



「災害の科学」

地震、火山、水害、そして未知の世界へ



地球観測衛星がとらえた三宅島山頂
(2000年7月10日)
黒い部分は火山活動による陥没箇所
© NASDA

地震、火山噴火、洪水など、自然現象による災害は圧倒的な力で人間の生活に被害を与える。1995年の阪神・淡路大震災、2000年の三宅島などでの噴火などは、いまだ記憶に新しい。発生する自然被害を未然に防ぐためには、発生メカニズムの研究や予兆現象を科学的に捉え、適切な対応、対策が重要である。また、過去の災害に学び事前に対応する必要があり、材料開発やエンジニアリング研究など、幅広い科学技術の進展が期待されている。



■ 阪神・淡路大震災でのビル倒壊(兵庫・西宮市) (毎日新聞社 提供)

●災害—悪い星のめぐりあわせ

災害は、英語でdisaster(悪い星、悪い運勢の意味)。星のめぐり合わせが悪かったと、あきらめざるを得ない存在ととらえられてきた。地震、火山噴火、水害、土砂災害などの自然災害は、世界のあちこちで発生する。2000年は鳥取県西部地震、有珠山や三宅島の噴火、東海地方の豪雨など、2001年は芸予地震やインド西部地震など、自然災害は多い。

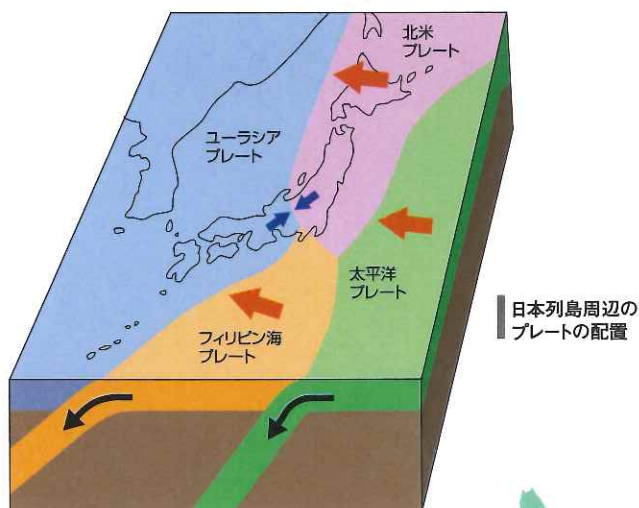
日本の災害対策では1961年の「災害対策基本法」が基本となって政府の中央防災会議を中心に、自治体、関係各機関が連携して早急に対応できるようなシステムが整備されつつある。

また、国連では、1990年代を「国際防災の10年」と定め、全世界の自然災害に取り組み、日本もこれに積極的に参加した。2000年からは「国際防災戦略」がスタートしている。

●地震—日本を囲む4つのプレートの動き

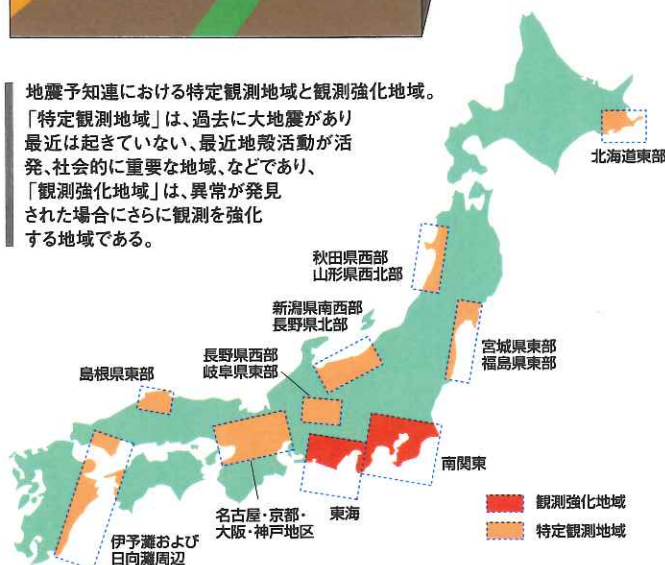
1995年1月17日早朝、兵庫県南部地震が発生し、神戸市を中心に大規模災害「阪神・淡路大震災」となった。死者6,432名、気象庁は「震度7」を初めて適用した。横倒しになった高速道路や低層階がつぶれたマンションなどの映像は、今も記憶に生々しい。

「災害の科学」



地震予知における特定観測地域と観測強化地域。

「特定観測地域」は、過去に大地震があり最近では起きていない、最近地殻活動が活発、社会的に重要な地域、などであり、「観測強化地域」は、異常が発見された場合にさらに観測を強化する地域である。



