています。

陥没が短時間内に生じたとすると、陥没による体積変化が圧力変化として大気中を伝わります。この圧力変化を検出することは陥没を直接捉えることであり、陥没発生の決定的な証拠となります。また、これにより陥没の実体をより深く解明できるようになります。

陥没に伴う圧力変化

図1に示すように、先に述べた急激な傾斜変化が生じた時に気圧も変化しています（以下、圧力変化）。この圧力変化は減圧で始まっており、傾斜変化よりも8秒遅れています。到着時間



写真1 最初の陥没が7月8日に発生した。陥没により一部で植生が分断されている。
(撮影：7月9日、アジア航測株式会社)



写真2 陥没が進み、カルデラが形成された。
(撮影：7月22日、アジア航測株式会社)

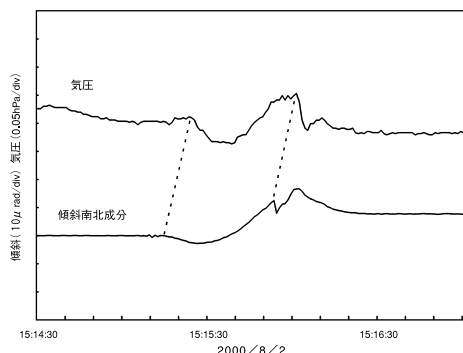


図1 神着観測点における傾斜及び気圧記録。傾斜の変化に少し遅れて気圧が変化している。

が遅れるのは、圧力変化の伝わる速度（音の速さ）が傾斜のそれよりもずっと遅いためです。減圧で始まった変化は増圧に転じた後に、元に戻っています。圧力の変化量は極めて小さく、高気圧や低気圧が通過する時に生じる変化の約1000分の1です。他の観測点でも同じような変化が記録されています。観測結果から圧力変化の発生源を求めると、それは山頂カルデラ内に決まりました。まさに陥没が発生している場所です。このような圧力変化は急激な傾斜変化が生じる度に発生しており、陥没発生時期に1日に1回から2回程度の頻度で、合計46回発生しました。

陥没量の推定

観測された圧力変化のパターンは、概ね図2の下段に示すようになります。このような圧力変化が伝わる時には、その発生源では図2の上段に示すような体積変化が生じていると考え

られます。また、室内で陥没の簡単な模擬実験を行いました。これにより今回と同じような変化が生じることを確認しています（図3）。体積変化、すなわち陥没量は圧力変化の振幅や周期、それに発生源からの距離等から求められます。今回の観測結果では、陥没量は1回毎に少しずつ異なりますが、平均的な陥没量は東京ドームに換算すると約10杯分になります。全体では約500杯分です。ここで求めた陥没量は地形変化から求めた量とほぼ一致します。カルデラ形成のほとんどが間欠的に発生する陥没によって生じたことを示しています。

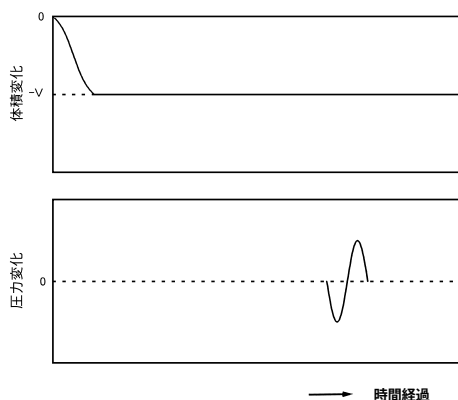


図2 上段に示すような体積変化が生じた時には、今回観測されたような圧力変化（下段）が大気中を伝わる。（Yamasato,1989を改変）

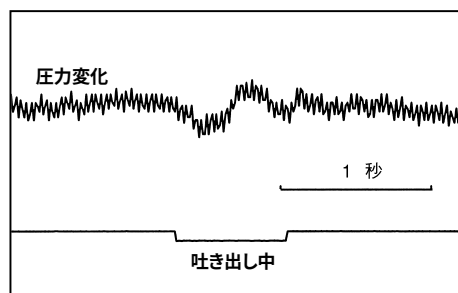


図3 室内で行った陥没の模擬実験結果。窓を開けた状態で、室内の空気を室外に吐き出し、その時に生じる室内の圧力変化を測定した。

地震・火山噴火と電磁場変動



防災基盤科学技術研究部門 主任研究員 矢崎 忍

1995年の阪神・淡路大地震は記憶に新しいのですが、このとき興味深い証言がいろいろ得られています。そのうちの一つに、あの地震で倒壊した高速道路を、地震の起こる数時間前にトラックで通過した運転手の話ですが、その人はいつもほぼ同じ時間にそこを通るのですが、その日に限っていつも聞いているカーラジオが、どうチューニングしても全く入らなかったそうです。これに類した証言は他にもたくさんあると思われます。

