

Newton

GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

大特集
原発と大震災

脅威のM9, 悪夢のツナミ

すでに チェルノブイリ級のレベル7

福島原発

不気味にひかえる 首都圏, 東海・東南海・南海

超巨大地震

110ページ緊急総特集

6

2011

110 ページ緊急総特集

M9 地震, 津波, 原発事故 未曾有の大震災

2011 年 3 月 11 日, 突如襲ってきた M9 の超巨大地震と津波, そして福島原発の事故に, 日本列島は震撼した……。

SCIENCE SENSOR

- 5 予期せぬ素粒子? / 菌でマラリア退治 / 巨大ブラックホールあらわる / 火山湖が出す CO₂ 星は? / 混雑した惑星系
- 7 火星バーチャル旅行 / 病原菌の襲来を予知 / 小さな体に膨大な遺伝子 / 世界最古級の“義足”

学問の歩きオロジー

118 万能の天才 平賀源内 (7) — 源内, エレキテルを完成する

水谷 仁

源内の生涯を大きく左右したエレキテルにまつわるドラマにせまります。

126 STAR - WATCHING

うみへび座

渡部潤一

7 月号予告 130

Newton INFORMATION 133

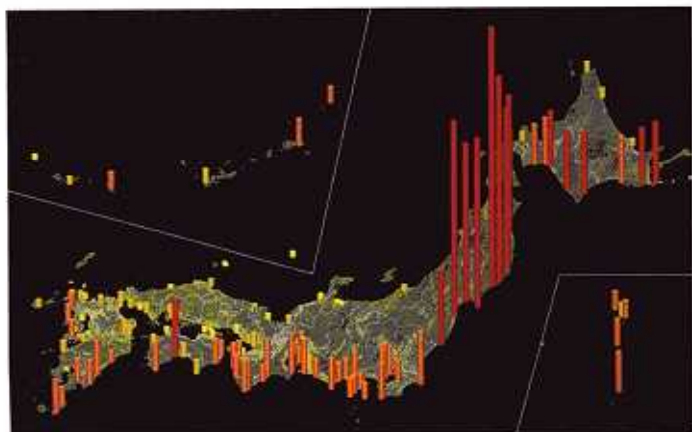
LETTERS 135

CONTRIBUTORS 141

2011 年前期総目次 142

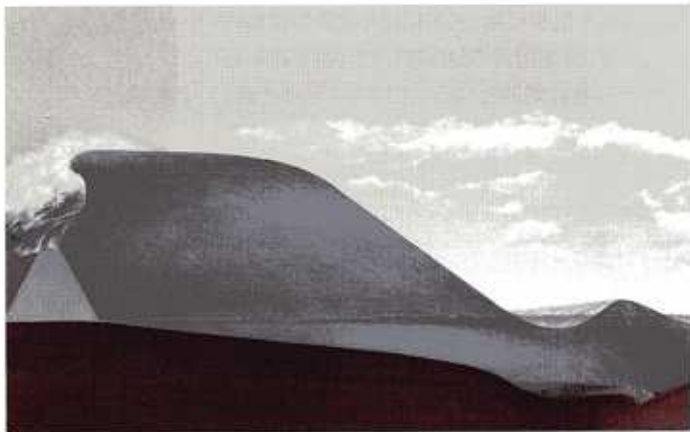
編集長室から 144

序章 10~17 東北地方太平洋沖地震 詳報



国内観測史上、最も大きな地震となった超巨大地震「東北地方太平洋沖地震」。東北地方を中心に、強いゆれと大きな津波がやってきたとき、各地では何がおきていたのだろうか。東北地方太平洋沖地震の全容を概観する。

第1章 18~39 超巨大地震はこうしておきた 東北地方太平洋沖地震とその津波のメカニズムにせまる



東北地方太平洋沖地震は、どのようなメカニズムで発生したのか？ 大津波はなぜ生まれたのか？ 地震の前兆から、400回をこえた余震まで。その全容にせまる。

協力 古村孝志／佐竹健治／水藤 尚／八木勇治／長谷川 昭／原口 強／橋本 学／今村文彦

第2章 40~77 徹底分析 福島第一原発事故 なぜ放射性物質が流出したのか？ その影響は？



地震と津波に端を発し、福島第一原発で災害が発生した。影響は関東広域に広がり、収束には時間がかかるとみられる。

協力 岡 芳明／米原英典／山澤弘実

第3章 78~117 次にひかえる超巨大地震 日本がこれから直面する大きな危機とは？



今後、日本の地震活動は活発化し、西日本でもM9クラスの地震がおきるのだろうか？ 地域別の地震発生確率、そして大都市が巨大地震に襲われた際の被害を予測する。

協力 佐竹健治／遠田晋次／古本宗亮／河田恵昭／石辺岳男／濱田政則／佐々藤二／藤原雅彦／藤井敏嗣



異なる微生物間の相互作用を利用

自然界に無数に存在する微生物たちは、さまざまな相互作用で拮抗あるいは共存している。仲間どうしのコミュニケーションを妨げる、糸状菌に学ぶ抗病原性物質の探索とは？

感染症の予防や治療には、おもに抗生物質が使われます。ところが、抗生物質の効かない耐性菌が次々と出現し、大きな社会問題となっています。そのため、近年注目されているのが、バクテリア(細菌)自体を殺すのではなく、病原性因子の生産メカニズムを阻害する抗病原性薬の開発研究です。

バクテリアはクオラム(シグナル物質)を放出し、仲間どうしてコミュニケーションをとっています。仲間が増えてクオラムが一定以上の濃度になると、細胞内に取り込まれて受容体(レセプター)と結び付き、病原性因子を生産するための遺伝子が発現します。これにより、感染から増殖、そして発症へと至るのですが、このメカニズムはクオラムセンシングと呼ばれています。

これを阻害することで病原性因子の生産を抑制し、バクテリアを殺すことなく感染症を防ぐことができ、生命の危機を感じて耐性菌が出現することがなくなると考えられるのです。そこで注目したのが、カビ(糸状菌)とバクテリアの相互作用でした。たとえば一握りの土の中には無数のカビやバクテリアが棲んでいます。互いの生育を阻害したり、共生したりとさまざまな関係が存在しています。そこで、カビの代謝物中にクオラムセンシングを阻害する物質があると考えたのです。

これまでの研究で阻害活性を有する物質が発見され、その構造決定も行われました。また、構造改変により活性を上げる研究なども進められています。反対に、クオラムセンシングを促進する物質も発見されており、微生物間の新たな相互作用の解明へとつながることも期待されています。



クロモバクテリウムビオラセウムを使った阻害実験
クオラムセンシングで紫色の色素を生産するグラム陰性菌である、クロモバクテリウムビオラセウムを培養し、カビの培養物を処理した様子を観察したもの。菌の周囲の色素がない部分(黄色く見える)は、クオラムセンシングが阻害されている。

伝統的な天然物化学から新たな試みを

大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科
甲斐建次 助教

学生時代から植物や微生物のつくる生理活性物質についての研究を行ってきました。天然物化学と呼ばれる学問分野です。現在は、微生物どうしの相互作用をつくり出す情報物質に特に興味を持っています。そういった基礎的な知見の蓄積が、私たちに悪い影響を及ぼしてしまう微生物を制御する手段につながるのではと考えています。天然物化学は、新しい技術や方法論が次々と確立される他の分野と比べると、古くさい印象を持たれがちです。しかし、生き物が長い時間をかけてつくり上げてきた天然物には、私たちが知らない役割や可能性が秘められていると思っています。異なる微生物間の相互作用を利用しようとする中で、新しい情報物質や天然物の新しい機能が見えてきそうです。自然(生き物)に学ぶという天然物化学の原点から新しい試みにチャレンジしていきたいですね。

積水化学は「自然に学ぶ」研究を
助成しています

百年先、千年先を見据えた、持続可能な社会の形成に向けて……。

「積水化学 自然に学ぶものづくり 研究助成プログラム」は、生物模倣科学、バイオ技術、再生可能資源などを活用する材料研究や関連技術の開発を応援しています。

積水化学工業株式会社

<http://www.sekisui.co.jp/>

お客様相談室 TEL:03-5521-0505(東京) TEL:06-6365-4133(大阪) 〒105-8450 東京都港区虎ノ門2-3-17(虎ノ門2丁目タワー)

<この広告に関するご意見・お問い合わせは、(E-mail)market@sekisui.jp までお寄せください。>

予期せぬ素粒子?

従来の物理学をかえてしまう可能性のある素粒子があらわれたかもしれない。

● Fermilab Today 2011年4月7日

物質の“材料”である素粒子の性質は、多くの実験によって検証を受けた「標準理論」で説明される。この理論では、物質のもつ質量にかかわる「ヒッグス粒子」が登場する。しかし、実はこのヒッグス粒子は未発見だ。ヒッグス粒子は、陽子などの粒子どうしを超高速で衝突させると生じる可能性がある。そのため、世界各地で粒

子の衝突実験が進行中だ。

フィンランド、ヘルシンキ大学のアルトネン博士らは、アメリカ、フェルミ国立加速器研究所の加速器「テバトロン」による陽子と反陽子（負の電荷をもち、陽子と同じ質量の粒子）の衝突実験で得られた膨大なデータを解析した。その結果、未知の予期せぬ素粒子の存在が示された。この素粒子はヒッグス粒子ではなく、標準理論で説明できないものだという。つまり、新しい物理学の誕生につながるかもしれないのだ。

ただしこの結果の真偽を確かめるため、さらなるデータの蓄積が必要だ、と博士らはのべている。

菌でマラリア退治

遺伝子を組みかえた菌類を使い、蚊の体内にいるマラリア病原虫を駆除できた。

● Science 2011年2月25日号

マラリアは、蚊の体内にいる病原虫による感染症である。この病原虫をもつ蚊に刺されると感染するリスクがあり、世界中の半分近くの人をおびやかしているといわれる。予防策として、マラリア病原虫や蚊に対して殺虫剤が使われる。しかし近年、広く使われている殺虫剤の成分に耐性をもつ蚊があらわれた。そのため、かわりの

方法が必要となってきた。

アメリカ、メリーランド大学のファン博士らは、昆虫に感染する「メタリジウム菌」を使ったマラリア病原虫の駆除法を開発した。マラリア病原虫は蚊の唾液腺へと移動する。そこで博士らは菌の遺伝子を組みかえ、蚊の唾液腺に病原虫がくっつかないようにする分子と、病原虫にきく毒素を同時につけることができるようにした。この菌を蚊に感染させたところ、唾液腺でみつかるマラリア病原虫の数が98%減ったという。

今回開発された菌類は、マラリアへのよい対抗策になるかもしれない、と博士らは考えている。

巨大ブラックホールあらわる

誕生からまもない小さな銀河で、巨大ブラックホールがみつかった。

● nature 2011年2月3日号

大きな銀河には、星などが多く集まった「バルジ」とよばれるふくらみを中心部にもつものがある。バルジの中心には、巨大ブラックホールがあると考えられている。巨大ブラックホールの誕生や成長のしくみはなぜであり、巨大ブラックホールとバルジのどちらが先にできるのかはよくわかっていなかった。



可視光（赤・青・緑）と電波（黄に着色）、X線（紫に着色）を重ね合わせた画像。

アメリカ、バージニア大学のライネス博士らは、銀河進化の初期段階にある小さな銀河「Henize 2-10」を観測した。その結果、中心から電波やX線が出ていることを発見した。くわしい分析から、そこには太陽の100万倍もの質量をもつ巨大ブラックホールが存在することがわかった。この銀河にはバルジがないため、巨大ブラックホールがバルジよりも先に形成されたと考えられるという。

また Henize 2-10 は、宇宙の初期の銀河と似ている。そのため、宇宙初期の銀河でも巨大ブラックホールが先に形成されるのかもしれない、と博士らはのべている。

火山湖が出すCO₂量は?

世界各地の火山湖から放出される二酸化炭素の総量をはじめて明らかにされた。

● Geology 2011年3月号

世界各地の陸上火山から放出される二酸化炭素（CO₂）の総量は、毎年約3億トンになるといわれる。一方、火山湖から放出される二酸化炭素の総量については、試算もされていなかった。

スペイン、カナリー諸島の再生可能エネルギー技術研究所のベレス博士らは、この総量についての研究を進めてきた。博士らはまず、

世界各地の火山湖をアルカリ性の強い湖、中性の湖、酸性の強い湖に分類し、それぞれの二酸化炭素放出量を算出した。調査した火山湖の総数は、769か所にも達した。調査した火山湖のうち、酸性の火山湖からの1日の総放出量は、1平方キロメートルあたり614トンと最も多く、アルカリ性の火山湖では5.5トンと少ないこともわかったという。

結論として、すべての火山湖からの二酸化炭素放出量は、毎年約1億2000万トンにもなるという。ただしこれは、人類が放出する二酸化炭素の総量の0.3%くらいである、と博士らはのべている。

混雑した惑星系

せまい範囲に五つの惑星がひしめく、系外惑星系が発見された。

● nature 2011年2月3日号

NASA（アメリカ航空宇宙局）の「ケプラー」は、太陽系外の惑星を探索するための宇宙望遠鏡だ。惑星が恒星の前面を通過する際に、恒星の光が一部さえぎられる効果を利用して惑星探索をしている。それぞれの惑星の、固体部分の材料物質や、大気はあるかどうかなどを推定できるのがケプラーの利点だ。

今回、ケプラーの観測によって、太陽に似た恒星「Kepler-11」を周回する興味深い惑星系が発見された。6個の惑星があり、そのうちの5個は、太陽系における水星軌道よりも内側の領域に密集していた。アメリカ、NASAエイムズ研究センターのリサウアー博士らによると、5個の惑星の質量は、地球の約2～10倍で、そのうちの3個は質量の10%以上におよぼ厚い大気をもつと推測された。

これらの惑星の密集した配置や、厚い大気をもつわりに小さいという特徴は、惑星系の形成過程について新たな手がかりをあたえる、と博士らはのべている。

人気 No.1は
英語

(アメリカ)

※2010年、自社販売実績より

他30言語
ラインナップ!

この男、 ロゼッタ人。

英語、中国語、スペイン語も。
この男。侮れない。



今までの「英語学習法」に満足できなかったあなたへ。

①



Rosetta COURSE™

自然で直感的なプログラム。

子供がことはを自然に覚えるように
無理なく自然に身につけることが
できます。またiPhone®などでいつ
でもどこでも復習できます。

②



Rosetta STUDIO™

ネイティブコーチとのライブ会話。

Rosetta Courseで身につけたスキルを
ネイティブとのオンラインセッションを
通して強化。コミュニケーションがさら
に楽しくなります。

③



Rosetta WORLD™

オンラインゲームで楽しく復習。

他のユーザーとオンラインゲームや
チャットを通して、遊びながら実践
的な会話力を身につけることが
できます。



カスタマーサクセス

あなたの目標達成をサポート。

あなたの目標を開かせてください。
サクセスエージェントがあなたの
目標達成を徹底サポートします。

トータル

NEW Rosetta Stone® TOTALe™ 登場。

※ご利用13歳以上の方のみ対象。製品ご購入後6ヶ月以内に利用登録いただく必要があります。また利用登録後、製品に付いて最大13ヶ月間、無料で利用できます。

外国語を母国語にする。 **RosettaStone®**



安心の6ヶ月返品保証 CD-ROM版に購入のお客様が対象となります。オンライン版は対象外となりますので、ご了承ください。弊社のホームページ・カスタマーセンター・各書店で
CD-ROM製品を直接ご購入いただいたお客様に限り。送料につきましては、お客様にご負担をお願いしております。(不良品等を除く)購入時の製品パッケージ内容すべてが揃っていること、
製品に損傷がない場合に限り、返品・返金を受け付けております。iPhoneは、米国及びその他の国々で登録されたApple Inc.の商標です。©2011 Rosetta Stone Ltd. All rights reserved.

0120-725-240

午前9:00～午後6:00(月～土曜日、祝日を除く)

東北地方太平洋沖地震において被災された皆様とご家族の方々へ、心よりお見舞い申し上げます。

■ロゼッタストーンの支援と取り組みについてはこちらから▶ [ロゼッタストーン](#)

[検索](#)

ロゼッタストーン・ジャパン株式会社

火星バーチャル旅行

火星探査の模擬実験で、3人の宇宙飛行士が模擬火星へ到着した。

● ESA ニュース
2011年2月14日

2011年2月12日、3人の宇宙飛行士が「火星への着陸」に成功した。——とはいっても、これはヨーロッパ宇宙機関（ESA）とロシア宇宙局が実施する国際プロジェクト「Mars500」の大規模な模擬実験で的一幕である。

この模擬実験では、火星へ向かう宇宙船に見たてたロシア生物医



Mars500 は、のべ 520 日間にわたる壮大な模擬実験だ。

学問題研究所内の隔離施設で、6人のクルーが共同生活をしてきた。将来の実際の有人火星飛行のため、心理的、生理的影響のデータを蓄積するのが目的だ。これまで8か月の仮想飛行を体験し、火星軌道に到達後は、模擬的な「火星着陸」の準備を進めていた。宇宙服に着がえた3人のクルーは、着陸船に見たてた区画に移り、火星に「降下」した。そして模擬火星に降り、約3時間作業を行った。

着陸船内での活動は16日間にわたり、その後3人は「宇宙船」へもどった。地球帰還までのさらなる8か月、隔離された過酷な環境で模擬実験がつけられる予定だ。

病原菌の襲来を予知

植物は、病原菌に感染しやすい時間帯にあわせた免疫を準備しているようだ。

● nature 2011年2月3日号

植物には、幅広い病原体に対する免疫がある。この免疫のくわしい分子レベルのしくみは、ほとんどわかっていない。

アメリカ、デューク大学のワン博士らは、免疫反応の指令を出す遺伝子が突然変異したシロイヌナズナを、正常なものと同時に、ある病原菌に感染させた。そして、感染時にはたらくさまざまな遺伝

子の変化を時間ごとにくらべた結果、防御のための細胞死と病原菌への抵抗性にかかわる遺伝子群を発見した。それらの遺伝子のはたらきは、約24時間のリズムをきざむ分子により周期的に調節されていることがわかった。遺伝子のはたらきが高まる時間帯は、病原菌が胞子をまき散らす夜明けに一致しており、植物は感染にそなえていると考えられるという。

免疫にともなう細胞死などの反応は、植物にとって負担にもなる。限られた時間だけ免疫をはたかせる今回のしくみがそのような負担を軽くしているようだ。と博士らは仮説を立てている。

小さな体に膨大な遺伝子

ミジンコは、ヒトをしのぐ3万個の遺伝子をもつことが判明した。

● Science 2011年2月4日号

ミジンコは、環境に応じて体の形や血の組成、あるいは生殖法まで変える。ミジンコのその高い適応能力をもたらししている遺伝情報は、長い間なぞに満ちていた。

アメリカ、インディアナ大学のコルボーン博士や東京薬科大学の時下進一講師などのグループは、ミジンコの遺伝情報がかけられたDNA（デオキシリボ核酸）配列を

解読した。すると、短いDNAの中に3万907個の遺伝子がつめこまれていた。これはヒトを含むこれまで解読された動物の中で最多だ。そのうち3分の1は、ミジンコ特有の遺伝子だった。これらの遺伝子の多くは、DNA内に生じたコピーが変化し新たな機能をもつようになったものであり、ミジンコが多様な環境に適応してきた過程でつくりだされたものと推察された。

ミジンコ特有の遺伝子を研究すれば、その環境適応や進化の歴史もわかる。また環境適応にかかわる遺伝子が突き止められれば、同じ甲殻類のエビやカニの養殖にも役立つだろう、とみられている。

世界最古級の「義足」

右足親指をおぎなう古代エジプトの義指は、実用的であることが示された。

● The Lancet 2011年2月12日号

義足は、紀元前のエジプトやローマにすでにあったとされる。だがこの時代の情報は不確かで、儀礼の用途も否定できなかった。

イギリス、マンチェスター大学のフィンチ博士は、失った足の指をおぎなう義足の一種「義指」の実用性を、古代エジプトの2例で検証した。一つは木と革でつくられた右足の親指で、紀元前950年



古代エジプトの義指

手前が世界最古といわれるもので、奥が皮膚の色やつめが表現されたもの。

～紀元前710年の女性ミイラに装着されていた。この女性は糖尿病で右足親指を切断されていたらしい。この義指が世界最古とされる。もう一つは、紀元前600年ころの、右足の親指から甲にかけてのものだ。これは、のりにひたした麻をしんにしてしっくいを上塗りしたものであり、皮膚の色とつめが表現されていた。

博士はこれらの義指の複製を、右足親指を失った2名に実際に着用してもらった。彼らによると、いずれも快適で使いやすかったという。博士は、古代エジプトの医療の一端がまさに人々の足もとを照らしていた、とのべている。

M9 地震，津波，原発事故 未曾有の大震災

次にひかえる超巨大地震にせまる

2011 年 3 月 11 日，宮城県沖で発生した超巨大地震（M9.0）によって，日本は東北地方を中心に，はげしいゆれと巨大な津波に襲われた。1 か月以上たってもなお，M6，M7 級の余震に頻繁にみまわれている。さらに，津波が福島第一原子力発電所を直撃し，放射性物質の漏洩という脅威ももたらした。

いったいどうして超巨大地震はおきたのか。今後，日本がさらなる超巨大地震にみまわれる可能性はあるのか。そして，福島第一原発はどうなっていくのだろうか。本特集では，大地震と原発事故の真相に科学的な視点でせまる。

協力

古村孝志
佐竹健治
水藤 尚
八木勇治
長谷川 昭
原口 強
橋本 学
今村文彦
岡 芳明
米原英典

東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター教授
東京大学地震研究所教授
国土交通省国土地理院地理地殻活動研究センター研究官
筑波大学大学院生命環境科学研究科准教授
東北大学大学院理学研究科名誉教授
大阪市立大学大学院理学研究科准教授
京都大学防災研究所地震予知研究センター教授
東北大学大学院工学研究科教授
早稲田大学理工学術院特任教授
放射線医学総合研究所規制科学研究プログラムプログラムリーダー

山澤弘実
遠田晋次
古本宗充
河田恵昭
石辺岳男
濱田政則
佐々恭二
篠原雅彦
藤井敏嗣

名古屋大学大学院工学研究科教授
京都大学防災研究所准教授
名古屋大学大学院教授
関西大学社会安全研究科長
東京大学地震研究所特任研究員
早稲田大学理工学部教授
京都大学名誉教授
消防庁消防研究センター主任研究官
環境防災総合政策研究機構環境・防災研究所所長



上の写真は、今回の地震で発生した津波が住宅を飲みこみ、押し流していくようすを撮影したものである（宮城県名取市）。

目次

序章 東北地方太平洋沖地震 詳報 …… 10 ～ 17

- 10 …… 緊急特集号によせて
- 12 …… 東北地方太平洋沖地震データ編
- 14 …… 東北地方太平洋沖地震まとめ

第1章 超巨大地震はこうしておきた …… 18 ～ 39

- 20 …… その日、何がおきたのか？
- 24 …… 前兆はあったのか？
- 28 …… 超巨大地震のメカニズム
- 32 …… 大津波のメカニズム
- 36 …… ゆれた首都圏
- 38 …… 余震

第2章 徹底分析 福島第一原発事故 …… 40 ～ 77

- 42 …… 空から見る原発の惨状
- 46 …… しくみから読みとく事故の推移
- 62 …… 放射性物質の流出と汚染
- 66 …… 放射線・放射性物質 Q&A
- 70 …… 過去の原因事故と比較する
- 76 …… 原子力発電の現状

第3章 次にひかえる超巨大地震 …… 78 ～ 117

- 80 …… 世界の超巨大地震
- 82 …… 活発化する日本の地震活動
- 88 …… 日本の連動型巨大地震
- 96 …… 大都市を襲う地震災害
- 102 …… そのとき何がおきるのか？
- 112 …… 日本を襲う大地震 資料編

緊急特集号によせて

さる3月11日、日本がこれまでこうむったことのないような大地震、大津波が発生した。この歴史的な自然現象に襲われた国土と人々の姿を映しだすテレビ画面に、私は胸をしめつけられた。自然の力に圧倒された。いささかなりとも地球科学を学んだ私は、このような大きな災害をもたらした自然現象の発生をなぜ、あらかじめ人々に伝えられなかったのか、なぜ必要な防災組織をつくりあげられなかったのか、深い悔恨の思いにとらえられている。

この大地震と大津波によって福島第一原子力発電所は、危機的な状況におちいった。絶対安全と伝えられていた（多くの人はこの安全神話を疑ってはいたが）原子力施設がこわれ、放射性物質を大気に、海に広げてしまった。

この地震や津波は想定外だったといわれる。しかし私はこの「想定外」という言葉が発せられるたびに、長い物理学の歴史の中から生まれた有名な格言を思い出す。それは「理論的にありえるものは、必ず自然界に存在する」というものであり、実験物理学では同様な意味で「理論的にありえる失敗は、かならずおこる」というものである。

その昔、ブラックホールが理論的にありえるといわれたときに、当時の大多数の天文学者はそんな不可思議なものが実在するはずはないと考えたという。科学者でさえ、それまでの不十分な観測にとらえられて、新しい理論を取り入れることには困難があったのである。それでも今、ブラックホールの実在を疑う人はほとんどいない。

1960年、太平洋の東端のチリでマグニチュード9.5の地震がおきたとき、地球科学者は太平洋をはさんで対岸に住むわれわれのところでも、マグニチュード9以上の地震が理論的にはおこりえると考えたはずである。しかし科学者は150年あまりの短い期間の観測結果にとらえられて、日本列島の周辺でマグニチュード9以上の地震が現実におこるとは考えなかったのである。どうして「日本にもマグニチュード9以上の地震がおこりえる」ともっと大きな声を発しなかったのか？　これが地球科学者としての私の悔恨の大きな理由である。

2011年3月11日におきた未曾有^{みぞう}の自然現象とはどういうものだったのか。未曾有の自然現象に誘発^{ゆうはつ}された未曾有の人災としての原子力発電所の事故は、いったいなぜおきたのか。『ニュートン』は全力をあげてこの歴史的事件がどういうものだったのか、解明しようと考えた。この大地震・大津波という自然現象、原子力発電所でおきた事
の事実をひとつずつ明らかにすることが、将来の日本の防災につながると考えるからである。

とくにこの地震は世界でもっとも整備された観測^{もう}網が展開されている地域におきた、世界最大級の地震であるから、この地震から私たちは多くのことが学べるはずである。そんな記事では被災された多くの方々を慰^{なぐさ}めることはできないが、将来同じような悲しみにあう人をひとりでも少なくすることにつながるであろう。

なお、『ニュートン』では、今後もこの地震・津波そのものや、地震にともなった災害^{さいがい}について随時報告していきたいと考えている。

最後にひとつ。テレビや新聞の報道で、いかに専門家という人たちがたよりにならないかという事を感じられた方もあるだろう。またこれらのメディアで報道される内容についても世界の報道とくらべると、むしろ外国の報道の方がくわしく、正確な場合があることにも気づかれた人も多いにちがいない。これはある意味で、科学する力が、まだ日本人ひとりひとりの身となり肉となっていないことを示しているように私には思われる。

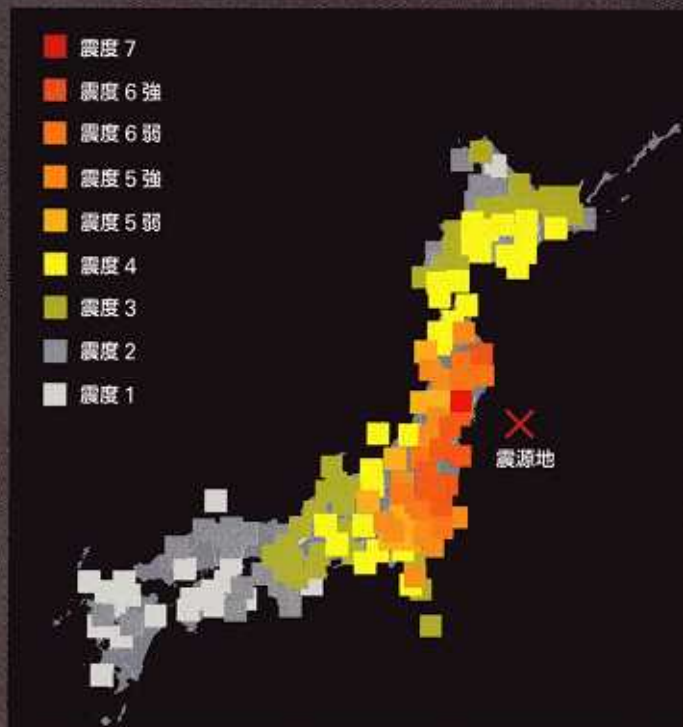
結局はわれわれ自身もわれわれの国土も、国民ひとりひとりの力で守るしかないという事を、あらためて感じさせられている。ひとりひとりが正しい科学的^{かんよう}能力を涵養することこそ、将来の日本にはとても大切なのだ。報道される内容を正しく判断できる力も国民に求められている。

本特集が、読者のみなさんの将来の力の糧^{かて}として、役立てられることを願ってやまない。

データでみる東北地方太平洋沖地震

マグニチュード9.0の超巨大地震である東北地方太平洋沖地震が発生したとき、国内ではどんなことがおきていたのだろう。さまざまなデータをもとに、地震のもたらしたゆれや津波の状況、そして各地の被災状況を概観する。

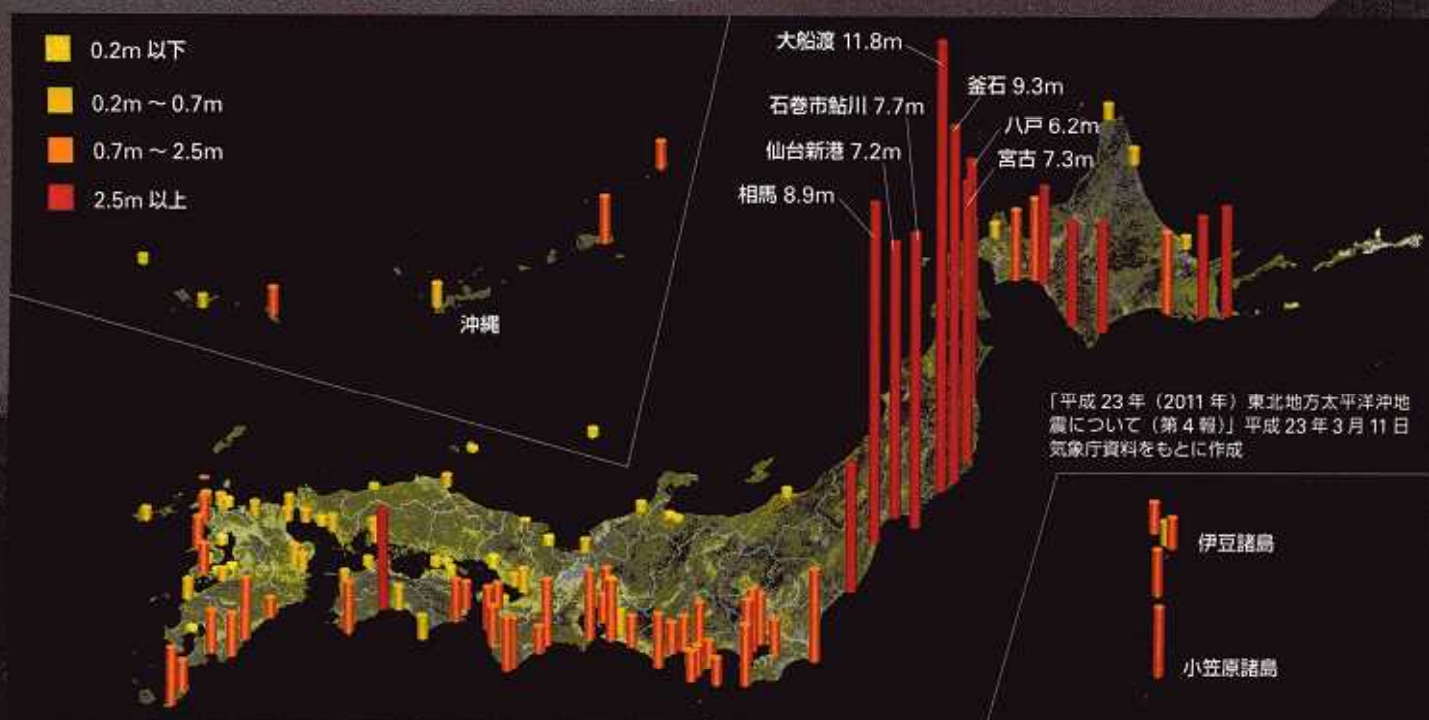
東北地方太平洋沖地震による各地の震度



左のイラストは、東北地方太平洋沖地震の本震が発生したときの各地の震度を示している。震度は、ゆれのはげしさをあらわす指標で、日本では0、1、2、3、4、5弱、5強、6弱、6強、7の10段階に分けられる。各観測地点には地震計が設置されており、到達した地震のゆれの加速度などを記録する。震度はこのデータをもとにはじき出されるのだ。

この図をみると、東北地方では、太平洋側と日本海側で震度の大きさがはっきり分かれている。太平洋側沿岸一帯は、震度5強から6強の揺れに襲われている。ちなみにこの地震で最も大きく揺れた場所は宮城県内陸の栗原市で、震度7を記録した。

東北地方太平洋沖地震で各地に到達した津波の高さ



上の図は、地震後、11日および12日にかけて、各沿岸部の観測所が記録した津波の高さ（最大値）をあらわしている。ただし、東北地方太平洋岸の観測地点では、観測施設が被害を受けており、実際の津波の最大値が得られていないところがある。そのような観測地点付近では、建物などに残された津波の痕跡などから、津波の高さを推定している。なお、地域によっては15メートル以上の津波がきたと推定する研究チームもある。

東北地方太平洋沖地震が引き起こした各地の災害状況

「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の被害状況と警察措置」
平成 23 年 4 月 3 日警察庁資料をもとに作成

			人的被害			建物被害						道路損壊	橋梁被害	山崖崩れ	堤防決壊	鉄軌道破損
			死者	行方不明	負傷者	全壊	半壊	床上浸水	床下浸水	一部破損	非住家被害					
北海道			1		3			356	410	4	22					
東北	青森		3	1	66	100	13	57	21	4	2	2				
	岩手		3,540	4,553	130	12,474	1,062	41		603	172	26	4	3		
	宮城		7,374	6,369	1,136	29,499	1,894	36	20	4,737	2,491	1,006	10	51	4	23
	秋田				7					3	3	9				
	山形		1		18	37	78					15		26		
	福島		1,113	4,626	220	2,413	958	120		6,944	469					
東京			7		77	3	6		2	239		16	1	1		
関東	茨城		22	1	664	376	2,155	1,394	545	66,779	889	307	41			
	栃木		4		133	132	1,088			30,147	295	257		40		2
	群馬		1		35					13,011	195	7		4		
	埼玉				42		5		1	1,800	33	160				
	千葉		17	2	209	647	1,537	762	347	13,398	109	321		11		1
	神奈川		4		127					8						
	新潟				3					9	7					
	山梨				1											
四国	徳島							2	8							
	高知				1			6	10							
計			12,087	15,552	2,876	45,681	8,796	2,774	1,371	137,690	4,687	2,126	56	136	4	26



「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（第 92 報）」平成 23 年 4 月 3 日消防庁資料をもとに作成

超巨大地震が日本列島をゆさぶった

2011年3月11日。この日、日本列島は、国内観測史上、最も大きな地震に襲われた。宮城県、福島県、茨城県、栃木県の4県で震度7から6強のゆれが、さらに北海道から九州地方にわたる広い範囲で、震度6弱～1のゆれが観測されたのだ。

この強いゆれだけにとどまらず、地震はさらに海から大きな「魔物」を送りこんできた。「津波」である。14時49分、気象庁は日本の太平洋沿岸ほぼ全域について、大津波警報、津波警報、津波注意報を発令した。それから3時間の間に、東北地方太平洋沿岸には6メートル以上もの高さになる津波が次々とおし寄せたのである。

津波の被害を受けたのは日本だけでない。この地震を受けて、ハワイの太平洋津波警報センターは、太平洋地域のほぼ全域に津波警報を発令した。その結果、沿岸部の住人が避難をした国もあった。

気象庁は、この地震を「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」と命名した。地震の大きさを知る指標の一つとしては、ゆれのはげしさをあらわ

す「震度」のほかに「マグニチュード」がある。マグニチュードは、地震がおきたときに開放されるエネルギーの大きさをあらわすものだ。気象庁は最初、この地震のマグニチュードを8.4(M8.4)と発表した。しかしその後8.8へ、そして13日、9.0へと修正した。

マグニチュードの値が1大きくなるだけで、地震のエネルギーは約32倍も大きくなる。0.1大きくなると約1.4倍だ。1995年におきた阪神・淡路大震災（兵庫県南部地震）はマグニチュード7.3であった。つまり今回の地震は、兵庫県南部地震のおよそ360倍のエネルギーをもっていたことになる。1900年以降に世界で発生した地震のマグニチュードとくらべてみると、今回の地震は4番目に数えられるほどの歴史的な規模の地震だった。

岩手沖から福島・茨城沖にわたってプレート境界がずれた

日本を直撃したマグニチュード9.0の超巨大地震。いったいどのようなしくみで引き起こされたのだろうか。

地震を引き起こす「犯人」は、地球表面をおおっている「プレート」とよばれる岩の板である。地球は十数枚のプレートでおおわれており、日本の周辺には四つのプレートが存在する。



マグニチュードが示すエネルギー量のちがい

M9.0 を生んだメカニズムとは？

これまでに知られているかぎり、マグニチュード9.0級の超巨大地震はすべて、海側のプレートが陸側のプレートの下にもぐりこむ「プレート沈みこみ帯」で発生した「プレート境界地震」である。

東北地方太平洋沖地震も例外ではない。東日本の太平洋沖には、南北にはしる日本海溝がある。ここで、東から移動してきた太平洋プレートが、東日本をのせた北アメリカプレートの下に沈みこんでいるのだ。

「プレート」といっても、その表面は決して平らではない。海のプレートの上には、海山などの凹凸があり、これが沈みこむと、上側にある陸のプレートの下にくっつくと考えられている。このくっついた領域を、「固着域（アスペリテイ）」という。

プレート沈みこみ帯で、海のプレートは文字どおり地球深部へと沈みこんでいく。すると、アスペリテイでくっついている陸のプレートの一部も、地球深部へとずりずりと

■ プレート境界地震の発生メカニズム

ここでは、アスペリテイ（固着域）にエネルギーが蓄積され、地震が発生する過程をえがいた（1～3）。プレート境界では、このメカニズムによって周期的に地震が発生する。東日本の太平洋沖では、これまでは地震が発生するたびに、ひすみをすべて解放したとみられていた。しかし、すべては解放されず、少しずつくりこまれて蓄積し、東北地方太平洋沖地震のような超巨大地震になったと、古村教授は指摘している。



1. 地震エネルギーの蓄積がはじまる

アスペリテイで陸のプレートと海のプレートが強くくっつく。



2. ひすみがたまっていく

海のプレートの沈みこみにともなって、アスペリテイも引きずりこまれ、ひすみがたまる。



3. 地震発生

アスペリテイの強度が限界をむかえ、アスペリテイがこわれる。アスペリテイによってひきずりこまれていた陸のプレートがいきなり元の位置にもどり、地震が発生する。



東日本沖のアスペリテイ。東日本の地殻変動が一定ではないことから、これらの位置が推測されている。小規模なアスペリテイが多いため、これまではマグニチュード9.0級は発生しないとみられていた（Hashimoto et al., 2009をもとに作成）。

引きずりこまれる。一方、アスペリティでくっついていない周辺の領域では、陸のプレートはほとんど引きずりこまれない。その結果、弓の弦をひくように陸のプレートはしなって、ひずみをためていく。

やがて限界が訪れる。ひずみに耐えきれなくなったアスペリティがこわれるのだ。すると、解き放たれた矢のように上側のプレートが一気にもどる。大地震の発生だ。

東日本の太平洋にはいくつものアスペリティが存在する。東北地方太平洋沖地震は、このメカニズムによるプレート境界地震の典型といわれている。

阪神・淡路大震災とは、地震のタイプがことなる

東北地方太平洋沖地震は、典型的なプレート境界地震といわれている。その一方で、プレート境界ではない、プレート内部でおきる地震も多い。兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災：マグニチュード7.3）や新潟県中越地震（マグニチュード6.8）がそれだ。

こうした地震は、プレートがほかのプレートから力を受け、プレート内にある「活断層」がずれ動くことによって発生する。

こうしたプレート内部の地震には、知られているかぎりマグニチュード9.0級の超巨大地震の発生例はない。日本で最大級のものは、1891年の濃尾地震があり、そのマグニチュードは8.0である。

プレート内の地震はマグニチュードが小さくても、陸の真下でおきるため、直上には大きなゆれと被害が生じる。そのため、同様に注意が必要である。たとえば、兵庫県南部地震では最大震度7を記録した。

東北地方沖では、超巨大地震は発生しないと思われていた？

プレート境界には、大きく分けて「チリ型」と「マリアナ型」がある。チリ型は、浅い角度で海側のプレートが沈みこみ、プレート同士が広くくっつく（アスペリティが広い）とみられている。

一方で、マリアナ型は、海側のプレートが急な角度で沈みこむため、プレートどうしが広くくっつくことはなく、小規模のアスペリティが点在する。

巨大地震を研究する筑波大学の八木勇治准教授によれば、マリアナ型では超巨大地震は発生しないと考えられていたという。東北地方沖の日本海溝はマリアナ型に近いと考えられており、マグニチュード9.0級は想定外だった、と八木准教授は話す。

こうしたデータは、過去100年から数百年ほどの統計データにもとづいている。

東北大学地震噴火予知観測センターの長谷川昭名教授は、「過去の統計でみれば、東北地方太平洋沖のプレート境界で、マグニチュード9.0級の地震は知られていなかったのです」と話す。

長谷川教授は、「沈みこむプレートの年齢」を指摘する。海洋プレートは、海嶺でつくられ海溝まで移動して地球深部へ沈みこむ。統計結果では、「つくられたばかりの新しいプレート」ほど、プレート境界地震の最大マグニチュードが大きいというデータがある。日本海溝で沈みこむ太平洋プレートは、世界で最も古いプレートの一つである。その点からも想定外だったのだ。

「なぜ、古いプレートが沈みこむ東北日本で超巨大地震が発生したのか。今後の重要な研究課題です」と長谷川教授は話す。



マリアナ型

海のプレートが急激に沈みこむ。



チリ型

海のプレートがゆるやかに沈みこむ。アスペリティが広がる。

1100年以上前にも、超巨大地震があった

東北地方の沿岸の地質を調べると、東北地方太平洋沖地震がおこした津波と同規模の大津波が過去にあったことを示す堆積物を発見することができるという。

代表的な例が、869年の「貞観地震」とその地震にともなう「貞観津波」である。

大きな津波は、沖合や海岸付近の砂などを内陸深くにまで運びこむ。これを「津波堆積物」とよぶ。仙台平野や福島県の沿岸地域では1990年代以降の地質調査で、この津波堆積物が確認されており、海岸線から数キロメートルの内陸まで津波がやってきたことが明らかになっていった。

さらに大阪市立大学の原口強准教授たちが調査を進めたところ、三陸海岸の大槌湾でも津波堆積物が発見され、貞観津波が

仙台平野以南だけではなく、三陸海岸にも達していたことがわかった。この結果から、貞観津波は複数の震源域が運動した超巨大地震によるものと、2008年に原口准教授たちは指摘していた。

津波堆積物の調査から、500年～1000年ほどの間隔で、大地震があったこともわかってきた。長谷川教授は、「過去100年から数百年程度の地震の統計データだけで、超巨大地震を評価するのは不十分です。もっと長期間にわたる地震の履歴情報をさがす努力も必要でしょう」と指摘している。

地層に残された大津波の記録



大槌湾海底下の津波堆積物にもとづく、「大規模津波の襲来年表」。仙台平野など、広範囲で確認されているものを赤と青の帯で示した。数百年間隔で大規模な津波が襲来していることがわかる。

大槌湾で確認された津波堆積物

地層を掘削すると、右のように通常の堆積物中（砂や泥）の中に、明らかに異なる堆積物がはさまれていることがある。こうした異なるものは、津波によって運ばれてきたものと考えられている。



複数の震源域が連動した M9

地震によって岩盤がずれた領域を「震源域」とよぶ。巨大な地震であればあるほど広い震源域をもつ。東北地方太平洋沖地震では、三陸沖から茨城県沖までの広い領域が「震源域」となった。

もともとこの震源域には、過去の地震でつくられた、より小さな震源域が七つあるとみられてきた。その小さな震源域ごとに地震がくりかえし発生する傾向があり、日本政府の地震調査委員会は、この小さな震源域ごとに地震の発生確率や規模を想定してきた。たとえば、宮城沖の震源域ではマグニチュード7.5前後の地震が発生すると想定され、30年以内の発生確率は99%とされた。

だが、3月11日、三陸沖中部、宮城県沖、三陸沖南部海溝寄り、福島県沖、茨城県沖、三陸沖から房総沖の海溝寄りの六つもの個別の領域が同時に震源域となった。

震源域ごとの想定は存在していた。しかし、これほど広い震源域が連動することは想定されていなかったのである。正確に言えば、近年の地質調査から1000年以上前に連動型の超巨大地震（貞観地震：前ページコラム参照）が発生した可能性が指摘されるようになり、委員会で検討をはじめたところだったという。