そもそも日本の地震の多さは、地球を覆うプレート(厚さ数10～100kmの岩盤)の境界に日本列島が位置することによる。日本付近のプレートは、太平洋プレート、フィリピン海プレート、ユーラシアプレート、オホーツクプレートの4つのプレートが接し、プレート同士は境界でもぐりこんだり、すれ違ったりするうち、プレート内部にストレスがたまり、岩盤の耐力が限界に達すると急激にずれ動く。これが地震の元となる断層運動である。これらの境界で起こるプレート境界地震は規模が大きいという。

一方、境界から離れたところまでストレスが伝わる内陸地震は、プレート境界地震に比べ震源の規模は小さい場合が多いのだが、兵庫県南部地震のように、震源の深さや周辺の断層の状態との兼ね合いで大被害となった場合もある。もしプレート境界での地震が発生したらもっと大きな被害の可能性が予想される。東海地震が懸念されるゆえである。

●地震を見守るネットワークの整備

日本では、地震予知への取り組みが早くから行われてきた。国としての地震予知計画は最終的には「業務として地震警報を出

すという地震予知の実用化」を目指し、1965年ごろから測地測量と地震観測を中心に、検潮、地殻変動観測、地球電磁気観測など、いわゆる前兆現象の検出や観測から本格的にスタートした。1969年には各地の地震予知観測機関の情報交換や情報の総合的判断を行う機関として、地震予知連絡会が設置され、各機関にも観測センターが設置された。

近年大きな力を発揮しているのが、宇宙技術を利用した測地測量である。全国的に展開されたGPS(Global Positioning System)観測網は、従来技術では10年程度かかっていた全国の地殻変動速度分布をわずか1年で可能にし、プレート活動に基づいて刻々と変化する日本全域の地殻変動をとらえる役割を果たしている。さらに、最近では国内だけでなく、世界各地との情報ネットワークの整備が進んでいる。しかし観測の密度や精度は向上したものの、地震発生現象がいかに複雑であるかがいっそう明確となり、いつ、どこで、どのぐらいの地震が起こるかという地震予知の実用化はあまり進んでいない。

●高層建築への耐震構造要素の適用

阪神・淡路大震災の建築物に関する被害では、木造家屋の倒壊が多く、鉄筋コンクリート構造や鉄骨構造でも中低層建築の崩壊などが目立った。とくに築後20年以上の建物の崩壊が多く、これは建てられた当時の耐震基準ではこの地震に耐えられなかったことを象徴している。

地震の揺れの動きは複雑な要素が絡み合っており、現在コンピュータ解析などを利用してても正確に再現することはむずかしい。しかも、建築物の荷重や構造はさまざまであり、地震時にどのような挙動(全体の揺れ、構造部の亀裂、破断など)を示すかを正確に予測することはできない。したがって、建築物の耐震性能が十分かどうかは正確には判断できないため、結果的に余裕を持った設計を行うことになる。

現在実施されている耐震設計は、1981年に施行された新耐震設計法をベースとしているが、さらに震災の教訓を生かし、地震を受けても壊れたり、崩れたりしないように、建築用鋼材にも建築物で使用される目的や箇所に応じた性能が求められている。SN材(建築構造用圧延鋼材)やボックスコラムについては、塑性変形性能や溶接性に関する規格の整備も進んでいる。また鋼矢板でも溶接性改善を図る新規格がさきごろ制定された。



世界最大級の実大構造物実験設備では7階建ての構造物の設置が可能(建築研究所)

耐震性能を高めるために、最近では「耐震構造要素」の採用が増えている。その例の一つが低降伏点鋼を使用した鋼材ダンパーである。低降伏点鋼は一般の構造用鋼材より降伏点が低く、伸びが高い性質を持つ。この低降伏点鋼を使用した履歴減衰型ダンパー（地震時の揺れによるくり返しの荷重履歴により地震エネルギーを吸収するダンパー）は、柱や梁より先に降伏を起こし振動エネルギーを塑性エネルギーとして吸収することで、主構造の損傷を抑えることができ、かつ信頼性も高い。また最近では、ナノ結晶化により常温高速超塑性を実現する亜鉛-アルミ合金を用いて、建物と同等の長寿命を持つダンパーが開発されるなど、新材料適用による制振性能向上への期待も大きい。

これ以外の耐震構造要素としては、CFT (Concrete Filled Tube)、アンボンドブレース、ハニカムダンパー、制振間柱、制振鋼板などがある。平成11年、12年に高層建築物の構造評定を行った結果について、委員長を務めた千葉大工学部教授の高梨晃氏は「鉄骨造の設計の特徴として、柱の大部分にCFTが使われ、鉄骨の中空部に高強度コンクリートが充填されていること、耐震構造要素は単体ではなく、2から3種を併用していることが挙げられる」という。