一般に、大きな地震や火山の噴火の前後に、放送や通信の電波が乱れることがあることは、確かなようです。このことは、大きな地震や噴火に際して、震源付近等で何か電磁気的な異常が起こっていることを示唆します。これが事実なら、電磁気的な異常を観測することで、地震や噴火を予測する有用な資料が得られることになります。

このような電磁気的な異常の発生の

メカニズムは、岩石が破壊する時に直接電磁波を放出するとする説、岩石を満たしている水が関係するとする説、等があり必ずしも十分解明されているとは言えません。これらの解明は重要ですが、困難な面もあり直ちに進むとも言えません。そこで、原因の解明と平行して、観測のデータを多く集め、現象としての規則性を調べることも重要になります。

電磁気的な異常からはいろいろな周波数の電磁波が放出されますが、防災科学技術研究所では、このうち比較的低周波数のDC（直流成分）、ULF（0.01～0.7Hz）、ELF/VLF（1～10kHz）帯の現象に注目し、1988年から、主にボアホールアンテナで観測しています。ボアホールアンテナというのは、地震などの観測井、温泉や天然ガスの汲み上げ井、などの深い井戸をアンテナと見立てるもので、これらの井戸の側壁は金属（鋼鉄）ですので、鉛直の長いアンテナとして機能します。観測は、19

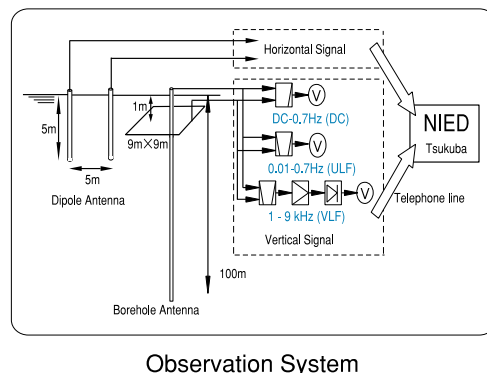
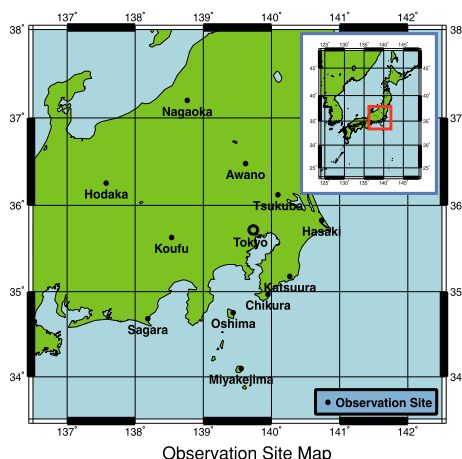


図1 観測点と観測システム

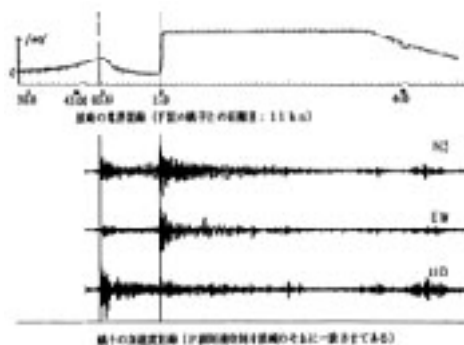
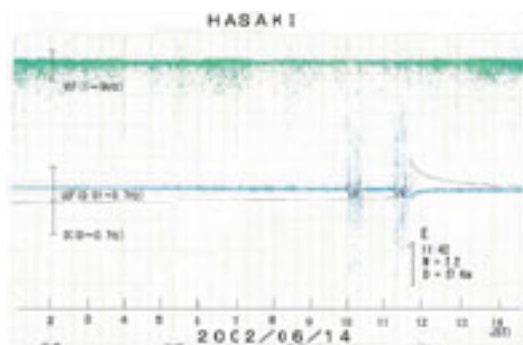