古村教授は「東北地方沖の震源域の間には、何らかの障壁があると考えられてきました。地震による岩盤の破壊は、そうした障壁をこえないとみていたのです。しかし東北地方太平洋沖地震の岩盤の破壊は、そうした障壁をこえて連動していったとみられます」と話す。2011年4月13日の時点で、連動型となったメカニズムはわかっていない。

東北地方太平洋沖地震では、膨大なエネルギーが解放されたようだ。想定されていた地震のエネルギーをすべて足し合わせても、マグニチュード9.0のもつエネルギーにははるかにおよばない。京都大学地震防災研究所の橋本学教授は、「東北地方太平洋沖地震では、太平洋プレートの速度から単純計算すると、200年分のひずみのエネルギーが放出されたと考えられます。ひずみエネルギーはどのようにたくわえられたのか、なぜ観測でつけられなかったのか、そしてなぜ今回連動したのか、という問題の答をみつけることが必要です」と指摘する。

個別の大地震は想定されていた

宮城県沖から茨城県沖には七つの震源域があり、過去にくりかえしほぼ同じ規模の地震がおこっていたことがわかっていった。日本政府の地震調査委員会は、この領域でおきるプレート境界型の大地震について、過去に記録された主な地震をもとに、将来起こりうる地震の規模や発生確率を評価してきた。

右図は、東北沖で想定されていた個別の地震域と、過去におきた主な地震の震源を示したものだ。また、下の六つの図表は、これらの震源域で想定されていた地震である。なお、三陸沖中部では過去に死傷者をもたらしたような地震は知られておらず、評価対象になっていない。個別の震源域で連動するとされていたのは、宮城県沖と、その沖の三陸沖南部海溝寄りのみで、その規模もマグニチュード8程度であった。

このページの下に掲載した六つの図表の凡例

震源域名

- ・ 想定されるマグニチュード (M)
- ・ 2011年1月1日から30年以内の発生確率

過去の主な地震とその発生間隔
評価対象となった地震を時間軸（横軸）上に並べた。地震の規模は棒の高さと球の色で示している。矢印は主な地震の発生間隔。最新の地震から平均発生間隔年が経過した位置に、想定されていた地震も記した。

想定地震がおきた場合の震度分布イメージ
(全国地震動予測地図もしくは過去の地震の震度分布から作成)

地震規模

- M7.1以上
- M7.0～6.5

震度

3 4 5 6 7
弱 強 弱 強
以下

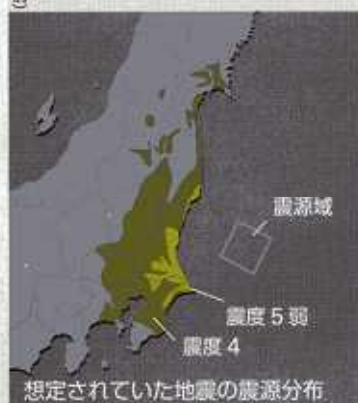
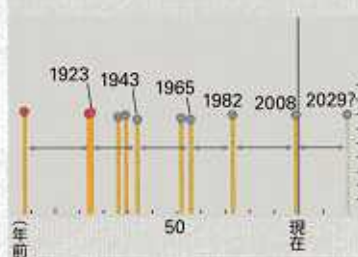
参考資料：

「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価」（2002版、2009改訂版）、「宮城県沖地震の長期評価」（2000）、「今までに公表した活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧」（2011）および「全国地震動予測地図」（2010）

茨城県沖

- ・ M6.7～7.2 前後
- ・ 発生確率 90%程度

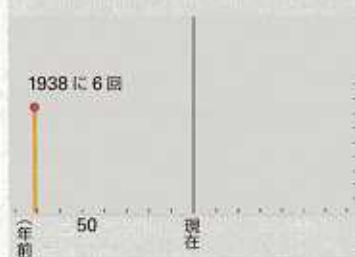
1923年以降には、M7程度の地震がくりかえし発生したとみなされた。下のグラフで発生年を記した地震を各年代におきた代表的な地震とみなし、平均発生間隔を21.2年としている。なお死傷者をもたらした地震は知られていない。



福島県沖

- ・ M7.4 前後が連続発生
- ・ 発生確率 7%以下

M7.4程度の地震が連続発生したが、過去400年間の中で1回知られている。このことから、400年以上の間隔で1回、このような地震がくりかえしおきた可能性がある、とみなされている。





三陸沖南部海溝寄り

- ・ M7.7 前後
- ・ 発生確率 80 ~ 90%程度

三陸沖南部海溝寄りと宮城県沖が連動した場合は M8.0

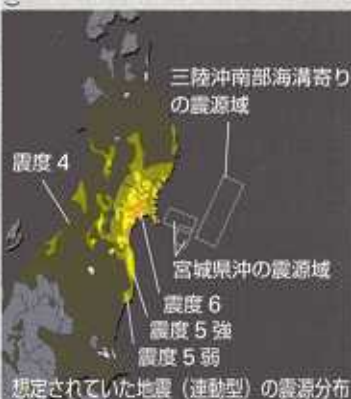
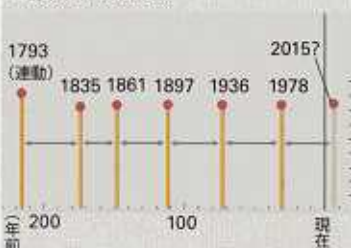
1793 年に宮城県沖と連動する形で M8.2 の地震がおき、死傷者をともなった。1897 年には、単独で M7.7 の地震が発生しているが、死傷者はなかった。この二つの地震の発生間隔から、この領域の地震は平均周期約 105 年とされている。



宮城県沖

- ・ M7.5 前後
- ・ 発生確率 99%程度

1793 年の連動型のほか、個別でくりかえし大地震が発生していることが知られている。1793 年以降の約 200 年間には、この領域で 6 回、平均周期約 37.1 年の地震活動があったと評価された。最新の発生時期は 2011 年 1 月時点で 32.6 年前であり、近年中に高い確率でおきることが予想されていた。



三陸沖から房総沖の海溝寄り

- ・ Mt*8.2 前後
- ・ 発生確率 20%程度

M8 クラスの地震が過去にいくつか知られている。17 世紀以降では、大きな津波被害をともなった地震が 3 回あると判断された。平均発生間隔は 133.3 年程度。プレート内でおきる「正断層型」地震も、過去 400 年間で 1 回おきたことが知られている（下のピンク色で示した地震。M8.2 前後で、30 年以内の発生確率は 4 ~ 7%と評価されていた）。

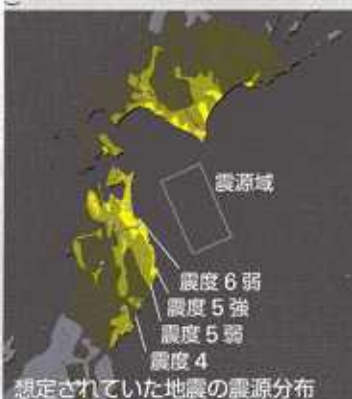
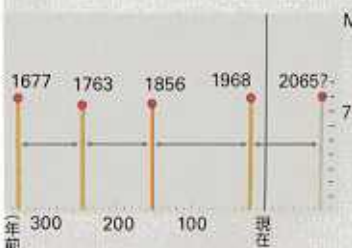
* Mt: 津波の高さから求める地震規模。



三陸沖北部

- ・ M8.0 前後
- ・ 発生確率 0.5 ~ 10%

津波被害の記録が残る、過去 400 年間におこった 4 回の大地震（平均周期は約 97 年）から評価された。この 4 回の大地震のほかにも、ひとまわり小さいが死傷者をともなった M7.1~7.6 の地震がおきており、30 年以内におきる確率は 90%程度と想定されている。



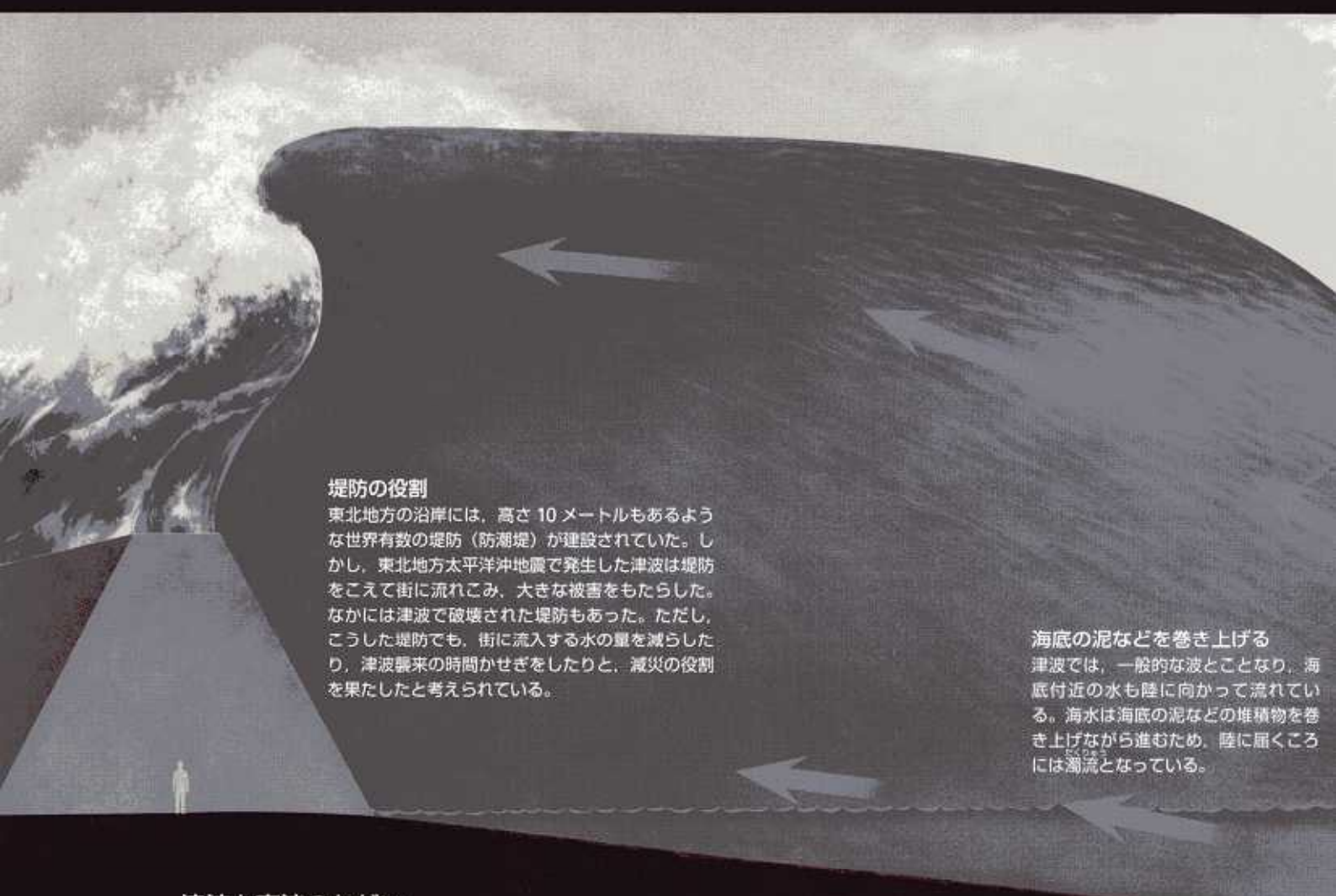
海底が隆起し、海水がもち上がると、巨大な津波が生まれる

東北地方太平洋沖地震では、巨大な津波が発生し、広い地域がその被害を受けた。津波は、「波」という字を含んでいるが一般的な波とは別物だ。すさまじい勢いで流れる洪水のような現象であり、沿岸部に壊滅的な被害をもたらす。

津波を引き起こすのは、海底地形の変化である。東北地

方太平洋沖地震では、プレートがずれたことによって、海溝付近の海底が「沈降」したり「隆起」したりした。

海底が隆起すると、その上の海水がもち上げられて、水面も隆起する。隆起した海水は、直後に重力によって一気にすれ、波となって四方へ伝わる。これが津波だ。津波



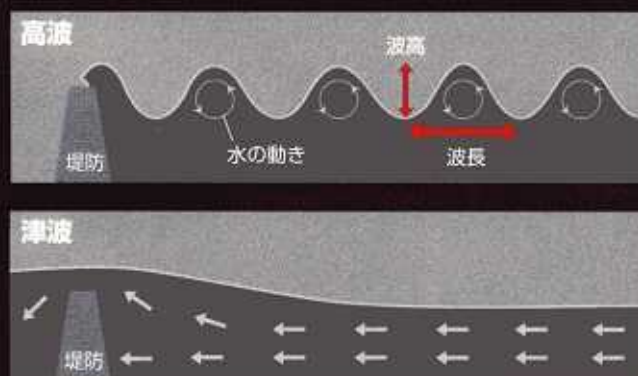
堤防の役割

東北地方の沿岸には、高さ 10 メートルもあるような世界有数の堤防（防潮堤）が建設されていた。しかし、東北地方太平洋沖地震で発生した津波は堤防をこえて街に流れこみ、大きな被害をもたらした。なかには津波で破壊された堤防もあった。ただし、こうした堤防でも、街に流入する水の量を減らしたり、津波襲来の時間かせぎをしたりと、減災の役割を果たしたと考えられている。

海底の泥などを巻き上げる

津波では、一般的な波とことなり、海底付近の水も陸に向かって流れている。海水は海底の泥などの堆積物を巻き上げながら進むため、陸に届くころには濁流となっている。

津波と高波のちがい



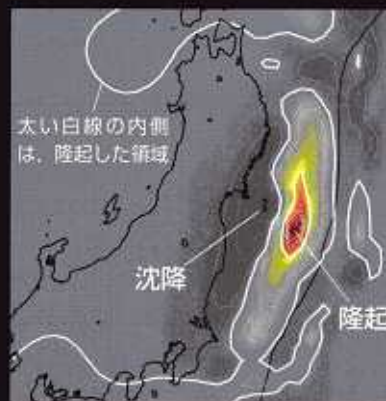
左は、高波と津波の模式図である。高波とは、台風などによって水面付近でつくられた波のことである。水は、同じ場所で円をえがくように動く。波高が 10 メートル以上になることもあるが、水が堤防を乗り越えて陸地流れこむことはほとんどない。

高波と津波の大きな違いは、「波長」の長さだ。高波の波長は 600 メートル以下が一般的だが、津波の波長は数十～数百キロメートルにもなる。

津波の場合は、海底から海面までの水がいっせいに水平に動く。そのため、堤防にぶつかると海水は行き場をなくし、堤防を乗り越えて内側に流れこむ。そのため津波の波高が堤防の高さより低かったとしても、海水が堤防の内側に流入してしまうことがある。また、陸地付近では時速数十キロメートルの速さで海水が流れるため、たとえ大人のひざ下ほどの高さの津波でも、その水の流れの中に立っていることはむずかしい。

の波長は、数十キロ～数百キロメートルにもなる。この波長の長さが、一般的な波（波長約 600 メートル以下）との決定的なちがいだ。波長が長いため、津波は波というよりはむしろ洪水のようになって陸に流れこみ、街を襲う。そして波が引くときにはすべてを海にもち去っていくのだ。

津波は最初、時速約 720 キロメートル（水深が約 4000 メートルの場合）というジェット機並みの速さで進み、水深が浅くなるにつれて速さが遅くなる。そのため、うしろの波が前を行く波に重なっていき、高い津波がつくられる。



太い白線の内側は、隆起した領域
沈降
隆起
-2.5m 0m 5m 9m

海底の隆起と沈降

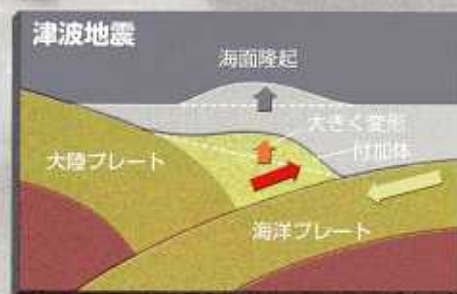
左は、2011 年 3 月 11 日の地震時におきた海底の隆起および沈降を再現した図である。赤いほど高く隆起し、青色が濃いほど深く沈降している。最大で約 10 メートルの海底隆起があったと推測されている。

海底が隆起・沈降すると、ほぼ同じ面積の水面が隆起・沈降する。今回おきた地震の断層は南北に約 500 キロメートルときわめて長かったため、津波が広域に到来した。

画像提供：生田 碩野（静岡大学理学部）

■巨大津波の発生メカニズム (1～5)

プレート境界地震で発生した津波が、陸地の堤防に襲いかかるようすをえがいた。プレートがずれると (1)、海底が隆起したり沈降したりする (2)。それに応じて海水が隆起したり沈降したりする (3)。隆起した海水は重力によってくずれる (4)。くずれた海水は津波となって陸に向かい、水深が浅くなるにしたがって高さを増す (5)。ただし見渡す限りの水面の高さが上がるため、津波の存在に気づかないことも多い。津波は波長が非常に長いいため、ひとたび襲来すると、長いときでは 1 時間ほど海水が猛烈な勢いで陸地に流れこみつづけて、街をのみこむ。



ゆれが小さくても、大きな津波がやってくることがある

プレートの境界には、比較的やわらかくて変形しやすい堆積物（付加体）がたまっている。プレートがゆっくりずれた場合、地震によるゆれは小さいものの、付加体が大きく変形するため大きな津波が生じることがある。このような地震を「津波地震」とよぶ。津波の避難勧告が出された場合は、津波地震の可能性があるので、ゆれが小さいからといって油断することなく確実に避難することが大事である。



津波を高くしたV字型の三陸海岸、 遠浅の仙台湾

東北大学で津波の研究を進める^{いまむらみりこ}今村文彦教授は、「東北地方太平洋沖地震で発生した津波は、その規模が大きかったことが最大の特徴といえるでしょう。発生域では最大5メートルもの海面変化があったと推定されます」と話す。

太平洋沖で生まれたこの津波は、**陸地に近づくにつれ、波高を大きくした。**

巨大津波による被害がとくに大きかったのは、^{おおふなと}大船渡市、^{りくぜんたかだ}陸前高田市、^{けせんぬま}気仙沼市、^{おながわ}女川町といった、岩手県から宮城県の三陸海岸に築かれた都市である。これらの都市は、「リアス式海岸」とよばれる湾の奥にある。海岸近くまで山地がせまり、湾は陸地側が狭く、海側が開けた「V字型」になっている。そのため、湾に到達した津波のエネルギーが奥の都市部へ向かうにつれて集められていき、高い波となったのだ。発生域で高さ5メートルほどだった津波は、気象庁によれば、大船渡で約11.8メートルの高さになったとされている。

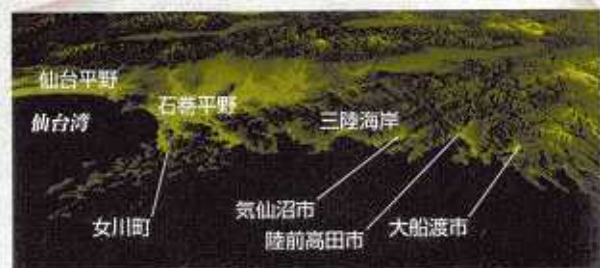
「近年の歴史では津波による大きな被害を受けていなかった地域も、東北地方太平洋沖地震の大規模な津波によって大きな被害を出してしまいました」と今村教授は話す。

たとえば、仙台湾周辺の各地である。地形そのものはリアス式海岸と比較すると直線に近いものの、遠浅である海岸地形が大きな影響をあたえたようだ。津波の速度は、海底の水深に大きく関係する。遠浅の仙台湾は、第1波の到達こそ三陸海岸の諸地域より数十分以上おくれたものの、水深が浅くなるにつれて波が高くなり、さらに他地域の海岸線で反射してきた波が重なって、結果として大きな波高を生むことになったのである。くわえて標高が低い平野が多く、津波が奥地まで侵入することになった。ほかに相馬市などの福島県沿岸域も大きな被害を受けている。こうした地域も標高が低いため、奥地まで津波の侵入を許すことになったのである。

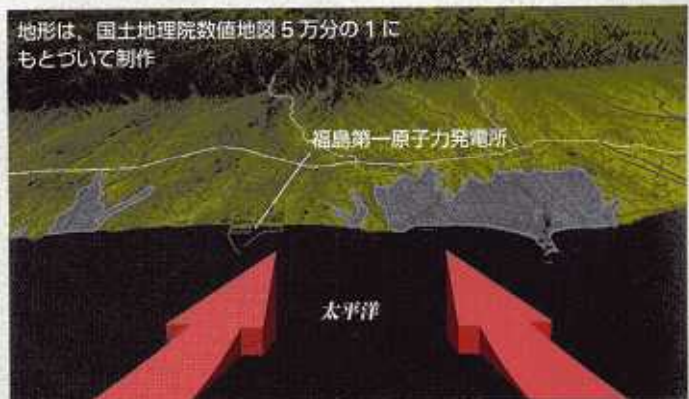
なお、福島第一原子力発電所は、東京電力によれば海拔14メートル付近まで水没したとされている。福島第一原子力発電所の津波に関しては、45ページでくわしくふれる。

広範囲に津波の被害

東北地方太平洋沖地震では、北海道から千葉県までの太平洋岸に大きな津波が襲来した。陸地に近づいた津波は、その沿岸域や陸地の地形による影響を受け、速度と高さを変化させていく。結果として、三陸海岸の諸都市や仙台湾に面した各都市は大きな被害を受けることになった。



津波の被害のとくに大きかった仙台湾～三陸海岸を太平洋上空からのぞんだイメージである（国土地理院の20万分の1数値地図をもとに制作）。三陸沿岸に複雑に入り組んだ海岸線（リアス式海岸）が確認できる。このリアス式海岸に面した各都市は、津波による大きな被害をうけた。



津波が原発に襲来

福島第一原子力発電所のある地域を東上空からのぞんだイメージ。リアス式海岸でもなければ、湾でもない同地域だが、東京電力によれば、海拔14メートルまで津波によって浸水したとされる。しかし、その理由についてはわかっていない。



奥に行くほどせまい地形が波を高くした —— リアス式海岸「大船渡」 ——

東北地方太平洋沖地震で大きな被害を受けた大船渡市（大船渡港付近）を南側上空からのぞんだイメージである。湾の両側に山がせまり、奥に行くほど湾がせまくなる地形になっていることがよくわかる。大船渡湾では地震発生から29分後に津波の観測器（検潮計）の針が振り切れた。その後、気象庁による現地調査で11.8メートルの波高が確認されている。水色の領域は浸水域。



遠浅の湾、標高の低い平野。湾から数キロ浸水 —— 「石巻」 ——

海岸から数キロメートルの地点まで浸水した石巻市を南側上空からのぞんだイメージである。仙台湾の北部に位置する同市では、仙台湾内に集中した津波が長い時間をかけて何回も襲来した。その後の港湾空港技術研究所の現地調査によれば、石巻港で5メートルの波高が確認されている。平野で標高が低いため、水色の浸水域が示すように、海岸から数キロメートルの内陸まで水に浸った。なお、石巻市の西にある松島町では、松島の多くの島々や浅い水深が自然の防波堤となり、石巻市とくらべると被害は少なかった。

震源から遠くはなれた高層ビルが大きくゆれた

2011年3月11日。東京の超高層ビル群は、中の人々が立つこともむずかしいくらい大きく横ゆれした。数百キロメートル先の宮城県沖や茨城県沖で発生した地震波が、関東平野のやわらかい地層で増幅され、到達したのである。

このとき、東京の超高層ビル群をゆらした地震のゆれが、「長周期地震動」だ。ここでいう「周期」とは、ゆれが1往復するのにかかる時間のことだ。地震がおきると、震源域からさまざまな周期のゆれが放たれる。

建物には「ゆれやすい周期」がある。この周期と地面のゆれの周期が一致すると「共振」をおこして大きくゆれる。周期が1秒以下のときは木造家屋がゆれやすく、1秒～2秒では10～20階建ての建物が、6～7秒のときは60～70階建ての超高層ビルがゆれやすい。3月11日に東京を襲ったのは、こうした周期をすべて含む広い周期をもつゆれだった。そのため、木造家屋から超高層ビルまですべての建物が大きくゆれることになった。

東北地方太平洋沖地震の長周期地震動は東京の超高層ビルを大きくゆらした。しかし古村教授は「マグニチュード9.0という規模からすれば、もっと強い長周期地震動だったとしてもふしぎではありません」と指摘する。過去のマグニチュード8級の地震から考えると、長周期地震動の強さが3月11日の2倍の強さとなる可能性もあったという。

遠隔地でも確認された「液状化現象」

東北地方太平洋沖地震では、東京、埼玉、千葉、神奈川といった関東地方の各県でも、「液状化現象」が確認されている。

地下水位の高い砂状の地盤では、地震によって本来は接着している砂の粒子がばらばらになることがある。そうなった地盤には本来の強さがなくなり、まるで液体のようになる。これが「液状化」だ。地下水の水圧によっては、地盤をつくる砂が地面から噴出することもある。

液状化した地盤は、建物を支えきれない。東北地方太平洋沖地震では、横浜市（神奈川県）や浦安市（千葉県）などの湾岸の埋め立て地のほか、久喜市（埼玉県）などの内陸でも、水田や湿地帯を埋め立ててつくられた住宅地などで液状化現象が確認されている。なお、各県は震災前から液状化の予測を以下のホームページで公開している。

【東京都土木技術支援・人材育成センター】

<http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-jyouhou/03index.html>

【埼玉県のホームページ】

<http://www.pref.saitama.lg.jp/page/h19higaisoutei.html>

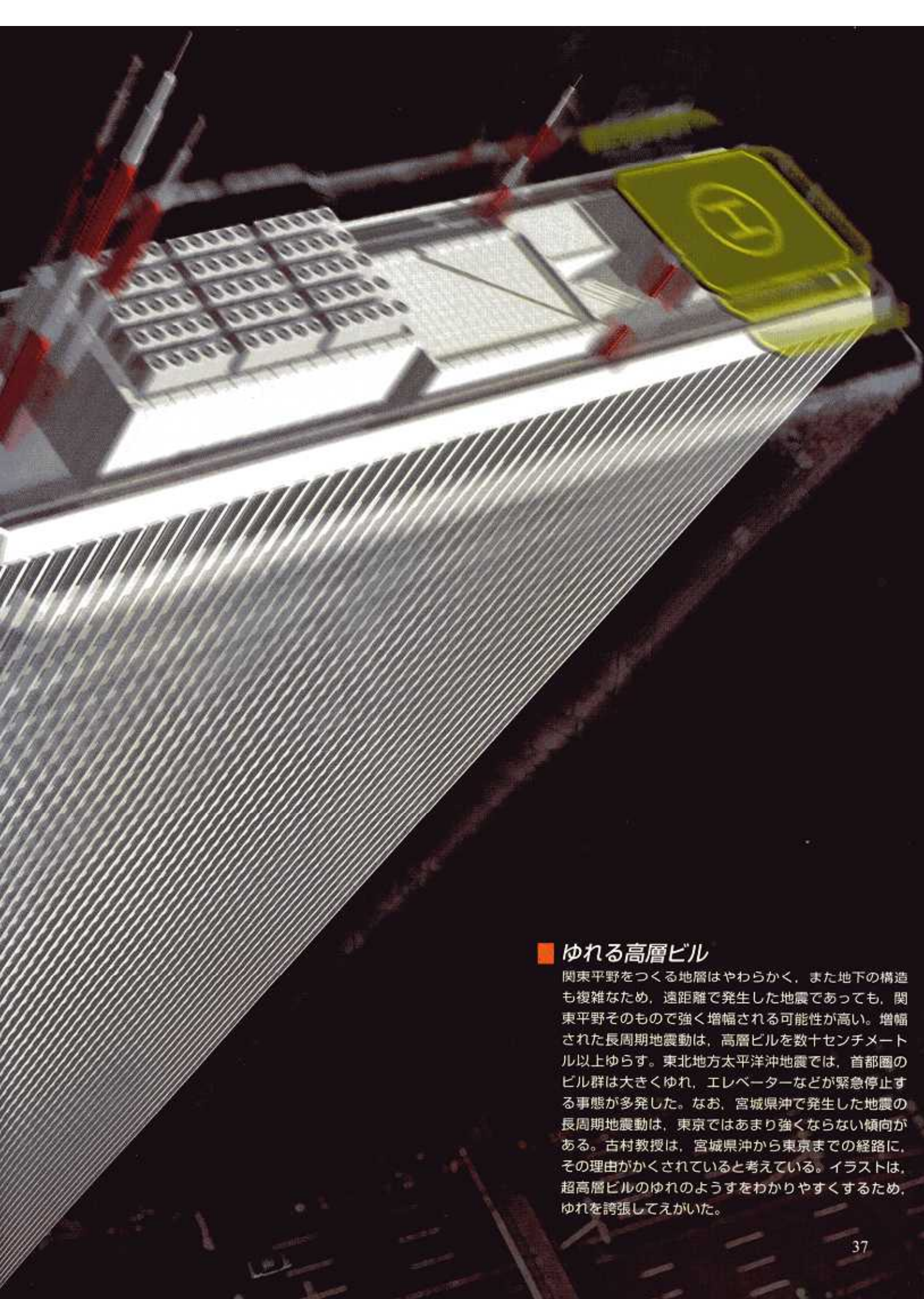
【千葉県のホームページ】

<http://www.pref.chiba.lg.jp/bousai/jishin/higaichousa/index.html>

【神奈川県のホームページ】

<http://www.pref.kanagawa.jp/sys/bousai/portal/1,0,9,9.html>





■ ゆれる高層ビル

関東平野をつくる地層はやわらかく、また地下の構造も複雑なため、遠距離で発生した地震であっても、関東平野そのもので強く増幅される可能性が高い。増幅された長周期地震動は、高層ビルを数十センチメートル以上ゆらす。東北地方太平洋沖地震では、首都圏のビル群は大きくゆれ、エレベーターなどが緊急停止する事態が多発した。なお、宮城県沖で発生した地震の長周期地震動は、東京ではあまり強くない傾向がある。古村教授は、宮城県沖から東京までの経路に、その理由がかくされていると考えている。イラストは、超高層ビルのゆれの様子をわかりやすくするため、ゆれを誇張してえがいた。

余震の数は、すでに合計 400 回をこえた

大きな地震（本震）ののちには、それにもなう「余震」が発生することがある。これは、本震によって地下の岩盤が不安定になったために発生すると考えられている。

東北地方太平洋沖地震は、この余震だけをみても大きな特徴がある。マグニチュード 5.0 以上の余震の発生回数が、過去の巨大地震と比較していちじるしく多いのだ。その数は、本震の発生から 1 日で 180 回あまりを数え、3 日で計 250 回をこえた。1 日あたりの発生回数はしだいに少なくなっているものの、4 月 12 日 15 時現在までに 410 回が観測されている。この回数は異常といえるだろう。

たとえば、同じプレート境界地震で、マグニチュード 8.2 を記録した 1994 年の北海道東方沖地震では、本震の発生から 10 日間経過してもマグニチュード 5.0 以上の余震発生件数は 100 回に到達していない。2003 年の十勝沖地震（マグニチュード 8.0）にいたっては、22 日経過しても、余震の合計件数は 50 回以下だ。

マグニチュード 9.0 という超巨大地震は、これまでになく広域で、大規模の余震を数多く発生させた。今、研究者はこうした余震を含め、この超巨大地震のメカニズムの解析を急いで進めている。

（第 1 章担当：編集部 土屋 健・小野寺佑紀・疋田朗子）

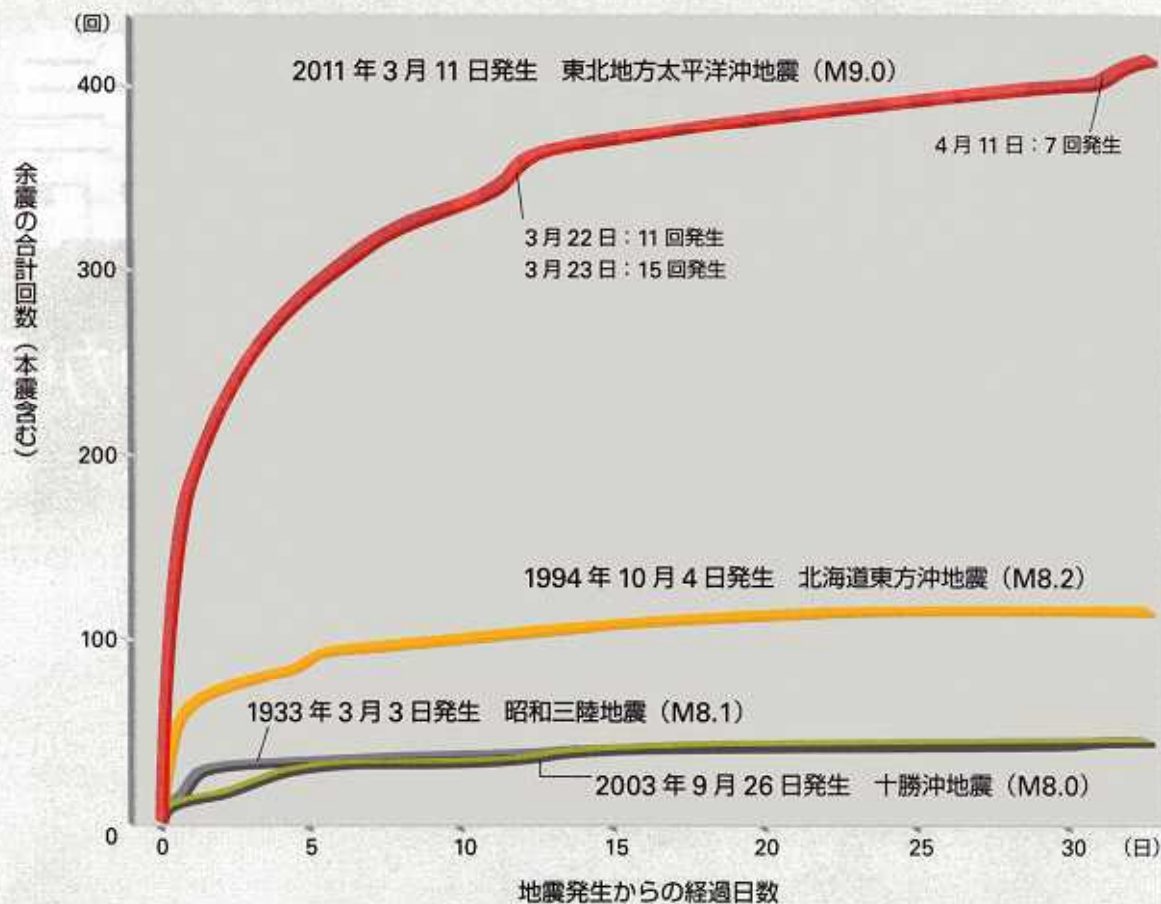
東北地方太平洋沖地震の余震の発生状況

日本地図上に 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の本震と、それ以降に発生した余震を示した（発生期間は 3 月 11 日 12 時～4 月 12 日 14 時 10 分。気象庁 4 月 12 日 17 時発表資料より作成。なお値は今後変更になる可能性がある）。

3 月 11 日、本震に引きつづき、岩手県沖から茨城県沖の 3 か所でマグニチュード 7 以上の余震がおきた。また、4 月 7 日、11 日にも 1 回ずつ、マグニチュード 7 クラスの余震が発生している。これらの規模の大きな地震は、広い範囲でおこっている。

気象庁は 4 月 12 日現在、今後も規模が大きく、場合によっては震度 6 弱～6 強となるような地震が発生する可能性があり、警戒が必要だとしている。



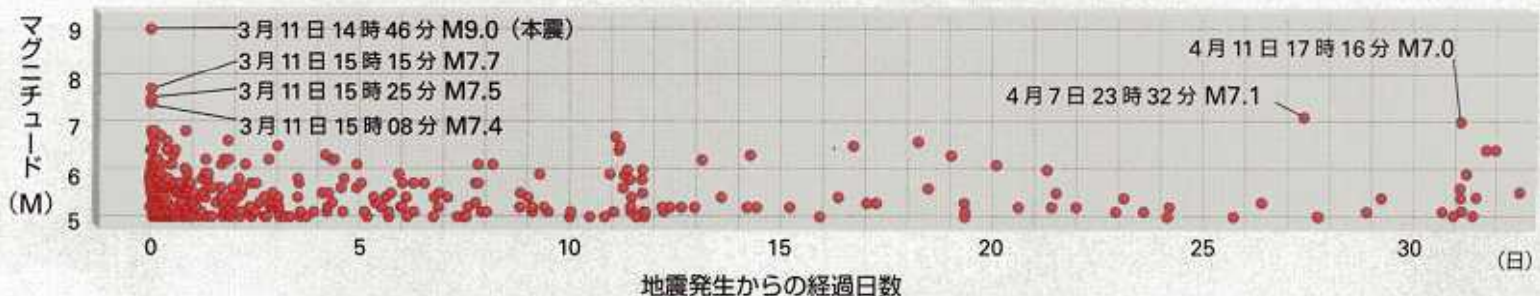


海域で発生した地震の余震回数比較

余震の発生回数を、過去に海域でおきた大地震とあわせて示した (気象庁4月12日17時発表資料より作成。値は速報値であり後日変更する可能性がある)。過去の地震にくらべ、東北地方太平洋沖地震の余震の発生回数は圧倒的に多い。

東北地方太平洋沖地震の余震のマグニチュード (M5.0以上)

下のグラフは、余震のマグニチュードを記録したものだ (気象庁の速報値より作成。値は後日変更する可能性がある)。本震から12日間ほどは、マグニチュード6.0をこえる余震も多かったが、日にちがたつにつれ、その数は少なくなっていた。しかし、1か月が経過しても、M7.0をこえる地震がおきており、予断を許さない状況が続いている。



東北地方太平洋沖地震に関する情報サイト

ここで紹介する web サイトでは、東北地方太平洋沖地震の情報のほか、日々の地震についても情報を入手することができる。

- 気象庁 最新の余震情報を含めた、各種の発表資料がある。
 - ・地震情報 <http://www.jma.go.jp/jp/quake/>
 - ・報道発表資料 <http://www.jma.go.jp/jma/press/index.html?t=1&y=23>
- 防災科学技術研究所 地震計の波形データなどがある。
 - ・2011年東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) 情報 <http://www.bosai.go.jp/20110311.html>
 - ・強震観測網 <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 東京大学地震研究所広報アウトリーチ室 地震研究者による分析結果などがある。
http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/
- アメリカ地質調査所 (USGS) 英語ではあるが、日本の地震についての情報もある。
 - ・地震情報 <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>

2

徹底分析 福島

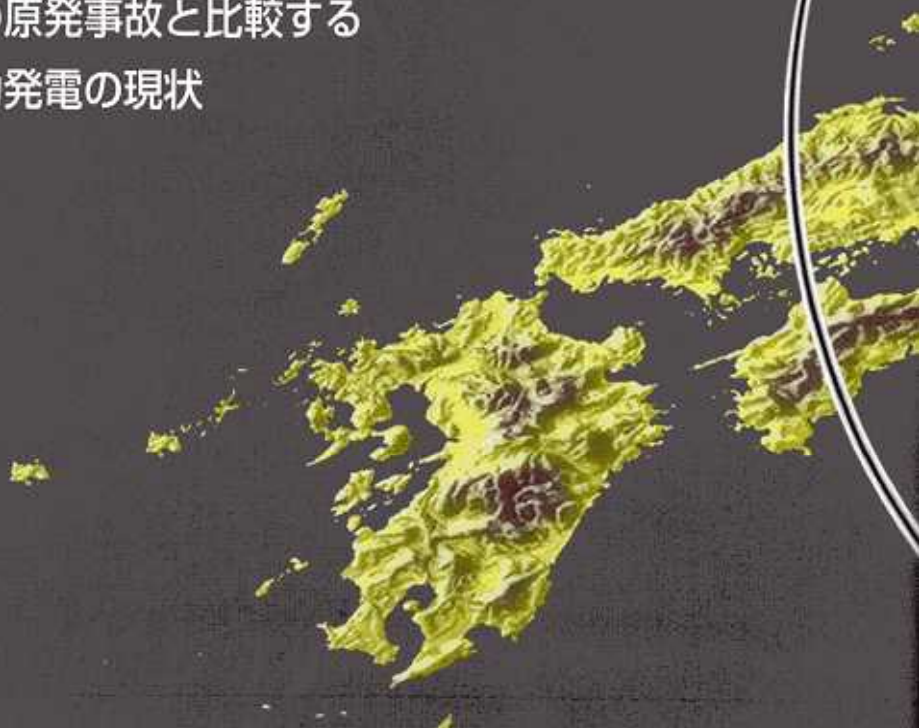
なぜ放射性物質が流出したのか？

「東北地方太平洋沖地震」とその後の大津波に端を発し、福島第一原子力発電所はかつてない非常事態をむかえた。原子炉建屋の爆発、火災の発生、放射性物質の大量流出……。これらの原因は何だったのか？ 過去の原因事故とは何がちがうのか？ 第2章では、原子力発電のしくみから、福島第一原発事故の詳細を読みといていく。

一方で、この事故の影響は広域におよんだ。放射性物質の汚染が広がり、各地で放射線の量が急増した。そもそも、放射性物質や放射線とは何なのか？ 誤解の多いその正体を知り、今回の災害の行く末を見きわめる。

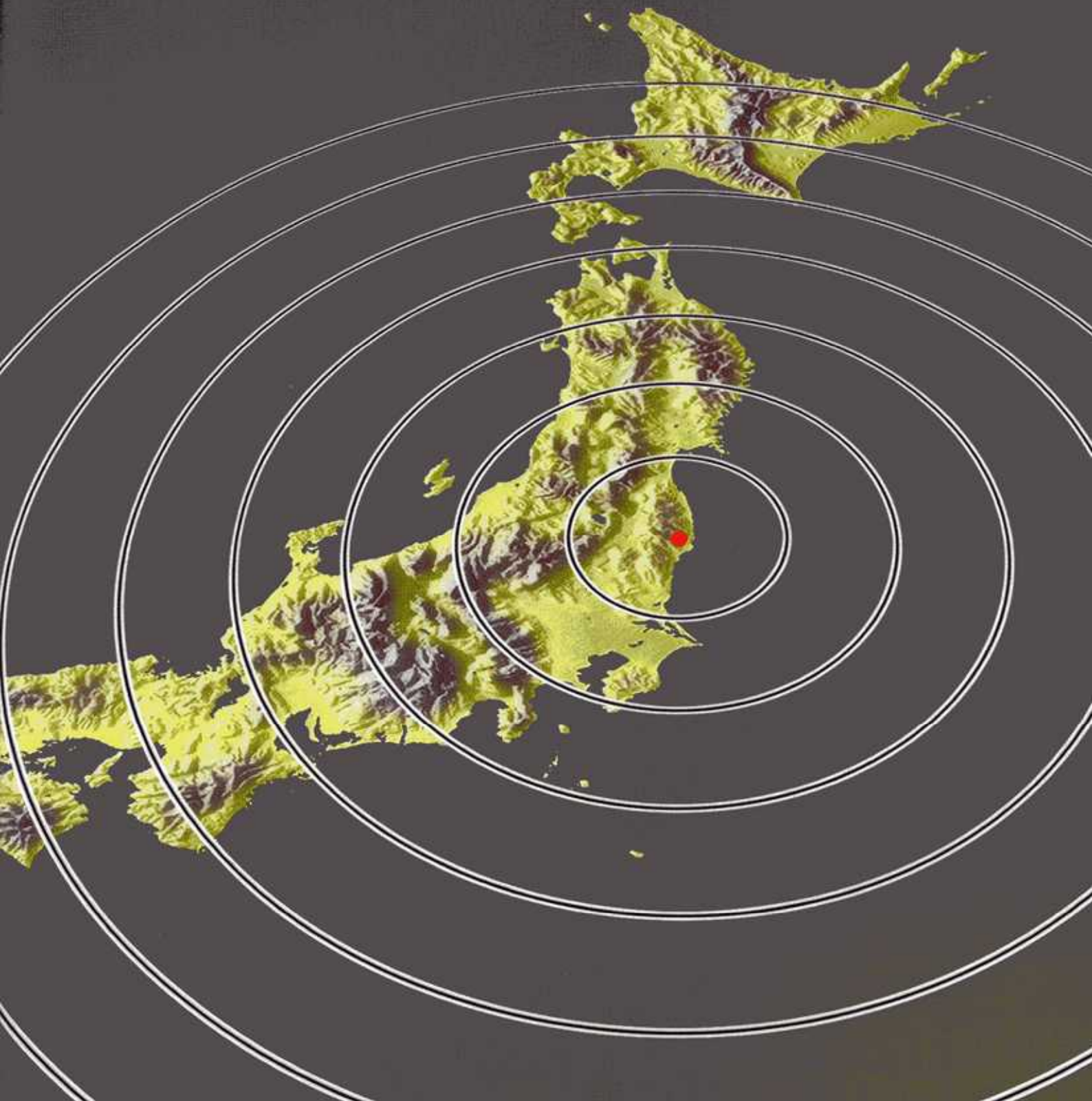
第2章の内容

- 42 空から見る原発の惨状
- 46 しゅみから読みとく事故の推移
- 62 放射性物質の流出と汚染
- 66 放射線・放射性物質Q&A
- 70 過去の原因事故と比較する
- 76 原子力発電の現状