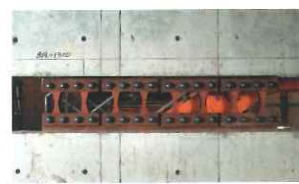
●歪みセンサーの働きをもつインテリジェント材料

橋などの土木構造物の耐震構造についての研究も進んでいる。土木研究所では、インテリジェント材料を活用した耐震構造技術の研究を進めている。最近の例では、TRIP鋼 (Transformation Induced Plasticity Steel) を鉄筋コンクリート橋脚の鉄筋の一部に使用し、被害を受けた場合にその歪み量を自己検知する歪み記憶センサーとしても活用する研究がある(注)。使用されたTRIP鋼はステンレス特殊合金で、外部から荷重がかかると結晶構造が非磁性から強磁性に変態する。また一度変態すると元の結晶構造にもどらず、過去の最大歪み量は磁気変化によって検出できる。したがって、TRIP鋼鉄筋に取り付けたコイルセンサーで歪み量を測定するのであるが、通常は電源が不用で計測時のみ通電することから、橋脚の地中など目視できない箇所でも検知できる特徴があり、実用性が高いものと期待されている。

また自己修復機能を持つインテリジェント耐震構造の材料として、形状記憶合金の活用が研究されている。これは、形状記憶合金の超弾性効果、形状記憶効果を橋梁ダンパーに利用することを目的としたものである。最近の成果では、超弾性効果が期待できる温度帯では形状回復性能にすぐれること、形状記憶効果が期待できる温度帯では地震による変形量が増大するほど減衰性能が高まることがわかった。また形状記憶効果をもつダンパーでは加熱することで、変形を回復できる特性があり、これらの点からダンパーとしては形状記憶効果を有するマルテンサイト相で設計することが有効であることが明らかになった。



鋼材ダンパーの例



ハニカムダンパーの例



亜鉛-アルミ合金を用いたメンテナンスフリー制振ダンパー。H型の穴から見える部分に新合金を使用している。



TRIP鋼鉄筋の試験用サンプル(左)と鉄筋コンクリート梁の模型(右)



●火山噴火—求められる噴火メカニズムの研究

世界に存在する活火山の約1割は日本にあるといわれ、古くから火山の噴火は日本の人々を苦しめてきた。噴火では、火山ガス、火山砕屑物、火砕流、溶岩流、山体の崩壊、地震などの被害が

日本初の火山観測拠点—浅間山

1783年(天明3年)、大爆発とともに、大量の火山灰と軽石を降らせ浅間山は噴火した。時速70km以上のドライ・アバランシュ(乾いた岩石流)により麓の鎌原村は一瞬のうちに埋没し、被害は広範囲におよんだ。1911年、日本初の火山観測所が浅間山に設置され、現在では東京大学地震研究所浅間山火山観測所が、火口周辺に

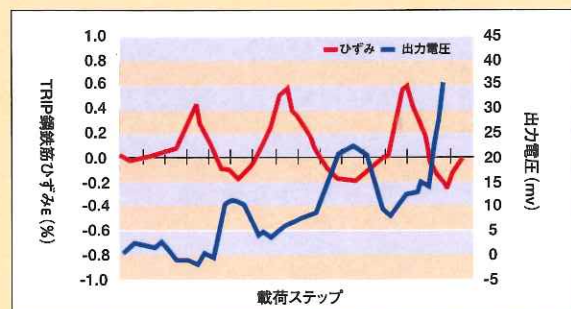
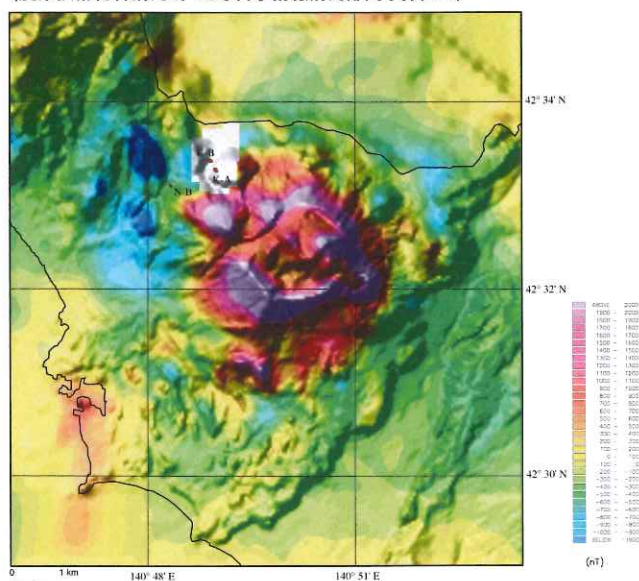