図2 2002年6月茨城県沖地震の波崎の記録

88年から、関東東海地域を中心にした12ヶ所の観測点で行っています（図1）。

次に、これまでに得られたいくつかの顕著な観測例を示します。

1998年8月7日、岐阜、長野県境付近で発生した群発地震の際、震源に近い穂高観測点で地震発生約10数時間前から、ULF/VLF帯で平常時に比べて異常な電磁場の変動が観測されました。

2000年6月に始まった三宅島の火山活動の際、三宅島観測点で、噴火開始の約1ヶ月前にすべての帯域で異常変動を記録しています。このときは、地震、傾斜などの地殻活動には異常は検出されず、接近してきたマグマによる熱水の移動によるものと考えられます。また、8月18日の大噴火の半日前にDCからVLF帯に大きな変動が記録されています。

2002年6月14日の茨城県南西部地震（M4.9）に際して、波崎と千倉の観測点で、この地震の前兆と見られる変動が観測されました。波崎では、DC帯で地震の約1時間40分前に顕著な異常があり、地震時にかけてゆっくりした変動を伴うものでした。さらに、波崎観測点では、伝播する地震波に伴うと見られる電磁場の変動が

観測されました。この波形は、地震の発生と同時に立ち上がり、地震の到達時にピークに達するものでした（図2）。

このように、いくつかの地震や火山噴火の前兆と見られる異常が検出されていますが、他の観測項目と同様に、その現れ方は一様ではなく、これで直ちに地震や噴火の予測が可能という訳ではありません。

地震や火山噴火の予測は、何か1つの観測項目によってのみ行われるわけではありません。大きな地震や噴火の前には、いろいろな観測項目に異常が現れるだろうと考えられています。電磁場の異常の観測もそれらの1つとして、位置付けられるでしょう。

電磁場観測のもう一つの可能性として、地震のナウキャストあるいはリアルタイム地震予知と呼ばれる分野への応用があります。まだ数は少ないのですが、地震の発生と同時に放出されたと見られる電磁場の変動が観測されています。地震波の伝播速度は時速数kmなのに対して、電磁波は光速と同程度の速度で伝わりますので、この変動が的確に捉えられれば、地震の発生をほぼ瞬時に検出するための資料の1つとして利用できます。ただし、これはかなり先のことになるかも知れません。

地震被害を宇宙から観る



地震防災フロンティア研究センター 副チームリーダー 松岡 昌志

リモートセンシング

対象物に直接に触れずに、何らかの方法で対象物に関する情報を収集・計測することをリモートセンシングと呼びます。例えば、人工衛星や航空機などに搭載されたセンサによって、地表面の対象物の電磁波エネルギーを画像の形で記録し、その対象物の種類や状態を把握することもリモートセンシングのひとつです。リモートセンシングは用いる電磁波の波長帯によって、大きくは光学センサと電波センサによる観測に分かれます。光学センサは気象衛星ひまわりなどに搭載され、可視光～熱赤外域における太陽光の地表での反射または放射エネルギーを撮影するシステムで、一般の写真に似たカラー画像が得られます。

一方、電波センサには合成開口レーダーというのがあります。これは人工衛星などからマイクロ波を照射し、地表の主に凹凸を反映した反射（後方散乱）強度を計測するシステムです。マイクロ波は電磁波の中でも波長が比較的長いために、昼夜を問わず、かつ、雲を透過して地表が観測できます。画像は白黒写真のように表現するのが一般的です。

現地調査が困難な地域や危険地域における状況把握にリモートセンシングが用いられ、地球環境モニタリング技

術として定着してきました。自然災害のつめ跡もリモートセンシングで検出できるのです。

インド西部地震での被害を観る

2001年1月26日にインド西部を震源とした大地震が発生しました。この地震による被害地域は震源から約300 kmも離れたところにまで広がっており、これを地上調査のみから把