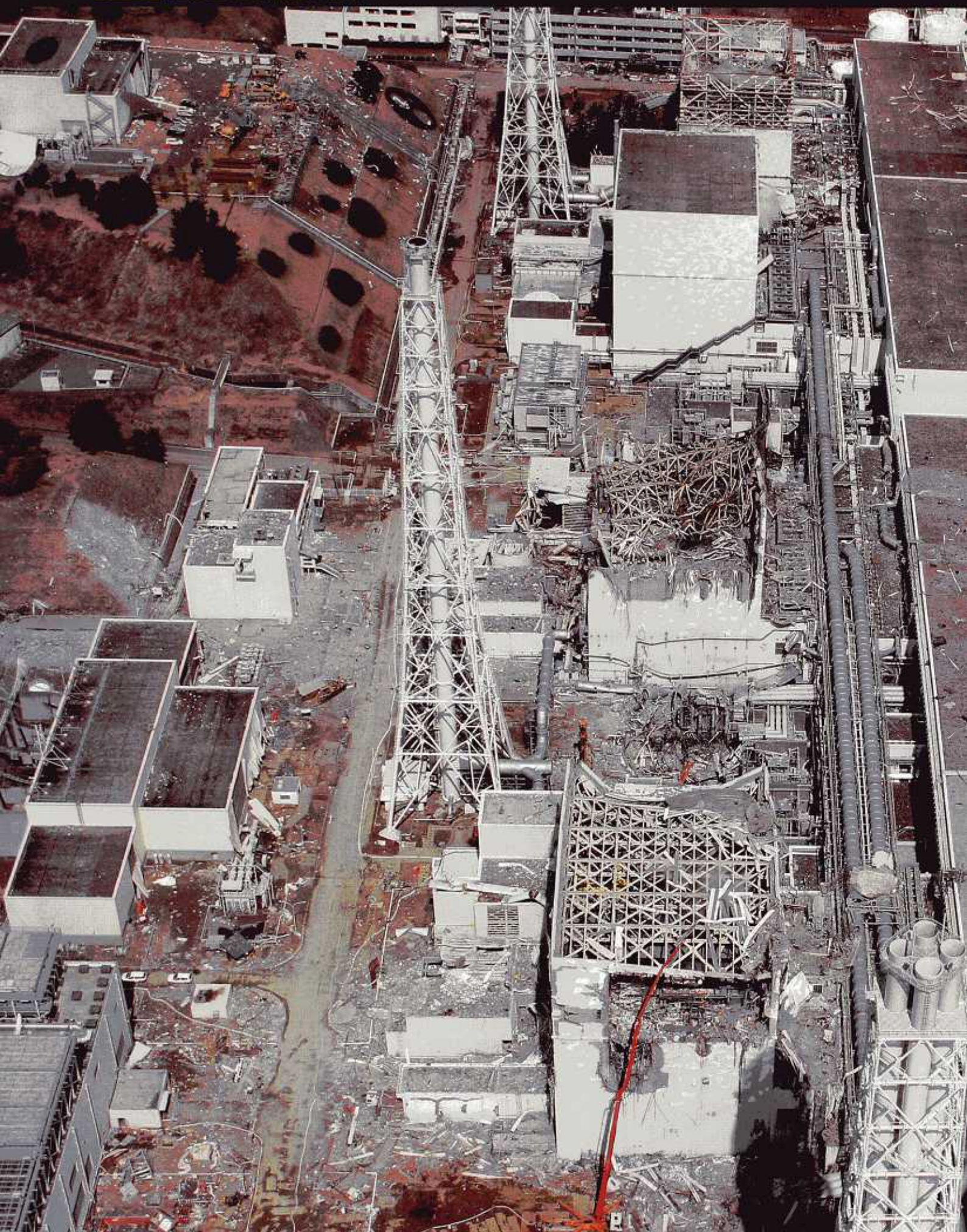
第一原発事故

その影響は？



第2章 徹底分析 福島第一原発事故
空から見る原発の惨状

無人飛行機から、3月24日に撮影された。奥から、1、2、3、4号機がとらえられている。手前の4号機では、ポンプ車による燃



燃料貯蔵プールへの注水活動が行われている。道路上には水を送るホースがのびており、消防車が何台もとまっている。また海側では、

津波の被害を受けた設備がとらえられている。

(写真：株式会社エアフォートサービス【新潟県妙高市】提供)



水色は津波による浸水範囲をあらわす

地表から
4~5mが浸水



津波
(14m以上?)
防波堤(5.6m)
基準高さ(0m)

写真中の主な設備と、津波に浸水された範囲、水位を示した。津波は、敷地の奥まで進み、普段の海面から10メートル高い位置にある原子炉建屋まで達した。東京電力によれば、海面の高さから14メートルの高さまで浸水したという。この津波で、海水ポンプなどが動作しなくなった。また上の●は、3月27日に高濃度の汚染水が流出していることが発見された地点である。なお流出は4月6日に止まった。

第2章 徹底分析 福島第一原発事故 空から見る原発の惨状

福島第一原子力発電所事故の経過

3月11日

14時46分 「東北地方太平洋沖地震」発生。運転中の三つの原子炉が緊急停止。非常用炉心冷却装置(ECCS)が稼働し冷却を開始。

15時40分頃 津波が到達。その後 ECCS が故障し、1、2、3、4号機が冷却不能になった。5、6号機は津波到達後も冷温停止(原子炉内の水温が100度C以下の状態)がつづいた。また、女川原子力発電所、福島第二原子力発電所にも津波が到達。両発電所のECCSは大きな影響を受けず、冷温停止状態が保たれた。

21時23分 政府は福島第一原発から3キロメートル以内の地域に「避難」、10キロメートル以内の地域に「屋内退避」を指示。

3月12日

15時36分 1号機の建屋内で爆発、建屋上部の外壁が破損した。

20時20分 1号機の炉心に、ホウ酸を含む海水の注水を開始。

3月14日

11時1分 3号機の建屋内で爆発、建屋の上部の外壁が破損した。東京電力管内で計画停電開始。

3月15日

6時頃 所内で大きな音が発生。4号機の建屋の破損が発見された。

6時14分 2号機で爆発音。圧力抑制室に破損の可能性があるとして発表。

11時0分 避難指示の範囲が20キロメートル以内の地域に拡大。また屋内待避の範囲が30キロメートル以内の地域に拡大。

3月16日

5時54分 4号機燃料貯蔵プールで火災が発生。



3月21日

関東地方各地の浄水場の水から、1歳未満の乳児の飲用に適さない量の放射性物質が検出され、飲用制限が発令された。また、一部の地域のほうれん草、原乳などに出荷制限が発令された。

3月24日

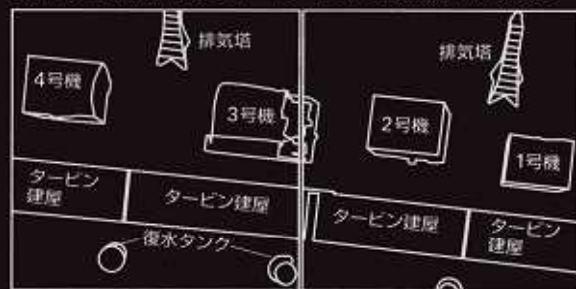
3号機のタービン建屋の地下で、高濃度の放射性物質を含む水が発見された。この水により作業員3名が170ミリシーベルト以上の被ばくをし、病院に搬送された。水は、原子炉内からもれていておそれがあると発表された。

3月27日

1時間あたり1000ミリシーベルトに相当する放射線量の水が、建屋の外のパネルで発見された。

四つの原子炉を上空からとらえた

無人飛行機から撮影された、3月20日の福島第一原子力発電所の様子。2枚の画像を並べた。ポンプ車による注水が4号機に行われている。また1、3号機に、湯気のような白いもやがみえる（写真：株式会社エアフォートサービス【新潟県妙高市】提供）。



原子力発電所は、どうやって電気を生みだしているのか？

火力発電所は、石炭や石油を燃やして水を沸騰させ、蒸気の勢いで、発電機とつながったタービン（羽根車）をまわすことで電気をつくる。原子力発電所も、蒸気をつくってタービンをまわして電気をつくるという点では、基本的に火力発電所とかわらない。

では何がちがうのだろうか。それは、水を加熱するための熱源だ。原子力発電では「ウラン」という物質を燃料と

して使用する。ただし、燃料といってもほんとうに「燃やす」わけではない。「核分裂」という現象を利用して水を加熱し、沸騰させるのである。

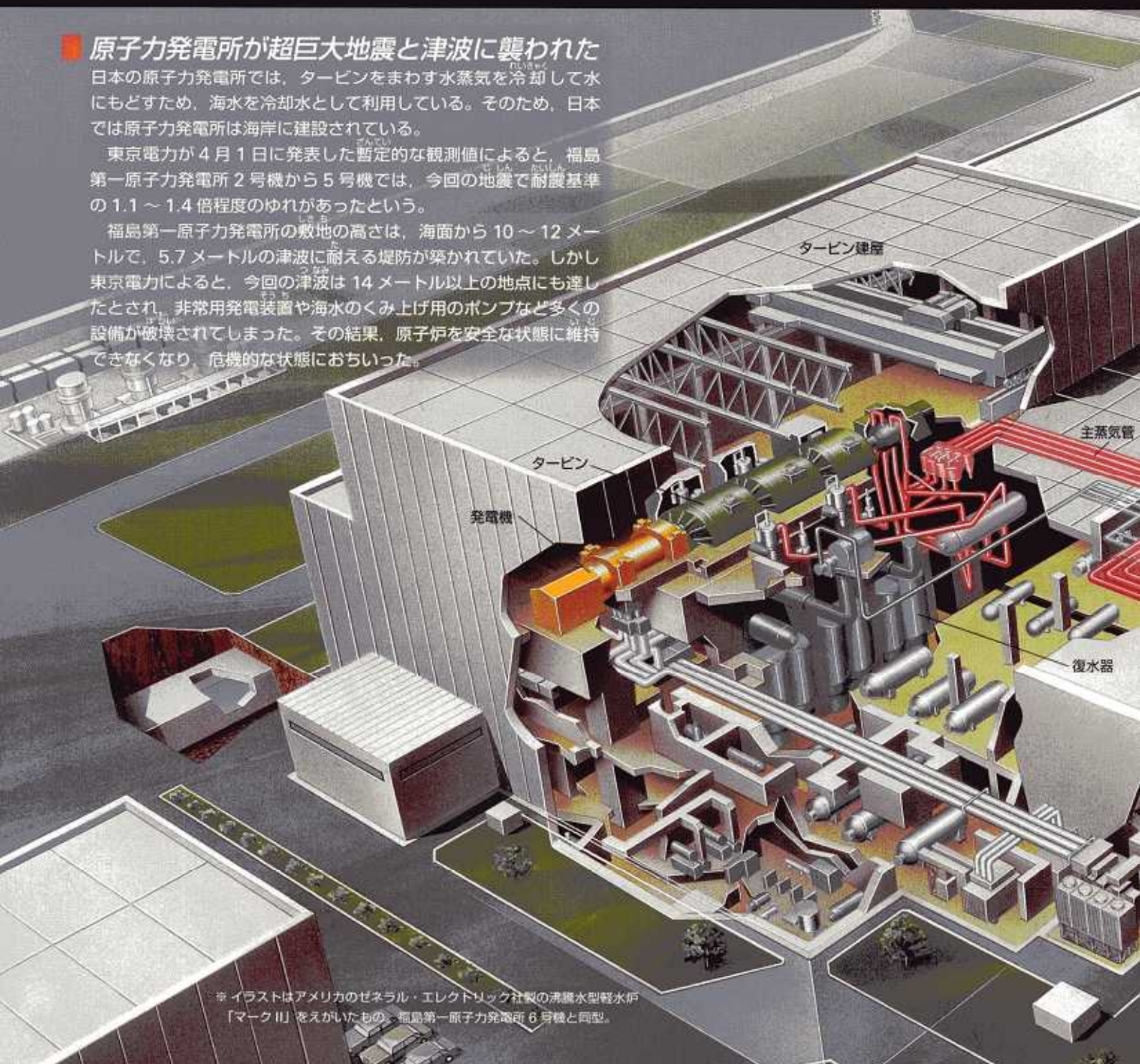
核分裂とは、ある原子（物質）がこわれて、別の原子（物質）に変化する現象だ。このとき膨大な熱が生じる。原子力発電では、「原子炉」とよばれる容器の中で、ウランを核分裂させて熱を発生させるのだ（48 ページでくわしく解

■ 原子力発電所が超巨大地震と津波に襲われた

日本の原子力発電所では、タービンをまわす水蒸気を冷却して水にもどすため、海水を冷却水として利用している。そのため、日本では原子力発電所は海岸に建設されている。

東京電力が4月1日に発表した暫定的な観測値によると、福島第一原子力発電所2号機から5号機では、今回の地震で耐震基準の1.1～1.4倍程度のゆれがあったという。

福島第一原子力発電所の敷地の高さは、海面から10～12メートルで、5.7メートルの津波に耐える堤防が築かれていた。しかし東京電力によると、今回の津波は14メートル以上の地点にも達したとされ、非常用発電装置や海水のくみ上げ用のポンプなど多くの設備が破壊されてしまった。その結果、原子炉を安全な状態に維持できなくなり、危機的な状態におちいった。



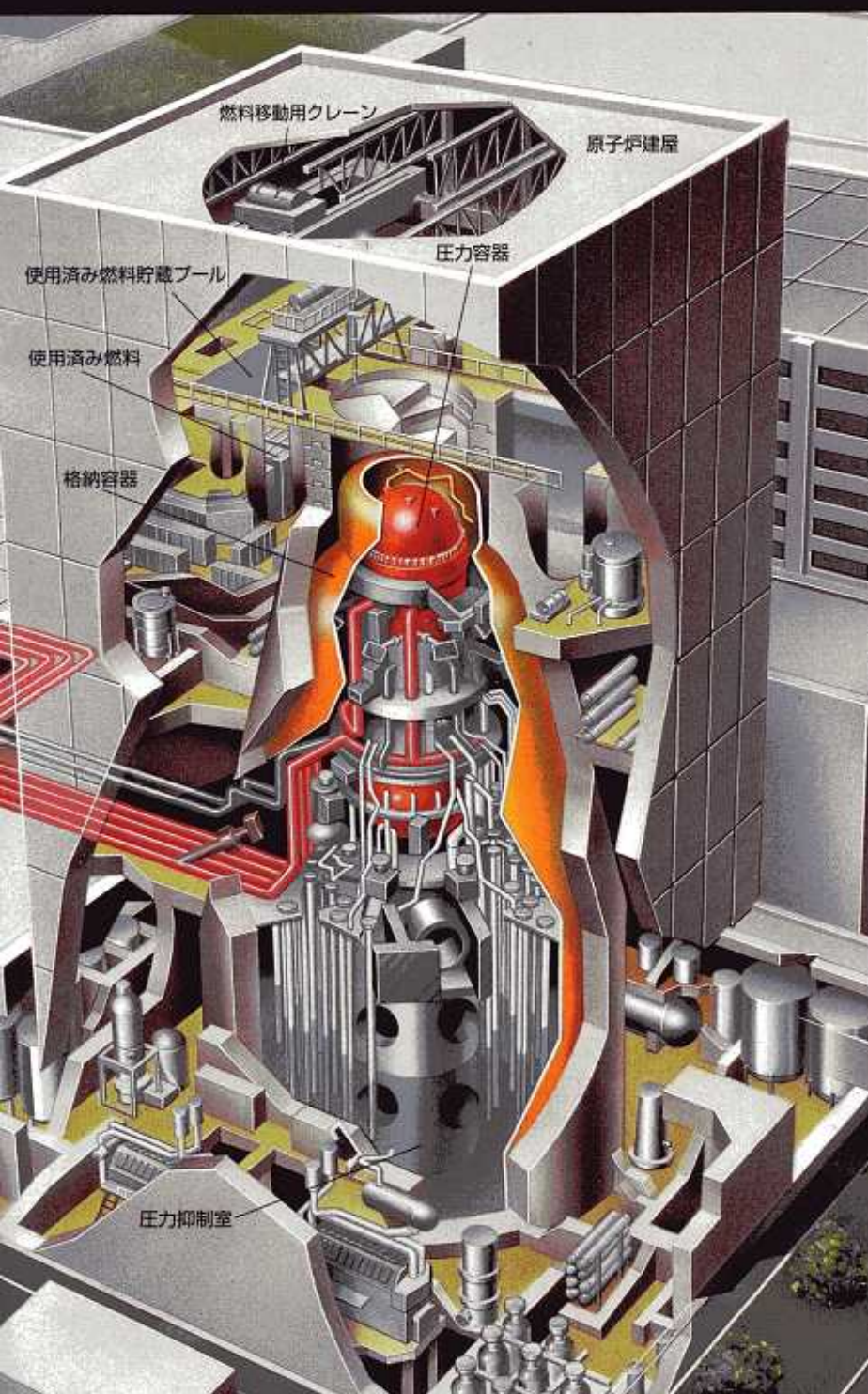
※ イラストはアメリカのゼネラル・エレクトリック社製の沸騰水型軽水炉「マークII」をえがいたもの。福島第一原子力発電所6号機と同型。

説)。核分裂による発電は、燃料が非常に少なくてすむ。ウラン燃料 1 グラムで、一般家庭 1 世帯が使う電気の約 1 か月分をつくることができるのだ。また、燃料を「燃やす」わけではないので、発電時に地球温暖化の原因となる二酸化炭素を出さない。

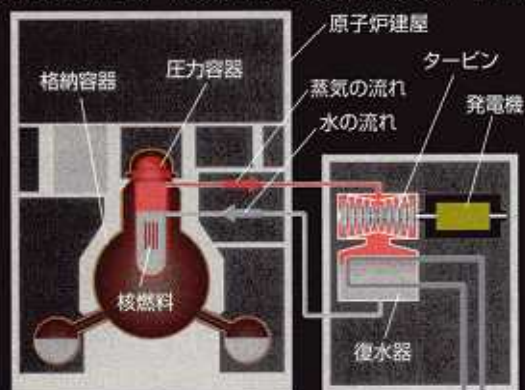
一方で、原子力発電の大きな難点は、多くの「放射性物質」が生まれることだ。原子力発電所では、放射性物質が外にもれ出さないよう、安全性にはとくに注意しなくてはならない。大きな地震や、何らかの異常が発生したときには、すぐさま自動的に原子炉の稼働を「止める」。そして、「冷やす」。さらに、放射性物質を「閉じこめる」。原子力発電

所では、こうした「多重防護」の安全設計がとられている。

また、「閉じこめる」にかんしては、「5 重の防壁」が用意されている。それは、①ウラン燃料を焼き固めた「燃料ペレット」、②それを密閉する金属の「被覆管」、③燃料を格納する、厚さ 16 センチの鋼鉄製の「压力容器」、④压力容器をおさめる「格納容器」、そして、⑤それらをおおう厚さ 2 メートルの鉄筋コンクリート製の「原子炉建屋」である。これらによって、事故がおきても放射性物質の漏えいを最小限におさえるのだ。しかし、今回の大震災では、こうした壁の多くが損傷し、福島第一原子力発電所で未曾有の原子力災害がおきてしまった。

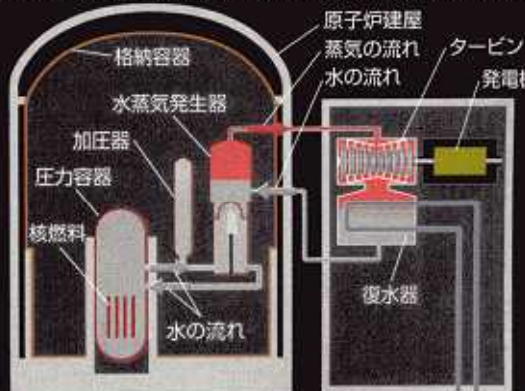


沸騰水型軽水炉 (Boiling Water Reactor : BWR)



压力容器内で水を沸騰させ、水蒸気を直接タービンへ送って発電機をまわす原子炉。放射能をもつ水蒸気がタービンへ向かうため、タービン建屋でも放射線管理の手間がかかるが、原子炉の構造は比較的単純にできる。東京電力などで採用されており、福島第一原発もこのタイプである。

加圧水型軽水炉 (Pressurized Water Reactor : PWR)



压力容器内で加熱される水と、タービンへ送られる水（水蒸気）を分離した原子炉。压力容器内の水に 100 気圧以上の高い圧力をかけることで、沸騰させずに水を約 300 度 C にし、その熱で、別の配管を通る水を沸騰させて蒸気をつくる。構造は比較的複雑になるが、タービン建屋での放射線管理の手間が減る。関西電力などで採用されている。

原子力エネルギーとは何か？

発電のためのエネルギーを生み出す核分裂とは、いったいどのようなものなのだろうか。

原子力発電の燃料となるウラン（U）をはじめ、すべての物質は原子からできている。原子の中心には「原子核」があり、そのまわりを電子が取り巻いている。原子核は、プラスの電荷を帯びた「陽子」と、電荷をもたない「中性子」が集まったものだ。原子力発電で使われるウラン（原子番号 92）には、原子核中の中性子の数がわずかにことなるもの（同位体）がいくつか存在する。たとえば、「ウラン 238」（陽子 92 個、中性子 146 個）や、「ウラン 235」（陽子 92 個、中性子 143 個）などだ。名称についている数字は、陽子と中性子の数の合計（質量数）を示している。

ウラン燃料に含まれるウラン 235 の原子核は、中性子を吸収すると二つのことなる原子核に分裂する性質をもつ。

これが「核分裂」だ。核分裂によって、ウランはまったく別の物質（ヨウ素やセシウムなど）にかわってしまう。このとき膨大な熱が発生する。原子力発電では、この熱で水を沸騰させ、タービンをまわす水蒸気をつくるのだ。

火力発電で重油などを燃やすのとはことなり、原子力発電でウラン燃料を核分裂させつづけるにはくふうがいる。そこで登場するのが核分裂の「連鎖反応」だ。ウラン 235 が核分裂をおこすとき、2、3 個の中性子が飛び出す。この中性子を利用して次の核分裂をおこさせるのだ。核分裂で生じた中性子がほかのウラン 235 に吸収されると、次の核分裂がおきる。そこで生じた中性子が、さらに次のウラン 235 に吸収されて……、というように、連鎖的に核分裂が進む状態をつくりだすのである。

ただし、天然ウランは普通は核分裂の連鎖反応をおこさ

核分裂で水を沸騰させる

原子炉では、ウランの核分裂によって生じた熱で水を沸騰させ、タービンをまわす水蒸気をつくる。通常運転時には、圧力容器内の水蒸気の圧力はおおよそ 70 気圧となっている。この水蒸気が配管を通じてタービンへ送られ、発電機をまわして電気をつくる。

燃料集合体

燃料集合体

圧力容器におさめられた核燃料

福島第一原子力発電所で採用されている沸騰水型軽水炉では、原子炉の中心部に、高さ約 22 メートル、直径約 6.4 メートルの「圧力容器」がある。その内部には縦横 14 センチメートル、長さ約 4.5 メートルの「燃料集合体」が 400 ～ 500 体ほど、おさまられている。

燃料集合体は、60 ～ 80 本の「燃料棒」を束ねたものだ。1 本の燃料棒には、二酸化ウラン（ UO_2 ）を焼き固めた、高さと直径が約 1 センチ、重さ約 6 グラムの「燃料ペレット」が 350 個ほど密閉されている。このペレットの内部でウランが核分裂をおこすのである。

燃料棒

ジルコニウム合金の筒に燃料を密閉したもの。この中に、核分裂で生じた放射性物質を閉じこめる。

燃料ペレット

二酸化ウランを陶器のように焼き固めたもの。核分裂で生じた放射性物質が外にもれ出しにくいようになっている。

ない。天然ウランでは、ほとんど核分裂しないウラン 238 が 99%以上を占め、ウラン 235 が約 0.7% しか含まれていないためだ。そこで、ウラン 235 の割合が 3～5% になるように天然ウランを濃縮して連鎖反応をおこせるようにする。これがウラン燃料である。

原子炉内では、1 個のウランの核分裂で、次のウラン 1 個の核分裂を誘発するように調整されている。そのような連鎖反応を「臨界」とよぶ。一方、次の核分裂が 1 個未満なら連鎖反応はおさまっていく。逆に、1 個より多ければ、核分裂はねずみ算式にふえていく。原子炉内では、核分裂が一気に進みすぎたり、逆に止まってしまったりしないように、中性子を吸収する「制御棒」を原子炉内へ出し入れして連鎖反応を調節している。

また、実はウラン 235 の核分裂で生じた中性子は、そのままではほかのウラン 235 に吸収されにくい。ウラン 235 の核分裂で飛び出す中性子は、秒速 1 万キロメートル以上もある。そうした中性子は速度が大きすぎてウラン 235 に吸収されにくいのだ。そこで、高速の中性子の速度

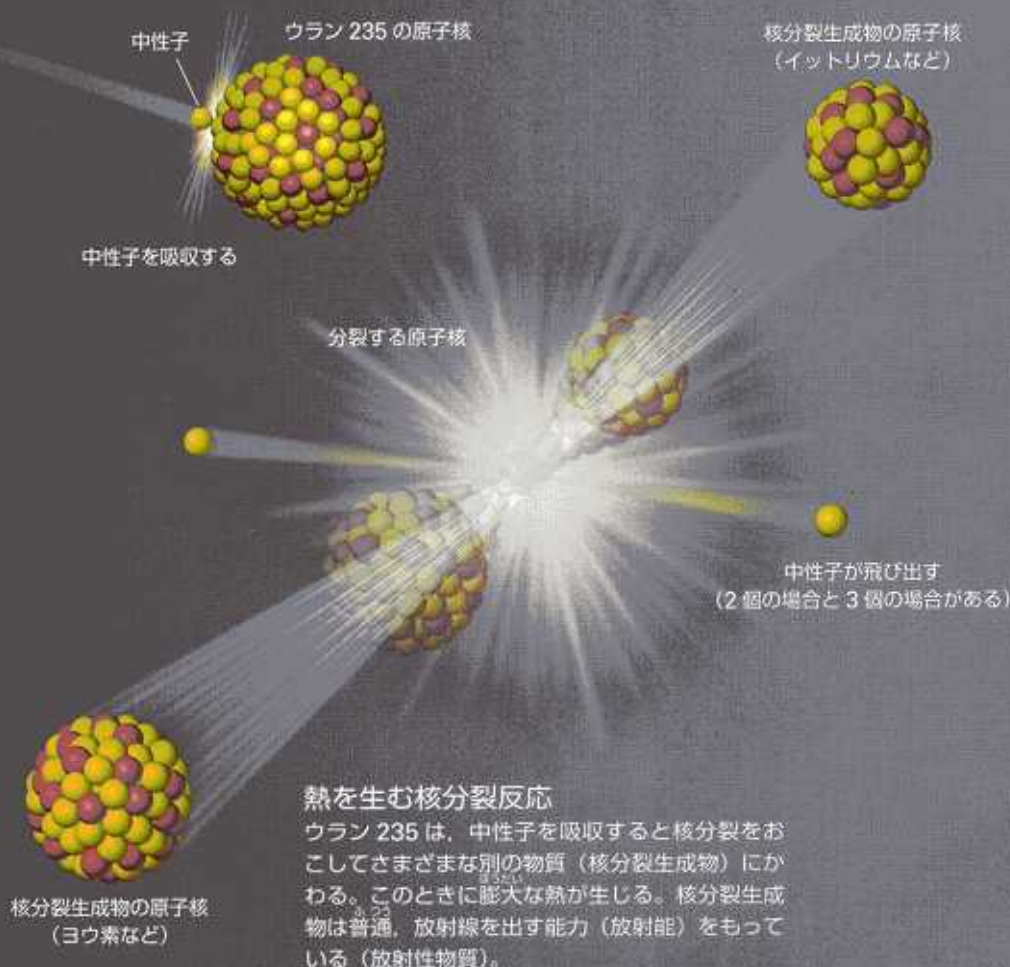
を遅くする必要がある。その役割を果たすのは、水である。

ウラン燃料は、「燃料棒」の形で原子炉内で水にひたされている。燃料棒は、ウラン燃料をジルコニウム (Zr) という金属の合金 (ジルカロイ) でできた筒 (被覆管) の中に詰めこんだものだ。ウラン 235 の核分裂で生じた高速の中性子は、燃料棒を飛びだして、周囲に満たされた水の中を進む。その間に、水分子と衝突して急激に速度を落とすのだ。そうすると、その中性子はウラン 235 に吸収されるようになる。水は、タービンをまわす水蒸気のもとである一方、このように「減速材」としてのはたらきもあり、核分裂の連鎖反応をおこすための重要な役割を果たしている。

なお、原子炉は原子爆弾とはことなる。原子爆弾では、連鎖反応を瞬時に進め、一気に大量の熱を発生させて大爆発させる。そうした、爆発的な連鎖反応をさせるために、原子爆弾では、ウラン 235 が 90% 以上の高い割合で含まれるウランを使用している。原子炉で使用するウラン燃料のウラン 235 の割合は 3～5% と小さく、連鎖反応をゆっくり進めることで、爆発させずに熱を取りだすのである。

臨界反応のしくみ

下では、1 個のウラン 235 の核分裂が、次の 1 個の核分裂をおこす「臨界」のようすを示した。原子力発電では、この臨界状態を維持し、継続的に熱を生みだしてタービンをまわす水蒸気をつくる。



緊急停止！地震直後、 核分裂が自動的に止められた

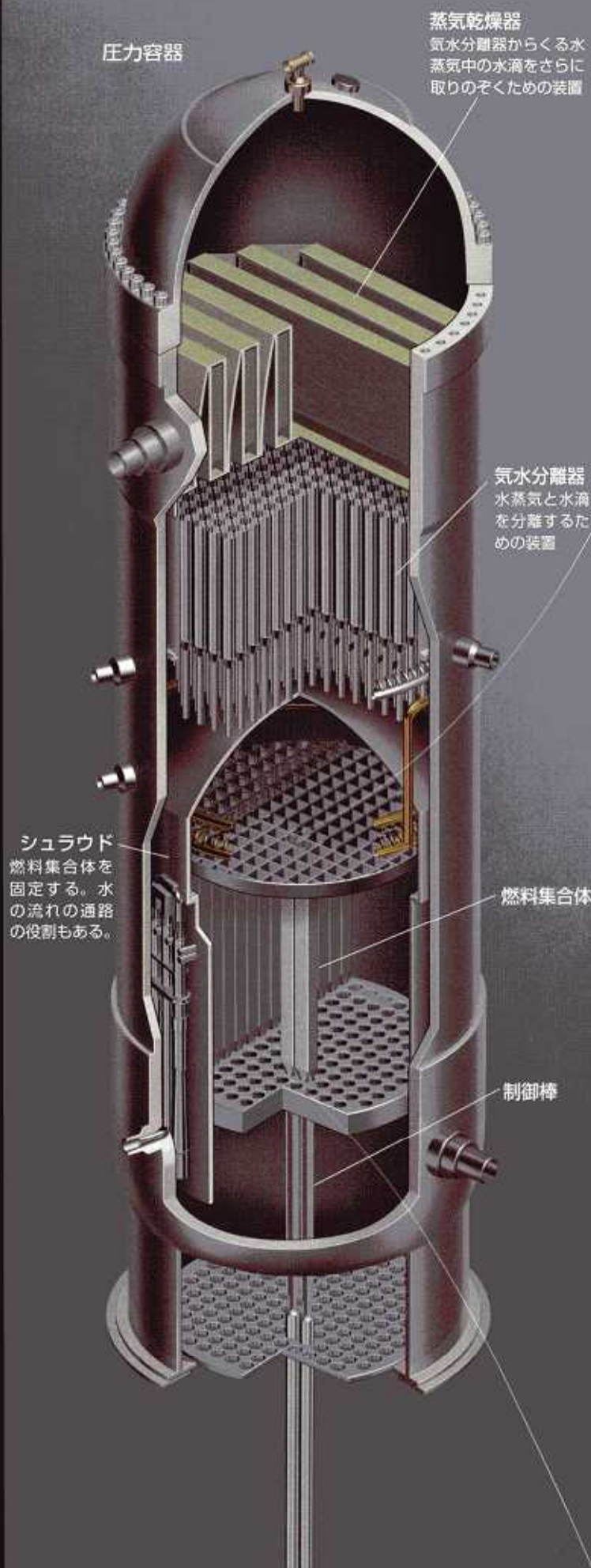
2011年3月11日、福島第一原子力発電所1～3号機では、地震がおきた直後、そのゆれを検知して原子炉が自動的に停止した。この「原子炉の停止」とは、ウラン燃料の核分裂が止まることを意味する。なお、4～6号機は、定期検査のため原子炉はもともと停止していた。

圧力容器におさめられていた燃料集合体は、福島第一原子力発電所1号機では400体で、2、3号機では548体だった。地震を検知した際、これら燃料集合体の隙間に、核分裂を止める「制御棒」が自動的に挿入された。

福島第一原発の原子炉の制御棒は、十字型をした長さ約4.5メートルのステンレスの板で、中に炭化ホウ素やハフニウムという物質が入っている。炭化ホウ素やハフニウムは中性子を吸収しやすい性質を持っており、ウランの核分裂で生じた中性子を吸収する。こうして、ウランが核分裂をおこすのに必要な中性子が炉内からなくなり、核分裂の連鎖反応が止まるというわけである。

このように、緊急時に自動的に制御棒が挿入され、核分裂を止める動作を「スクラム」とよぶ。燃料棒は高圧の窒素ガスと水圧を使って、電源などが切れても問題なく挿入されるようになっているとされる。

なお、福島第一原子力発電所と同じく地震による強いゆれに見舞われた福島第二原子力発電所（1～4号機）、宮城県の女川原子力発電所（1～3号機）、茨城県の東海第二原子力発電所の各原子炉も、地震後、稼働中のものはすべて緊急停止した。



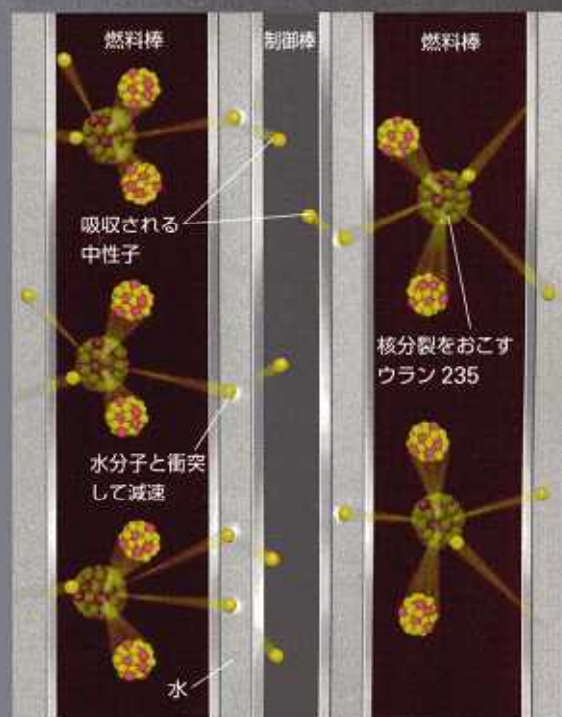
燃料集合体（4体）

■ 炉心に制御棒を挿入し、核分裂を停止する「スクラム」

地震を検知したり、原子炉に異常が発生すると、すぐさま燃料集合体に制御棒が自動的に挿入される。これをスクラムという。福島第一原子力発電所で使われている沸騰水型軽水炉では、制御棒は高圧の窒素ガスと水圧を使って下部から押し上げられる。十字型をした制御棒は原子炉内に約 100 本あり、4 体の燃料集合体の隙間に挿入されるようになっている。制御棒は圧力容器内にある中性子を吸収し、ウラン燃料の核分裂をすぐに停止させる。

制御棒

原子炉で異常が検知されると、四つの燃料集合体の隙間に、十字型の制御棒が下からせり上がってくる。



臨界が止まるしくみ

制御棒の中には、炭化ホウ素やハフニウムといった中性子をよく吸収する物質が入っている。燃料集合体の隙間に制御棒が挿入されると、ウランの核分裂で生じる中性子が、制御棒に吸収される。こうして、炉内の中性子がなくなり、核分裂の連鎖反応（臨界）が止まる。

なぜ核分裂が止まっても、熱が発生しつづけるのか？

今回の原発事故では、原子炉が停止したあと、1か月以上も注水作業がつづけられており、今後もつづけられる。なぜ、これほど長期間にわたる冷却が必要なのだろうか。

核分裂が停止したあとの燃料棒からは長期にわたって熱が出つづける。それは、単に熱いものが冷えるには時間がかかる、ということだけではない。時間が経っても新たに熱を出しつづけるのである。そのしくみはこうだ。

臨界状態のとき、ウラン 235 がつぎつぎと核分裂してさまざまな物質（核分裂生成物）が生まれ、燃料ペレットの内部に蓄積されていく。そうした物質が、今回の福島第一原子力発電所の事故で大気や海にもれ出している、ヨウ素 131 やセシウム 137 などの「放射性物質」だ。

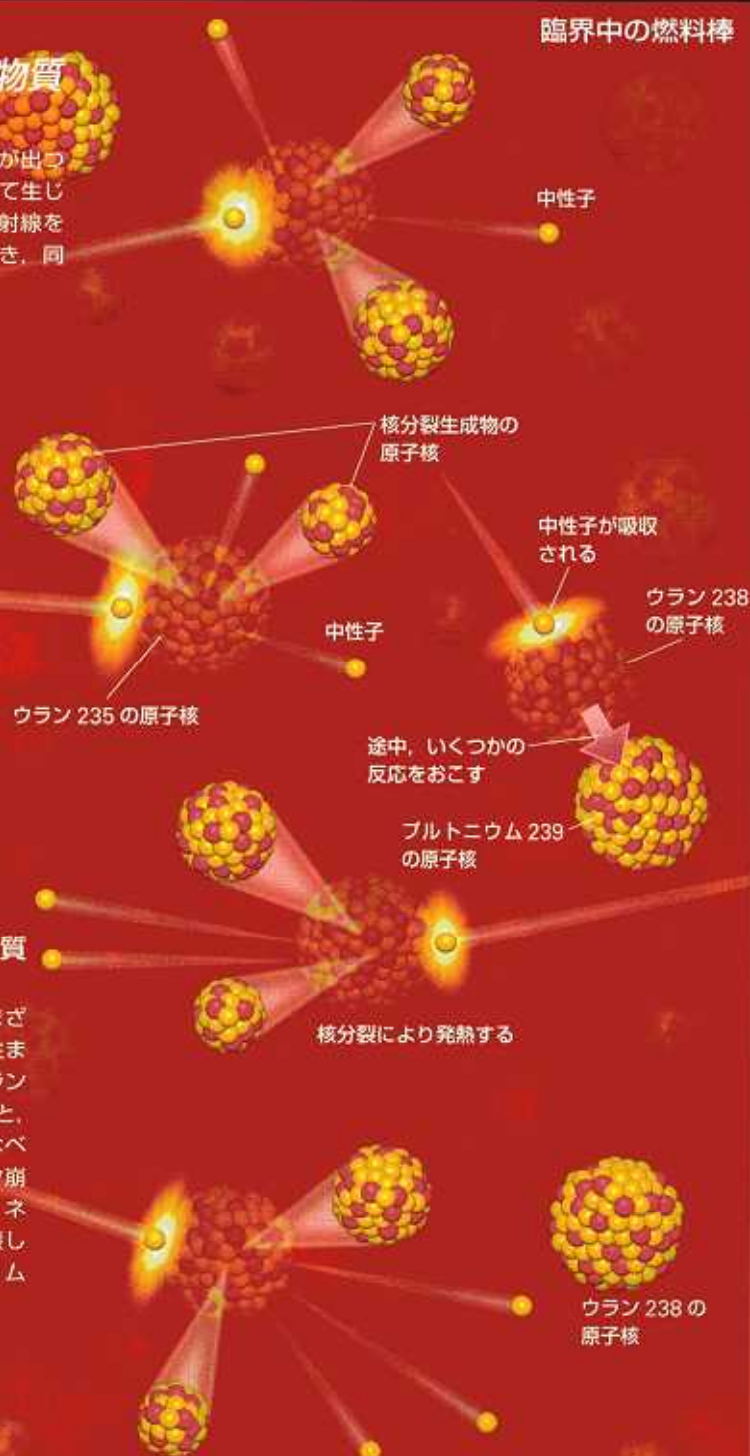
放射性物質は、時間が経つと「放射線」を出してほかの物質に変化する^{*}。これを「放射性崩壊」という。そして、

核分裂で生じた放射性物質が熱を出す

核分裂を止めても、燃料棒からは熱が出つづける。ウラン 235 の核分裂によって生じた核分裂生成物は、時間が経つと放射線を出して別の物質に変化する。このとき、同時に熱も発生する。

核分裂により大量の放射性物質が生じる

ウラン 235 の核分裂によって、さまざまな核分裂生成物（放射性物質）が生まれ、燃料棒内に蓄積する。また、ウラン 238 の原子核が中性子を吸収すると、ウラン 239 ができる。ウラン 239 はベータ線（電子）を出して崩壊（ベータ崩壊）し、ネプツニウム 239 になる。ネプツニウム 239 はさらにベータ崩壊して、放射性物質であるプルトニウム 239 となる。



放射性崩壊がおきるとき、熱が発生する。これが、臨界を止めても発熱がつづく理由だ。この熱を「崩壊熱」という。

放射性崩壊は止めることができないので、冷却されないと、崩壊熱で燃料棒の温度は上がる。運転中、水中にある燃料棒の表面温度は300度C～400度C程度だ。しかし、原子炉を研究する、早稲田大学理工学術院の岡芳明教授は「水から露出した燃料棒は、原子炉停止直後では、数分程度で2000度C以上になります」と話す。そうすると、ジルカロイ製の被覆管（融点約1900度C）がとけたり、燃料ペレット（融点約2800度C）自体がとけたりする。これを「炉心溶融」という。炉心溶融がおきると、大量の放

射性物質が圧力容器内にもれてしまう。また、とけた燃料が落下し、圧力容器に穴があく危険もある。そのため、水を循環させて、燃料棒を冷却しつづける必要があるのだ。

放射性物質はしだいに放射線を出さない安定な物質にかわっていくので、発熱はおさまっていく。崩壊熱は原子炉停止から1分後には2分の1、1日後には3分の1、1か月後には10分の1ほどになる。しかし、その後は崩壊熱の減少は鈍くなっていく。そのため、水で冷却する必要があるまでには10年以上の時間がかかる。

※ガンマ線を出す崩壊のときには、物質としては変化せず、高いエネルギー状態から低いエネルギー状態になる。

臨界が停止した燃料棒



使用済み燃料に含まれる代表的な放射性物質

放射性物質	放射線の種類	半減期
プルトニウム 239	アルファ線	2万4100年
セシウム 137	ベータ線	30.1年
ストロンチウム 90	ベータ線	28.8年
クリプトン 85	ベータ線	10.8年
セシウム 134	ベータ線	2.06年
セリウム 144	ベータ線	285日
バリウム 140	ベータ線	12.8日
ヨウ素 131	ベータ線	8.02日
キセノン 133	ベータ線	5.24日

放射性崩壊で熱が出る

臨界を停止した直後の燃料棒の内部には、ヨウ素131やプルトニウム239などの放射性物質が大量に存在する。それらは、ウラン235の核分裂や、ウラン238が中性子を吸収するなどして生じる。それらの原子核が放射性崩壊をおこすと、崩壊熱が発生する。

冷却しなければ、その熱で燃料棒がとけて放射性物質が燃料棒の外へもれたり、原子炉を破損させたりする。そのため、炉内に水を循環させて長期間にわたり、燃料棒を冷却する必要がある。

津波が設備を破壊！ 原子炉の冷却が不能に

原子炉の緊急停止後、燃料集合体のある「炉心」を正常に冷却できない状態になると、「非常用炉心冷却装置（Emergency Core Cooling System：ECCS）」が作動する。ECCSは、圧容器の内外に水を注入・循環させ、炉心を冷やすためのものだ。

原子炉内に水を供給・循環ができないと、燃料棒の崩壊熱により水は沸騰をつづけて蒸発してしまう。圧容器内の水位が下がって燃料棒が水から露出すると、燃料棒が高温となって被覆管が破れ、大量の放射性物質が原子炉内にもれてしまうことになる。また、とけた燃料が落下し、ステンレスなどでできた圧容器に穴を開けてしまうことにもなりかねない。

福島第一原子力発電所の稼働中だった原子炉では、地震で原子炉が停止したあと、ECCSが作動した。通常は、発電所外からの送電によって水を循環させるポンプや、温まった水を冷やす除熱器などが作動する。しかし、今回は地震による停電で外からの送電が絶たれた。原子力発電所では、そうした事態にそなえて非常用ディーゼル発電機が設置されており、その電気によってECCSを作動させることができる。

ところが、地震発生からおおよそ1時間後、その発電機も使用不能となる。巨大な津波におそわれたのだ。この巨大津波により、1～4号機の非常用ディーゼル発電機が設置されたタービン建屋地下が浸水した。また、発電機や原子炉内の水を冷却するための海水を送るポンプなども破壊された。こうして、ポンプを駆動するための電気が送れなくなり、ECCSが停止して、崩壊熱が出つづけている1～3号機の炉心を冷却することができなくなってしまった。これが、今回の福島第一原子力発電所でおきた一連の事故の発端となったのだ。

この危機を脱するべく消防などが派遣された。ポンプ車を使って原子炉の消火用の配管や冷却用配管に注水し、冷却を試みることとなる。しかし、注水は難航し、炉心の冷却がなかなか進まない事態となってしまったのである。