十数箇所のテレメーター地震観測点を配置するなどして、常時観測を行っている。

天明の大噴火による噴煙は1万メートル以上の上空に達したという。*

* 国土地理院資料と「浅間山火山地質図」(八木貞助著「浅間火山」付図)を重ね立体化したもの。八十二文化財団「地域文化」より。

有珠山付近の極磁力異常陰影(暖色系が高磁気異常を示した箇所)
(産業技術総合研究所・地球科学情報研究部門 資料より)



TRIP鋼鉄筋の歪み-電圧関係。電圧は歪みの累積にともなって上昇するので、歪み記憶センサーとしての可能性が研究されている。

起こり、また堆積物による泥流や津波などの二次被害を引き起こすことも多い。そのため、火山噴火も地震と同様、予知の重要性が叫ばれてきた。

2000年の北海道・有珠山の噴火では、まず小規模な火山性地震が観測され、続いて有感地震、低周波地震が発生し始めた。3月29日、住民に避難勧告が出され、「今後数日以内に噴火が発生する可能性が高くなっている」との緊急火山情報が発表された。30日には避難がほぼ完了し、周辺では地割れなどが確認され始め、翌31日13時過ぎ、有珠山が噴火した。この例では、日頃から有珠山を観測していた北海道大学有珠火山観測所など関係機関の情報蓄積により火山活動の変化を早い時期にとらえたこと、噴火前に避難勧告を出すことができたことなどにより、人的被害はゼロに抑えることができた。

今後とも求められる火山噴火に対する防災対策としては、噴火機構とさまざまな前兆現象との対応メカニズムを解明し、さらに個々の火山の活動状況を詳細に観測することが必要である。日本では現在、地震、地殻変動、重力などの基礎的な観測と、電場・磁場観測などの電磁気学的観測や熱的状態の監視などが行われている。

●水害—今後、心配される地球温暖化の影響

洪水を引き起す原因となるものはいろいろある。台風や梅雨前線などによる大雨、融雪などが、おもな原因であるが、山地斜面や扇状地、デルタ地帯など、地形によっても洪水の起こる被害の大きさは変わってくる。2000年9月に東海地方を襲った洪水では、庄内川水系の新川の水位が大幅に上がって堤防が決壊し、付近の浸水が約6,000戸となるなど、複合した原因によって甚大な被害を残した。

大きな水害や干ばつが発生する原因として、地球温暖化との関係を指摘する声もある。IPCC (Intergovernment Panel on Climate Change ; 気候変動に関する政府間パネル) の報告書によれば、現在のまま温室効果ガスが排出されていくと、地球の平均気温は2025年までに約1℃上昇し、海面水位は2030年までに平均約20cm、21世紀末までには最大1m上昇すると予想している。もし1m上昇すると、現在日本にある沿岸域、とくに砂浜は約90%が失われてしまうという試算もある。

そこで、水害を防ぐ構造物としては、河川の堤防やダム、放水路、港湾の高潮、津波対策としての水門などの研究開発が進められている。



日本最南端の沖ノ島島では、浸食による水没から島を守るため、直径50mのコンクリート護岸が設置され、その外側で鋼鉄製消波ブロック合せて約1万個が効果を発揮している。



水の勢いを弱め、水を誘導する—信玄堤

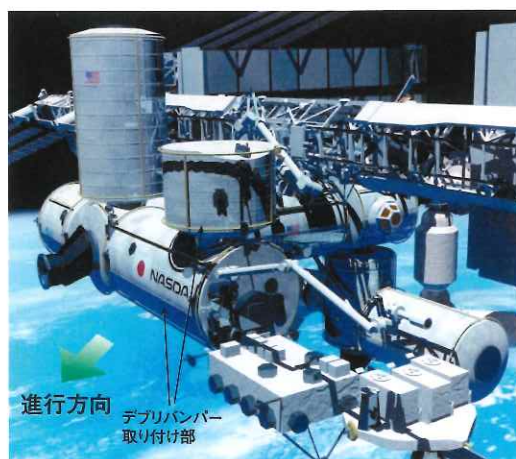
戦国時代の名将、武田信玄が今から450年前に築いた「信玄堤」は、河川土木学のはじまりと言われている。甲府盆地を流れる釜無川は、合流する御勅使川とともにたびたび氾濫をくり返してきた。そこで信玄は2つの川の合流方向を変え、水流を高岩にぶつけてエネルギーを減少させた。さらに堤防で水の流れを人家の集中しない方向へ誘導する、堤防を不連続に重複させ氾濫した水を川にもどすなどの対策を講じた。