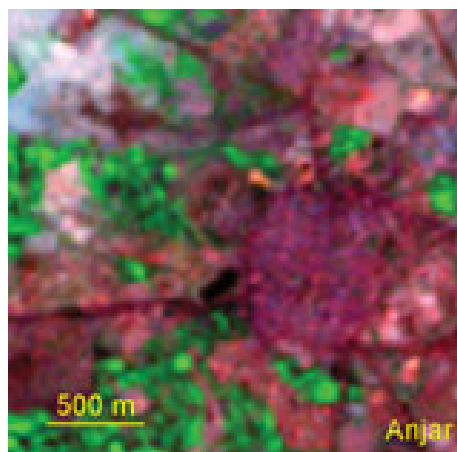
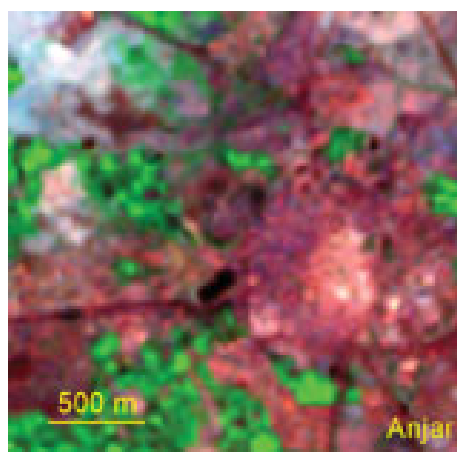


図1 アンジャールにおけるランドサット衛星の疑似カラー画像
(上図：地震後、下図：地震前)

握することは容易ではありません。そこで、宇宙から被害を調べてみましょう。

アメリカのランドサットという衛星が地震の14日後に被災地を撮影しました。約200kmの撮影範囲のうち、震源近くに位置するアンジャールという街の疑似カラー画像を図1（上図）に示します。疑似カラー画像とは人間が実際には視覚できない電磁波の波長帯（熱など）の画像を任意の色に割り当てて作成したものです。図では植物の緑が極端に強調され、市街地は薄紫色になります。地震前の画像（図1（下図））と比べて、大きく異なる点は地震後の画像にはやや右に白っぽい地域が分布していることです。この地域は地震後の現地調査によると多数の建物が倒壊した範囲と一致します。建物が倒壊して瓦礫化すると、とくに近赤外域での反射・放射輝度が高くなり、画像が明るくなるのです。

一方、地震前と比較して地震後に暗くなることで判読できる被害もあります。例えば、土砂崩れで森林がはぎとられた地域や火災で焼失した地域などです。

レーダー画像による被害地域の判読にも、地震後に輝度（レーダー画像の場合は後方散乱強度）が低下することを利用します。一般的に建物群における後方散乱強度は大きいのです。これは、人工衛星から斜め下方に照射されたマイクロ波が地面と建物との間での

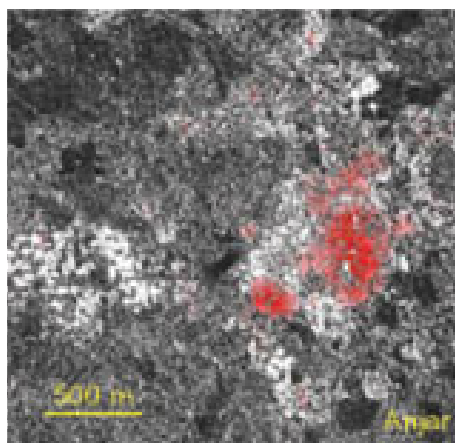


図2 アンジャールにおけるレーダサット衛星の地震前後のレーダー画像から検出した建物被害地域（赤色）

複数反射によって、そのまま衛星に戻ってくるからです。ところが、建物の倒壊地域や空地に照射されたマイクロ波はいろんな方向に散乱するため、衛星に戻る成分は小さくなります。したがって、地震後に強度が低下した（暗くなった）地域を被害地域として検出すればよいのです。

インド西部地震の前後にカナダの人工衛星がアンジャール市を観測しました。そのレーダー画像を用いて建物被害地域を検出した結果を図2に示します。背景のやや明るい地域は建物群、暗い地域は池や裸地、グレーの地域は森林に対応します。赤色で示す被害地域は図1（上図）のランドサット画像での白色の地域とよく対応しています。

このように、建物の倒壊など大きな地震被害は地表から約800km上空の宇宙からも観ることが出来ます。将来はセンサの高性能化が進み、かつ、数多くの人工衛星が打ち上げられることから、世界各地で多発する大規模災害の把握手段としての活用が期待されます。