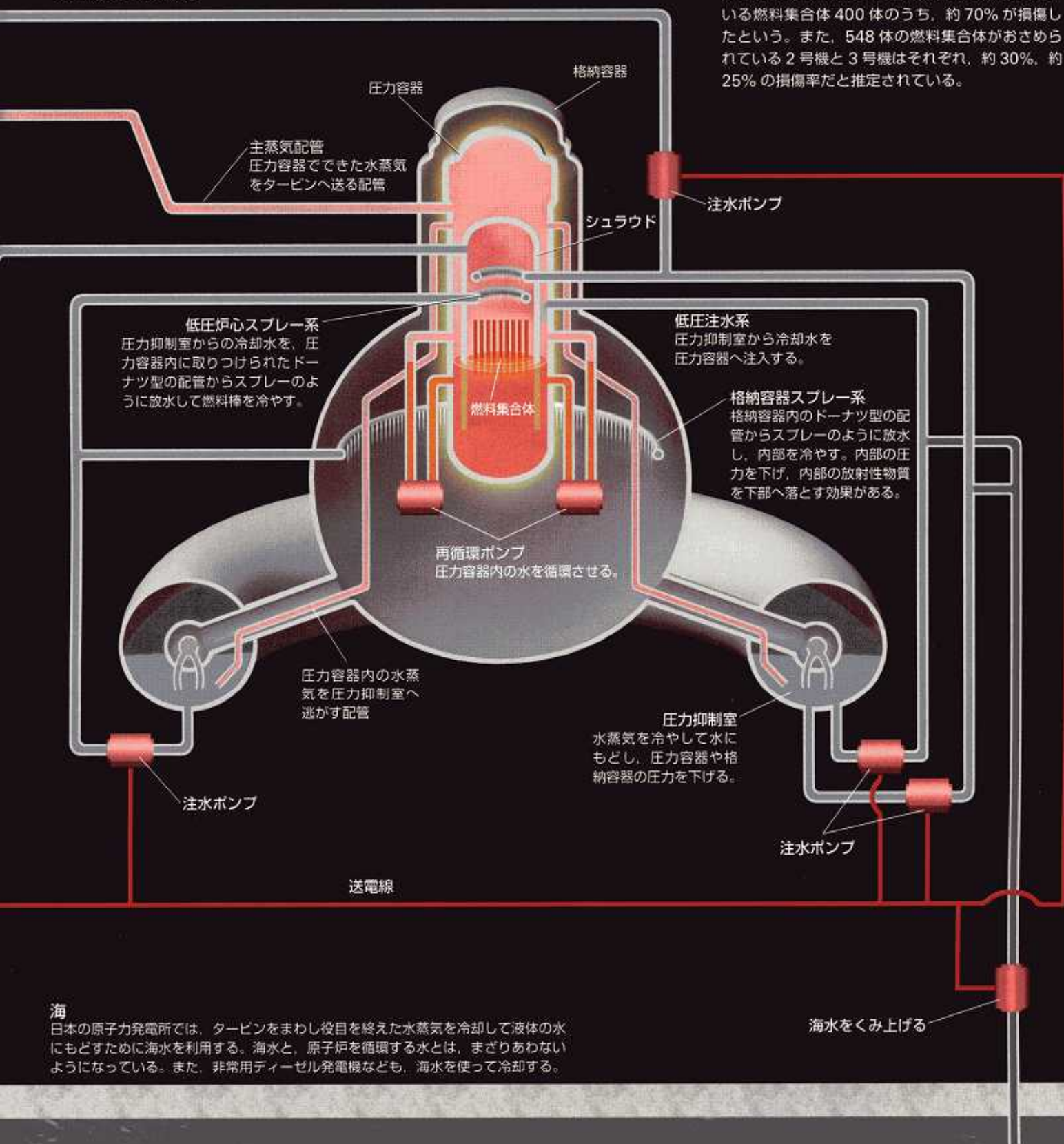


原子炉隔離時冷却系

復水貯蔵タンクから圧力容器内へ注水する。外部からの電源がなくても、崩壊熱で生じた水蒸気を利用してタービンを動かし、ポンプを駆動する。ただし、崩壊熱がある程度下がると機能できなくなる。

非常時には冷却システムが作動するはずだった

イラストでは、非常時に作動する冷却システムの概要を示した。福島第一原発では、このシステムが破壊されてしまった。長期にわたって燃料集合体が水から露出し、燃料棒の被覆管がとけるなどして損傷したと考えられている。東京電力の4月6日の発表によると、1号機の炉心におさまられている燃料集合体400体のうち、約70%が損傷したという。また、548体の燃料集合体がおさまられている2号機と3号機はそれぞれ、約30%、約25%の損傷率だと推定されている。



海

日本の原子力発電所では、タービンをまわし役目を終えた水蒸気を冷却して液体の水にもどすために海水を利用する。海水と、原子炉を循環する水とは、まざりあわないようになっている。また、非常用ディーゼル発電機なども、海水を使って冷却する。

地震発生の日以降、 1～3号機で爆発

圧力容器内は水の蒸発によって圧力が高まり、なかなかうまく注水できない状態がつづいていた。そうしているうちに、1号機（3月12日）と3号機（3月14日）で、はげしい爆発がおき、原子炉建屋上部が吹き飛んだ。爆発の映像をテレビで見て、声を失った読者も多いことだろう。その後、圧力容器や格納容器に致命的な損傷はなかったと報告された。この爆発は、いったいなぜおきたのだろうか？

注水が進まない圧力容器内では、水の蒸発が進んで燃料棒が水面から露出し、崩壊熱によって燃料棒は高温となった。燃料棒の被覆管のジルコニウムが高温になると、水蒸気と反応して水素が生じる。この反応で、大量の水素が発生したとみられる。またこのとき燃料棒が破損して、多量の放射性物質が圧力容器内にもれたと考えられている。

こうして、水蒸気と水素によって圧力容器の圧力が高まると、それらは安全弁を通して「圧力抑制室」へ逃がされた。水蒸気は、圧力抑制室で冷えて水にもどる。一方、水素は液体にはならず、圧力抑制室内にたまっていった。また、水蒸気や水素がもれて、格納容器内の圧力が高まった。1号機でもれ出た経路ははっきりしないが、2、3号機では、圧力容器の一部が破損した可能性があり、そこから格納容器へもれ出たとの見方がある。格納容器は約4気圧に耐える設計だが、このときは設計圧力をこえていた。そこで、格納容器の破損を防ぐため、弁を開けて圧力を下げる「ベント」が行われた。放射性物質が大気中へ出てしまうことになるが、格納容器を守るには避けられなかったという。

さらに、格納容器のふたのつなぎ目から水素が建屋内にもれたと考えられている。そうして建屋上部にたまった水素は、何らかの理由で引火した。これが、爆発の原因だと考えられている（水素爆発）。この爆発で放射性物質が外部へ放出され、広範囲に広がった。また、2号機では圧力抑制室付近で水素への引火が原因とみられる爆発がおきた（3月15日）。これにより、圧力抑制室が損傷し、放射性物質を含む汚染水がもれ出している可能性がある。

その後、周辺の放射線量が強くなったため、津波で破壊された冷却用設備を復旧することがますますむずかしい状況となってしまったのだ。



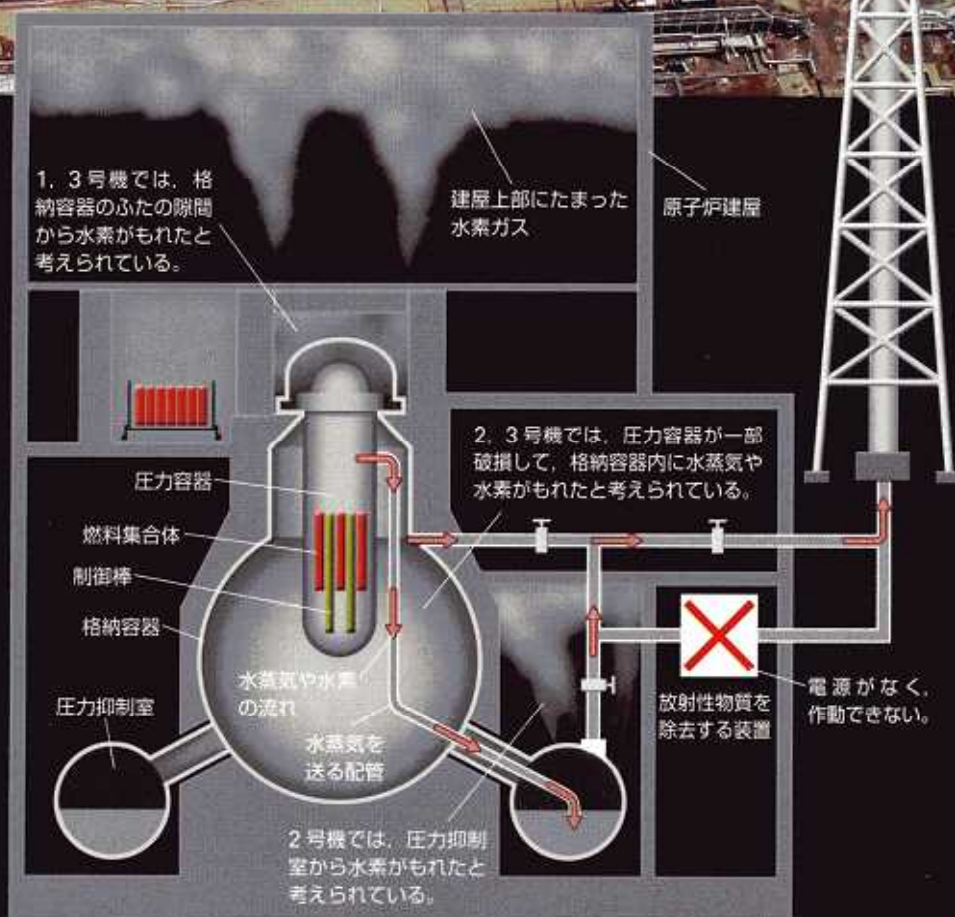
■爆発で建屋が吹き飛んだ
福島第一原子力発電所の1～3号機（左から右）を無人飛行機から撮影した写真。1号機と3号機の原子炉建屋が崩壊しているのがわかる。
（写真：株式会社エアフォードサービス
〔新潟県妙高市〕提供）



水素発生メカニズム

燃料棒が水から露出し、崩壊熱で温度が約1200度C以上になると、被覆管のジルコニウムと水（水蒸気）が反応して水分子中の酸素を吸収し、水素を生じる。今回の事故では、こうしてできた水素が外へもれ、酸素とまざって水素爆発がおきたと考えられている。

またジルコニウムは、酸素を吸収するともろくなる。そのため、被覆管は破れてしまい、ヨウ素131などの放射性物質がもれ出したようだ。



原子炉建屋の上部に水素がたまった
 1～3号機では、圧力容器から水蒸気や水素が格納容器へもれだし、格納容器内の圧力が上昇した。格納容器が破損するのを避けるためには、弁を開いて外へ排気を行う必要があった。通常、ベントを行う際には、排気から放射性物質を除去する装置を通して行う。しかし今回の事故では、電源がないために装置が機能せず、直接、外へ排気した。また、建屋内に水素がもれ、引火して爆発したと考えられている。

使用済み燃料貯蔵プールにも異常が発生

3月15日、福島第一原子力発電所4号機でも、原子炉建屋がこわれ、火災もおきたという報告があった。4号機は定期点検中だったため、原子炉内には燃料集合体はなかった。ではなぜ火災が発生したのだろうか。

実は、冷却しなくてはならない燃料集合体は、压力容器内以外にも存在する。その場所は、原子炉建屋の上部にある、「使用済み燃料貯蔵プール」内だ。

原子炉で使用した燃料集合体は、3～4年ほどで炉心から取りだして新しいものと交換する。取り出された「使用済み燃料」は、崩壊熱が生じるので冷却しなくてはならない。そこで、原子炉建屋の上部に設置された使用済み燃料貯蔵プールに置き、崩壊熱が十分におさまるまでの数年間、水を循環させて冷却をつづけるのである。

ところが、福島第一原子力発電所1号機から4号機では、電源を失ったため、この使用済み燃料貯蔵プールの水を循環させることができなくなってしまった。そのため、使用済み燃料の崩壊熱で冷却水の温度が上がり、水が徐々に蒸発してしまった。

使用済み燃料貯蔵プールでも、水の蒸発が進んで燃料集合体が水から露出してしまうと高温になる。すると、压力容器内の場合と同様に、燃料棒の被覆管のジルコニウムと水蒸気が反応して水素が発生してしまう。また、さらに発熱が進めば燃料棒の破損や溶融を引き起こすおそれがある。そうなると放射性物質が建屋内に広がることになる。

4号機の火災や建屋の損傷は、こうして水が減って露出した使用済み燃料から発生した水素の爆発によるものとみられている。今回の事故では、冷却水の循環ができない状態がつづいたため、消防や警察、自衛隊などが、ヘリや放水車などを使って直接建屋内に放水し、使用済み燃料貯蔵プールに水の供給を行った。

水位が下がり高温となった使用済み燃料から水素が発生

原子力発電所の非常用電源がとれたため、使用済み燃料貯蔵プールの冷却水の循環も不能になった。そのため、使用済み燃料の崩壊熱でプールの水温が上がり蒸発が進んだ。一時、燃料が露出するまで水位が下がったとみられ、その際に、水素が発生したと考えられている。その後、消防などによる外部からの放水によって注水された。

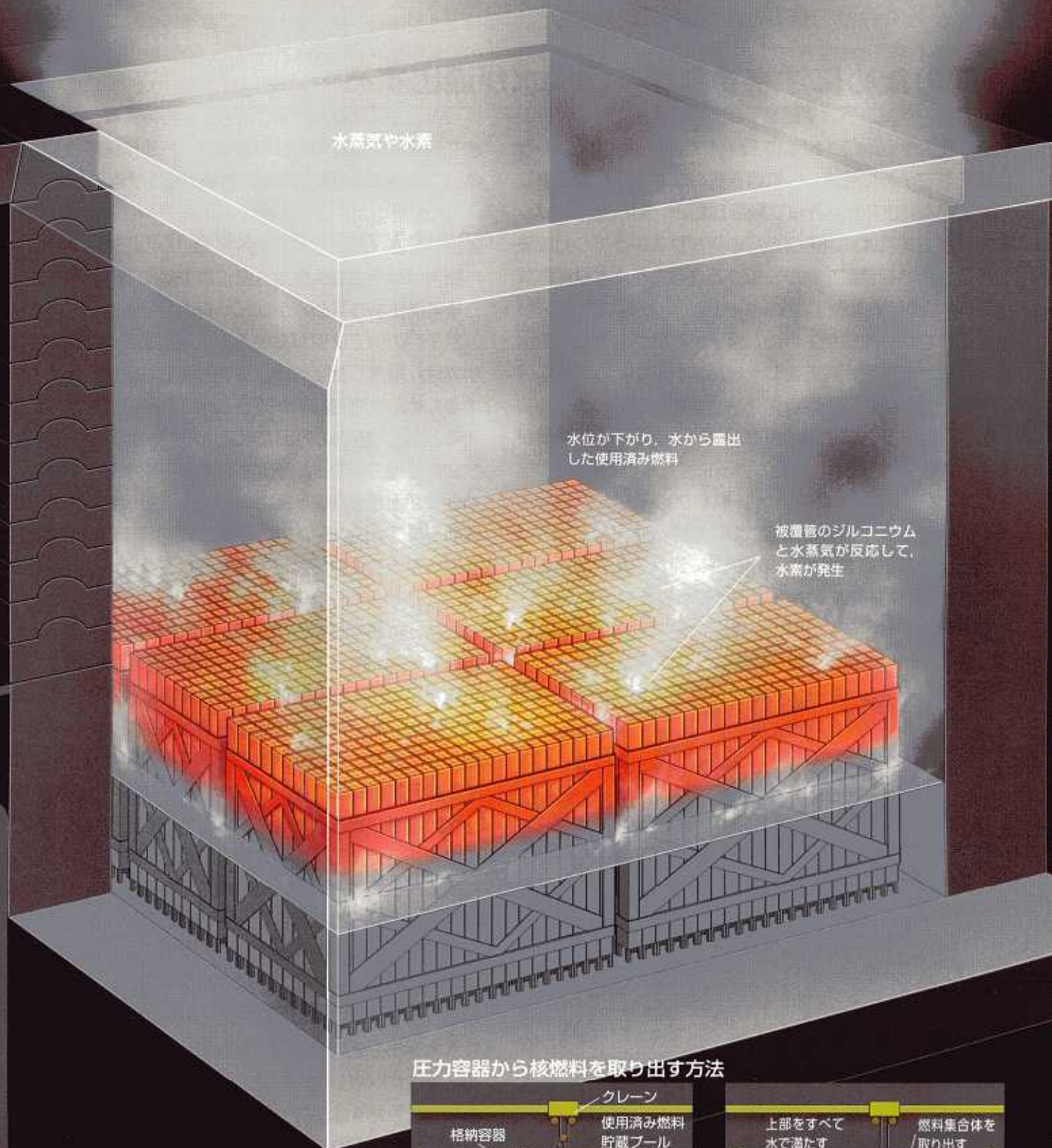
格納容器

压力容器

福島第一原発の使用済み燃料の貯蔵本数
(事故発生時)

原子炉	使用済み燃料 (燃料集合体の本数)
1号機	292
2号機	587
3号機	514
4号機	1331
5号機	946
6号機	876
共用プール※	6375

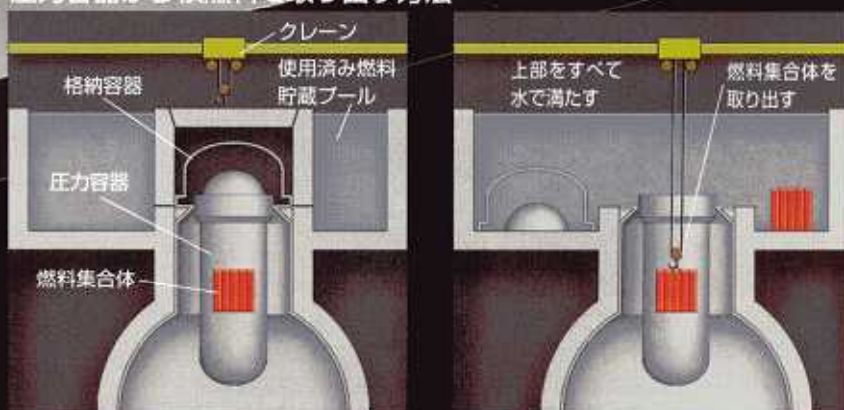
※共用プールとは、原子炉とは別の建物にある、使用済み燃料貯蔵プール。



使用済み燃料貯蔵プール

縦横約 10 メートル、深さ約 12 メートルの水槽。水槽は水で満たされ、底に使用済み燃料がラックに立てて貯蔵されている。通常は、燃料集合体の上端から水面まで、8 メートルほどの水でおおわれることで、燃料からの放射線が外に出ないようになっている。

圧力容器から核燃料を取り出す方法



格納容器と圧力容器の上部を水で満たし、水中でそれらのふたを開ける。そして、建屋に設置されているクレーンで、炉心から核燃料を取り出す。核燃料の取り出しはすべて水の中で行われる。そうすることで、放射線を遠へいする。

冷却のために注水すれば、汚染水が流出する…。

事故発生から現在（4月14日）まで、原子炉や使用済み燃料貯蔵プールに注水し、燃料棒を冷却する作業がつづけられている。また、並行して電源の復旧作業が進められた。電源が復旧すれば、中央制御室の明かりをつけたり、津波で停止した冷却装置を動かしたりできるようになり、作業の効率が上がるためだ。

そのさなか、問題が生じた。原子炉建屋やタービン建屋の地下に、放射性物質を含む水がたまっていたのだ。崩壊熱を出しつつづけている燃料棒を冷やすために、注水はつづけなければならないが、その水がもれることで、作業員が強い放射線にさらされ、作業が進みにくくなってしまった。

3月27日には、1時間当たり1（1000ミリ）シーベルト（「シーベルト」などの単位については68ページで解説）に相当する放射線を出す汚染水が海に流れこんでいることがわかった。作業員は、注水によって燃料棒を冷却する一方、被曝を警戒しながらもれつづける汚染水を隔離するという、二つのむずかしい作業に取り組むことになった。

4月14日現在、タービン建屋などにたまっているの汚染

水を廃棄物処理建屋のタンクなどに移す作業がつづいている。これにより、作業現場の放射線量を下げることができる。

窒素注入で炉内での水素爆発をおさえる

問題はほかにも生じた。原子炉の内部で、水素爆発がおきる可能性があるというのだ。

原子炉の中では何がおきるのだろうか。まず圧力容器の中では、損傷した燃料棒からの強い放射線が水分子を分解するため、水素と酸素ができる。これらの水素と酸素がふえると、圧力容器の内部で水素爆発がおきる可能性がある。

また建屋の爆発後、圧力容器では、注水をつづけていても水位が上がらない状態がつづいた。もし燃料棒の一部が水面上に露出していれば、高温の燃料棒によって、水素が圧力容器内で生じつづける可能性がある（水素が生じるしくみは56ページで解説している）。

また、格納容器の内部でも、水素爆発がおきるおそれがあった。2号機、3号機は、圧力抑制室や建屋の爆発のあと、圧力容器や格納容器が破損している可能性があると考えられていた。もし、水素が圧力容器から格納容器にもれ、外気が格納容器に入れば、そこで水素と酸素が出会い、爆発するおそれがある。

水素爆発がおきるかどうかは、水素と、その場にあるほかの気体との比で決まる。たとえば、空気に対して水素の体積の割合が4%以下ならば爆発はおきない。そこで冷却や汚染水の除去と並行して、不燃性の窒素が4月6日から格納容器に注入されはじめた。

なぜ原子炉の解体は時間がかかるのか

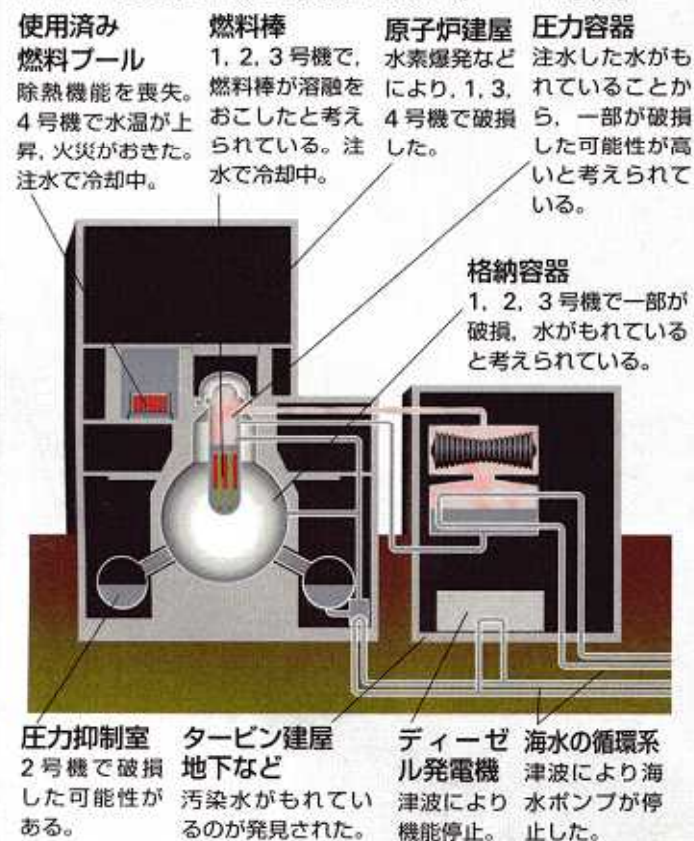
水の漏出が止まり、電源が復旧して冷却装置が動きはじめ、事故が収束したとしよう。そのあとには、事故をおこした原子炉を解体して「廃炉」にする作業が残っている。

原子炉の廃炉は、時間のかかるむずかしい作業である。原子炉には、燃料棒のほかにも、放射能（放射線を出す能力）を帯びている部分があるためだ。

たとえば、格納容器をおおう厚さ約2メートルのコンクリートの壁は放射能を帯びている。この壁は、原子炉内からの放射線をさえぎり、壁の外で作業する人が放射線にさらされないようにするはたらきがある。

本来は放射性物質ではないコンクリートが、なぜ放射能

4月14日現在の原発事故の状況（1～4号機）



を帯びるようになるのだろうか？ それは「放射化」という現象による。放射化とは、放射性物質ではない物質に中性子があたること、放射性物質に変化する現象である。コンクリートは、中性子を吸収し放射化されることで、格納容器に近い部分ほど放射能を帯びるようになるのだ。なお、放射化が中性子線以外の放射線（放射線の種類については62～63ページで解説）でおきることはまずない。

ほかにも、設備の表面に放射性物質が付着している可能性がある。廃炉は、原子炉内のさまざまな設備の放射能レベルをはかり、放射性物質が漏出しないよう注意しながら解体を進める必要があるのだ。

廃炉には、どんな方法があるのだろうか。IAEA（国際原子力機関）は、「安全貯蔵」、「しゃへい隔離」、「即時解体」という三つの方法を提案している。

「安全貯蔵」は、原子炉や関連の施設を閉じこめて長期間保存する方法である。イギリスでは、運転停止から125年以上原子炉を保存する方法がとられている例がある。ただし、長い時間が経つことで、原子炉の構造をくわしく知る人がいなくなる点が心配されている。

「しゃへい隔離」は、放射能の高い部分をしゃへいしておき、放射能が弱まるのを待って解体する方法である。福井県の新型転換炉ふげん発電所は、この方法で解体が進んでおり、現在放射能レベルの低い部分の解体が進められている。2038年に解体が完了する予定だ。

「即時解体」は、停止後、なるべく早く解体する方法である。この場合には、放射能レベルの高い物質をあつかう必要がある。そこで、即時解体を採用するドイツでは、遠隔操作ロボットを用いた解体が進められている。

残された放射性廃棄物を処理する長い道のり

日本は「しゃへい隔離」を取り入れて原子炉の解体を行ってきた。解体は次のように進む。まず、燃料棒を取りだして処理施設に送る。そのあと、発電所の設備のうち、建屋を残して、放射能レベルの低い部分から解体していく。次に、放射能レベルの高い部分を解体する。そして最後に、いちばん外側の建屋を解体する。このように解体すれば、周囲の環境への放射性物質の放出を防ぐことができる。また、作業員が高い放射線にさらされる時間を短くできる。

福島第一原子力発電所を同じように解体する場合、どんな問題がおきるだろうか。早稲田大学の岡芳明教授によれば、燃料棒を取りだすことが困難な可能性があるという。

福島第一原発の原子炉内では、燃料棒の一部が溶融して流れ、周囲の設備に付着し、強い放射線を放っている可能

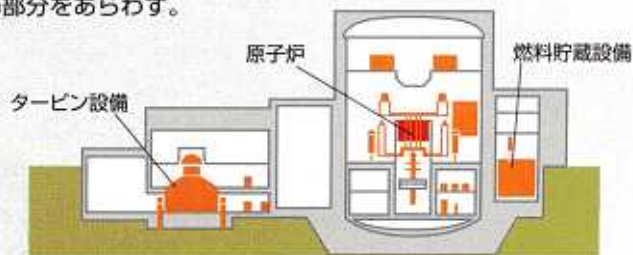
性がある。そのため、クレーンで燃料棒を取りだす通常の作業にくらべ、燃料の取りだしがむずかしくなるという。

ではほかに方法はあるだろうか。1986年の旧ソ連のチェルノブイリ原発事故では、事故をおこした原子炉を解体せずに、周囲にコンクリートのビル（石棺）を建てて閉じこめた。方法としては安全貯蔵の一種だ。しかし、事故から30年以上たった現在、石棺の老朽化が心配されている。

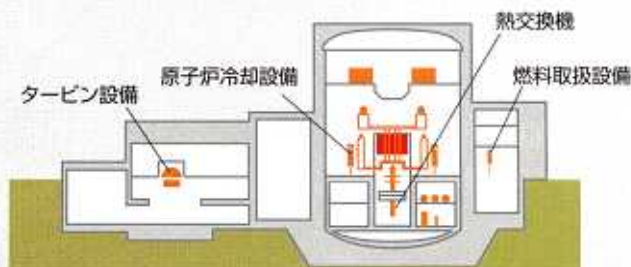
では、即時解体はどうか。この場合は、遠隔操作ロボットを開発する必要がある。「しゃへい隔離」、「安全貯蔵（石棺）」、「即時解体」。どの方法にも課題が山積しているのだ。

原子炉解体の流れ

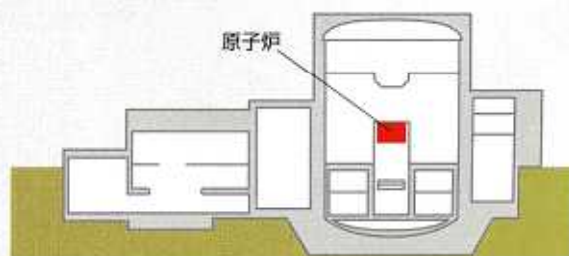
現在、解体が進められている、新型転換炉ふげん発電所の解体（廃止措置）の工程をえがいた。ふげんは、運転を終了した2003年から、35年かけて解体される予定だ。赤い部分は放射能レベルの高い部分を、オレンジの部分は放射能レベルの低い部分をあらわす。



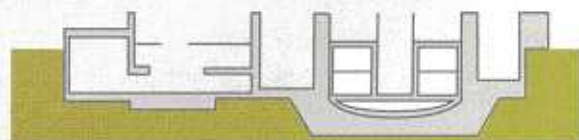
1. 燃料棒を取りだす。その後の原子炉の管理に関係のない機器を解体する。



2. 燃料棒の管理にかかわっていた、比較的放射能レベルの低い設備を解体。一部の設備を除染する。除染とは、薬品で洗うなどして、放射性物質を取り除くことをいう。



3. 原子炉本体など、放射能レベルの高い設備を解体する。



4. 最後に建屋を解体する。

「放射線」と「放射性物質」は別物。 身の守り方もことなる

福島第一原発の事故では、大気中や海に多量の「放射性物質」がもれだした。ヨウ素 131 やセシウム 137 をはじめ、さまざまな放射性物質の名前を耳にしていることだろう。「放射線」の正体は、これらの放射性物質から飛び出す粒子や電磁波である。なお、「放射能」とは本来「放射線を出す能力」のことだが、放射性物質を指すこともある。

放射性物質によって、出す放射線の種類は決まっている。その種類は、大きく二つだ。一つは、高速で飛び出した粒子である。「アルファ線（ヘリウムの原子核）」や「ベータ線（電子）」をはじめ、「中性子線」などがある。

もう一つは、光（電磁波）の仲間である。レントゲンに使われることで有名な「X 線」が代表例だ。強力な殺菌に使われる「ガンマ線」というものもある。

どの放射線も、一度に浴びすぎると人体に悪影響が出るおそれがある。放射線をさえぎる（しゃへいする）方法の一つが、“壁”をおくことである。放射線には、エネルギーの大きさや電気をおびているかどうかといった性質のちがいがあ。そのため、透過力の強さもことなる。

たとえば、アルファ線は、紙 1 枚でさえ透過できない。ベータ線は、薄いアルミ板を透過できない。ガンマ線や X 線は、紙や薄いアルミ板なら透過してしまうものの、鉛の板で防ぐことができる。透過力が最も高い「中性子線」は、厚い水やコンクリートでようやく防ぐことができる。

放射性物質そのものが体に付着することを防ぐ必要もある。付着した放射性物質を口や鼻から体内に取りこんでしまうと、体内で放射線を受けることになるためだ。現場の作業員は、マスクや防護服でこれを防いでいる。

現場以外ではどうすればよいのだろうか？ 放射線医学研究所規制科学研究プログラムの米原英典プログラムリーダーは、「福島第一原発からはなれていれば、原発から出ている放射線を気にする必要はありません。問題になるとすれば、原子炉から大気中や海水中に流出した放射性物質によって汚染された食べ物や飲料水、牛乳などを体内に取りこんだ場合です。摂取制限が出た場合にのみ、食べないことにすればよいでしょう」と話す。

なぜ水や食べ物から 放射性物質が検出されたのか？

事故後、福島第一原発から遠くはなれた都市でも、大気中の「放射線」がふえた。ただし、原発から放射線が直接届いたわけではない。大気にもれだた「放射性物質」が風で運ばれたのだ。その広がり方は均一ではなく、ある程度の不均一さを保ちながら広がっていった。さまざまな放射性物質が含まれるが、イラストでは代表的なものとしてヨウ素 131 とセシウム 137 をえがいた。大気中の放射性物質は、地面にゆっくりと降下する。しかし雨が降ると、その雨に含まれて急速に地表へと降下し、土壌に付着したり川にとけたりした。こうして、浄水場や水道水をはじめ、ほうれん草や牛乳といった食品からも、放射性のヨウ素 131 やセシウム 137 などが検出されることになったとみられる。

大気にもれた放射性物質の
まとめり（ブルーム）



福島第一原子力発電所

海へもれた
放射性物質

放射線の種類

「アルファ線」は、ヘリウムの原子核が高速で放出されたものである。たとえばプルトニウム 238 が出す。「ベータ線」は、高速で放出された電子である。ヨウ素 131 やセシウム 137 が出す。「中性子線」は、核分裂反応などで飛び出した高速の中性子である。これらの放射線はすべて、粒子からなる。

「X 線」と「ガンマ線」は、いずれも電磁波の一種である。X 線は、原子核の周囲にある電子が、エネルギーの高い状態から低い状態になるときに放出される。ガンマ線は、原子核がエネルギーの高い状態から低い状態になるときに出る。通常、X 線より高いエネルギーをもつ。ヨウ素 131 やセシウム 137 からも放出される。

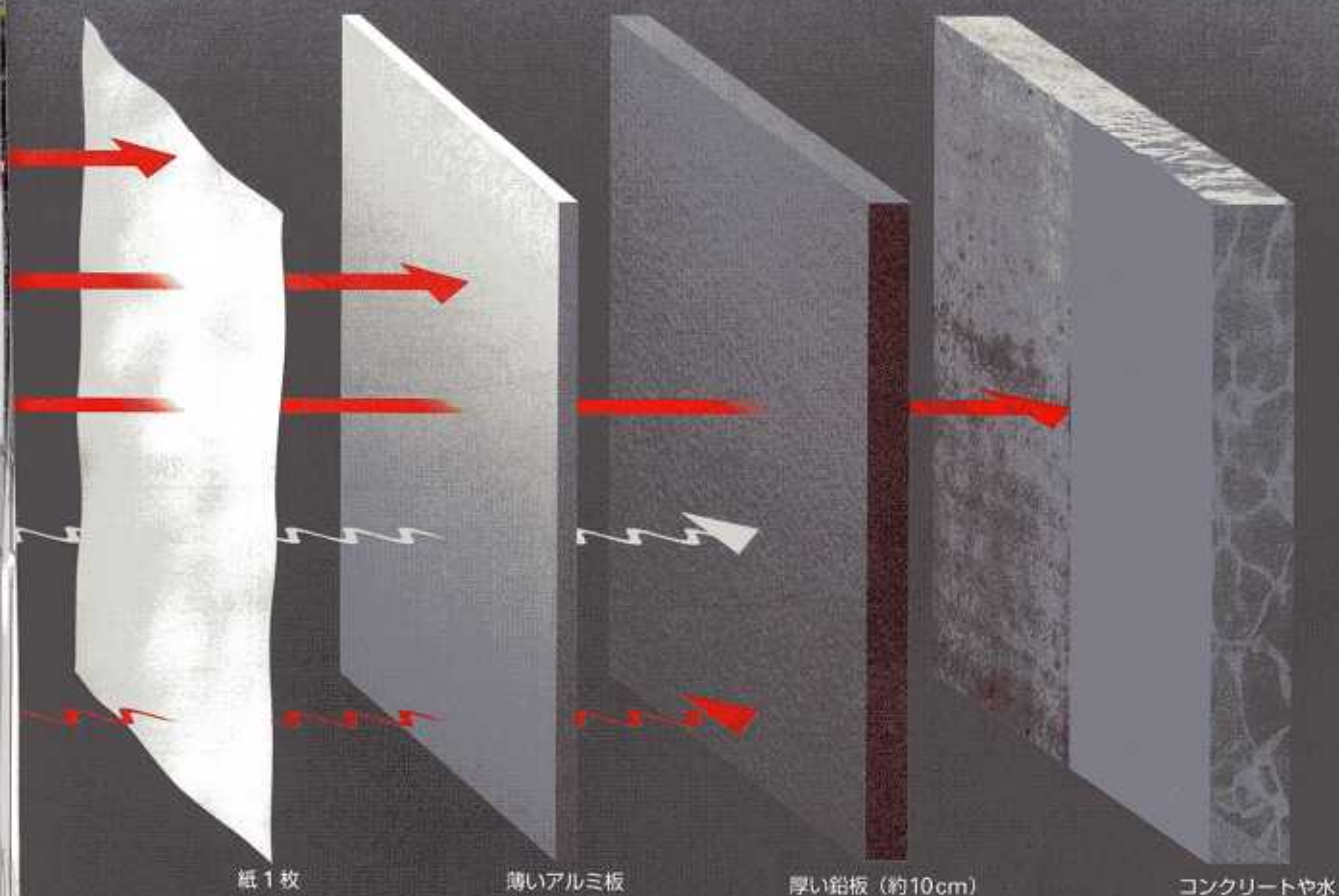
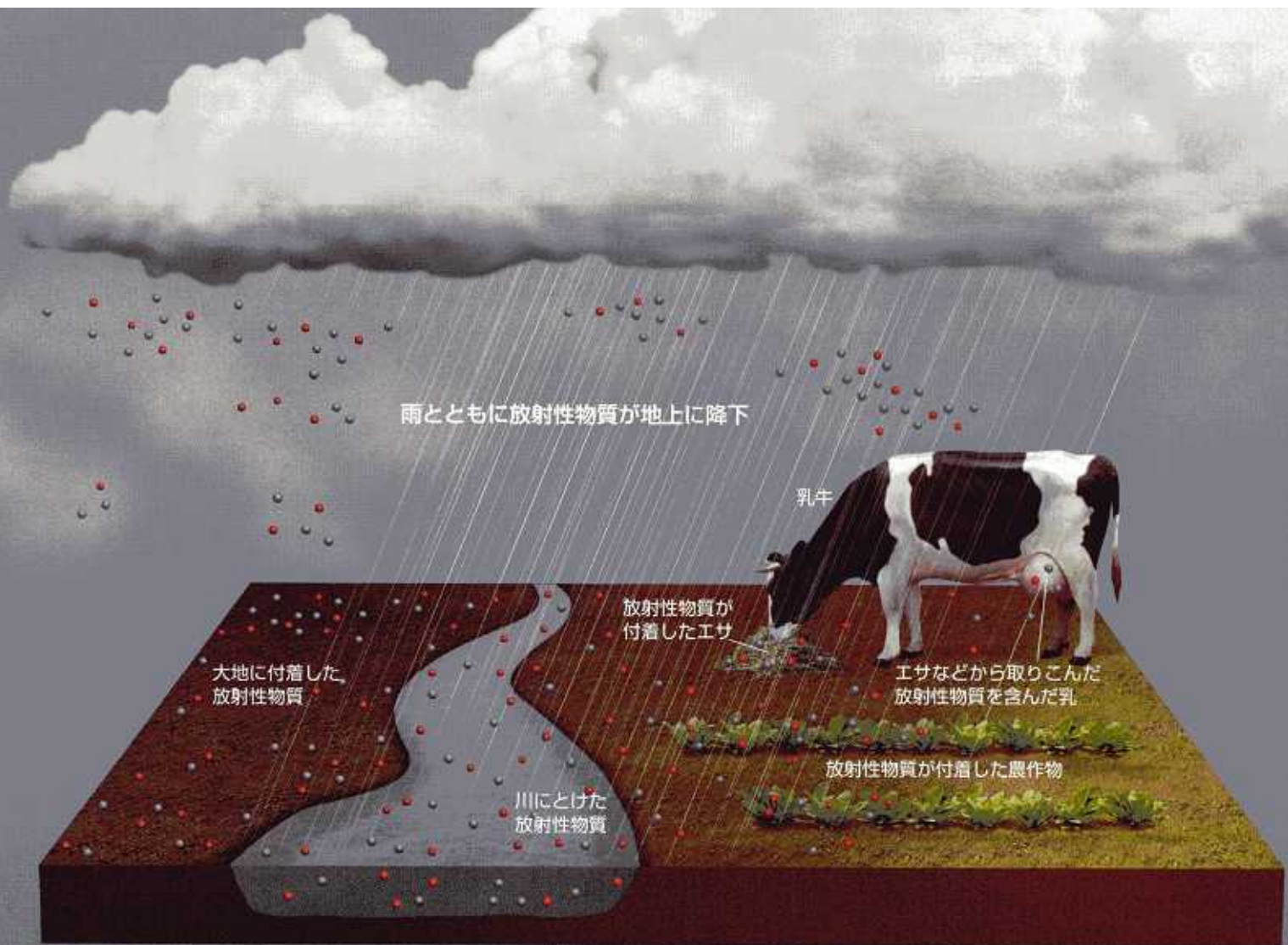
アルファ線 ヘリウムの原子核
原子核

ベータ線 電子

中性子線 中性子
核分裂反応

X 線 電子
原子核

ガンマ線 原子核



現場作業員の防護服
（放射性物質の付着・
取りこみを防ぐ効果）



各地での放射線量の急増はどのようにしておきた？

2011年3月15日、福島第一原発からもれた放射性物質が風に乗って東北・関東各地に到達し、大気中の放射線量の急激な上昇が計測された。環境中での放射性物質の動き方を研究する名古屋大学の山澤弘実教授は、「早朝の南向きの風で関東に到達し、夕方の北西向きの風で原発から北西方向に広がったのではないかとみている。

福島県内の一部地域では、同日夜に雨が降った。雨とともに空中の放射性のヨウ素やセシウムなどの多くが地上へ落ち、地面や建物などに付着した。3月21日には東京や埼玉でも雨が降り、放射性物質が地上に落ちた。

その後、地表の放射性物質が崩壊して減っていくにつれて、放射線量もなだらかに減った。それでも、半減期（69ページ参照）が長く減りにくい放射性セシウムなども放出されたため、通常より放射線量の高い状態がつづいている。

2011年4月12日、原子力安全・保安院は、大気中にもれだした放射性物質の総量の試算を発表した。それによると、ヨウ素131は10数万テラベクレル（20～30gに相当。テラは1兆倍）、セシウム137は数千～約1万ベクレル（2～3kgに相当）だという。ただし今回の事故では、放射性物質の海への流出も問題視されている。

急上昇した各地の放射線量

グラフは、各地の空間放射線量の推移を示したもの。縦軸の単位は、1時間あたりのマイクロシーベルト（ $\mu\text{Sv/h}$ 、マイクロ[μ]は100万分の1）である。シーベルトは生物への影響をあらわす単位だ（68ページ参照）。縦軸は1目盛りごとに10倍になっている。なお、日本では、1年間に平均約1000マイクロシーベルトの自然放射線を体外から受ける。これを1時間あたりの空間放射線量に単純に換算すると、0.11マイクロシーベルトになる。

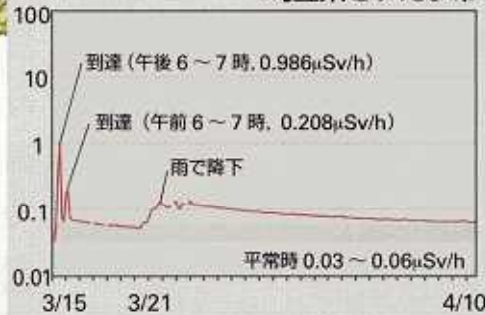
グラフがとぎれている部分はデータがないことを意味する。ピンク色の部分は、原発事故前の平常時に観測されていた値の範囲（ただし福島市と南相馬市は平均値）。右の日本地図上に赤い点で示した6都市は、2011年4月14日現在、もとにした47都道府県ごとのデータのうち、平常時に観測されていた値の範囲をこえた放射線量が観測されつづけているところである。