川の合流方向の変更や堤の設置により、水流を誘導した。



衝突痕


国際宇宙ステーション「きぼう」では、
進行方向側にデブリバンパーが取り付けられている

シューメーカー・レビー彗星による木星の衝突痕(写真左下の黒い丸の部分)、その周囲にあるリングは衝突による衝撃波(1994年7月18日ハッブル宇宙望遠鏡撮影)。©NASA

●宇宙からの災害—地球に衝突する小天体

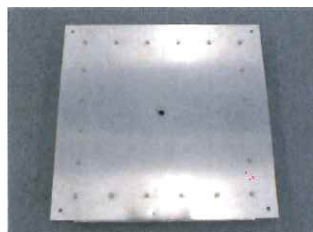
「アルマゲドン」や「ディープインパクト」で見られるような天体衝突の恐怖は映画の中だけの話ではなく、太陽系の中ではありふれた現象である。1990年メキシコで、飛行機による重力分布測定によってチュクシュループ・クレーターが発見され、これが今から6500万年前に恐竜を絶滅させた小惑星の落下の跡と考えられるようになった。さらに1994年、シューメーカー・レビー第9彗星が木星に衝突した。このとき、最高で地上2,200kmまで立ち上るキノコ雲などが観測され、その衝突エネルギーは広島型原爆4億個分に相当するという。地球上なら巨大クレーターが形成され、大地震、異常津波などの被害が起こるだろう。

この衝突をきっかけに、国際天文学連合を中心にNEO (Near Earth Object、地球軌道に接近する小天体)に関する国際会議が数多く開かれるようになった。そしてアメリカ空軍やNASA、ヨーロッパなどの協力を得て、世界規模の研究者集団である国際スペースガード財団が設立され、国内でも日本スペースガード協会が発足し、これらの研究機関では、NEOの発見や観測を行っている。直径1km以上の小惑星が地球に衝突する確率は数十万年に1度程度といわれるが、最近地球に接近した小惑星が400個くらい発見されていることを思えば、この宇宙からの災害に無関心ではいられない。

●宇宙空間の人工物が災害を生み出す

2001年3月、ロシアの宇宙ステーション「ミール」が廃棄されるため、その破片が日本上空に落ちてくる可能性があるというニュースが流れた。幸いにも、ミールは予定軌道で落下し、被害はなかった。

これまでに行われたロケットの打ち上げは4,000回以上、宇宙空間には数千トンの人工物体が残されているようだ。役目を終えた宇宙船、人工衛星は破片となり、スペースデブリ(宇宙ゴミ)と


約1cmの模擬デブリを秒速5.71kmで衝突させた後のバンパーとスタッフィング
(宇宙開発事業団によるバンパーの高速衝突試験結果)

して現在も地球の周回軌道上を約10km/秒という高速で回っている。地上からの観測では10cm以上のデブリは9,000個以上に達しているという。1996年、スペースシャトル・エンデバーに乗り組んだ若田宇宙飛行士が回収した日本の宇宙実験室には、500個近い衝突痕が確認された。

衝突してくるデブリから宇宙船を防御するため、現在進行中の国際宇宙ステーション (ISS) 計画では日本の実験船「きぼう」に、2種類のバンパー (防護壁) が取り付けられている。ひとつは、ホイップルバンパーで、アルミ合金板とMLI (多層断熱材) が重なった外壁全体を覆うもので、デブリの衝突エネルギーを熱に変え、デブリを気化してしまう。もう一つは、進行方向側につけられるスタッフィング入りバンパーで、アルミ合金板の内側にMLI、アルミメッシュ、セラミック繊維などの層を重ねた材料で、ちょうど防弾チョッキのような役割を果たす。

人類は宇宙利用技術など、昔なら手の届かなかった領域にまで踏み込もうとしている。自然災害を始めとして、予期せぬ災害を未然に防止するために、私たちは科学技術を駆使してさらにチャレンジを続けていかなければならない。

●(注)「次世代高性能・高機能耐震構造に関する実験研究」
通上、足立、星隈(土木技術資料 Vol.42, No.9より)

●取材協力
東京大学・地震予知研究所、建築研究所、土木研究所、(社)日本地震構造協会、鹿島建設(株)、(株)竹中工務店、産業技術総合研究所、国土交通省・関東地方整備局、宇宙開発事業団、(財)八十二文化財団、国立高松工業専門学校、国土交通省・甲府工事事務所