セミアクティブ パッシブダンパーを用いた免震構造に関する研究

—サマーインスティテュートがきっかけとなった日米共同研究—



流動研究員 箕輪 親宏

1998年米国Summer Institute 制度のDuke大学 学生Daniel Batt の防災科学技術研究所滞在が契機となり実現した研究がこのテーマです。彼の滞在中に免震ゴムの振動台による破断実験があり、そのビデオテープを彼に渡したところ、彼の帰国後、指導教官であるHenri Gavin 助教授がその実験に興味を持ち、開発中の振動を抑えるダンパーを免震装置に付けて、防災科学技術研究所の大型振動台で実験したい、については研究予算をNSFに申請したいとの連絡があり、協力することになりました。Gavin 助教授の申請が承認されNSFの予算が付き、研究がスタートしました。2000年、2001年の2回、研究連絡のため防災科学技術研究所を訪れ、防災科学技術研究所の大型振動台での実験について打ち合わせを行いました。

このGavin 助教授は、当初、制御可能なElectric Rheological Damperで使いたいと言っていたが、Electric Rheological 材の開発が思ったように進まず、研究期間内にはElectric Rheological Damperで十分な制御力が得ることは困難である



実験状況

ことがわかり、Magnetic Rheological Damperを考えましたが磁性流体に於ける沈殿等の問題があり、最終的にはオイルダンパーを使うこととし、弁の開閉で免震ゴムの動きを制御することにしました。

免震構造はその最もゆっくりした揺れより細かく揺れる地震にはその機能を発揮しますが、そのゆっくりした揺れに共振するような地震がくると、その機能を発揮することが出来ません。このような場合は、むしろ免震構造にならない方が良いのです。技術的に考えれば、免震構造において地震中に共振するようなゆっくりした揺れを感知すれば免震を効かないように自動的にすれば良いことになります。そこで考



オイルダンパーを調整するGavin助教授とDuke大学学生

えられるのは、この免震構造に取り付けたダンパーの効き具合を制御して、免震構造を有効に使うと言う考え方です。これがこの研究テーマの目的とするところで、ダンパーの弁の開き具合で、直接の動力を使わず、免震構造

の揺れを制御しようと言うことで、セミアクティブ・パッシブ制御と言う訳です。

この研究は、Duke大学で免震・制震用のダンパーを作り、建築研究所所有の3層1/3の鉄骨模型にこのダンパーを取り付け、防災科研の大型振動台に設置し、ダンパーの特性を制御し、地震波に対する免震の効果を調べるものです。ここで入力波として振動台実験に用いた波形は図1の周期 $T_p = 0.5 \text{ sec}$ 、 $T_p = 1.0 \text{ sec}$ 、 $T_p = 2.0 \text{ sec}$ に卓越周期をもつ人工地震波計3波とKOB E（阪神大震災の神戸海洋気象台記録）、Loma Prieta, Sylmar（1994年ノースリッジ地震の記録）です。免震構造のダンパーのケースとしては、○印：バルブ開でダンパーのダンピングが効かない状態、※：バルブが自動的に制御された状態、×：最初からバルブを締めた状態で振動台実験を行いました。なお、実験に先立ちダンパーの油圧回路は性能が発揮されるように調整されています。図2は縦軸に屋根の揺れをとり、横軸に人工地震波の卓越周期を取ったもので、○印のダンパーのバルブを開き免震構造が効くようにした場合は、細かい揺れが卓越する $T_p = 0.5 \text{ sec}$ の人工地震波に対し揺れは小さくなり免震効果を発揮していますが、ゆっくりした揺れが卓越する $T_p = 2.0 \text{ sec}$ の人工地震波では逆に揺れが大きくなり効果がないのが解ります。×のバルブ閉で免震構造が効き難くした場合はバルブ開の場合と逆に $T_p =$

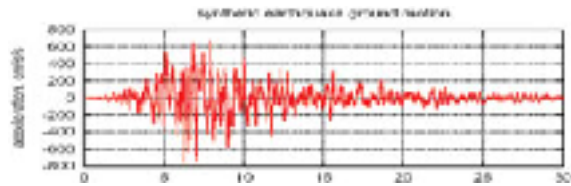


図1 人工地震波加速度波形

0.5 sec で揺れは大きくなり、 $T_p = 2.0 \text{ sec}$ で小さくなっています。※印のバルブ制御の場合は、3ケースともバルブ閉の場合より小さくなり、 $T_p = 2.0 \text{ sec}$ の人工地震波に対しては最も良くなっています。