東京都新宿区



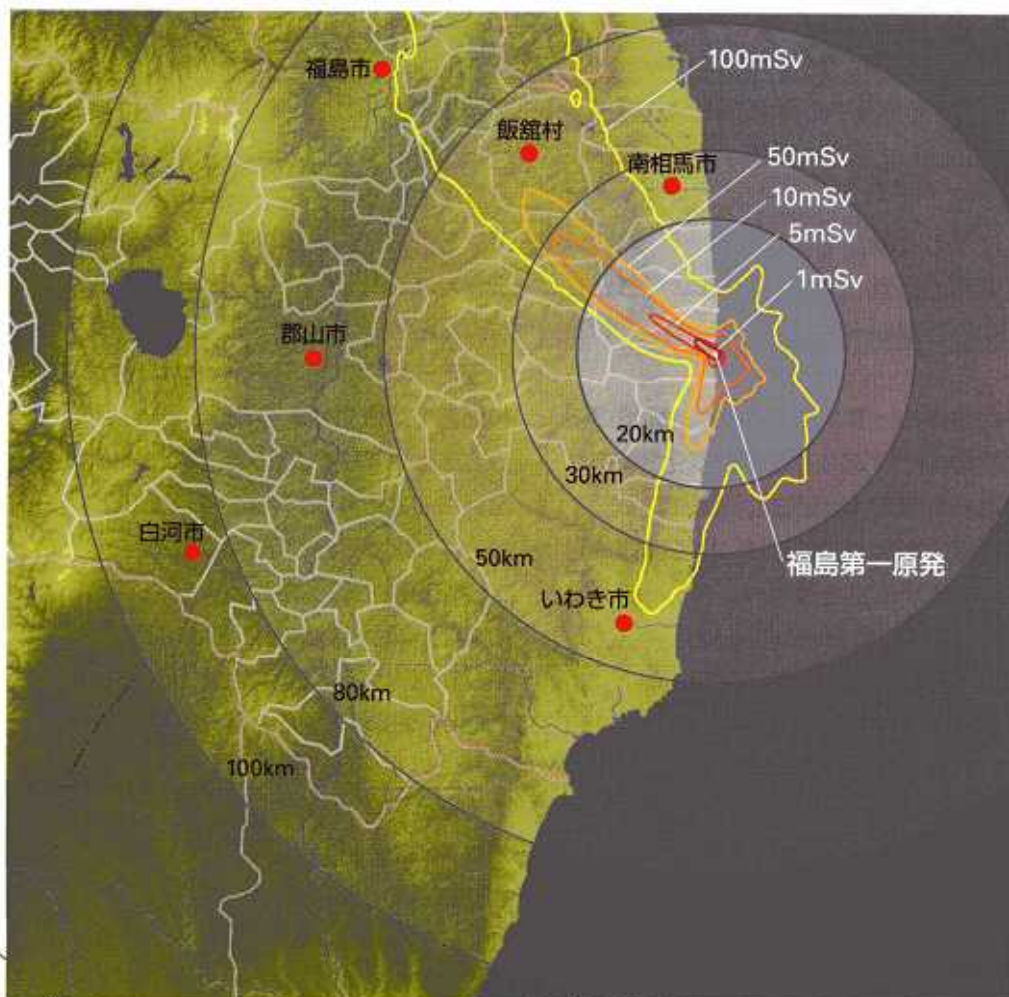
埼玉県さいたま市



茨城県水戸市



福島県内での被曝線量の予測



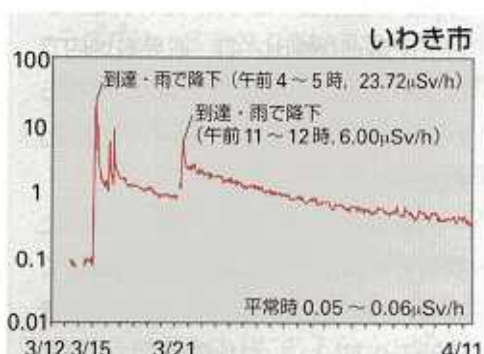
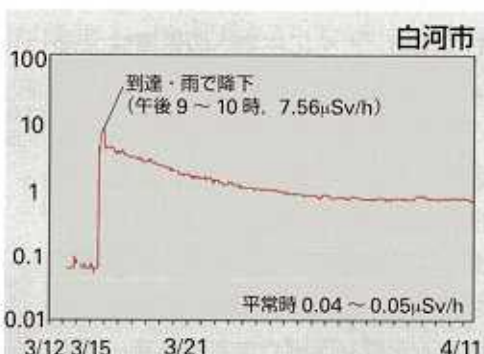
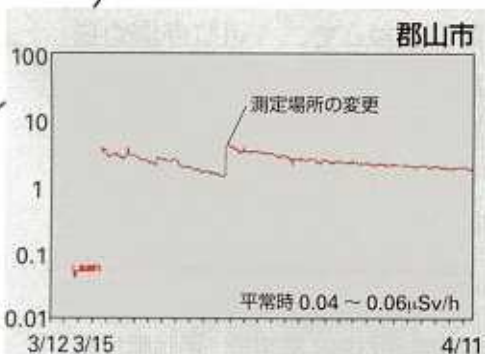
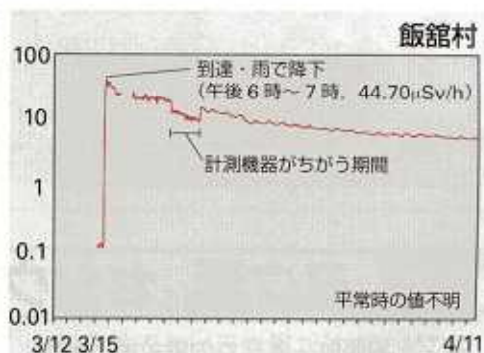
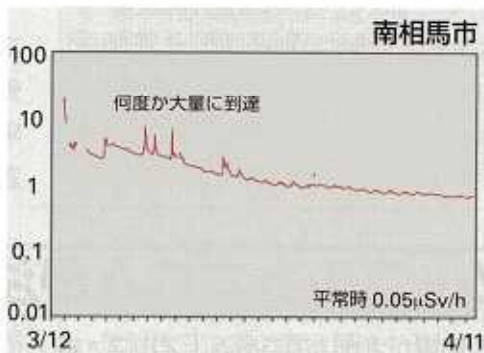
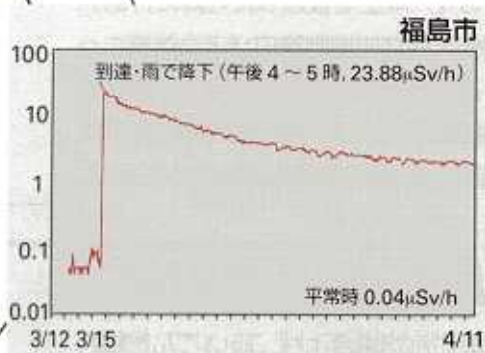
※原子力災害対策本部と原子力安全委員会の資料をもとに作成

原発に近い福島県内各地では どれだけの被曝になるのか？

原発事故などにより大量の放射性物質が放出されるとき、気象条件や地形データをもとに、原子力施設周辺での放射性物質濃度や被曝線量などを予測するシステムが活用される。それが「緊急時迅速放射能影響予測（SPEEDI）ネットワークシステム」である。左の地図の波打った色線は、そのSPEEDIを使って、「原子炉緊急停止翌日の2011年3月12日午前6時から4月6日午前0時まで成人が毎日1日中、外で過ごす」と仮定したときの、全放射性物質による被曝量を示したものである。屋内にいれば、実際にはこの4分の1～10分の1の被曝量になるという。

色の同じ線上では「実効線量」*が等しいことを意味する。最も内側の赤い線から、1、5、10、50、100ミリシーベルト（mSv）を順にあらわしている。放射性物質が不均一に運ばれるため、線は同心円状にならない。この予測から、実際の避難範囲を確定したり、健康への影響を推定したりするには、現地で測定したデータとの比較が不可欠である。放射線量だけでなく、どんな放射性物質が含まれるかも重要なためだ。文部科学省はじめ、いくつかの実測調査が進んでいるところだ。

※ 実効線量は、がんなどのリスクを推定するのに使われる被曝量の単位である（68ページ参照）



Q1 放射線を浴びるとどうなる？「ただちに影響はない」とは？

A1 放射線とは、物質を電離させる（イオン化する）エネルギーをもった、粒子の流れや電磁波である。私たちは粒^{りゅうし}子の流れや電磁波である。私たちはふだんの生活でも、天然の放射線を受けている（被^{ひばく}曝している）。

被曝すると、細胞は「傷つく」。生物の遺伝情報がかかれたDNA（デオキシリボ核酸）などの生体分子に放射線が直接当たって傷がついたり、水分子に当たり活性酸素とよばれる化学反応をおこしやすいものができ、それに

よって生体分子に傷がついたりする。

こうした細胞の損傷は、少しならば問題にならない。細胞には、傷を修復するしくみがそなわっているためだ。細胞の損傷と修復はたえまなくおきていると考えられている。

しかし、傷が一気につくと臓器の細胞の多くが死に、臓器の機能が果たせなくなって「ただちに」健康^{せいけん}に影響することがある。これは、「確定的影響」

とよばれるものだ。境目となるある量（しきい値）以上の放射線を受けたときのみにおきる。逆に、そのしきい値以下なら、確定的影響はあらわれない。テレビなどで「ただちに健康に影響はない」といわれるのはこのためだ。

確定的影響が出る放射線量は、原爆被爆者の調査や今までの事故例などから、ある程度わかっている。たとえば、全身におよそ4シーベルト（単位についてはA3参照）の放射線を浴びた場合、約50%の確率で死に至るとされる。

また、局所的に大量に被曝した場合、臓器が壊死するなどの症状がでることもある。活発に分裂する「幹細胞」が死んでしまうためだ。影響が出る放射線量は、臓器や組織によってことなっている。たとえば小腸のような細胞分裂がさかんな臓器は、影響を受けやすい。なお、個人差も大きいとされる。

原爆被爆者の追跡調査では、胎児に悪影響があったことも報告されている。約200ミリシーベルト（ミリは1000分の1）以上を被曝した妊婦で、胎児の先天的な知的障害のリスクが高まったというものだ。妊娠8～15週に最も影響が大きかったという。胎児では、細胞分裂がひんぱんにおこっており、

放射線で細胞が傷つき、がんや臓器不全につながる

放射線は、DNAなどを直接傷つけたり、水分子を電離させて活性酸素をつくり間接的に傷つけたりする（下）。この積み重ねはがんにつながるとみられ、200ミリシーベルト以上を浴びると発生率が上がると考えられている（右）。一方、それ以下での影響は不明とされる。局所被曝による臓器の症状は、浴びた人の1%に症状をおこす値（しきい値）を示した。



Q2 ヨウ素, セシウム, プルトニウムが注目される理由は？

A2 福島第一原発での事故後、水や野菜から放射性のヨウ素131やセシウム137などが検出され、原発敷地内ではプルトニウムもみつかった。これらが注目される理由の一つは、「内部被曝」の危険があるためだ。

内部被曝とは、体内に取りこまれた放射性物質から放射線を受けることである。ベータ線やアルファ線は皮膚を透過できない。しかし体内では、組織や臓器の近くで放射線が出ることにな

り影響が大きいのである。アルファ線は局所的にダメージをあたえる性質をもつため、とくに生物への影響は大きい。ベータ線の20倍と見積もられる。

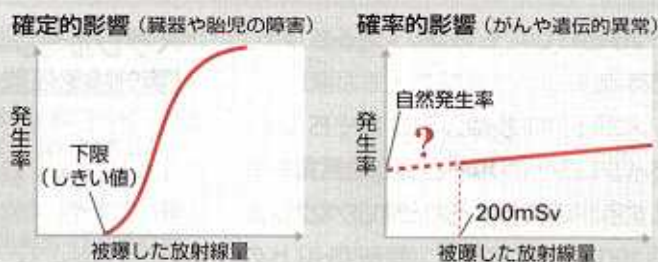
アルファ線を出すプルトニウムは重金属であり、中毒をおこす化学的な毒性もある。ただ、米原プログラムリーダーは「微量のプルトニウムの影響については、化学的な発がん性と放射線による影響を区別できておらず、特別危険かわかっていません」と話す。なお、

飲みこんだ場合より、吸いこんだ場合に臓器に蓄積しやすいとされる。

放射性のヨウ素には、体内に残りやすいという危険性もある。ヨウ素は、のどにある甲状腺でホルモンをつくるのに必要だ。放射性のヨウ素であっても、体内では放射性でないヨウ素と同じように使われる。そのため、放射性ヨウ素は甲状腺に集まり、甲状腺が集的に被曝することになる。チェルノ

「確率的影響」がおきる下限があるのかはわかっていない

左の確定的影響は下限の値以下では生じず、それ以上の値で発生率が上がる。右の確率的影響は、200ミリシーベルト以上でおきるものの、それ以下ではよくわかっていない。



DNA もひんぱんにコピーされている。そのため、DNA に受ける「傷」の影響が大きいといわれる。

急性症状は、数時間から数週間でおきる。胎児への影響も数か月単位でおきる。なお、確定的影響があらわれるような、数百ミリシーベルト以上を一気に被曝するような事態は事故現場でしかおきておらず、一般人の日常生活で気にする必要はない。

一方で、放射線は、数年から数十年後に発症するがんの原因となることもある。これは「確率的影響」とよばれ、DNA の「傷」の一部がうまく修復されずに積み重なることなどが主な原因と考えられている。

原爆被爆者の追跡調査では、200 ミリシーベルト以上を被曝した場合、受けた放射線量が高いほどがんの発症率も高くなる一方で、それ以下では発症

率の増加はみられないことが報告されている。放射線防護の国際的権威である国際放射線防護委員会（ICRP）においては、主にこの調査と、急性症状を引きおこす放射線量とを考慮あわせ、「100 ミリシーベルト以下の被曝では、がんの増加の明らかな証拠は観察されない」という合意があるとされている。

また、細胞の修復機能がどれほどなのか正確にわからないこともあり、長期的に弱い放射線を浴びつづけた場合の影響は判断できないという意見もある。なお、遺伝的な異常の増加は動物実験では認められているものの、これまでの研究でヒトでは知られていない。

確率的影響があるかどうかを調べるには、いくつか困難がある。たとえば、余分な放射線の影響がなくても、日本人の約 30% はがんで死亡している。がんによる死亡者数は、100 ミリシー

ベルトの被曝量で、0.5% 増加するとされる。この程度だと、がんの主要な原因と考えられる喫煙などの生活習慣の影響と区別しにくいのだ。

また、どれくらいの量の放射線を、どのように被曝したのか、個人別に集計するのもむずかしいとされる。がんの種類や、被曝した年齢によっても発症率や死亡率はことなるため、細かな調査が必要なのだ。

このように低い放射線量での影響はよくわかっていないため、境目となる放射線量は存在しないと仮定されている。つまり、少量でも放射線を浴びれば、がんなどを発症する確率がわずかに高まる可能性があるとして仮定し、より安全な被曝量の上限を設定するわけだ。

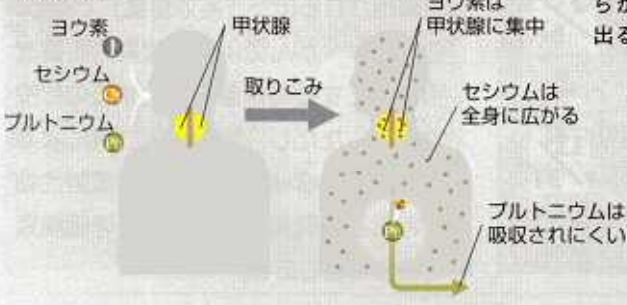
2011 年 4 月 14 日現在、日本では 1 ミリシーベルトを、一般人が 1 年間に受けられる被曝量の上限としている（自然からの放射線による被曝量約 1.5 ミリシーベルトや、医療行為による被曝を除く）。ICRP による「1～20 ミリシーベルトの範囲に上限を」という勧告にのっとったものだ。ただし、緊急時には一般人に対して 20～100 ミリシーベルトの範囲も認められており、日本でも 20 ミリシーベルトへの引き上げが検討されている。

バイリでの原発事故（70、75 ページ参照）では、こうして子供が甲状腺が

んを発症する確率が増したという。放射性ヨウ素の蓄積量は、ふだん損

ヨウ素やプルトニウムは内部被曝が危険

内部被曝



ベータ線やアルファ線は、体外から被曝しても皮膚で止まる。これらが体内に入ったヨウ素などから出ると臓器などへの影響が大きい。

外部被曝



取しているヨウ素の量によってかわる。放射性でないヨウ素が体内にあれば、放射性ヨウ素が取りこまれにくいのだ。そのため、放射性でないヨウ素の薬剤をあらかじめ取りこんでおき、放射性ヨウ素の蓄積を防ぐことができる。

一方、放射性セシウムは、筋肉や内臓など、全身に広がる。セシウム 137 は放射線を出して崩壊し、元の半分に減るまでに約 30 年かかるが、長くとも約 3 か月で体内にある半分の量が体外へ排出される。

Q4 ずっと残る、半減期の長い放射性物質のほうが危険？

A4 放射性物質の原子は放射線を出して、最終的に放射線を出さない原子になる。たとえばヨウ素 131 は、ベータ線とガンマ線を出して放射性ではないキセノン 131 になる。こうして放射性物質の原子数が減っていき、元の半

分になるまでの時間を「半減期」という。半減期は放射性物質ごとに決まっている。ヨウ素 131 の場合は約 8 日だ。

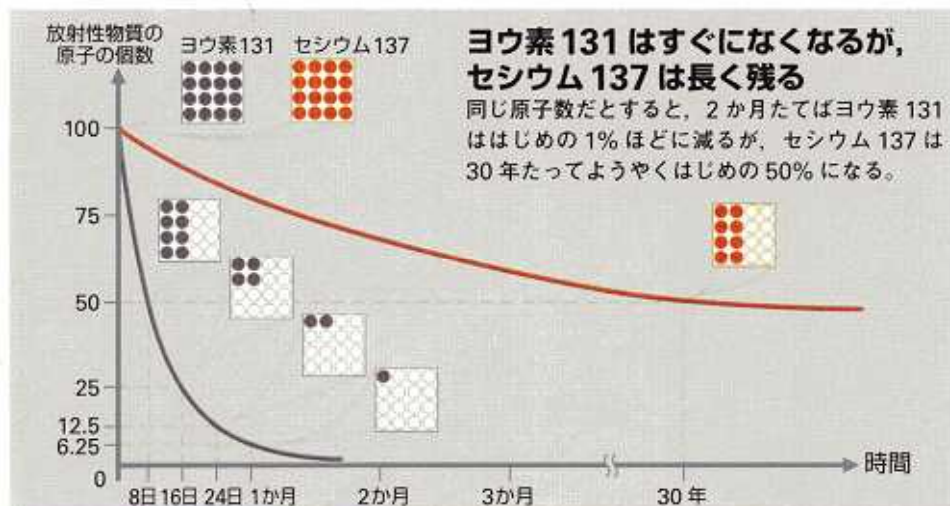
同じ放射線を出すセシウム 137 の半減期は 30 年と長い。半減期が長いとは「一定時間に崩壊する原子の割合が

小さい」ことで、「一定時間に崩壊しない原子の割合が大きい」ことと表裏一体である。つまり、ベクレル（1 秒間に崩壊する原子数）が同じなら、ある時点で同じ量の放射線を出していても、半減期の長いほうが長く残り、人にあたる影響も大きくなる可能性が高い。

一方、原子数（物質質量モル）が同じなら、半減期が短いほうがより多くの放射線を短時間に出すので、人への影響が大きくなることもあるだろう。

また、人への影響を考えるうえで、放射性物質が体内にどれだけの間とどまるかも重要だ。この時間は、放射性物質の化学的な性質によってことなる。

結局、ベクレルの値や物質質量、体内にとどまる時間といった条件で人への影響の程度はかわるため、一概に半減期が長いと危険とはいえないのである。



Q5 私たちの体も放射線を出している？

A5 放射性物質は、今回のような原発事故がなくても、自然界に存在している。それは私たちの体にもある。たとえば、放射線の一種であるガンマ線を測定する機器で全身をはかると、はっきりと観測される（下のグラフの赤

い点の山）。これは、放射性のカリウム 40 によるものである。体重が約 60 キログラムだとすると、体内には約 3300 ベクレルのカリウム 40 があり、これは 1 年あたり約 0.17 ミリシーベルトの放射線量にあたる。

カリウム 40 は、食物に通常でも含まれている。たとえば 1 キログラムのほうれん草は、通常でも 200 ベクレルのカリウム 40 を含む。食物にはそれ以外にも、放射性の炭素 14 などの放射線物質が微量に含まれる。食物から受ける放射線の総量は、世界平均で 1 年間に 0.29 ミリシーベルトである。

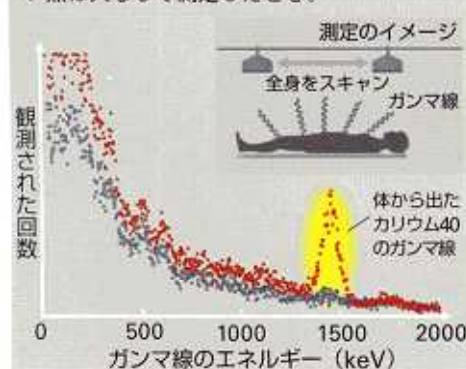
食べ物以外にも、私たちは大地や大気からの放射線を日常的に受けている。世界には 1 年間の総量が約 10 ミリシーベルトと高い場所もある。世界平均

でも約 2.4 ミリシーベルトである。この約半分を占めるのが、大気からの放射線だ。大気中には、たとえば地中からもれた放射性のラドン 222 が存在する。宇宙も放射線量が高く、宇宙飛行士は 1 日に約 1 ミリシーベルトを被曝している。

大気中から地面に降下してくる放射性ラドンの量は、雨が降るとふえる。そのため、各地で定期的に観測されている放射線量は、変動するのがふつうだ。日本ではおおむね 1 時間あたり 0.02 マイクロシーベルトが下限、0.15 マイクロシーベルト（マイクロは 100 万分の 1）が上限である。上限と下限には地域差もあり、たとえば東京から大阪へ引越した場合、1 年間に受ける放射線量は、約 0.2 ミリシーベルトふえる計算になる。

全身からガンマ線が放出されている

下は、ガンマ線を測定する機器で全身を測定したデータ（赤い点）。一つ一つの点が、エネルギーのことなるガンマ線に対応する。青い点は人なしで測定したとき。



福島第一原発事故は、チェルノブイリにつづく「レベル7」に

福島第一原子力発電所の事故は、どれほどの規模の事故なのだろうか。過去に原子力発電所でおきた二つの大事故を振り返ってみよう。1986年の旧ソ連、チェルノブイリでの事故、1979年のアメリカ、スリーマイル島での事故だ。

事故の重大さをレベル分けしてあらわす「国際原子力事象評価尺度（INES）」によれば、旧ソ連、チェルノブイリ原発の事故は最悪の「レベル7」、スリーマイル島原発事故は「レベル5」と評価されている。そして、福島第一原子力発電所の事故を、経済産業省の原子力安全・保安院は「レベル7」と暫定評価している。これらの事故では、いずれも燃料棒が溶融する「炉心溶融」がおきた。評価のちがいは、外部にあたえた影響の大きさのちがいにある。

チェルノブイリ原発事故では、運転中の原子炉内で核分裂の連鎖反応が暴走して大爆発がおき、その後、原子炉内部にあった黒鉛が燃えはじめた。火事は10日間にわたってつづき、大量の放射性物質を上空に巻き上げ、環境や人々に大きな被害をもたらした。

一方、スリーマイル島原発事故では、原子炉内で炉心溶融がおき、そのとき生じた水素や放射性物質の一部が周囲の環境にもれてた。事故発生から約16時間後、冷却装置が復旧し事故は収束に向かった。周囲の人々の被曝量は少なく、健康被害はほとんどなかったと考えられている。

原子力安全・保安院によれば、今回の事故で大気に放出された放射性物質の量は、「レベル7」の判断基準である「数万テラベクレル*（テラは1兆）」をこえる37万テラベクレル*と推計された（4月12日現在）。これは、チェルノブイリ原発事故での放出量の10%ほどだ。なお、この推計に海洋に放出された放射性物質は含まれていない。

福島第一原発では、大部分の放射性物質が原子炉の内部に残されているとされる（4月12日現在）。推計によれば、その量は、ヨウ素131が610万テラベクレル、セシウム137が71万テラベクレルほどだ。これ以上の放出を抑えるためには、冷却をつづけ、チェルノブイリのような「内部からの爆発」をおこさないようにしなければならない。

炉心溶融をおこした二つの事故

1986年のチェルノブイリ原発事故、1979年のスリーマイル島原発事故の経緯や環境への影響をまとめた。この二つの事故は、炉心溶融をおこしたが、外部にあたえた影響が大きくなることから、レベル7とレベル5に評価された。

レベル	事故	規模
7	深刻な事故 旧ソ連、チェルノブイリ 原発事故（1986年） 福島第一原発事故	所外に影響 （放射性物質の放出など）
6	大事故 —	
5	広範囲に影響する事故 アメリカ、スリーマイル 島原発事故（1979年）	所内に影響 （放射性物質による汚染、被曝）
4	主に所内に影響を あたえる事故 JCO 臨界事故（1999年）	
3	重大な異常事象 東海再処理工場アスファ ルト固化施設火災爆発事 故（1997年）	多重防護の劣化（運転中の異常など）
2	異常事象 —	
1	逸脱 もんじゅナトリウムもれ 事故（1995年）	
0	尺度未満 —	

国際原子力事象評価尺度

原子力施設でおきた事故の重大性は、0～7の8段階に分けられている。上では、代表的な事故を示した。

* 放出された放射性物質にはさまざまな元素が含まれる。ここでの値は、それらがおよぼす影響を、ヨウ素131があたえたたと仮に考えて、ヨウ素131の量に換算している。

チェルノブイリ原発事故

事故の経緯

チェルノブイリ原発の4号機は「黒鉛減速沸騰軽水圧力管型原子炉(RBMK)」とよばれる旧ソ連独自のものだった。RBMKは、核分裂連鎖反応をうながす「減速材」として、燃えやすい黒鉛が使われていた。また、低出力で運転中に出力が上向くと、さらに出力が上がりやすくなる性質があり、暴走のおそれがあった。そのため、低出力での運転にはさまざまなルールが定められていた。

1986年4月26日、作業員は低出力状態での実験を行っていた。このとき作業員は、冷却装置を無効にするなどしてルールを破っていた。そして出力を上げたとき、原子炉の暴走がはじまった。わずか40秒後、原子炉は内部で「水蒸気爆発」をおこし、直後に「水素爆発」をおこした。そして、大量の放射性物質が放出された。また、その後、黒鉛が燃え、鎮火するまでの10日間にわたり、放射性物質を上空に巻き上げつづけた。

周囲の環境や人々への影響

原子炉自体の爆発と、10日間続いた火災により、大量の放射性物質が大気中に放出され、風に乗って北半球全体に広がった。チェルノブイリ原発周辺30キロメートルの地域は、現在も立ち入り禁止になっている。また、ロシア、ウクライナ、ベラルーシなどの水が流れてることがない湖には、現在も寿命(半減期)の長い放射性物質が残されている。

人への被害は、まず作業員にあらわれた。事故の直後、爆発した原子炉内に残された放射性物質を封じこめる作業を行った作業員のうち、28人が急性放射性症候群で同年中に死亡した。

次に、周辺で暮らしていた子供たちに被曝の影響があらわれた。



事故後、原子炉はコンクリートでおおわれ、「石棺」とよばれるようになった。内部には、大量の放射性物質が残されている。

事故から数年後に、甲状腺がんになる子供の数が急増したのだ。これは、放射性物質が付着した牧草を食べた牛の乳が廃棄されなかったためだった。牛乳を飲んだ子供の甲状腺に放射性のヨウ素が蓄積し、甲状腺がんが発生した。

発電所の現在

鎮火後、原子炉の内部には大量の放射性物質が残された。当時のソ連は、爆発した4号炉のまわりをコンクリートでおおい、放射性物質を閉じこめた。この建物は「石棺」とよばれている。事故から25年たった現在も、石棺の中には大量の放射性物質が残されている。近年、石棺の老朽化により、内部の放射性物質がもれたすのではと心配されている。そこで、新たにその周囲をおおう、「第二の石棺」をつくる計画が提案されている。

スリーマイル島原発事故

事故の経緯

1979年3月28日、2号炉で事故はおきた。2号炉は、運転開始から3か月ほどたった加圧水型軽水炉(47ページ参照)だった。

この日、運転中の2号炉の配管で故障が発生した。この故障によって、給水とタービンが緊急停止し、冷却水が流れなくなった。やがて圧力容器内の水が熱せられて蒸気がふえ、圧力が上がりはじめた。そこで、圧力を逃がす弁が自動的に開かれた。

ここで一つ目のミスがおきた。圧力が下がったあとも弁が開いたまま閉じなくなったのだ。計器では、弁は「閉」と表示されており、作業員はこのことに気づかなかった。そして、開いた弁から大量の水が蒸気になって格納容器内に逃げていき、圧力容器内の水位が下がりはじめた。

この異常に対して、非常用炉心冷却装置(ECCS)が作動した。ECCSは、圧力が下がったことを自動検知し、圧力容器に水を流しこみはじめた。

ところがここで、さらにミスがおきた。作業員が、圧力容器は満水で、ECCSが誤動作していると考え、ECCSを停止してしまったのだ。そして、水は蒸気になって減りつづけ、燃料棒が水面上に出ると、炉心溶融がおきた。

やがて、作業員によって弁が閉じられた。しかしそのあとも、炉心溶融で圧力容器の内に水素が生じ、注水が思うようにできなかった。そこで、格納容器の内部に水素を放出した。このときいっしょに、放射性物質も放出された。これによってECCSの注水機能が回復し、事故は収束に向かっていった。事故から約16時間後のことだった。



手前右が2号炉。事故をおこした翌日に撮影された。

周囲の環境や人々への影響

水素とともに放出された放射性物質は、その多くが格納容器にとどまったが、外部にも放出された。周辺80キロメートルの範囲で暮らす住民216万人の被曝量は、平均1ミリシーベルトと考えられている。ただし、事故当時情報があやまって伝えられ、必要のない待避勧告が出るなどしたため、住民に強い精神的なショックをあたえた。

発電所の現在

2号炉建屋は1990年までかけて除染され、放射性廃棄物の処分が完了した。残された2号炉は、現在も監視状態にある。

「原子炉が完全にこわれる」という最悪のシナリオを避けられるか

「チェルノブイリ原発事故や福島第一原発事故では、どちらも爆発がおき、放射性物質が大気中に放出された」。こう聞くと二つの事故は似ているように思える。しかし、チェルノブイリの爆発は「原子炉そのもの」の水蒸気爆発であり、福島第一原発の爆発は「原子炉の“外”でおきた水素爆発」であると考えられている。この二つの爆発がどうことなるのかをみていこう。

チェルノブイリでは、核分裂反応が暴走した結果、原子炉内の水が「水蒸気爆発」をおこし、原子炉が内部から吹き飛ばされた。水蒸気爆発は、高温の物体が水にふれるなどして、水が一気に沸騰して水蒸気になることでおこる「火のない爆発」である。まず、原子炉内の核分裂反応が暴走し、ばく大なエネルギーが生じた。そして、冷却水が一瞬で水蒸気になり、燃料棒の一部とそれをおおう圧力管が吹き

■ チェルノブイリ原発事故—原子炉そのものが爆発

チェルノブイリ原子力発電所事故では、核分裂連鎖反応を止めることに失敗した。事故の要因の一つは、炉の構造上の欠陥にあった。

炉は、黒鉛減速沸騰軽水圧力管型原子炉（RBMK）といい、暴走をおこしやすいことが指摘されていた。RBMKでは、炉の熱を奪う「冷却材」の役割を水が、核分裂反応を促す「減速材」の役割を黒鉛がそれぞれになる。反応がはげしくなると、水蒸気がたくさんできて水の冷却材の能力が低くなる一方、減速材である黒鉛はかわらずに反応をうながすため、暴走しやすい。なお、福島第一原発のような沸騰水型軽水炉は、このような暴走がおこりにくい。水が冷却剤と減速材の両方の役割を兼ねているため、水蒸気がふえると、減速材でもある水が減り、反応がおさまる方向に向かうのだ。

このほかにも、RBMKには問題があった。たとえば非常用炉心冷却装置は無効にできる設計になっており、事故の前に、作業員は無効にしてしまった。また、緊急停止する際に重要な制御棒は、挿入し終わるまでに約18秒かかっていた。そのため、暴走はじめてからわずか40秒後におきた爆発を防ぐことができなかったのだ。

建屋

建屋の内部には、格納容器がなく、事故がおきたときに放射性物質を閉じこめる能力が弱かったといわれている。

黒鉛（減速剤）

燃料棒から飛び出した中性子を減速し、連鎖反応を起こしやすくする減速材の役割を果たしていた。水蒸気爆発後、可燃性の黒鉛は燃え上がり、放射性物質を上空に巻き上げた。

圧力管

燃料棒の周囲に水を流す容器。黒鉛のブロックに、1661本の圧力管が通っていた。

制御棒

燃料棒

水蒸気
気水分離器
水

タービン

水蒸気

復水器

湖から水を引き、原子炉内を循環する水の冷却に使われていた。

飛ばされた。また、残された燃料は溶融^{ようゆう}して、放射性物質を放出した。そして、黒鉛の火災が放射性物質を大気中に巻き上げつづけるという「最悪の事態」になった。

一方、福島第一原発では、核分裂連鎖^{かくぶんれつれんさ}反応が止められたあと、崩壊熱^{ほうかいねつ}を出しつづける燃料棒を冷却する作業がつづけられた。福島第一原子力発電所での水素爆発は、この冷却をつづけることが優先された結果おきた。圧力容器内に水蒸気や水素が生じ、圧力が高くなったために注水できなくなった。そこで、水素を格納容器の外に放出した結果、建屋の中に水素がたまり、外気の酸素と出会って爆発がお

きたと考えられる。チェルノブイリの事故とはちがひ、格納容器によって燃料はとりあえずは隔離されているとされ、冷却をつづけることができていた（4月15日現在）。

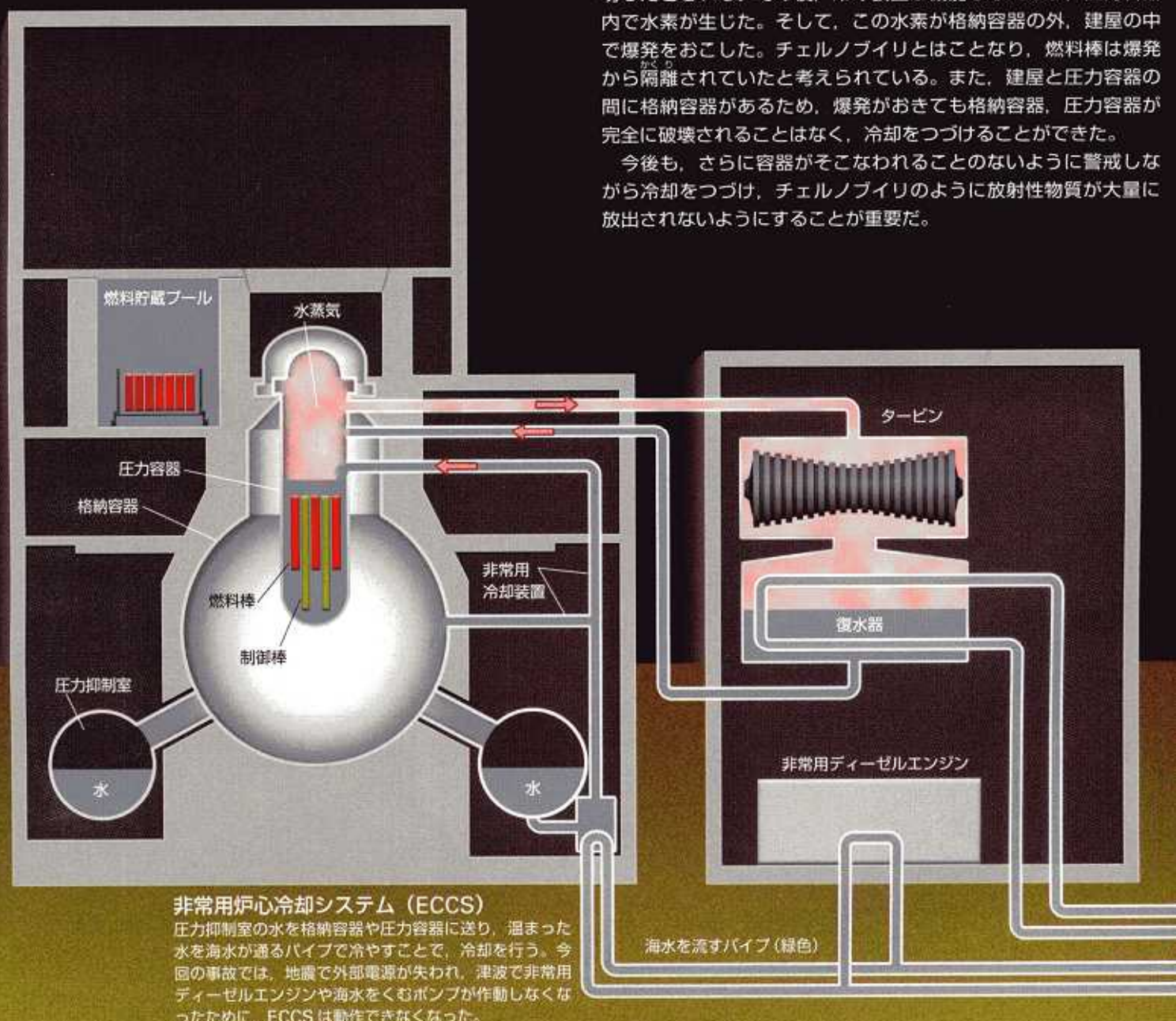
ただし、福島第一原発の原子炉内では、爆発後も水素と酸素が発生していると考えられている。また、汚染水^{おせん}がもれだしていることから、格納容器や圧力容器の一部がそこなわれている可能性がある。もし内部で爆発がおきたら、さらに原子炉がそこなわれるかもしれない。そこで、格納容器内に窒素^{ちっそ}を注入するなどし、爆発を予防する取り組みがつづけられている（4月15日現在）。

■福島第一原発事故

—冷却しつづけるために容器の維持が重要

福島第一原子力発電所では、核分裂連鎖反応を止めることには成功したとされる。その後、冷却装置が機能しなくなり、圧力容器内で水素が生じた。そして、この水素が格納容器の外、建屋の中で爆発をおこした。チェルノブイリとはことなり、燃料棒は爆発から隔離されていたと考えられている。また、建屋と圧力容器の間に格納容器があるため、爆発がおきても格納容器、圧力容器が完全に破壊されることはなく、冷却をつづけることができた。

今後も、さらに容器がそこなわれることのないように警戒しながら冷却をつづけ、チェルノブイリのように放射性物質が大量に放出されないようにすることが重要だ。



非常用炉心冷却システム（ECCS）

圧力抑制室の水を格納容器や圧力容器に送り、温まった水を海水が通るパイプで冷やすことで、冷却を行う。今回の事故では、地震で外部電源が失われ、津波で非常用ディーゼルエンジンや海水をくむポンプが作動しなくなったために、ECCSは動作できなくなった。

30 年たった今も、汚染が残るチェルノブイリ

福島事故では、放射性物質が土壌に蓄積し、海へも流出した。今後、環境を回復できるだろうか。また、周辺の人々にはどんな影響があるだろうか。その参考として、INES レベル7の事故がおきたチェルノブイリの例を見てみよう。

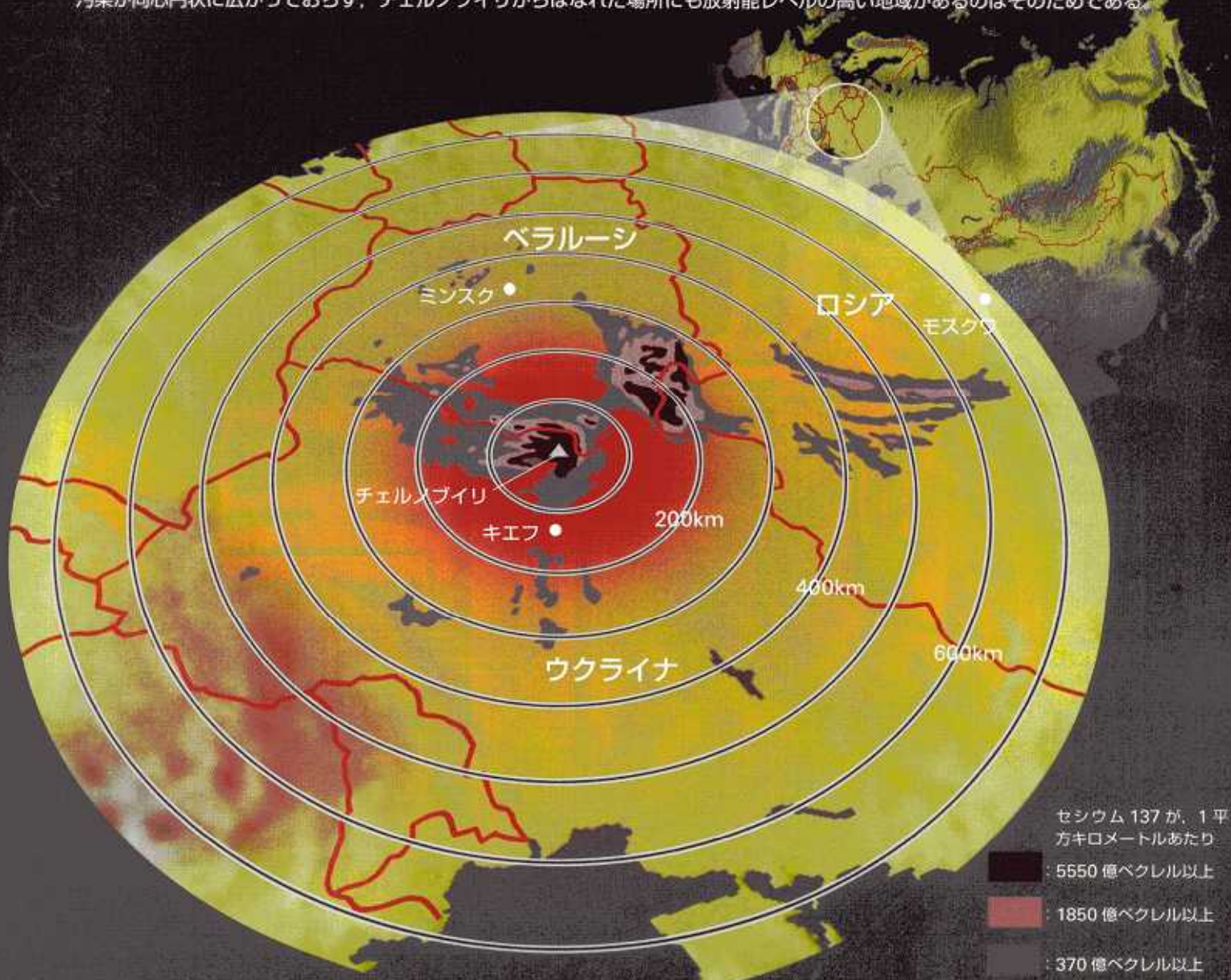
チェルノブイリの事故では、ヨウ素 131 やセシウム 137 などの放射性物質が大量に放出された。そして、汚染はウクライナ、ベラルーシ、ロシアに集中した。放射性物

質は、とくに原発の近くや、雨が降った場所に蓄積した。

汚染された土壌はどうなるのだろうか。農地は、表面の土をすくいとり、深くたがやすなどの対策を取ることで改善し、農業を行うのに問題のない状態になっていった。一方、森林地帯では、動植物の間を放射性物質が循環しており、現在も事故の影響が残っている。水が流れださない湖にも、現在もセシウム 137 などの半減期の長い放射性物質が蓄積

■ チェルノブイリ原子力発電所事故による汚染物質の広がり

下は、放射性物質セシウム 137 による事故後の地表の汚染状況である。汚染による放射のレベルが高い地域は、チェルノブイリの近くに集中している。爆発と火事によって放出された放射性物質は 1800 メートルの高さまで舞い上がり、風に運ばれた。また火事がつづいた 10 日間で風向きは大きく変化した。そのため、放射性物質はさまざまな方向に飛び、雨が降った地域に集中して蓄積した。汚染が同心円状に広がっておらず、チェルノブイリからはなれた場所にも放射能レベルの高い地域があるのはそのためである。



している。また、放射性物質が閉じこめられているチェルノブイリ原発の周囲 30 キロメートル以内は、現在も立ち入り禁止になっている。

事故は人々にどんな影響をおよぼしたのだろうか。まず、事故直後の原子炉で作業し、被曝線量の高かった人々のうち、28 名が 3 か月以内に死亡した。また、事故から 4 年後、甲状腺がんを発症する子供が急増した。その原因は、牛乳にふくまれる放射性物質だったと考えられている。

事故当時チェルノブイリの周辺で暮らしていた人々に、

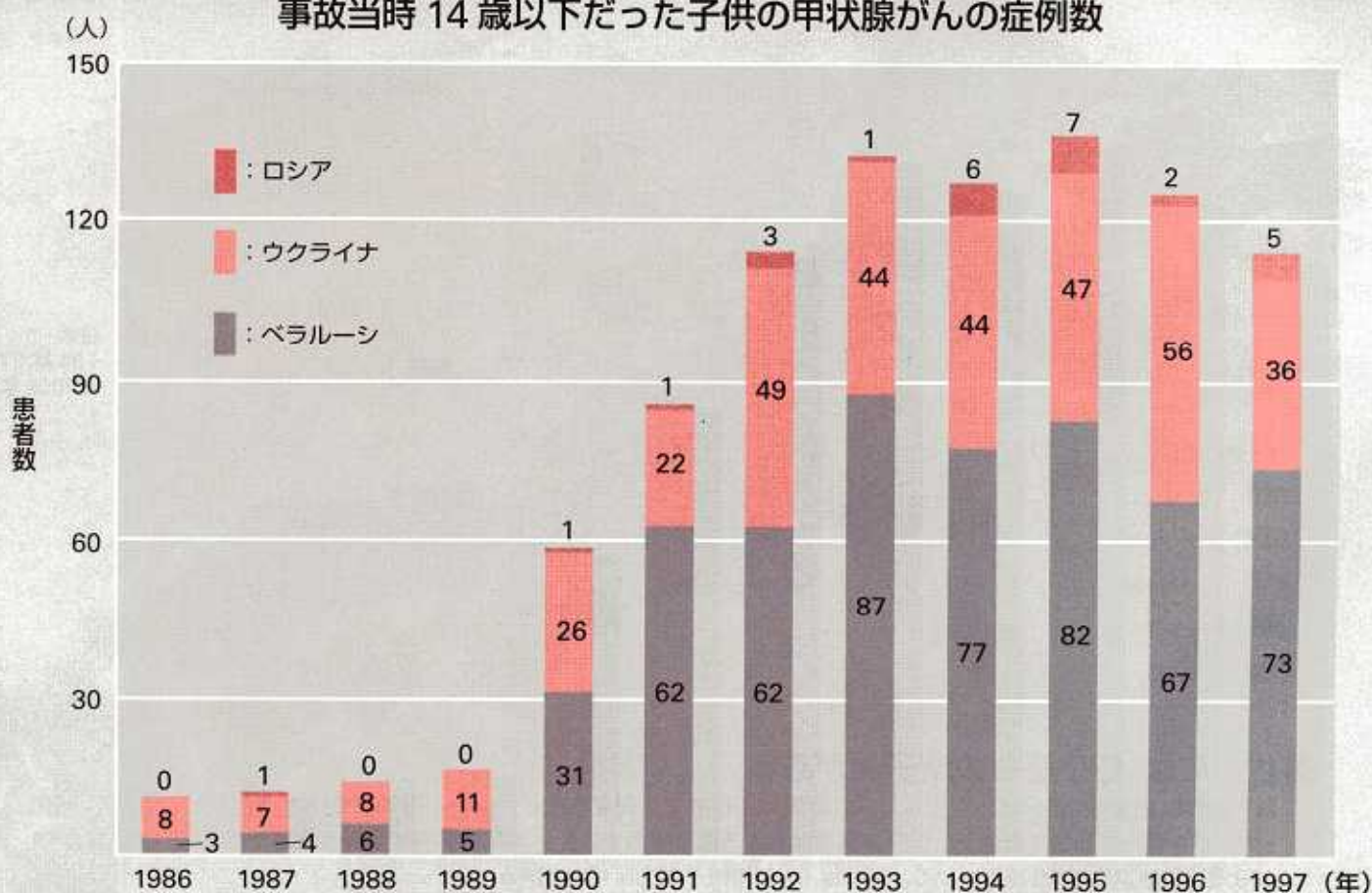
今後、影響が出ることはあるのだろうか。このような人々は、被曝線量が 100 ミリシーベルトを大きく下回っている。そのため、事故による被曝が原因で将来がんになる可能性があるかどうかはよくわかっていない（被曝線量が小さい場合の人体への影響については 66～67 ページ参照）。もし事故の影響でがんになる可能性が増すとしても、事故による被曝でがんになる患者の数に対し、事故以外の理由でがんになる患者の数の方が非常に多いと考えられている。そのため、子供の甲状腺がんの例のように、実際の患者数の変化から影響の有無を調べることはむずかしいようだ。

事故から 4 年後、子供たちの間で甲状腺がんが急増した

チェルノブイリの周辺でとれた牛乳を飲んだ子供たちの間で、事故のあとに甲状腺がんの発症例がふえ、牛乳からの内部被曝がうたがわれた。がんそのものはさまざまな原因で発病するため、事故で放出された放射線物質でがんになった人を特定することはできない。しかし、甲状腺がんの例では、事故後の患者の増加が明らかなため、事故の影響であると考えられている。なお、甲状腺がんは適切な治療により回復することが多く、患者の 99% が甲状腺がんから回復した。

福島第一原発事故では、この教訓をもとに牛乳にどの程度の放射性物質が含まれているかが確認され、一部で出荷停止になるなどの措置がとられた。

事故当時 14 歳以下だった子供の甲状腺がんの症例数



チェルノブイリ原発事故がおきた 1986 年当時 14 歳以下だった、ロシア、ウクライナ、ベラルーシの子供の甲状腺がんの症例数を表したグラフ。ウクライナ、ベラルーシ、ロシアの重度汚染地域では、事故の 4 年後に患者数が急増した。

〔出典：UNSCEAR 2000 REPORT Vol. II〕。

全世界の発電量の約6%が、原子力という現実

世界には、発電可能な原子炉が432基ある。これらの原子炉によって、世界で消費される電力の約6%がつけられている。日本は54基を保有しており、4月14日現在、そのうちの25基が稼働し発電を行っている。

日本では、1980年には、電力量の46%が石油を利用する火力発電所でつくられていた。また、原子力で作られる電力量は全体の17%だった。そして2005～2009年には、石油による発電が占める割合は、5%に減少した。その一方、全発電電力量の約30%が原子力でまかなわれるようになり、石炭や天然ガスによる発電量も増加した。

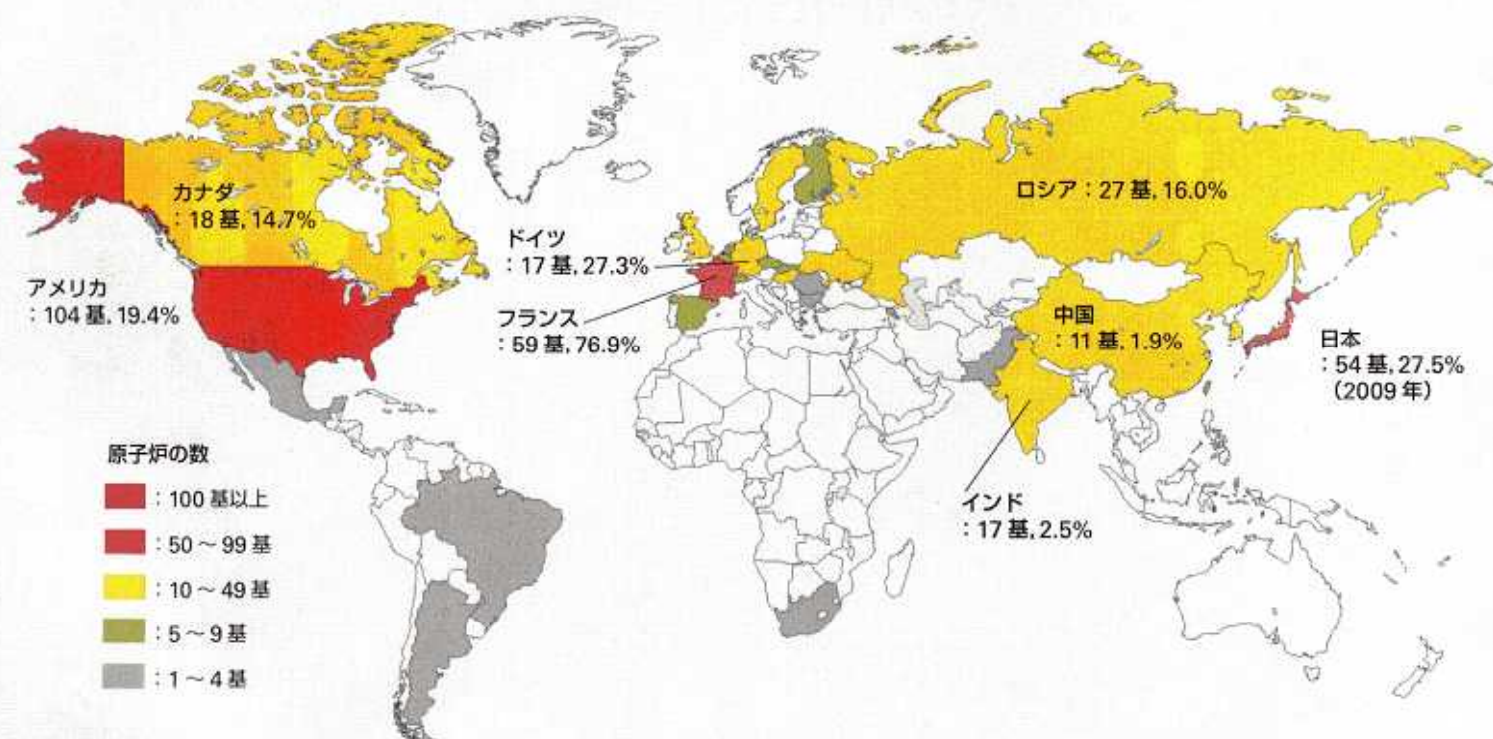
この変化は、1973年、1979年におきた原油価格の高騰（オイルショック）がきっかけだった。世界各国で石油を使わない発電方法が注目されるようになり、天然ガスや

石炭、そして原子力による発電が推進されたのだ。

そして近年、石油や石炭などの化石燃料による発電は二酸化炭素を排出し、地球温暖化につながることで問題視されるようになった。二酸化炭素を出さない原子力発電は、温暖化対策という面からも注目を集めるようになった。

今後も、電力の需要はのびると考えられている。この需要をまかなうため、建設が計画されている原子力発電所がいくつもある。しかし今回の福島原発の事故をきっかけに、原子力発電所を保有する国々の間では、既存の原子力発電所の設計を再確認したり、建設計画を見直す機会を設けたりする動きが出はじめた。増えつづける電力需要にどうやって対応するかは、今回の事故をきっかけに、もう一度、世界共通の課題になったのだ。

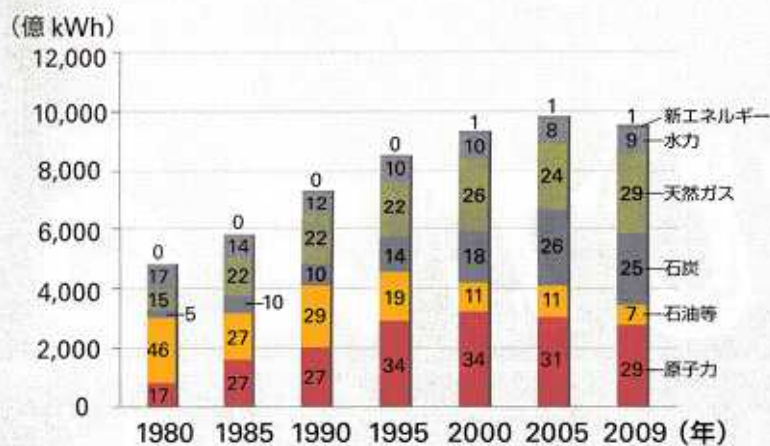
（第2章担当 編集部：小松研吾、松田壮一郎、市田朝子）



世界には432基もの原子炉がある

原子炉の数を国別に色分けして示した。100基以上保有する国を赤色で、50～99基を保有する国をピンク色で、10～49基を保有する国を黄色で、5～9基を保有する国を緑色で、1～4基を保有する国を水色で示した。アメリカの109基、フランスの59基について、日本は54基の原子炉を保有している。

また、一部の国について、全発電電力量に対して原子力による発電が占める割合を%で示した。唯一、100基以上の原子炉を保有するアメリカでは、全発電電力量の約19.4%が原子力発電でまかなわれている一方、石炭は約50%を占める。また、59基を保有するフランスでは、全発電電力量の約76.9%を原子力発電が占めている。（『世界の原子力発電の動向 2007/2008年版』[原子力産業協会]をもとに作成）



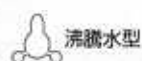
日本は「石油以外による発電」を推進してきた(左)

日本は、必要な電力を、主に火力発電、水力発電、原子力発電でまかなっている。日本は1980年以降、石油以外の資源を利用した発電を推進してきた。

棒グラフの数字は、各エネルギー資源による発電電力量が、どれくらいの割合を占めていたか(%)を表している。1980年までは、石油による発電が全発電電力量の46%を占めていたが、その後、天然ガスや石炭、原子力による発電が増加した。また、地熱や太陽光などを利用する新エネルギーによる発電は、近年増加しているものの、全発電電力量から見ればまだ1%ほどだ(電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集」をもとに作成)。

日本国内の原子力発電所

日本全国の運用中の原子力発電所の位置を示した。各原子炉の色、形の意味は下記の通りである。



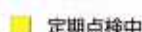
沸騰水型



加圧水型



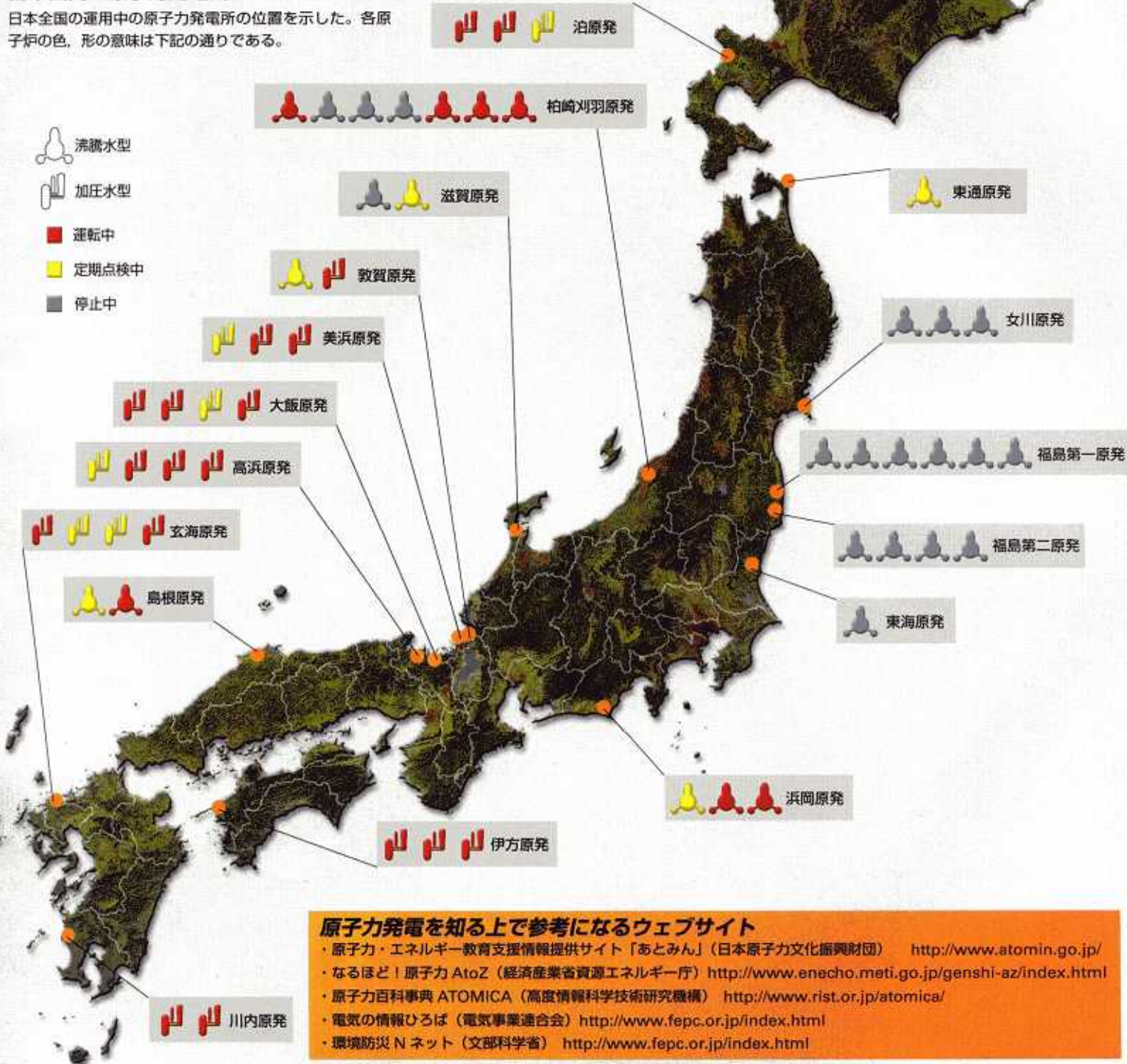
運転中



定期点検中



停止中



原子力発電を知る上で参考になるウェブサイト

- ・原子力・エネルギー教育支援情報提供サイト「あとみん」(日本原子力文化振興財団) <http://www.atomin.go.jp/>
- ・なるほど! 原子力 AtoZ (経済産業省資源エネルギー庁) <http://www.enecho.meti.go.jp/genshi-az/index.html>
- ・原子力百科事典 ATOMICA (高度情報科学技術研究機構) <http://www.rist.or.jp/atomica/>
- ・電気の情報ひろば (電気事業連合会) <http://www.fepc.or.jp/index.html>
- ・環境防災 N ネット (文部科学省) <http://www.fepc.or.jp/index.html>

3

次にひかえる

日本がこれから直面する大きな

かつてない規模の地震に見舞われた日本。復興や、原発事故の被害拡大阻止に向けた取り組みが懸命につづけられている。一方で、日本は、世界で発生する地震の1割が集中するともいわれる地震大国であるということに、かわりはない。むしろ今回の地震の影響で、しばらくは日本各地で地震活動が活発化する可能性が高いという。どんな地震が発生しそうなのか、そのときに何がおきそうなのか。現時点での見通しをまとめた。



超巨大地震

A stylized map of Japan is shown in yellow against a black background. A large, solid red circle is positioned to the right of the main body of the map, partially overlapping it. The title '超巨大地震' is written in large, bold, white Japanese characters at the top left.

危機とは？

第3章の内容

- 80 世界の超巨大地震
- 82 活発化する日本の地震活動
- 88 日本の連動型巨大地震
- 96 大都市を襲う地震災害
- 102 そのとき何がおきるのか？
- 112 日本を襲う大地震 資料編

2004年以降、M9クラスが世界各地で頻発。なぜ？

2004年12月、インドネシアのスマトラ島沖の海底下。二つのプレートの境界面の接着（アスペリティ。28ページ参照）が限界をむかえ、膨大なエネルギーが一気に解放された。M9.0のスマトラ島沖地震の発生である。2010年2月、スマトラ島からほぼ地球の裏側にあたるチリ中部沖。今度はこのプレート境界でM8.8の地震が発生した。

そして今回の東北地方太平洋沖地震。チリとは太平洋をはさんで約1万7000キロメートルをへだてた日本で、M9.0の地震が発生したのである。

M9.0以上の「超巨大地震」は、世界的にみてもめったに発生しない地震である。地震の記録が比較的是っきり残っている1900年以降にさげると、その発生回数は地球全体で合計6回である（東京大学地震研究所の資料による）。ところが2004年以降、7年足らずの間に、M9.0以上が2回、そしてM9.0にせまろうかという規模のものが1回発生したことになる。

実は似たようなことが、過去にもあった。1952年から1964年にかけてM9.0以上の地震が4回発生したのであ

■超巨大地震は、つづけざまに発生する？

右は、1900年以降に発生したM9.0以上の超巨大地震の発生場所と発生年を示したものである。超巨大地震は、プレートとプレートとの境界部分で発生していることがわかる。発生年に注目してみると、1952年から1964年と、2004年以降の、二つの時期に集中していることがよみとれる。

巨大な地震と「モーメントマグニチュード」

地震の規模を示すマグニチュードの算出方法には、さまざまなものがある。そのうちのひとつが、「モーメントマグニチュード」である。M8.0をこえるような地震の場合、通常のマグニチュードの算出方法では、値が頭打ちになりやすいという問題がある。そこで巨大な地震に対しては、モーメントマグニチュードが適用される場合が多い。80～81ページのマグニチュードの値も、モーメントマグニチュードによるものである。値は「理科年表」を参考にした。モーメントマグニチュードは、地震をひきおこした震源域の面積、ずれた量の平均値、付近の地殻の固さをもとに求められる。



る。つまり 1900 年以降に発生した 6 回の超巨大地震は、1952 ~ 1964 年と、2004 年以降の二つの時期に集中しているのだ。

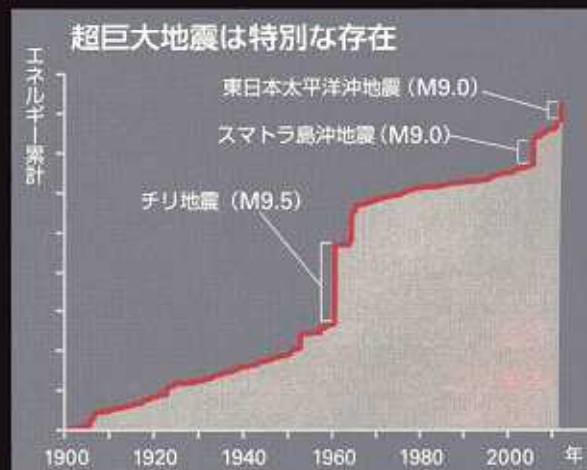
これはまったくの偶然なのだろうか。もしこれが偶然ではなく、何らかのメカニズムにもとづいた必然の結果であるのならば、近い将来に世界のどこか（日本付近も含む）で、ひきつづいて M9 クラスの地震が発生する可能性は低くないという見方もできる。

東京大学地震研究所の佐竹健治教授は、次のように語る。「1950 ~ 1960 年代、そして 2000 年代以降と、超巨大地震が立てつづけに発生したという事実をみると、このこと

が偶然とは思えません。しかし、なぜ短期間に集中したのかを説明できる科学的な根拠がない、というのが実情です」。

大きな地震が発生した場合、余震以外にも、その周辺の地域で地震が発生しやすくなるということはある。しかし、たがいに遠くはなれたこれらの超巨大地震について、一方の地震がもう一方の地震を「誘発」するようなメカニズムは考えにくいのだという。

1900 年以降の超巨大地震の集中発生が偶然なのかどうか、現時点では、私たちにはわからない。しかしこのような事実があるということは、しっかりと受け止めておくべきだろう。



上は、1900 年以降、毎年、地震によって放出されたエネルギーを累計していったグラフである。1960 年前後にかけて、放出されたエネルギーが一気に増加しているのは、チリ地震などの超巨大地震の影響である。超巨大地震がいかに特別な存在なのか、よくわかる。ペンシルバニア州立大学、チャールズ・アモン教授の資料をもとに作成。

スマトラ島では M9 のあと、M7 以上が頻発。日本はどうか？

M9.0 の超巨大地震が発生した今、どうしても知ってもらいたい事実がある。日本と同じく M9.0 の地震が発生したスマトラ島周辺の、その後の地震のことだ。

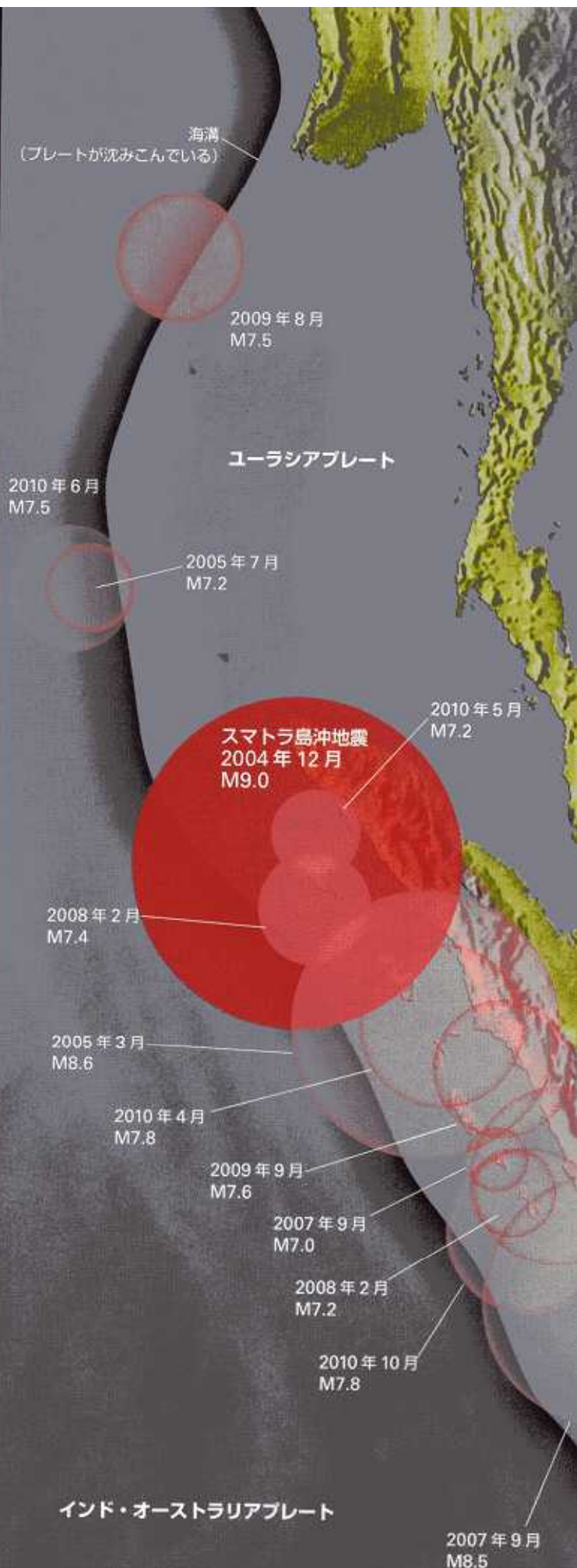
2004 年 12 月のスマトラ島沖地震から約 3 か月。その震源域のすぐ南東で、M8.6 のプレート境界地震が発生した。2007 年 9 月には、さらに南東で M8.5 のプレート境界地震が発生している。M8.5 前後といえば、東北地方太平洋沖地震の 5 分の 1 ほどのエネルギーである。これまで歴史記録に残る日本最大の地震とされていた宝永地震（1707 年）に匹敵する規模だ。スマトラ島周辺ではそのような地震が、M9.0 の地震のあと、あいついで発生したのである。いずれもスマトラ島沖地震とは別の場所で発生しており、同じ場所で発生する「余震」とはことなるものだ。

これらの地震は、スマトラ島沖地震が発生して地下の「ひずみ（プレートの変形）」が解消されたことで、周囲にかかる力のバランスが変化して発生したと考えられている。いわば、スマトラ島沖地震が「誘発」させたようなものだ。ちなみに M7.0 以上の地震は、2011 年 3 月末現在、合計で 16 回を数える（アメリカ地質調査所の資料による）。ただし余震かどうかや、震源の深さなどは区別していない。

このことから考えれば、日本でも今後、スマトラ島周辺と同じように、大規模な地震が発生する可能性は十分あるだろう。むしろその可能性は高いとさえいえる。

ただしスマトラ島周辺と日本では、プレートの構造がことなっている。日本の場合は、陸のプレートの下に沈みこんでいるプレートが、東日本と西日本で別々のものなのである。このため東日本で発生した今回の地震の影響が西日本まで広がるのかどうかなど、予測がつかないことも多い。

だからといって、スマトラ島周辺でおきたことから目をそむけるわけにはいかない。事実を事実としてしっかりと向き合い、可能なかぎり対策を進めておくべきだ。スマトラ島周辺で M8.6 の地震が発生したのは M9.0 の地震の 3 か月後だったということを考えれば、対策のための時間はあまり残されていない可能性もある。





■スマトラ島沖地震のあと、周辺で大地震が頻発

イラストは、2004年のスマトラ島沖地震のあと、周辺地域で発生したM7.0以上の地震をえがいたものである。スマトラ島沖地震のあと、大規模な地震が頻発していることがわかる。スマトラ島沖地震と同規模の地震が発生した日本も、今後、警戒が必要となる。

**地震の誘発はすでにおきている。長野
や静岡で最大震度 6 強の地震が発生**

東北地方太平洋沖地震から 13 時間ほど経過した 3 月 12 日午前 3 時 59 分、長野県北部を震源とする M6.7 の地震が発生した。この地震は震源の深さが約 8 キロメートルと浅い、内陸の断層で発生した地震だ。最大震度は 6 強を記録した。

3月15日には、静岡県東部でM6.4の地震が発生。こちらも震源の深さは約14キロメートルと浅く、内陸の断層の地震である。最大震度は同じく6強を記録した。

いすれの地震も、東北地方太平洋沖地震の震源域からかなりの距離があり、せいまい意味での余震ではない。つまり今回の地震によって、余震以外の地震がすでに誘発されていると考えられるのだ。

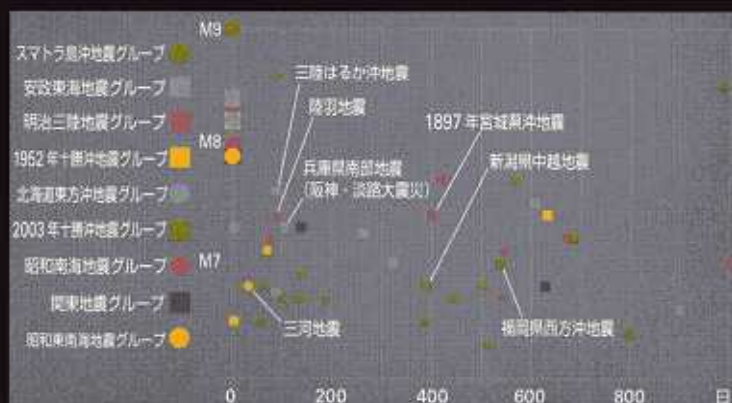
これらの例のように、大規模なプレート境界地震が発生したあとに、内陸で比較的小規模の大きな地震が発生することは、めずらしいことではない。たとえば 1896 年 6 月 15 日に三陸沖のプレート境界で M8.2 ～ M8.5 ほどの「明治三陸地震」が発生した 77 日後、8 月 31 日には秋田県と岩手県の県境付近で M7.2 の「陸羽地震」が発生した。また、1944 年 12 月 7 日に静岡県から愛知県、三重県の沖合のプレート境界で M7.9 の「昭和東南海地震」が発生した 37 日後には、1945 年 1 月 13 日に愛知県の三河湾で M6.8 の「三河地震」が発生している。

このような地震が発生する原因の一つは、大規模な地震によって大きな地殻変動^{ちかく}がおき、そのため各地の断層にかかる力のバランスが変化するためだと考えられている。今回の東北地方太平洋沖地震による地殻の変動は、GPS（全球測位システム）の観測によると、少なくとも北海道から中部地方にまでおよんでいる。

気象庁がまとめた資料を見ても、地震活動が活発化していることがうかがえる。東北地方太平洋沖地震の震源域以外の日本全国で、東北地方太平洋沖地震が発生する前の1か月にM5.0以上の地震が発生した回数は、3回であった。ところが東北地方太平洋沖地震が発生したあとは、3月23日までの12日間で、7回におよんでいる。

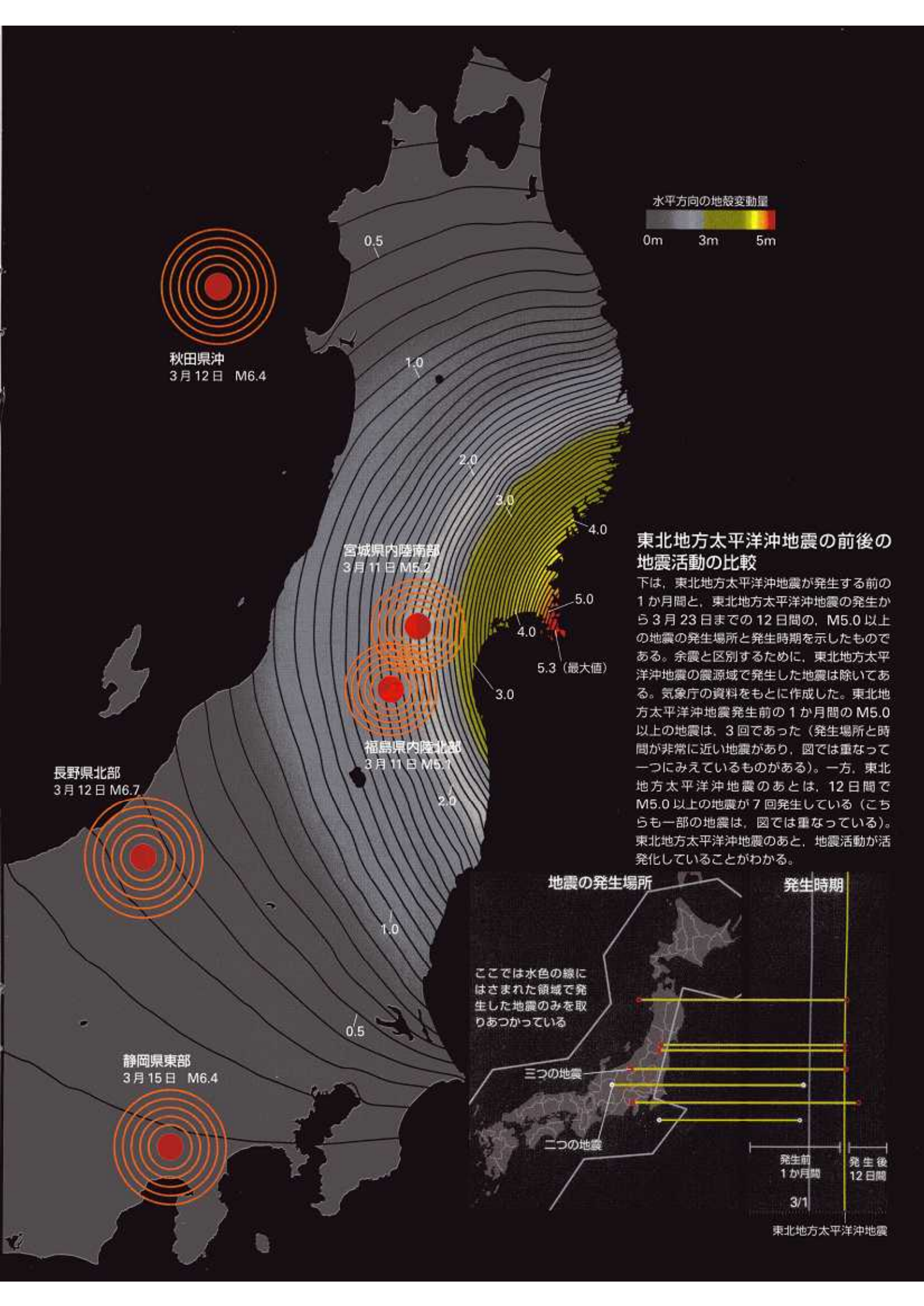
震源域からはなれた場所でも地震が発生

右のイラストは、今回の東北地方太平洋沖地震によって生じた水平方向の地殻変動（大地の移動）の大きさ（国土地理院の資料による）と、震源域からはなれた場所で発生したM5.0以上の地震を示したものである。地殻変動の大きさが等しい地点を線で結んである。色が赤いほど変動が大きく、以下、黄、緑、青、紫になるにしたがって変動が小さいことをあらわす。数値の単位はメートルで、線と線の間隔は0.1メートルである。最も地殻変動が大きかったのは牡鹿半島で、変動の大きさは5.3メートルである。全体的に東側へ向かって変動（ずれ）が生じている。東北地方太平洋沖地震の震源域からはなれた場所でも比較的規模の大きな地震が発生しており、これらは東北地方太平洋沖地震によって誘発された地震だといえるという。地震は気象庁の資料などをもとに、3月23日までに発生したものをえがいた。ただし気象庁によると、余震も含めて非常に多くの地震が発生しているため、各地震の分析が遅れており、データは暫定的なものだという。



巨大な地震に引きつづき、規模の大きな地震が発生？

上は、過去に日本において発生した巨大な地震（ここでは M7.9 以上とした）と、その地震のあとに発生した M6.5 以上の地震の、発生時期の関係を示したものである。ある一つの巨大な地震から次の巨大な地震までに発生した M6.5 以上の地震はすべて、発生場所を考慮することなく、同じグループに分類し、同じ記号で示している。地震の資料は理科年表による。この分類をみると、巨大な地震が発生してからおおむね 100 日前後の時期、400 日前後の時期、600 日前後の時期に、M6.5 以上の地震が比較的多く発生している。ただし、かなり速くはなれた場所で発生した地震に関連性があるのかどうかや、なぜある時期に集中して地震が発生する傾向があるのかなどは不明である。ただ、関連性は不明であっても、今回の地震を受けて今後、震源から遠い西日本の内陸などでも M6.5 をこえるような地震が発生する可能性は、過去の例を見るかぎりでは否定できないともいえる。



東北地方太平洋沖地震の前後の地震活動の比較

下は、東北地方太平洋沖地震が発生する前の1か月間と、東北地方太平洋沖地震の発生から3月23日までの12日間の、M5.0以上の地震の発生場所と発生時期を示したものである。余震と区別するために、東北地方太平洋沖地震の震源域で発生した地震は除いてある。気象庁の資料をもとに作成した。東北地方太平洋沖地震発生前の1か月間のM5.0以上の地震は、3回であった（発生場所と時間が非常に近い地震があり、図では重なって一つにみえているものがある）。一方、東北地方太平洋沖地震のあとは、12日間でM5.0以上の地震が7回発生している（こちらにも一部の地震は、図では重なっている）。東北地方太平洋沖地震のあと、地震活動が活発化していることがわかる。

今回の地震の影響で地震が発生しやすくなった地域は？

東北地方太平洋沖地震の影響で日本各地で地震活動が活発化していることについて、もう少し詳しくみてみよう。

大規模な地震が発生した際、その地殻変動が各地の断層にあたえる影響は、断層ごとにそれぞれ異なる。地震を発生させる断層（プレート境界も断層である）は、それぞれがさまざまな方向を向いており、また、その断層面の傾きの角度もさまざまだからだ。各断層にかかる力は、断層をずらす方向の力と、断層の接着をおさえつける方向の力とに分けて考えることができる。断層をずらす方向の力が

強くなれば、そこで地震は発生しやすくなるし、断層の接着をおさえつける方向の力が強くなれば、そこで地震は発生しにくくなる。断層にかかる力が変化した場合にその断層で地震が発生しやすくなるのかどうかは、それら二つの方向の力のかね合いによって決まる。

さて、左ページのイラストは、今回の地震が各地の断層にあたえた影響を示したものである。対象となった断層は、周辺のプレート境界と、内陸の断層のうちの主なものである。赤色に近いほど地震が発生しやすくなったことを、青

誘発されやすいのはどこ？

左ページは、東北地方太平洋沖地震の地殻変動が各地の断層にあたえる影響を分析した結果である。京都大学防災研究所の遠田晋次准教授による。黄色から赤色に近づくほど、その断層で地震が発生しやすくなったことを、水色から青色に近づくほど、その断層で地震が発生しにくくなったことを示している。白色は影響があらわれない断層である。ただしこの計算は、東北地方太平洋沖地震の発生前後の、各断層にかかる力の変化をみているだけである。それぞれの断層にどれだけエネルギーがたまっているかは不明なため、赤色の断層で実際に大規模な地震が発生するかどうかはわからない。

右ページは、遠田准教授が気象庁のデータにもとづいて作成した、東北地方太平洋沖地震の発生前と発生後の、各地の地震活動（微小な地震も含む）の変化のようすを示したものである。地震活動が活発化した地域があることが読み取れる。

青森県の沖合

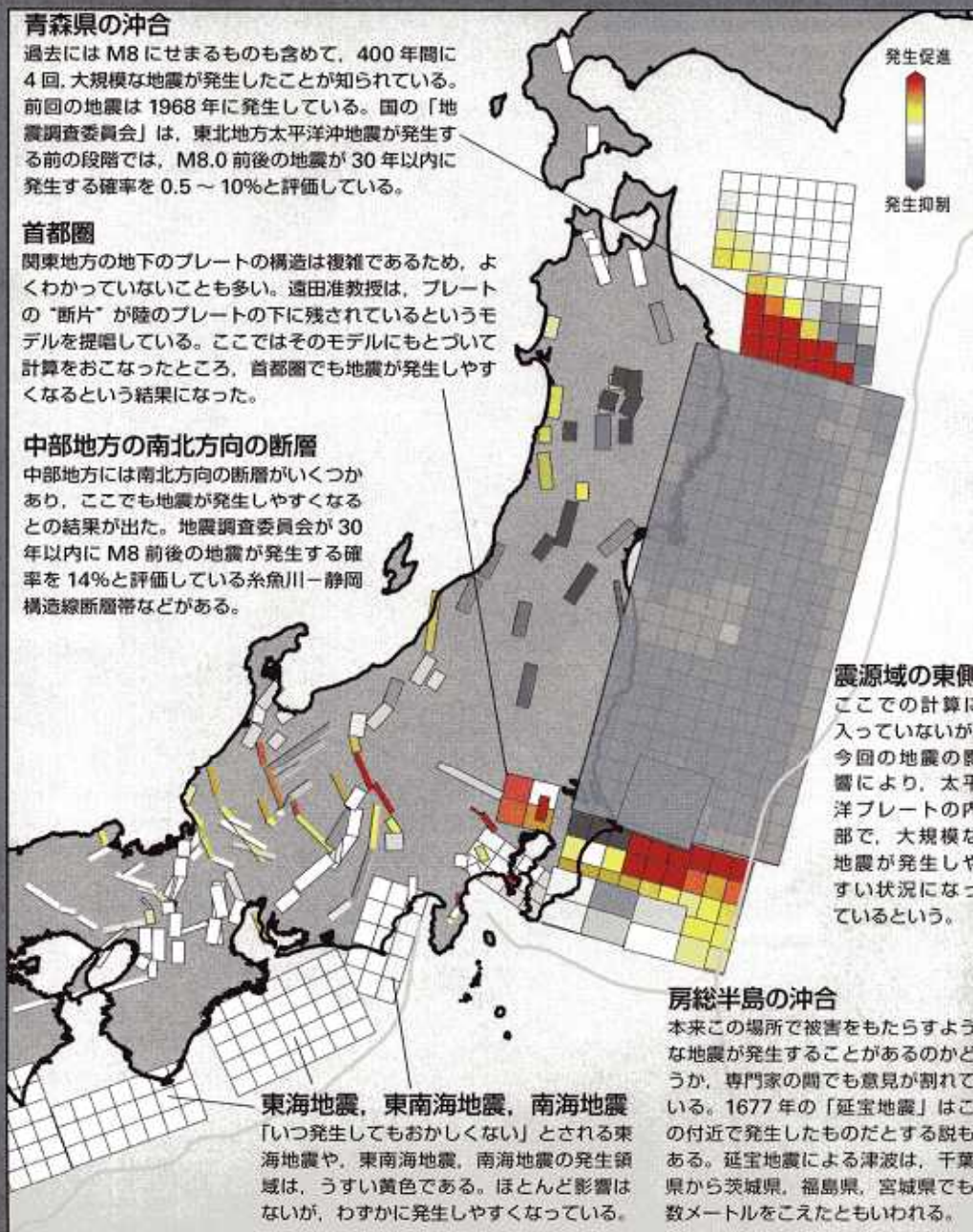
過去には M8 にせまるものも含めて、400 年間に 4 回、大規模な地震が発生したことが知られている。前回の地震は 1968 年に発生している。国の「地震調査委員会」は、東北地方太平洋沖地震が発生する前の段階では、M8.0 前後の地震が 30 年以内に発生する確率を 0.5 ～ 10% と評価している。

首都圏

関東地方の地下のプレートの構造は複雑であるため、よくわかっていないことも多い。遠田准教授は、プレートの「断片」が陸のプレートの下に残されているというモデルを提唱している。ここではそのモデルにもとづいて計算をおこなったところ、首都圏でも地震が発生しやすくなるという結果になった。

中部地方の南北方向の断層

中部地方には南北方向の断層がいくつかあり、ここでも地震が発生しやすくなるという結果が出た。地震調査委員会が 30 年以内に M8 前後の地震が発生する確率を 14% と評価している糸魚川ー静岡構造線断層帯などがある。



東海地震、東南海地震、南海地震「いつ発生してもおかしくない」とされる東海地震や、東南海地震、南海地震の発生領域は、うすい黄色である。ほとんど影響はないが、わずかに発生しやすくなっている。

房総半島の沖合

本来この場所で被害をもたらすような地震が発生することがあるのかどうか、専門家の間でも意見が割れている。1677 年の「延宝地震」はこの付近で発生したものだとする説もある。延宝地震による津波は、千葉県から茨城県、福島県、宮城県でも数メートルをこえたともいわれる。

色に近いほど地震が発生しにくくなったことをあらわしている。計算は、京都大学防災研究所の遠田晋次准教授による。

まず目につくのが、今回の地震の震源域の両どなりにあたる、青森県沖と千葉県沖の領域である。これらのプレート境界では、今回の地震が発生する前にくらべて地震が発生しやすくなっていることがわかる。首都圏の赤色は、遠田准教授が考える関東地方の地下のプレート構造モデルにもとづいたものだ。また、中部地方の南北方向の断層も地震が発生しやすくなっていることがうかがえる。近い将来に発生が懸念されている東海地震については、ほとんど影響ないが、わずかに発生しやすくなったという計算結果だ。

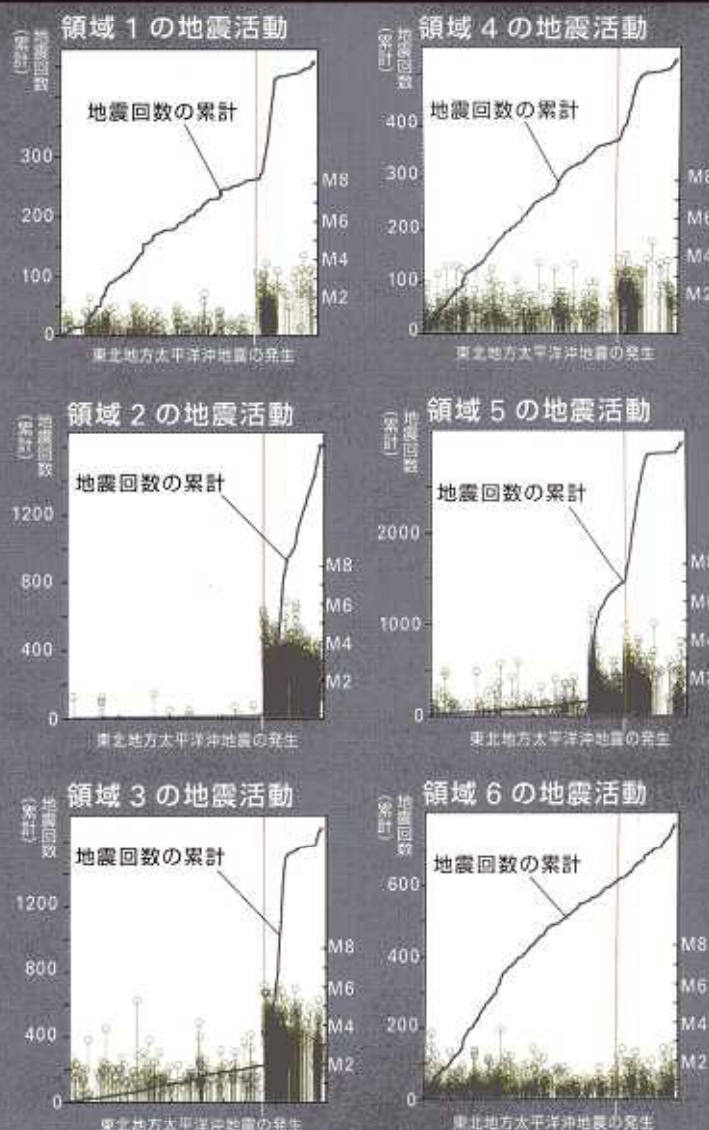
なお、注意が必要なのは、この計算結果が、ただちに大

規模な地震が発生する危険性を示しているわけではないということである。それぞれの断層が、もともとどれだけエネルギーをためた状態だったのかは不明である。まだまだエネルギーがたまっていない状態で、今回の地震によってわずかに地震が発生しやすい状況になったとしても、大規模な地震は発生しないだろう。