図3は $T_p = 1.0 \text{ sec}$ の人工地震波と、先の地震波形3波に対する同様の図であり、バルブ閉よりバルブ制御の方が有効であるのがわかります。

以上の結果が得られ、長周期が卓越する大きな地震の場合には、ダンパーのバルブを制御すれば共振を抑えることが出来る可能性があることが解ります。しかし、中規模以下の地震に対してはダンパーバルブを開けて免震が効くようにした方が効果的です。

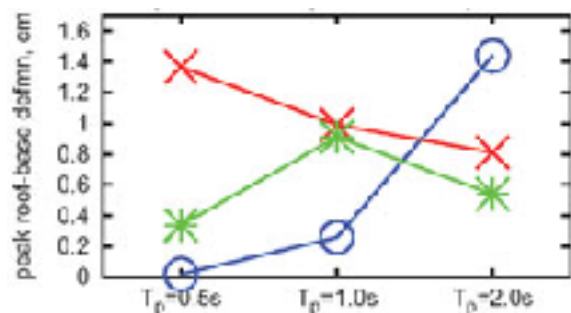


図2 3種の人工地震波に対する屋根面の揺れ

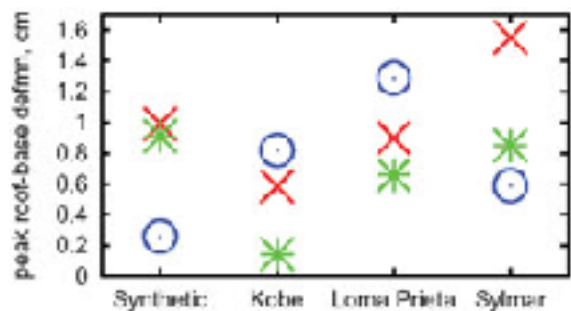


図3 地震波形3波に対する屋根の揺れ

研究交流棟竣工式並びに 第2回成果発表会開催報告

つくばでの開催

防災科学技術研究所が独立行政法人となってから2回目の成果発表会が去る4月22日（火）に研究交流棟の竣工式と合わせて開催されました。研究交流棟が完成したことで、つくばでの開催となりましたが、県内外から350名近い参加者があり、盛況に終わることが出来ました。

また、研究交流棟の竣工式では、建設に関わって頂いた関係者に理事長から感謝状が授与されました。さらに、記念のくす玉割りには、地元の大曾根小学校から二人の生徒が招かれ、地域に密着した施設としてのアピールに一役買っていました。

山根一眞氏が記念講演

成果発表会に先立って、ノンフィクション作家、山根一眞氏の記念講演が行われました。阪神・淡路大震災直後に現地へ向かった時の貴重な体験談や日頃から備える身近な防災手段を独自の視点から語っていただきました。研究者とは違った立場からの話を聞くことが出来る貴重な機会ということで、参加者は勿論、防災科研の研究者も真剣に耳を傾けていました。

講演発表

成果発表会の講演は、東海地震、実大三次元震動破壊実験施設、リアルタイム地震情報伝達、都市を襲う水災害についての発表が4件ありました。特に、最近の東海地震や東南海、南海地震の発生が迫っているなどの報道が新聞紙上でたびたび取り上げられるなど、一般の方々の関心も高いようで、交流棟の発表会場は満席状態でした。発表内容についても、とても良かったという感想を多数いただきました。



ポスター発表

ポスター発表では、地震、火山、大雨、洪水、土砂災害、雪氷などの各分野から18件の発表がありました。また、地震計や地すべり分布図の展示説明も行われ、さらに、雪崩や地震の際の液状化現象を簡単な実験で再現できるコーナーもあり、開放的な交流棟アトリウムでの発表は混雑もなく、大変盛況でした。

多くのご参加 ありがとうございました。

今回の成果発表会は、研究交流棟の竣工式と合わせ行ったため、参加人数も予定より多く、発表会場に入りきれない方もおり、セミナー室を第2会場として使用しました。つくば研究学園都市の施設の中でも防災科研は交通の便が良くないにも関わらず、大変多くの方々に参加頂いたことは、防災科研が行っている研究について、関係者の