あるいは、影響をあたえる側の東北地方太平洋沖地震の震源域でも、余震が発生するなど刻々と状況が変化しており、これを計算にもりこむには限界がある。

また、ここで計算の対象になった断層は、あくまでも日本に存在する断層の一部である。その他の断層で地震が発生する可能性も忘れてはならない。

東北地方太平洋沖地震の前後の、各地の地震活動



実際の地震活動の変化は？

上の地図は、東北地方太平洋沖地震の前後において、各地で観測された地震の震源を示したものである。右のグラフでは、地図中の1～6の領域について、地震の累計回数を青色の線で、各地震のMの値を緑の線の高さで示した。グラフの横軸は、2011年1月1日からの経過時間である。領域1～5は、今回の地震の直後から、地震活動が活発化した。一方、領域6では大きな変化はみられない。左ページと比較すると、評価を行っていない領域2を除き、実際の地震活動の傾向と計算による予測がおおむね一致していることがわかる。領域2は、プレート境界とはちがう浅い領域で地震が頻発している。このページのデータには含まれていないが、4月11日にM7、最大震度6弱の地震を記録した。危機的な状況がつつく原発に近い。なお、各グラフの右端で地震の発生ベースが落ちたように見えるのは、気象庁による地震データの解析が間に合っていないためである可能性が高い。

東海地方から四国沖では、M8 クラスの巨大地震がくりかえし発生してきた

東北地方太平洋沖地震が発生した今だからこそ、私たちは日本の地震について知り、対策を進めなければならない。

西日本では、南側から移動してくるフィリピン海プレートが陸のプレートの下に沈みこんでいる。この場所は「南海トラフ」とよばれている。南海トラフでは、「東海地震」、「東南海地震」、「南海地震」とよばれる M8 クラスのプレート境界地震がくりかえし発生している（イラスト参照）。

これらの地震には、特徴的な発生パターンがあることが知られている。まず、発生周期は、おおむね 90 ～ 150 年間隔である。そしてあるときにはこれらが連動して三つの地震が同時に発生する。またあるときには、これらが数時間から数年の時間差で個別に発生するのである。

前回、南海トラフでこれらの地震が発生したのは、70 年近く前のことである。このときは 1944 年に「昭和東南海地震」（M7.9）が、2 年後の 1946 年に「昭和南海地震」（M8.0）が発生し、連動タイプではなかった。一方、1707 年の「宝永地震」は、東海・東南海・南海地震が連動して発生し、M9 にせまる M8.6 という規模だった。

次の東海地震、東南海地震、南海地震はいつ発生するのだろうか。残念ながら、正確な時期はだれにもわからない。東海地震については、前回の昭和東南海地震、昭和南海地震の際には発生しなかった。このため東海地震をひきおこす「アスぺリティ（固着域）」は破壊されておらず、現在でも M8 クラスの地震をひきおこすだけのエネルギーをたくわえたままだと考えられている。東海地震はいつ発生してもおかしくないと警戒され、特別な観測態勢がとられている。ただし歴史記録を見るかぎり、東海地震が単独で発生した例は知られていないため、この次の東南海地震、南海地震と連動して発生する可能性が高いとする見方もある。

では、東南海地震、南海地震はどうだろう。前回の発生からすでに 70 年近くが経過している今、次の発生時期がかなりせまってきているといえる。国の「地震調査委員会」は、2011 年から 30 年以内の発生確率を、東南海地震は 70% 程度、南海地震は 60% と見積もっている。

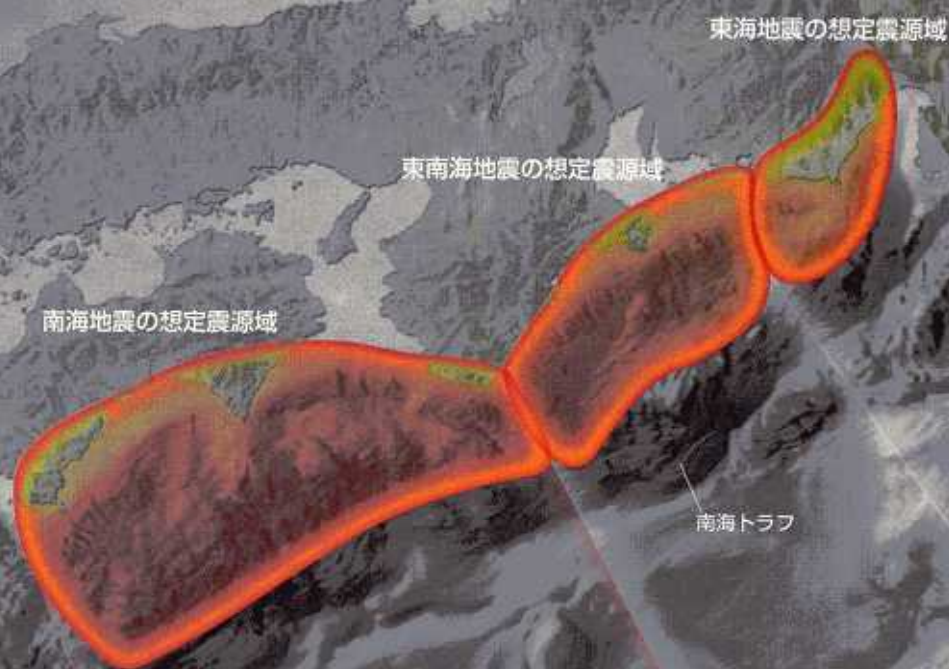
南海トラフの地震の震源域と発生履歴

東海地震、東南海地震、南海地震の想定震源域と、それらの地震の発生履歴をえがいた。これら三つの地震は、たがいに連動したり、少しの時間をあけて別々に発生したりしながら、90 ～ 150 年ほどの周期で、くりかえし発生してきた。なお、地震計が設置されるようになったのは明治時代以降である。それ以前の地震については、各地の古文書に残された被害の記録などをもとに震度の分布を推定し、その震度分布をもとに、震源の位置や M の値を推定する方法がとられていることが多い。古い時代ほど古文書などの資料が少なくなるため、震源の位置や M の値を推測するのがむずかしくなるなかには発生したのに記録が残っていない地震もあると考えられている。

東北地方太平洋沖地震が南海トラフの地震を誘発させる可能性は？

今回の東北地方太平洋沖地震の影響を受けて、東海地震や東南海地震、南海地震が発生する可能性はないのだろうか。佐竹教授は次のように語る。「東北地方太平洋沖地震の震源域は、南は茨城県の沖合まで広がりましたが、その先の房総沖には至っていません。房総沖の地下は、東日本に沈みこむ太平洋プレートと、西日本に沈みこむフィリピン海プレートが接している場所です。スマトラ島沖地震のあとに周辺地域で大規模なプレート境界地震が発生したように、もし房総沖でも大規模なプレート境界地震が発生すれば、今度はその影響がフィリピン海プレートにもおよび、西へと広がっていく可能性も否定はできません」。

4 月 11 日現在、気象庁が東海地震の前兆現象をとらえようと設置している観測網に、東海地震の発生につながるような異常は検知されていない（ただし東海地震の前兆現象を必ずとらえられる保証はない）。



古い時代のものから順に、南海トラフの地震の発生状況をえがいた。連動した地震は同一色とし、また、発生したかどうかあいまいな地震は破線であらわした。

過去に発生した東海・東南海・南海地震



年代の経過

東海・東南海・南海地震では、広い地域で津波が襲来

内閣府を事務局とする「中央防災会議」は、主な災害について、被害想定や防災計画をとりまとめている。そのうち「東海地震」、「東南海・南海地震（連動型）」、および「東海・東南海・南海地震（連動型）」の三つのパターンについては、2003年に被害想定を発表している。

想定では、東南海・南海地震、および東海・東南海・南海地震がおきると、関東から九州までの広い範囲で震度5

～7という強いゆれが観測される。また、これらはいずれもプレート境界地震であることから、大規模な津波が発生すると予測されている。

現在のところ、想定されている津波の高さは最大で5～10メートル。東南海・南海地震の場合は、津波によって約4万戸が被害にあう。さらに、三つの地震が連動した場合、津波による死者は最大で約9100人におよぶ。

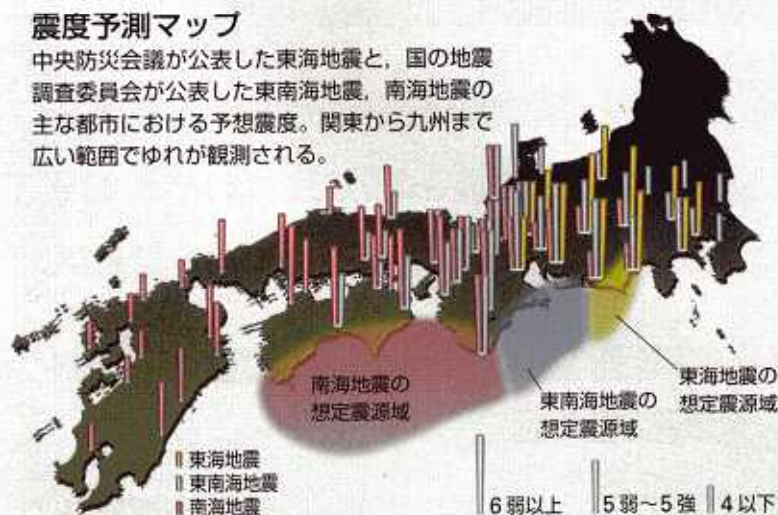
■ 想定される津波の高さは？

中央防災会議が想定する津波の高さや被害をまとめた。これらの想定は見直しを受けて今後かわる可能性がある。



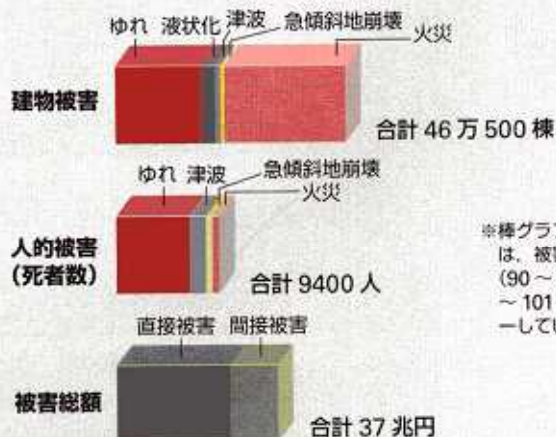
震度予測マップ

中央防災会議が公表した東海地震と、国の地震調査委員会が公表した東南海地震、南海地震の主な都市における予想震度。関東から九州まで広い範囲でゆれが観測される。



東海地震の被害ワーストケース

中央防災会議が2003年に想定した、建物被害と人的被害、被害総額。設定条件は、火災が発生しやすい冬の午後6時、風速15メートルである（人的被害は午前5時）。火災で約25万棟が焼失する。



※棒グラフの長さの基は、被害想定グラフ(90～91ページ、9～101ページ)で示している。

中央防災会議では、2011 年度中にもこれらの地震の被害想定を見直す予定だ。というのも、これまで中央防災会議では、東北地方の津波(M7.6～M8.6の地震を複数想定)による死者数を最大でも約 2700 人と見積もっていたからだ。実際には、東北地方太平洋沖地震の死者・行方不明者数は 2 万人をこえている(4 月中旬時点)。つまりこれまでの被害想定は、過小評価だった可能性があるのだ。

津波災害や都市災害にくわしい河田恵昭・関西大学教授は、「想定の方法をかえる必要があるでしょう」と話す。従来はまず、過去のデータにもとづいて地震の規模を想定し、

その条件で発生する津波の規模を計算してきたという。しかしこれでは、観測記録を更新するような大規模な地震や津波には対応できない。「この方法では、いつまでたっても“想定外”がおきてしまうのです。何がおきるのかを考えて、最悪のシナリオを用意する必要があります」(河田教授)。

さらに河田教授は、「想定内の津波であっても、避難しなければ犠牲者はふえます」という。逃げなければ生き残れないことをしっかりと理解して、避難指示に従うことが大事だ。また、今ある堤防などが壊れてしまわないように維持しておくことも重要だと河田教授は指摘している。

東南海・南海地震による津波

東海地震にくらべると、震源域の大部分が海に存在しているため、巨大な津波が広域で発生する可能性が高い。静岡県の浜岡原子力発電所は 3～5 メートル、愛媛県の伊方原子力発電所は 1～2 メートルの津波の襲来を受ける可能性がある地域に位置している。

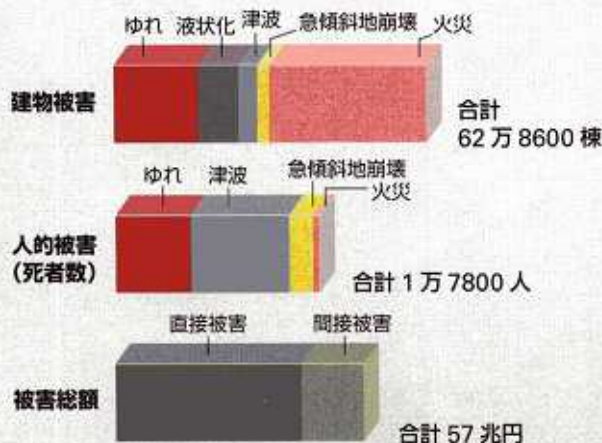
出典：中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」による「東南海、南海地震の被害想定について」(2003)

【参考】中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index_nankai.html



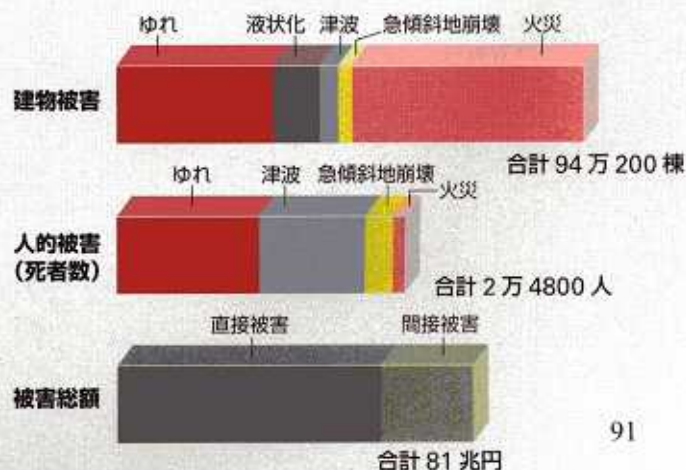
東南海・南海地震の被害ワーストケース

中央防災会議が 2003 年に想定した、建物被害と人的被害、被害総額。設定条件は、冬の午後 6 時、風速 15 メートルである(人的被害は午前 5 時)。約 8600 人が津波で亡くなる想定だ。



東海・東南海・南海地震の被害ワーストケース

中央防災会議が 2003 年に想定した、建物被害と人的被害、被害総額。設定条件は、冬の午後 6 時、風速 15 メートルである(人的被害は午前 5 時)。約 9100 人が津波で亡くなり、被害総額は 81 兆円にのぼると予想されている。



西日本でも M9! 東海・東南海・南海地震は、沖縄まで連動する場合がある

西日本は歴史資料が比較的^{ひかく}古くから残されている地域である。しかし歴史資料を見るかぎりでは、東海・東南海・南海地震の連動タイプをこえる規模の地震が発生した記録は残されていない。このため三つの地震の連動タイプが、この地域における最大の地震だと考えられてきた。

しかし三つの地震の震源域となっているプレート境界は、さらに南西側にもつづいている。九州沖合^{おきあひ}の部分や、その先の「南西諸島海溝」である。

「三つの地震に加えて九州沖から南西諸島まで含めた地域まで連動する超巨大地震が発生する可能性について、真剣に考える必要があります」。このように語るのは、名古屋大学大学院環境学研究科^{かんきょう}の古本宗充教授^{ふるもとむねよし}だ。

古本教授は、静岡県^{しずおか}の御前崎^{みまざき}、高知県^{こうち}の室戸岬^{むろとみさき}、南西諸島の喜界島の海岸に残された隆起地形に注目した。海岸段丘や、砂浜にできた小さな丘など、いずれも地震によってできたと考えられる地形である。これらの中には、通常よりも明らかに大きく隆起したものがある。つまり規模の大きな地震の痕跡である。この痕跡の形成年代を比較してみると、おおむね一致するものもあった。つまり過去には駿河湾から南西諸島にいたるまで日本の西半分を巻きこんだ、超巨大地震が発生した可能性があるということだ。

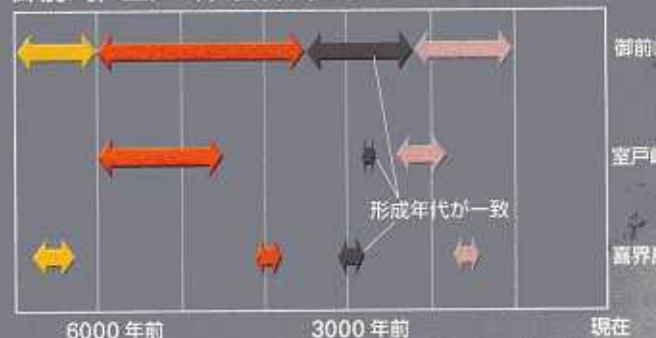
古本教授がつづける。「年代測定の精度を上げてくわしく調査をする必要がありますが、スマトラ島沖地震や東北地方太平洋沖地震のような M9 クラスの超巨大地震が発生したとしても不思議ではありません」。

もしこの地震が発生したら、被災地域は東海・東南海・南海の連動タイプよりもはるかに広範囲におよぶ。また、地震の規模が大きくなることで津波がより高くなることも予想される。

東海地方から沖縄までが震源域に？

東海・東南海・南海地震の連動タイプをはるかにしのぐ超巨大地震の震源域を示した。東海地方から沖縄付近までのプレート境界が一気にずれ動くと考えられている。もしこの地震が発生すれば、M9 クラスとなる。

御前崎、室戸岬、喜界島の隆起地形の形成年代



御前崎、室戸岬、喜界島の海岸にみられる隆起地形のうち、とくに大規模な地形の形成年代の調査結果を示した。年代測定の精度に限界があるため形成年代の推定値に幅はあるものの、三つの場所で、隆起した年代がおおむね一致するものがある。これはつまり、三つの場所が同時に隆起する地震が発生した可能性を示している。三つの場所が同時に隆起する地震とは、東海地方から沖縄付近までが連動する超巨大地震ということになる。なお、今回の東北地方太平洋沖地震を受け、古本教授は、東海・東南海・南海地震が発生する領域に、これまで想定されていなかった「ずれ残し」が存在している可能性も指摘している。東海・東南海・南海地震が連動し、この「ずれ残し」もいっしょにずれ動いた場合、これらの領域だけでも M9 をこえる地震となる可能性があるという。

西日本の超巨大地震の想定震源域

御前崎

室戸岬

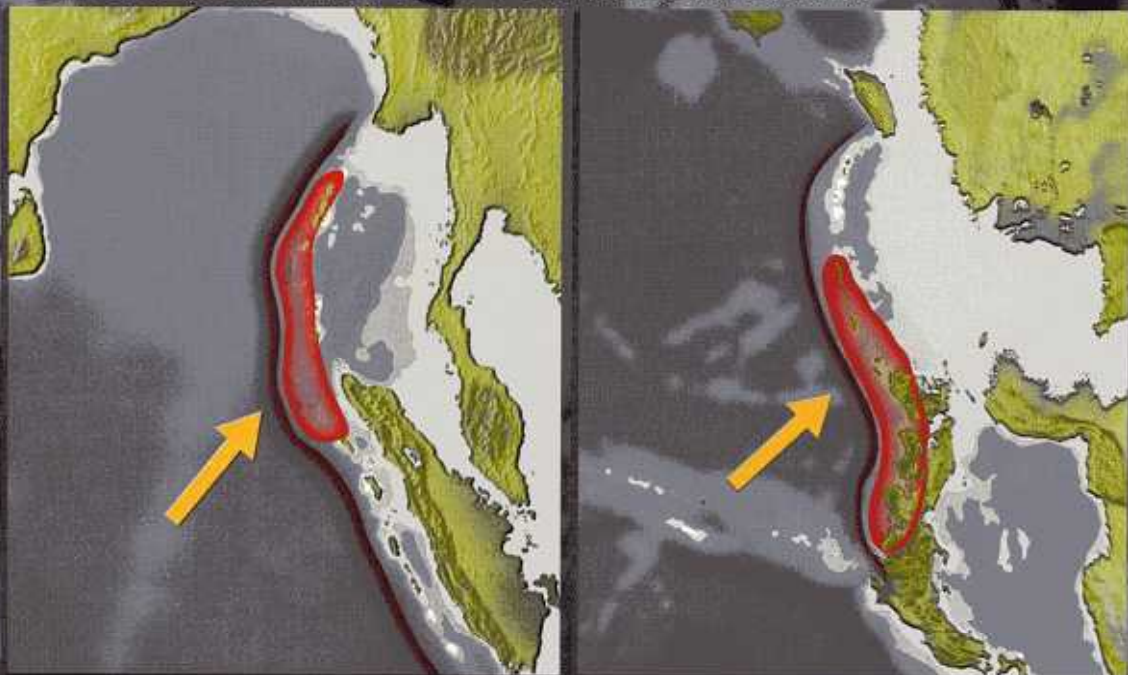
東海地震の想定震源域

東南海地震の想定震源域

南海地震の想定震源域

喜界島

西日本の超巨大地震（想定）とスマトラ島沖地震の震源域の比較



西日本の超巨大地震とスマトラ島沖地震の震源域を比較した。両者の縮尺は同じである。また、西日本の地図は向きをかえてある。東海地方から沖縄付近にかけてのプレート境界が一気にずれ動いた場合、M9クラスの超巨大地震であったスマトラ島沖地震の震源域に匹敵する面積となることわかる。

北海道沿岸にも、M9 にせまる 地震の痕跡が残されている

北海道の十勝沖から千島列島沖にかけての千島海溝では、過去にたびたび M8 クラスの「十勝沖地震」や「根室沖地震」などが発生してきたことが知られている。そしてこの場所でも、どうやら M9 にせまる、あるいはそれをこえる地震が発生することがあるらしい。

佐竹教授らの研究グループは、この北海道東部の海岸にある「霧多布湿原」で、津波によってもちこまれた堆積物を調査した。湿原には泥炭や火山灰の地層がみられるが、津波によって海底から運ばれた砂の層も残っている。霧多布湿原では、1952 年の十勝沖地震 (M8.2) の際、海岸から 1 キロメートルほどの地点まで津波が到達したことがわかっていて、ところが調査の結果、過去 2500 年の間に少なくとも 5 回、海岸から 3 キロメートルの地点まで到達した津波があったことがわかった。つまり明らかに通常よりも大きな津波があったというわけだ。

佐竹教授がコンピューターシミュレーションを行ったところ、十勝沖と根室沖の地震が連動した場合、霧多布湿原の津波の到達範囲が調査結果と一致することがわかった。つまりこの地域では、運動型の大規模な地震が発生してきたらしいのである。発生間隔は 500 年ほどだという。

最近の連動タイプは 17 世紀に発生したと考えられ、M8.6 をこえると推定されるという。M9 の超巨大地震にせまろうかという大きさである。千島海溝はさらに東につづいていることから、これらの場所の地震も連動して、M9 をこえる超巨大地震が発生する可能性もあるという。

北海道東部では古文書などの歴史記録が江戸時代の後期以降しか残っていないために、それ以前の地震についてはよくわかっていなかった。津波の堆積物を調査することにより、過去の地震の姿が明らかになりつつあるのは、過去に東北地方に大津波をもたらしたとされる「貞観地震」(29 ページ) の状況と似ている。あるいは先ほど紹介した西日本の超巨大地震も、歴史記録を見るだけではわからないものであった。歴史記録よりも長いサイクルで発生する超巨大地震について、調査を進める必要があることは明らかだ。

霧多布湿原の津波の到達範囲

堆積物の調査によって、過去に津波が到達したことが確認された地点

1952 年の十勝沖地震の津波の到達範囲

十勝沖地震と根室沖地震が連動したと仮定しておこなったシミュレーションの、津波の到達範囲

上は北海道東部の霧多布湿原の、津波による堆積物の調査結果である。1952 年の十勝沖地震のような単独で発生した地震による津波 (オレンジ色の部分が浸水) にくらべて、過去には明らかに巨大な津波が発生し、湿原の奥まで津波が到達していたことがわかった (赤丸の部分で津波の堆積物を確認)。この調査結果と、十勝沖・根室沖の地震が連動した場合の津波の到達範囲をシミュレーションした結果 (ピンク色の領域) が一致した。このことから、霧多布湿原の奥まで堆積物をもたらした津波は、十勝沖・根室沖の地震が連動することによって発生したと考えられるという。このような大規模な津波の堆積物の層は、少なくとも 5 層は確認され、最も新しいものは 17 世紀に堆積したと推定されている。堆積物ができた年代から、大規模な地震が発生する間隔は、500 年に 1 回程度だと考えられるという。

北海道沿岸の連動型地震

イラストは、千島海溝近辺で発生する大規模な地震の震源域をあらわしている。北海道の近辺では、数十年から百数十年の間隔で、十勝沖地震、根室沖地震などが発生している。津波によって海底から運ばれてきた堆積物の調査を、佐竹教授らが北海道東部の湿原で行ったところ、十勝沖地震と根室沖地震は、500年に1回ほどの割合で、連動して発生していることがわかった。過去には色丹島沖や択捉島沖の地震まで連動して発生していた可能性も否定できず、調査範囲を広げれば、その証拠もみつかるともかもしれないという。

1952年のカムチャツカ地震 (M9.0) の震源域

千島海溝

2006年 M8.3

択捉島沖地震
1963年 M8.1

色丹島沖地震
1969年 M7.8

十勝沖・根室沖の連動タイプ
17世紀 M8.6

根室沖地震
1973年 M7.3

十勝沖地震
2003年 M8.0

※ 2006年の地震の2か月後には、震源域のすぐ東側で M8.1 の地震が、太平洋プレートの内部で発生。プレート境界地震のあとにこのような地震が発生することがよくある。今回の東北沖でも注意が必要である。

十勝沖地震と根室沖地震の発生履歴



上は、十勝沖地震と根室沖地震について、過去の発生時期をあらわしたものである。17世紀に連動タイプの地震が発生し、その後は M8 クラスの地震がくりかえし、個別に発生している。

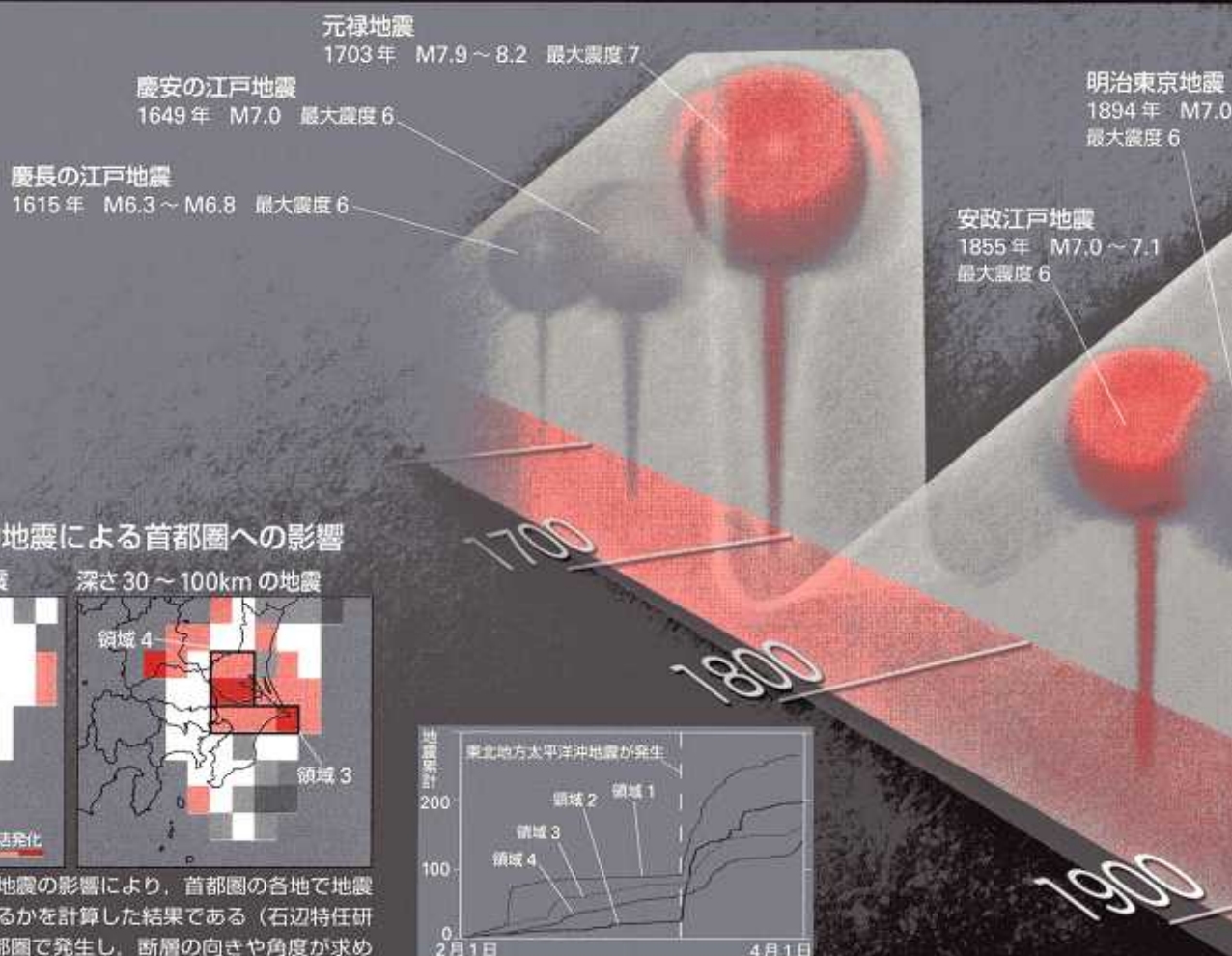
首都直下で大地震発生の可能性は？

首都圏で大きな地震が発生する可能性はあるのだろうか。過去に首都圏に大きな被害をおよぼした地震をあげてみると、1615年に慶長の江戸地震（M6.3～6.8）、1649年に慶安の江戸地震（M7.0）、1703年に元禄地震（M7.9～8.2）、1855年に安政江戸地震（M7.0～7.1）、1894年に明治東京地震（M7.0）、1923年に大正関東地震（M7.9）が発生している。

首都圏では、M8クラスのプレート境界地震である関東地震タイプ（元禄地震、大正関東地震）が発生する100年ほど前から、M7クラスの地震が数回発生する傾向が読み

取れる。仮に、の話ではあるが、次の関東地震タイプが早めの22世紀初頭に発生するならば、その100年前である現在は、そろそろM7クラスの地震に警戒が必要な時期ということになる。

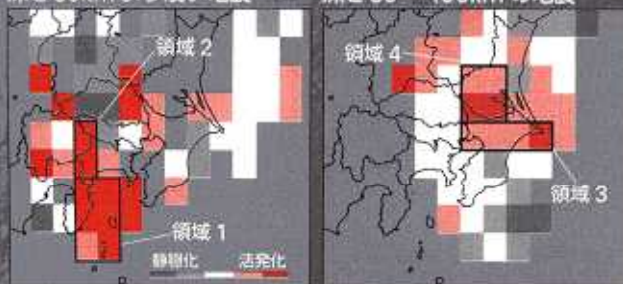
今回の東北地方太平洋沖地震は、関東地方の地震活動にも影響をおよぼしている。東京大学地震研究所の石辺岳男特任研究員は、その影響について詳細に検討をおこなった。その結果、関東地方では、東京湾北部から千葉県北部にかけての地域や、伊豆半島から伊豆諸島にかけての地域などにある断層（プレート境界含む）で、地震が発生しやすく



東北地方太平洋沖地震による首都圏への影響

深さ30kmより浅い地震

深さ30～100kmの地震



上は、東北地方太平洋沖地震の影響により、首都圏の各地で地震活動がどのように変化するかを計算した結果である（石辺特任研究員による）。過去に首都圏で発生し、断層の向きや角度が求められている約3万件の地震について、今回の地震によって地震が発生しやすくなる力を受けたのか、地震が発生しにくくなる力を受けたのかを計算した。格子で区切った領域ごとに、地震が発生しやすくなった断層の割合を求め、その割合に応じて色をつけてある。赤は地震が発生しやすくなった断層の割合が多いことを、青はその割合が低いことを示している。白は両者の割合が同程度、灰色の部分は過去の地震データが少ないために評価の対象外とした場所である。震源の深さを30キロメートル未満と、30～100キロメートルの二つに分けて評価している。



左の地図の領域1～4について、今回の地震前後の、実際の地震活動の変化を示した。それぞれの領域ごとに地震発生回数を累計している。今回の地震をきっかけに、左の計算結果と同様、地震活動が活発化していることがわかる。なお、グラフの右端で地震活動がおさまっているようにみえるのは、気象庁による各地震の分析が完了していない可能性が考えられるという。

なるという結果が出たという。実際、これらの地域では、今回の地震後に、小規模な地震の発生するペースが上がっている。

「小規模な地震が多く発生していることが、ただちに大規模な地震の発生に結びつくとは限りません。しかし今回の地震の影響で地震活動が活発化している地域があるのは事実です」と、石辺特任研究員は語る。

首都圏で M7 クラスの地震が発生した場合、^{しんたい ひがい} 甚大な被害をもたらすことになるだろう。過去に発生した M7 クラスの地震がどういった地震であったのか、研究も進められている。しかし次の M7 クラスの地震がいつどこで発生するのか、現時点ではわからない。

関東大震災の再来はあるのか？

首都圏で過去に最も大きな地震被害をもたらしたのは、1923 年の「関東大震災」をひきおこした「大正関東地震」(M7.9)である。これは、神奈川県西部から千葉県南部にかけての、陸のプレートとフィリピン海プレートとの境界で発生したプレート境界地震である。千葉県の太平洋岸に残されている、地震が原因の隆起地形の調査などから、このタイプの地震は 200 ～ 400 年ほどの周期でくり返し発生してきたと考えられている。

死者 10 万 5000 人あまりを出したとされる大正関東地震のタイプの地震が再来すれば、首都圏の被害は甚大なものになる。しかし多くの地震学者は、まだ 100 年ほどは関東地震は発生しないと考えているという。「前回発生した 1923 年から 100 年も経過していないことと、発生の周期が 200 年以上ということを見ると、関東地震をひきおこすだけのエネルギーはたまっていないはずだ」（佐竹教授）。

関東地震
1923 年 M7.9 最大震度 7

首都圏は M7 クラスの地震に警戒

イラストは、過去に首都圏を襲った地震の発生時期とマグニチュード (M) の大きさを示したものである。球体の大きさと底面からの高さで、マグニチュードの大きさをあらわした。首都圏では、M8 クラスの関東地震タイプの地震が発生する 100 年ほど前から、M7 クラスの地震が発生してきたことが読み取れる。

20XX 年？
M7 クラス？
最大震度 6 ～ 7？

22 世紀？
M8 クラス？

首都直下地震は、国の存亡にかかわる

首都・東京が大地震に見舞われたら、どのような被害がおきるのだろうか。

中央防災会議は、国の存亡にかかわる課題だとして、首都直下地震の被害想定を行っている。想定されたのは震源地や規模がことなる 18 タイプ。そのうち最も被害が大きくなると考えられているのが、マグニチュード 7.3 の「東京湾北部地震」だ。この地震では、震度 6 程度の区域が東京や埼玉、千葉を中心に広がるとみられている。

この地震によるゆれや火災によって全壊・焼失する建物は、最悪の場合、約 85 万棟。死者は 1 万人をこえると予想されている。

火災による被害の規模は、風速に大きく影響を受ける。火災によって壊滅的な被害を受けたことで知られる 1923 年の関東大震災では、風速 15 メートルという強風が吹いていた。この風によって延焼が進み、東京の市街地は焼き尽くされてしまった。

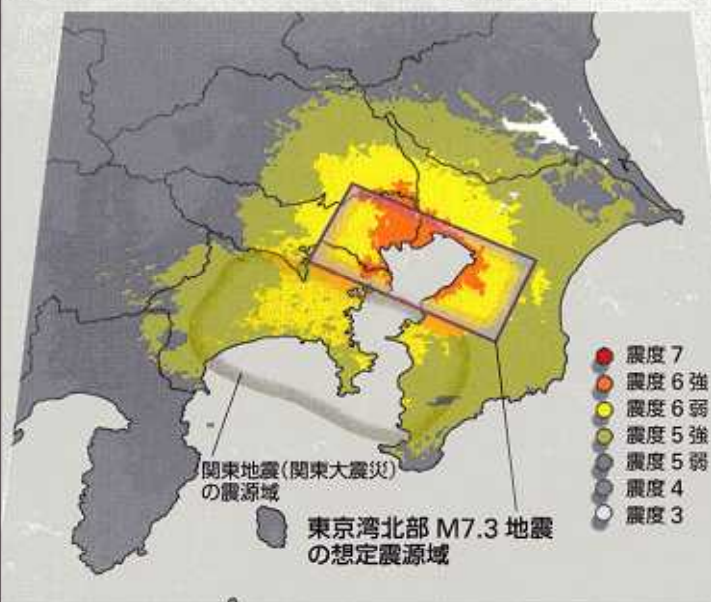
中央防災会議では、東京湾北部地震がおきた際の風速が 15 メートルであれば火災による死者は約 6200 人、風速 3 メートルであれば約 2400 人になると想定している。風速 3 メートルは、阪神・淡路大震災のときの風速だ。

首都である東京が被災することで、被害総額は 112 兆円になると予想されている。建物が壊れるなどの直接的な被害に加えて、生産活動の停止や経済状況の悪化といった間接的な被害が大きいようだ。国家予算は約 92 兆円（平成 23 年度）なので、それを上まわる金額である。

河田恵昭・関西大学教授は、首都直下地震がおきると、東京湾沿岸に建設されている石油タンクが炎上すると指摘する（106 ページも参照）。「京浜地区のコンビナートは、石油タンクの炎上と『液状化』によって非常に大きな被害を受ける可能性があります」（河田教授）。液状化とは、水分を多く含む砂質の地盤が、地震のゆれによって液体のような状態になってしまう現象だ。「おきることを前提に、被害を小さくする対策を考えておくべきです」（河田教授）。

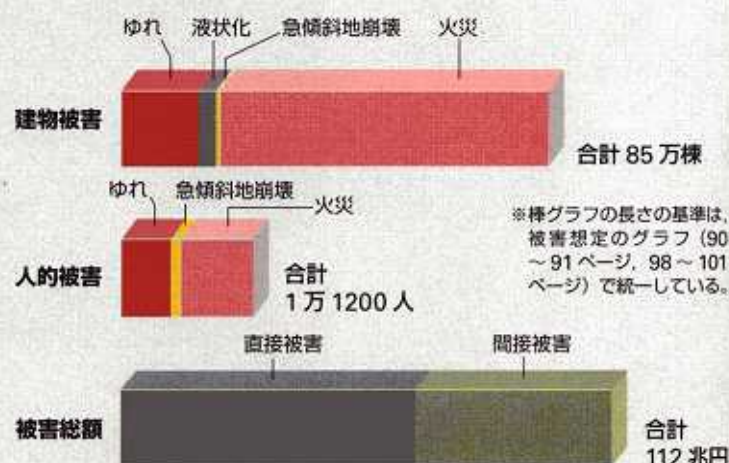
M7.3 地震が東京を直撃したら？

中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」が 2005 年に発表した東京湾北部 M7.3 地震の被害想定について、震度マップや焼失棟数分布をまとめた。



東京湾北部地震の震度予測マップ

中央防災会議が被害想定を行った、東京湾北部 M7.3 地震の震度予測マップ。震源地は、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界に設定されている。震度 7 の地域はみられないものの、震度 6 弱以上の地域が広域に広がる。上の図では、参考として、関東地震（関東大震災）の震源地も示している。



被害総額が国家予算をこえる

上は、中央防災会議が 2005 年に被害想定を行った、東京湾北部 M7.3 地震の建物被害、人的被害、被害総額である。設定条件は、被害が最も深刻になると予想される、冬の午後 6 時、風速 15 メートルである。

首都直下地震の特徴は、被害総額が国家予算をこえる 112 兆円にものぼることだ。その内訳は、建物被害などの直接被害と、その他の間接被害がおよそ半々であり、ほかの地震にくらべると間接被害の割合が大きい。首都機能が麻痺したり、交通が寸断されたりすることで、経済状態が悪化することが考えられている。

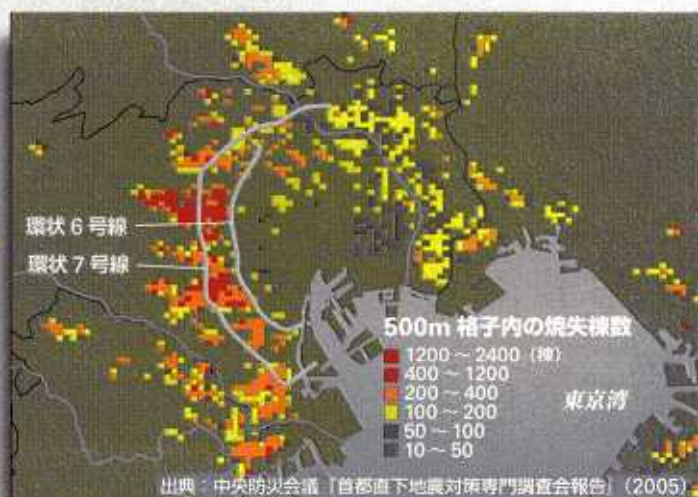
中央防災会議では、風速による火災の被害のちがいを予想している。

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



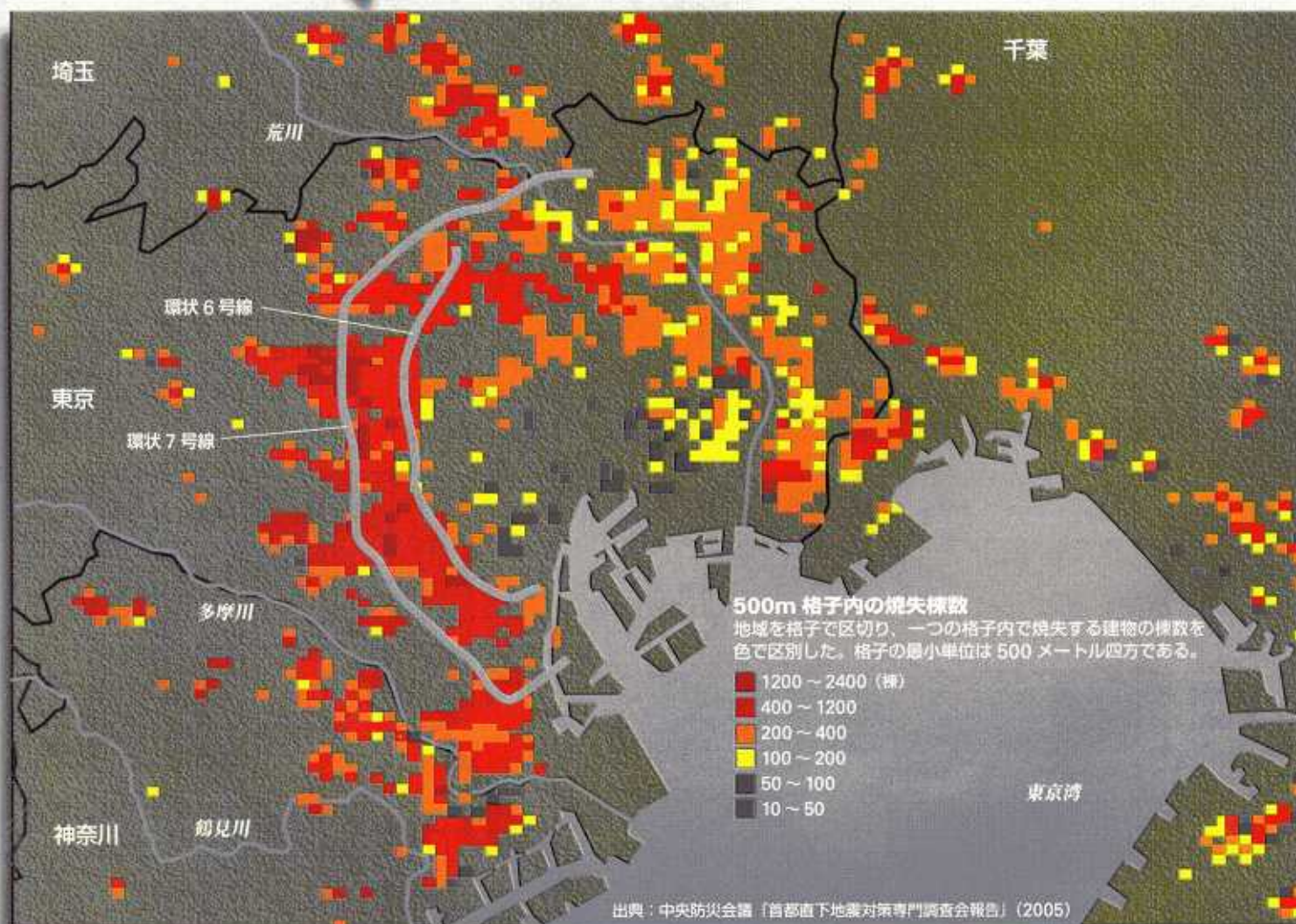
ストーブなどの火気器具を多用する冬に地震がおきると、火災の被害が大きくなる。また、夕飯の支度をする午後6時ごろに発生すると、被害が最も深刻になると予想されている。