多くが興味を持たれ、なおかつ、防災研究に期待していることと受け止めています。

発表会終了後の懇親会にも多くの方々が参加され、参加者からは貴重な意見を頂くことができ、大変有意義な1日となりました。

※第2回成果発表会のアブストラクトは下記ホームページで公開しています。

<http://www.bousaigo.jp/ad/1pr/kouryuu/abstract.html>

第44回科学技術週間一般公開

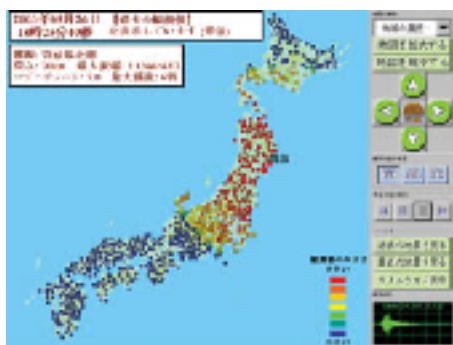
—川崎ラボラトリー初公開—

今年も4月18日（金）19日（土）に、つくば・長岡・新庄・川崎で一般公開を開催し、約800名の方々の参加がありました。

昨年10月に開所した川崎ラボラトリーは、「大地震がきたら川崎はどうなるの?」「ロボットはどんな活躍をするの?」と題して、災害シミュレーションや救助ロボットを紹介し、子供

にもわかりやすく好評でした。

つくばの本所では、毎年好評な実験教室・地震体験・降雨体験に加えて、リアルタイム地震情報の公開を初めて行ないました。これは2台のディスプレイの片方で地震の揺れが到着する数十秒前からカウントダウンをするシステムを表示し、もう1台では今起った地震波が震源から広がっていく様子をアニメーションで表示するものです。何秒後にどこでどのくらい揺れるのかが警報とともに表示された後、その地震の波が広がっていく様子を見ることがのできるのです。当日起きた地震の時に居合わせた来訪者の方は、今起っている地震の情報であることが信じられないようでした。



地震波のアニメーション

※過去の地震も見ることができます



皆さんが「川崎」と聞いてイメージするものは何でしょう？ここ川崎ラボラトリー内でも試しにアンケートをとってみました。結果は予想通り、圧倒的に多かったのが「工場地帯」と「スモッグ」というイメージでした。中には「競馬場」とか「お大師さま」という回答もありましたが、概ね先入観としては「空気の悪い工業地帯」に集約されるのではないのでしょうか。

でも川崎は実際に住んでみるととても便利なところですし、行政の努力にも素晴らしいものがあります。道や公園の整備に力を尽くしていますし、一般家庭向けにはゴミの回収が毎日あります。市民と密着した街づくりが成されていると感じる街です。工場地帯の空気も、車の排気ガスを除けば一昔前とは比べ物にならない程綺麗になっています。東京都と横浜市の間位置する川崎市は、住むにも働くにも便利な場所なのです。

さて、ここ川崎ラボラトリーがあるのはそんな京浜工業地帯の入り口です。脇を首都高速高架橋が中央にある片側3車線の産業道路が走っているのですが、ちょっとしたエントランスウェイを入って来るので道から建物は見えませんし、敷地内からは道路も見えませ



川崎ラボラトリー研究室風景

ん。周囲には木々の緑が多く、敷地内には尾長やメジロなどの野鳥も多く見られます。

建物は、数多くの名選手を輩出した旧日本鋼管の体育館をそのまま利用していて、内部にガラス張りの研究室が作られています。それはあたかも、アラブのモスク（寺院）の内部をそのままカトリックの礼拝堂に作り変えてしまったというスペイン・コルドバの観光名所「メスキータ」のようだ…と強引に言っているのですが、ちょっと無粋な研究員には理解されずなかなか広まりません。川崎ラボにお越しになったら、是非「メスキータ」と呼んで下さいね。

**（問い合わせ先：川崎ラボラトリー
広報担当 川口一恵
☎044-329-1129）**

編集・発行／ 独立行政法人 防災科学技術研究所

〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1 ☎029-851-1611(代)

企画課直通☎029-863-7789 Fax.029-851-1622

E-mail◆plansec@bosai.go.jp インターネット◆http://www.bosai.go.jp

発行日／2003.7.1