風速 15 メートル
関東大震災と同じ風速



(冬の午後6時、風速3メートル)

環状 6 号線や環状 7 号線沿いで火災が発生しやすいと想定されている。このあたりは木造密集市街地であり、火災が同時多発する可能性があるという。風速が 3 メートルの場合、首都圏全体の建物の焼失棟数は 29 万棟、火災による死者は 2400 人と想定されている。



風速 15メートルという強風条件下では、火災による被害が大きくなると予想されている。想定では、約 65 万棟が焼失し、約 6200 人が犠牲になる。木造住宅が密集する市街地では、建物が倒壊したり、ブロック塀や電柱が倒れたりすることで、消火活動がさまたげられる可能性が指摘されている。

大阪直下地震では、建物被害や犠牲者が国内最悪レベルに

東南海・南海地震は、21世紀の前半にも発生する可能性があるといわれている。そして、東南海・南海地震がおきるころには、中部圏や近畿圏での地震がおきやすくなると考えられている。

そこで中央防災会議では、2008年に、大阪および名古屋で内陸地震がおきたときの被害想定を行っている。

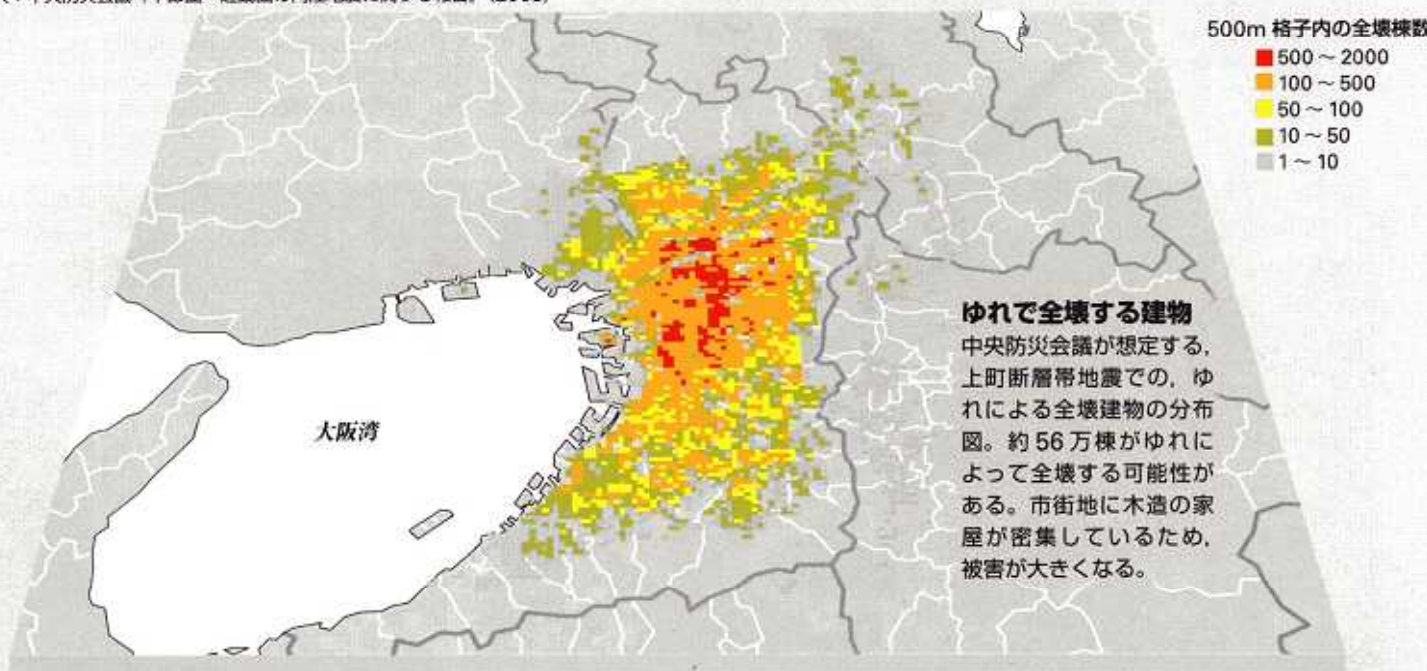
屋で内陸地震がおきたときの被害想定を行っている。

大阪市が最も深刻なダメージを受けるのは、「上町断層帯地震」である。マグニチュードは7.6、最大震度は7を記録するという想定だ。この地震によって、約97万棟の建物が全壊・焼失し、約4万2000人が犠牲になるとされて

大阪の被害想定

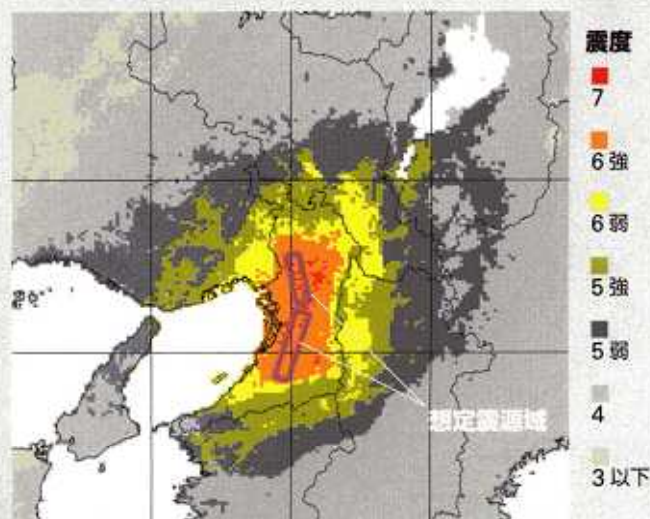
中央防災会議が想定する、ゆれによって全壊する建物の分布や震度予測マップをまとめた。ほかの地域の地震災害にくらべて、大阪では建物被害や人的被害が大きい。

出典：中央防災会議「中部圏・近畿圏の内陸地震に関する報告」（2008）



大阪の被害ワーストケース

中央防災会議が公表している被害想定ワーストケース。冬の昼12時（人的被害だけは午前5時）、風速15メートルという条件での地震発生を想定している。建物被害と人的被害は国内のほかの震災よりも数が多くなる。



いる。これは、東海・東南海・南海地震や首都直下地震の被害想定よりも大きな値である。

名古屋市に大きな被害をおよぼすとされているのは、「猿投-高浜断層帯地震」だ。マグニチュードは7.6、最大震度は7が想定されている。この地震によって全壊・焼失する建物は約30万棟、死者は約1万1000人になると予想されている。

中央防災会議では、大阪および名古屋直下の地震で発生する津波についても想定を行っている。想定されている津波の高さはそれぞれ最大5メートルだ。

河田教授はこう語る。「津波の規模については見直しが必要でしょう。また、いくら想定を行っていても、対策がそれに追いついていないケースが多くあります。高い目標をかけるだけでなく、実際に対策を進める必要があります」。

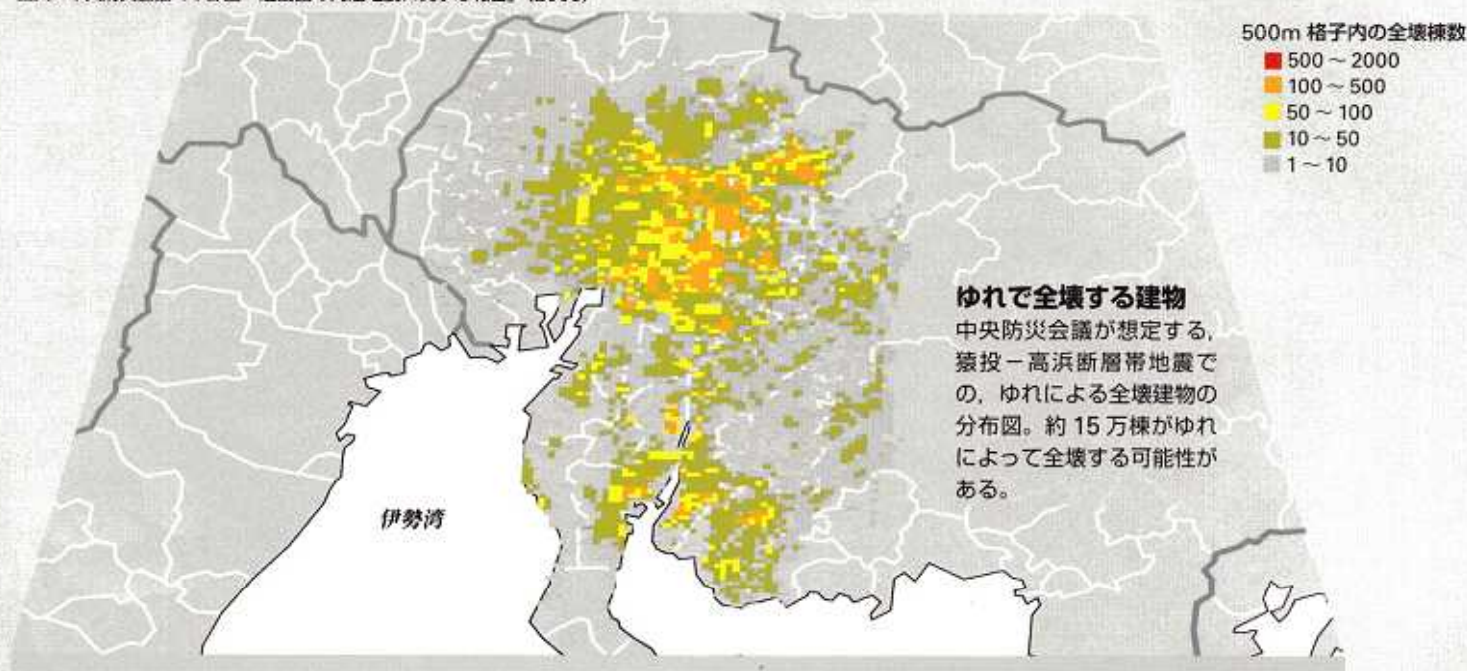
名古屋の被害想定

中央防災会議が想定する、ゆれによって全壊する建物の分布や震度予測マップをまとめた。

出典：中央防災会議「中部圏・近畿圏の内地地震に関する報告」（2008）

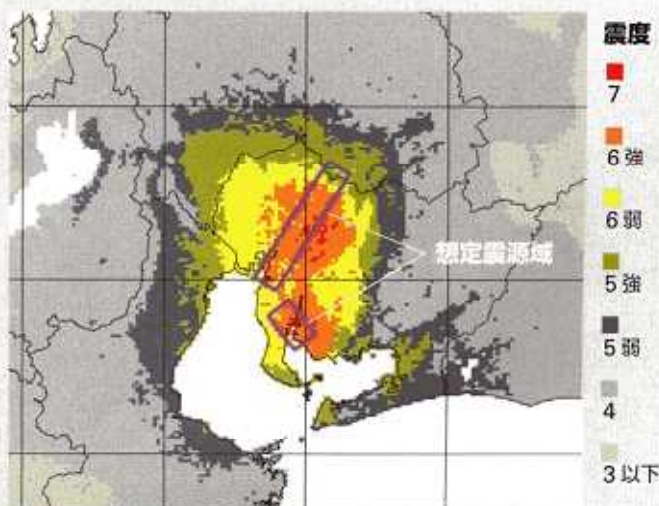
【参考】中央防災会議「中部圏・近畿圏直下地震対策」

http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index_chukin.html



名古屋の被害ワーストケース

中央防災会議が公表している被害想定ワーストケース。冬の昼12時（人的被害だけは午前5時）、風速15メートルという条件での地震発生を想定している。



名古屋の震度予測マップ

中央防災会議が想定している猿投-高浜断層帯地震の震度マップ。濃尾平野の東部と岡崎平野の南部の一部で震度7になる。また、広い範囲で震度6になる。

液状化にともなう「側方流動」が構造物を襲う

ここからは^{きょうだい}巨大地震によって、実際にどのような^{ひがい}被害がおきる可能性があるのか具体的にみていこう。震度7のゆれにおそわれた^{はんしん}阪神・^{あわじ}淡路大震災（1995年）では、高速道路の倒壊、高架橋の落下などの被害が出た。その後、高架橋やビル、住宅などの耐震補強が進められてきたが、依然として危険な構造物は残されている。

中層・低層のビルの中には、古い耐震基準で建設され、耐震補強工事が行われていないものも多い。震度7クラスのゆれに襲われれば倒壊するものも多数出るだろう。

さらに一般の住宅にいたっては、耐震性が十分でないものが全国に千数百万戸あるとされる。地震の際におそれられているのが大規模な火災だが、倒壊する住宅が多いほど消火活動のさまたげとなり、火災は拡大することになる。

地震工学の専門家である早稲田大学理工学部社会環境工学科の^{はまたまさのり}濱田政則教授は、「もう一つ大きな課題として側方流動の問題があります」と指摘する。

側方流動は液状化現象にともなって発生する。地下水位の高い^{じばん}地盤が地震でゆさぶられると、土の^{りゅうし}粒子どうしの接着が外されて、粒子どうしがくっつく力よりも水圧の方が大きくなる。こうなると各粒子は水の中をただようような状態になり、その地盤は液状化してしまう。

さらにこのとき、^う埋め立て地などの護岸の強度が十分でないと、液状化した地盤が海の方に流れてしまう。これが側方流動で、とくに比較的古い埋め立て地が危険だという。側方流動は、阪神・淡路大震災でも発生し、今回の東北地方太平洋沖地震でも千葉県浦安市などで発生した可能性が指摘されている。

構造物の設計では側方流動の影響がほとんど考慮されていない。側方流動が発生すると、ビルや橋脚などを支える基礎杭が折れてしまう。濱田教授のシミュレーションでは、川崎市の埋め立てコンビナートでは最大7メートル以上地盤が流れる結果となった。ただし、護岸を補強しておけば側方流動は防ぐことができるという。今後の早急な対策が求められている。



阪神・淡路大震災で折れた埋め立て地の基礎杭（矢印）

■側方流動の被害想像イラスト

液状化した地面の流れによって橋脚が移動すると、高架橋部分が落下する。建物の基礎杭が折れる場合もあり、最悪の場合は倒壊する。耐震補強が行われていない古い埋め立て地でおきやすい現象で、工場や石油タンクが被害を受ける場合も考えられる。



全国に広がる「高速地すべり」の危険箇所

2004年の新潟県中越地震や、2008年の岩手・宮城内陸地震では、いたるところで土砂災害が発生した。岩手・宮城内陸地震で発生した、荒砥沢ダム上流部の大規模な地すべりは、一歩まちがえばダム湖の水をあふれさせ、下流部に大洪水をもたらす大惨事となっていたかもしれない。

大都市周辺の新興住宅地に目を移してみよう。一般的に、土砂災害は傾斜が30度以上の斜面でおきやすいとされる。ゆるやかな斜面に整然と住宅が建ち並ぶニュータウンは、一見したところ土砂災害とは無縁のように思える。

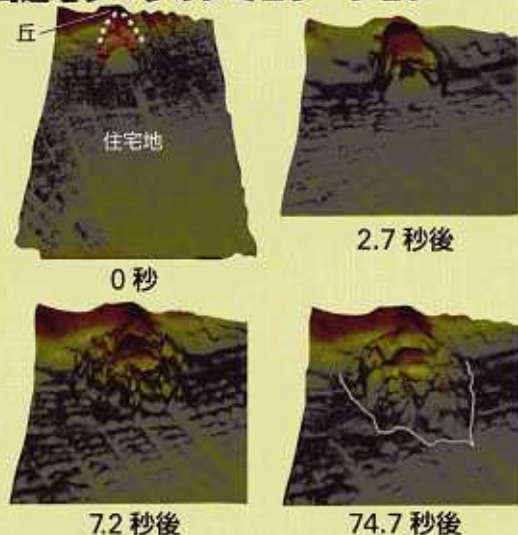
しかし、土砂災害の専門家である京都大学名誉教授の佐々恭二博士は、緩斜面の住宅地で地すべりが発生する危険性を指摘する。「たとえ傾斜がゆるくても、地下水位の高い地盤が地震でゆさぶられると、表層が一気に流れ落ちる場合があります。高速地すべりです」。谷間に盛り土をして造成した住宅地は、地下水位が高いためとくに危険だという。

高速地すべりにも実は液状化現象が関係している。まず地震のゆれによって地盤の中のある層がずれ、ずれた層の部分で土粒子が砕かれる。粒子が細くなったことにより、この部分の層の体積はちぢむ。その際、この層が地下水で満たされていれば、水の体積はちぢまないで、上部の土塊は水の層（液状化層）の上に乗った形になる。こうしてできた液状化層を境に上部の土塊がそりのようにすべり落ちるというわけだ（右ページ下のイラスト参照）。

佐々博士の実験の結果、傾斜が10度程度でも高速地すべりが発生することがわかってきた。このときの地すべりのスピードは秒速数メートル以上にもなる。「危険箇所は全国にそれこそ無数にあります。緩斜面であるがゆえにほとんど対策が取られていないのが現状です。また、降雨のすぐ後では、小さな地震でも大規模な高速地すべりが発生する場合があります」（佐々博士）。

日本ではないが、2006年にはフィリピンのレイテ島において、約1週間の長雨の後の小さな地震（マグニチュード2.6）により、巨大な高速地すべりが発生し、1000人以上が犠牲になった事例もある。

高速地すべりのシミュレーション



佐々博士が行ったシミュレーション結果。東京都八王子市の新興住宅地で採取したサンプルを使って実験を行い、地すべりの規模や被害範囲などを計算した。住宅地の背後の丘が高速地すべりをおこし、住宅地に広がるようすがわかる。

■ 高速地すべりの被害想像イラスト

緩斜面に造成された新興住宅地が高速地すべりにおそわれた場合の想像イラスト。新興住宅地に隣接する丘がすべる場合と、住宅地の足下からすべりはじめる場合が考えられる。緩斜面でも発生するため、全国各地に危険箇所が「無数に」存在する。

高速地すべりのメカニズム

地震発生前

部分的に液状化

緩斜面でもすべりはじめる



地震のゆれによって地盤の中のある層がすれ、土の粒子が細かく破碎される。すると土層の体積が減る。このとき、この土層が地下水面以下にあれば、水は体積がちぢまない。土粒子のすき間に水が入っている状態から、水の中に土粒子がばらばらに浮いている状態になり、液状化する。液状化する層の厚さは数センチメートル程度である。そしてこの層よりも上の層が一気にすべり落ちる。部分的にだが液状化することによって、本来なら土砂災害が発生しにくい緩斜面でも地すべりがおきるのだ。

石油タンク数十基が炎上の危険

東北地方太平洋沖地震では、千葉県市原市と仙台市宮城の野区にある製油所で火災が発生した。もし東京などの大都市圏で巨大な地震があると、湾岸地域に密集する多くの石油タンクが炎上の危機におちいる可能性がある。

長周期地震動（36 ページ参照）が石油タンクをおそうと、中に入っている液体のゆれが増幅されることがある。これを「スロッシング」という。2003 年の十勝沖地震でタンク火災を引き起こしたのもまさにこのスロッシングだった。タンクは直径によってゆれやすい周期が決まる。炎上した

タンクの周期と長周期地震動のゆれの周期が一致したのだ。

石油タンクには「浮き屋根式」といわれるタイプのものがある。金属製の屋根が文字どおり液体の上に浮いた構造をしており、通常時は中の液体の増減にともなって屋根も上下動する。可燃性の液体が空気とふれるのを防ぐためのものだ。ところがはげしいスロッシングがおきると、液体があふれだす。はね上げられた屋根が壁面と接触し、火花が散る。濱田教授のシミュレーションでは、東京湾沿岸のタンクのうち、液体があふれる浮き屋根式タンクは 66 基

■石油タンク炎上の想像イラスト

スロッシングにより、複数の石油タンクが同時に炎上した場合の想像イラスト。タンクからもれだした可燃性の液体が海上に広がり、海上火災となる場合もありうる。

となった。このうち数十基が炎上するかもしれない。また、スロッシングによる液面の高低差が2メートル以上になると、浮き屋根が破損してタンクの底に沈んでしまう可能性が高くなる。こうなると可燃性の液体が空気と直接ふれる。何らかの原因で出火した場合は、屋根の上だけでなくタンク全体が燃える全面火災となる。シミュレーションでは、浮き屋根が破損する可能性が高いタンクは東京湾沿岸で合計159基であった。

タンクが破損して液体が海上にもれだした場合が最悪

だ。海上火災が発生すると、もはや手のほどこしようがないだろう。さらに津波が発生した場合には、火災が広範囲に拡大する恐れもある。

石油タンクがあるのは東京湾岸だけではない。名古屋や大阪など全国各地に多数存在している。現在、鹿島建設株式会社によって、気象庁の「緊急地震速報」を活用したスロッシングの予測システムの開発などが進められているが、長周期地震動への対策はまだはじまったばかりだ。

スロッシングによって石油タンクが発火するしくみ



スロッシングにより、タンクの中の液体があふれ出す。このとき金属製の浮き屋根も大きくもち上げられる。浮き屋根が落ちる際、タンクの壁面と接触する場合がある。このとき火花が散って発火する。

大地震による火災ワーストケース 「火災旋風」の発生

大地震で発生した大都市の火災において、^{じんたい ひがひ}甚大な被害を出す可能性が指摘されているのが「火災旋風」である。

火災旋風とは、大規模な火災のときにしばしば発生する竜巻のようなものだ。ただし、火災旋風はただの竜巻とはちがう。火災旋風の猛烈な風は、火災を急速に燃え広がらせる。また、火災旋風内の強い上昇気流は、火の粉を高く巻き上げて周囲に散らすため、遠くまで火災を飛び火させるといわれている。炎を巻き込んだ火災旋風が襲ってくれば、家屋などに一瞬のうちに火がついてしまう。竜巻同様、人や物を吹き飛ばして死傷者を出すこともある。

1923年の関東大震災では、火災旋風の発生によって、本所被服廠跡^{ひ ふくしょうあと}だけで約3万8000人もの死者が出た。ほとんど被害をもたらさなかった小さなものも含めて、東京で100個以上発生したといわれている。また、1995年の阪神・淡路大震災のときの神戸市内でも、消防士が小さな旋風を目撃したという証言もある。

火災旋風は、火災域に横風があたっている場合に発生しやすいことがわかっている。しかし無風下でも、火災の周囲の地形や、周囲にあるほかの火災域の配置によっては、火災の周囲の空気が炎のまわりを回りながら流入することで、火災旋風が発生することもある。木造家屋が密集して火災が大規模化すれば、つねに大規模な火災旋風が発生する可能性があるのだ。

火災旋風がどこでどういう条件でおきるのかについて、今の研究レベルではまだ解明されていない。そのため東京都の被害想定では、火災旋風による被害は含まれていない。また、東京都などでは、避難場所の安全性に対する評価なども行われているが、火災旋風の^{えいさよう こうりょ}影響は考慮されていない。

しかし、実際に火災旋風がおきれば、地震火災による被害がけたちがいに拡大する可能性があるのだ。



■ 火災旋風発生^{しやうふう}の想像イラスト

複数の火災旋風が発生した状況の想像図。巨大地震が発生したときは、火災がどれくらい発生するかが、被害の大小を大きく左右する。そして火災旋風がおきるかどうかによって、被害がけたちがいに大きくなる可能性がある。



巨大地震の影響で、火山の噴火も連動？

地震にともなう最悪のケースとして、火山の噴火が連動するというケースもありうる。東京大学の藤井敏嗣名誉教授は、次のように語る「巨大な地震の後に、その周辺の地域で火山が噴火することは、これまでに何度も確認されています。なかには数百年以上噴火していなかった火山が、地震の後に突然噴火をはじめた例もあります」。

たとえばスマトラ島沖地震（2004年12月）の後には、2007年10月までの3年足らずの間に、スマトラ島やその周辺の島などで四つの火山が噴火した。

今回の東北地方太平洋沖地震の後にも、北海道から九州まで、広い範囲の火山で地震活動が活発化した。火山の地下はマグマが存在するなど不均質なので、東北地方太平洋沖地震によって生じた地殻変動の影響を受けやすく、そのために地震活動が活発化したと考えられるという。

気象庁の噴火予知連絡会の会長もつとめる藤井名誉教授が最も警戒したのが、富士山の噴火である。「3月15日の静岡県東部の地震は、富士山の南麓の直下で発生したものでした。このときは一瞬、何かがおきるかと緊張したのですが、心配したような火山性の地震ではありませんでした。地下のマグマが上ってきたことを示す火山性の微動も、これまでのところ観測されていません」。

各地の火山についても、幸いなことに噴火にいたったものではなく（新燃岳と桜島では噴火が発生したが、もともと噴火活動がつづいていた）、各火山の周辺の地震活動も平常にもどりつつあるという。ただし巨大な地震から数年後に噴火する例もあることから、今後とも警戒が必要である。

過去の日本で、地震と噴火が連動した最も顕著な例は、1707年の宝永地震（東海・東南海・南海地震の連動タイプ）と、49日後の富士山の噴火だ。この宝永噴火は、歴史記録に残るかぎり、富士山が最も多くの火山灰を噴出させた噴火であった。灰の噴出は2週間ほどつづき、江戸の町でも数センチメートルの灰が積もったという。これ以来、富士山は噴火しておらず、かなりの量のマグマがたまっていると予想されている。

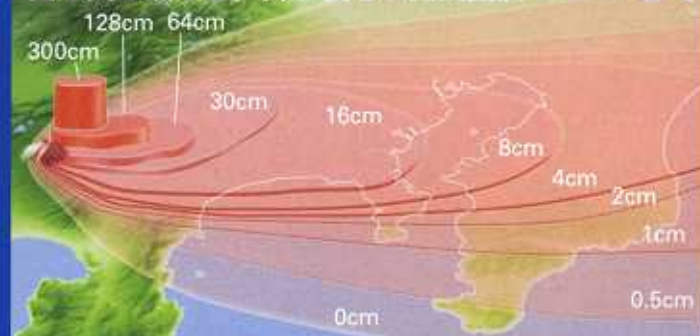
1707年には宝永地震と富士山噴火が連動

地震と火山の噴火が連動する例は、めずらしいことではない。日本では、1707年の宝永地震（東海・東南海・南海地震の連動タイプ）の49日後に、富士山が噴火した。イラストは、宝永噴火のようすをえがいたものである。地震と噴火が連動するメカニズムはわかっていないが、地震による地殻変動で地下の「マグマだまり」が押されてマグマ上昇し、やがて噴火にいたるとする説などがある。





富士山の噴火と、降り積もった火山灰



宝永噴火によって降り積もった火山灰の分布を示した。現在の東京都心の付近でも数センチメートルの降灰があった。宝永噴火の際には西風が強かったため、富士山の東側にたくさんの灰が積もったが、次に噴火したときには、風向きによってはほかの方向に火山灰が流れる可能性もある。また、宝永噴火をこえる火山灰が噴出される可能性もある。

大量の火山灰が降り積もると、さまざまな影響が出る。浄水場が使えなくなって水道の供給は止まる。航空機は、エンジンが火山灰を吸いこむと墜落の危険が高まるため運航を取りやめる可能性が高い。線路や道路に大量の火山灰が積もれば交通網も麻痺し、物流がとどこおる。雪とちがって火山灰はとけないため、降り積もった火山灰は手間をかけてとりのぞかなければならない。また、火山灰は電気を帯びているため、電波を使った携帯電話の通信に支障が出る可能性も指摘されている。宝永噴火の場合は噴火が2週間ほどつづいた。噴火が長引けば長引くほど、被害も拡大する。噴火がおさまった後も、山間部に大量に積もった火山灰が、雨のたびに土石流となって洪水をひきおこす。なお、火山が噴火した際には、火山灰だけではなく、溶岩流、火砕流、噴石なども大きな被害をもたらすことがある。

日本を襲った過去 500 年間の主な大地震

地震には主に「プレート境界地震」と「プレート内地震」があるが、いずれのタイプの地震も、ことなるプレートどうしがぶつかり合うことで生じる、「ひずみ」によって引きおこされる。当然、プレート境界付近では地震は多く、はなれた場所では少なくなる。

日本列島付近には、「ユーラシアプレート」、「北アメリカプレート」、「太平洋プレート」、「フィリピン海プレート」の四つのプレートが存在している。そのため、プレート境界地震とプレート内地震の両方がおこりうる。一説には地球上で発生する地震の 10% 程度が日本で発生しているともいわれている。日本は世界有数の「地震の巣」なのである。

日本は過去に大きな地震にくり返し襲われてきた。ここでは、主に 1500 年以降に発生したマグニチュード 7 以上の大地震を示した（被害の大きかった M6 クラスの地震も含む）。これをみてもわかるように、北海道から沖縄まで、いたるところで大地震が発生している。一方で、今回の東北地方太平洋沖地震のマグニチュード 9 が、地震大国日本においても、いかにまれな超巨大地震であったかもわかるだろう。



1500 年以降に発生した、マグニチュード 7 以上の大地震を主に掲載した（前震・余震は含まず）。

資料：「理科年表」（国立天文台編）など

ユーラシアプレート





国が想定していた主な地震の規模と発生確率

地震調査委員会は、日本の主要な活断層を震源とする地震と、海溝型地震について、想定される地震の規模と発生確率を公表している。地図は、同委員会の発表にもとづき、地震の位置と、2011年1月1日を基準日とした30年以内の発生確率の程度を示したものだ。ただし、ここであげた場所以外にも地震をおこしうる断層は多数存在する。

なお、この想定は2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の影響は考慮されていない。同地震の震源域は、この想定にあるC、E、F、G、Hの海溝型地震の領域と、この想定にはない「三陸沖中部」の領域を含んでいるとみられ、今後、評価の見直しが行われる予定だ。見直しは東北地方だけでなく、より広範囲におよぶ可能性があるという。



【凡例】（活断層）

- 発生確率が高い（30年以内の確率が3%以上）
- 発生確率がやや高い（30年以内の確率が0.1～3%未満）
- 発生確率が低い（30年以内の確率が0.1%未満）
- 活断層ではないと判断されたもの
- 発生確率不明

※活断層の名前の前の●印は、その活断層の地震発生確率にもとづいて色分けした。

※活断層の数字は、活断層の番号で1～110までである。

※一つの活断層から、複数の地震発生が考えられる場合、発生確率の高いものの色をつけ、その規模を表した。

※海溝型地震の名前はアルファベットを白い●で囲み、活断層と区別しやすいようにした。

※海溝型地震の確率は、30年以内のもの。



あなたの町が震度 6 弱以上のゆれに見舞われる確率

地震調査委員会は、防災対策に役立てることを目的に、各地域ごとに強いゆれに襲われる確率を求めた「確率論的地震動予測地図」を公表している。そして、最新の調査に基づいて随時データの更新を行っている。見開きの地図は、2010年1月1日を基準日とした「今後30年以内に震度6弱以上のゆれに見舞われる確率」の分布図である。

地震調査委員会では、日本で発生する地震の中で、「海溝型地震のうち震源断層を特定できる地震」、「その他の海溝型地震」、「活断層など陸域と海域の浅い地震」に分類し、それぞれの地震について検討を行っている。そして、各地震の今後の発生確率、規模、地表の震度を推定し、強いゆれに襲われる地域を、約250メートル四方の領域に区切って予測している。この作業をすべての地震について行い、それらをすべて考慮したものが、見開きの分布図だ。

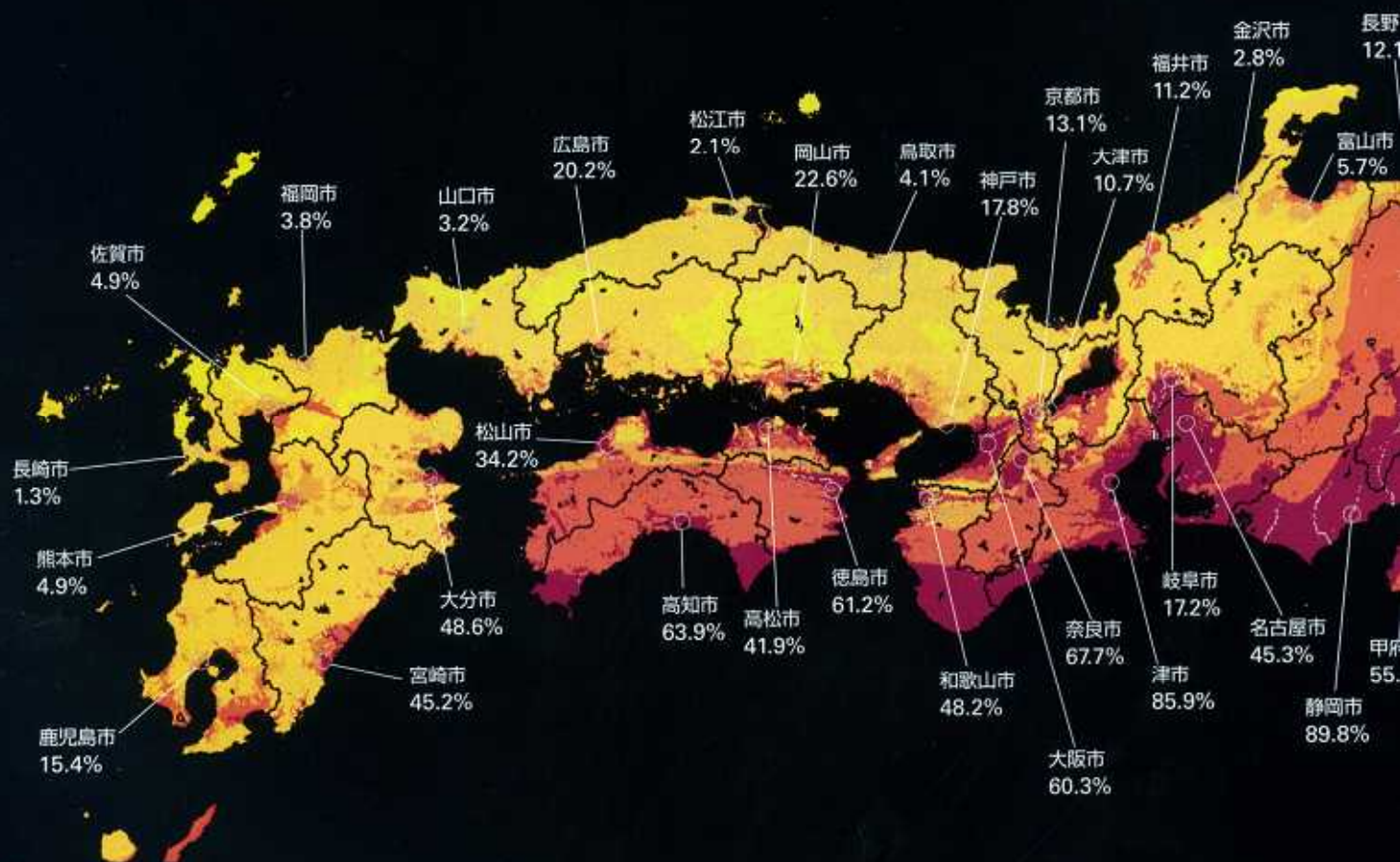
なおこの分布図は、前ページの地図同様、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の影響は考慮されていない。また、地図の色分けはあくまでも相対的なもので

あって、確率が低いと評価された地域が安全なわけではない。実際、東北地方太平洋沖地震では、確率が低いとされていた地域も震度6弱以上のゆれに見舞われた。

分布図をくわしくみていくと、まず北海道では確率が高い地域が太平洋側に広がっている。とくに根室市と釧路市が高確率だ。これは30年以内の発生確率が40～50%程度と評価されている根室沖地震などの影響が大きい。東北地方では宮城県から福島県にかけての太平洋沿岸地域の確率が高い。これは発生確率が99%と評価されていた宮城県沖地震の影響が大きかったが、今回の東北地方太平洋沖地震を受けて根本的な見直しが迫られるだろう。中日本と西日本では、太平洋沿岸地域が広範囲にわたって確率が高い。これは東海、東南海、南海地震などの影響が大きい。

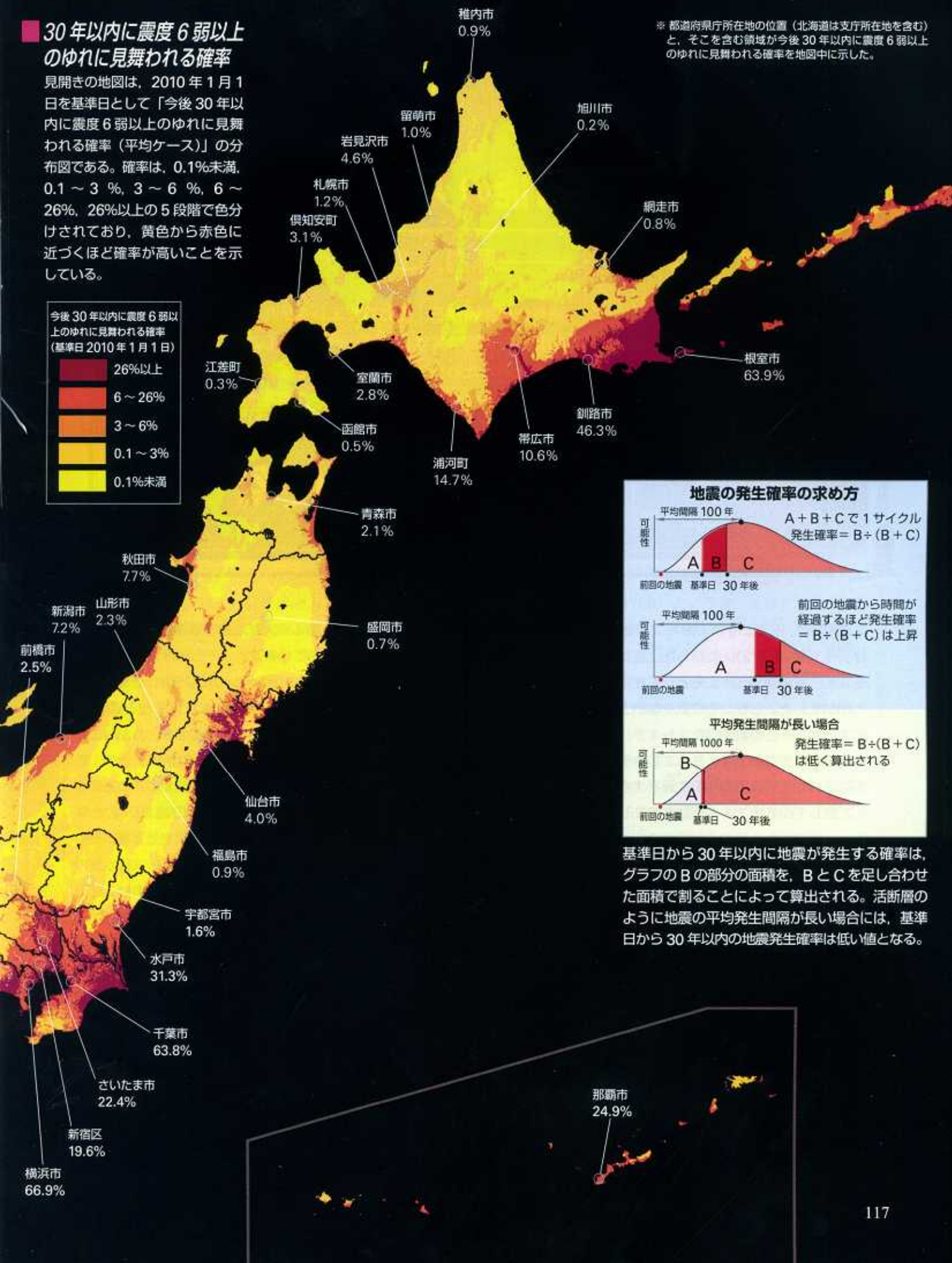
今月号では、110ページにわたって東北地方太平洋沖地震と原子力災害、そして次の巨大地震について特集した。私たちは、必ず来る次の巨大地震に対し、どうそなえていくべきか真剣に議論していく必要があるだろう。

(第3章 担当：赤谷拓和・中村真哉・小野寺佑紀)

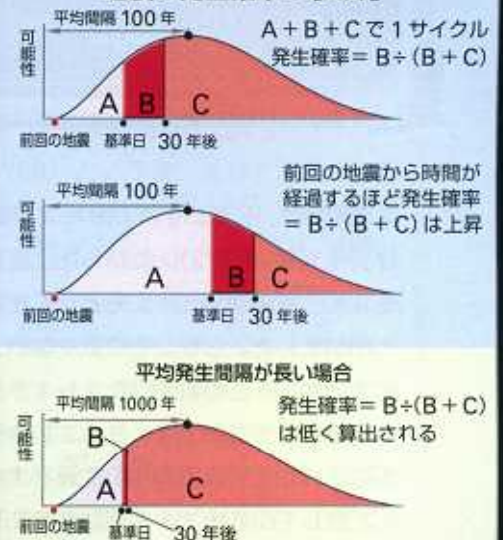


30年以内に震度6弱以上のゆれに見舞われる確率

見開きの地図は、2010年1月1日を基準日として「今後30年以内に震度6弱以上のゆれに見舞われる確率（平均ケース）」の分布図である。確率は、0.1%未満、0.1～3%、3～6%、6～26%、26%以上の5段階で色分けされており、黄色から赤色に近づくほど確率が高いことを示している。



地震の発生確率の求め方



基準日から30年以内に地震が発生する確率は、グラフのBの部分の面積を、BとCを足し合わせた面積で割ることによって算出される。活断層のように地震の平均発生間隔が長い場合には、基準日から30年以内の地震発生確率は低い値となる。

学問の 歩きオロジ



万能の天才 平賀源内(7)

——源内、エレキテルを完成する

滞在先の長崎から、こわれたエレキテルを手に江戸へもどった源内。実は、源内が日本ではじめてエレキテルを発明したわけではなかったのです。源内が苦戦しながら完成させたエレキテルは、江戸を大きくさわがせます。今回、編集長は、源内のエレキテルにまつわるドラマにせまります。

水谷 仁

先月号で、平賀源内(1728～1779)は安永元年(1772)、たいした土産物もなく、長崎から江戸にもどってきたといいました。しかしその数少ない土産物の中に、こわれていたエレキテルの器械があったのです。このエレキテルの器械がその後の源内の生涯を大きく左右していきます。今回はこのエレキテルにまつわる源内のドラマを紹介していくことにしましょう。

エレキテルとは

本誌の読者の多くの方なら、平賀源内と聞くとエレキテルと即座に答えられるでしょう。平賀源内が日本ではじめてエレキテルを発明したと考えている人も多いでしょう。実は私もこの稿を書き始める前まで、みなさんと同じように考えていたのです。ところが、

これにはいささか問題がありそうなのです。

エレキテルとは摩擦電気発生器とも称すべき器械のことで、オランダ語の elektriciteit(電気：現在ならエレクトリシティとよぶでしょう)をこう読んだのです。源内は以前紹介した『放屁論後編』(安永6年[1777]5月に刊行)の中で、これをエレキセリテイとよんでいます。源内が最初にこのエレキテルのことを知ったのは、友人の後藤梨春(1697～1771)が明和2年(1765)に出した『紅毛談』の記事を読んだときだったでしょう。この本はオランダのアルファベット25文字の筆記体、活字体などがしるされていたため、すぐに発禁となってしまうと伝えられる本*1ですが、そこにエレキテリセイリテイという項目があります。ここでエレキテルは痛みの

ある病人を治療する道具として紹介されています。

「エレキテリセイリテイ、是は諸痛のある病人の痛所より火をとる器なり。セレキテリ(本文のまま、しかしエレキテリの写しまちがいかな?)とは、この道具を工夫して、成就したりときの人の名を、今はこの道具の名となす*2。人の身中より火をとる事、あやしきに似たりといえども、人は水火の二つにて、動揺するものなれば、その理なきにしもあらざるべし。すでに天竺の釈迦仏は、沙羅双樹の下にて入滅有しに、身中より火を発し、身中ごとく焼け、舍利となりし事、これ諸人のしる所なり。」とあり、人の体は水と火からできているので、体から火を取りだすこともできるのだろう、というのです。このあと、エレキテリセイリテイの図がのせられており、その

*1 アルファベットのあとにこんなことが書かれています。「この国(オランダ国)、唐土、日本の四民のたてば(立場)とちがい、商人を第一のくらしにおき、士をもっとも下とす。その訳は武士は殺戮を司るゆえとぞ」。アルファベットよりも、むしろこの文章が土農工商の制度を旨とする江戸幕府にきらわれたのではないのでしょうか。

*2 これもちがっていますね。



『紅毛雑話』のエレキテル

源内の弟子にあたる森島中良による『紅毛雑話』にえがかれたエレキテル。台の上に座っている人が、中良の兄である桂川甫周、その左に立つのが著者の中良であろう。桂川甫周はエレキテルからのびた導線を持ち、中良は先の丸い棒のようなもので兄にさわろうとしている。この図は有名な浮世絵師であった北尾政美(1764～1824)(のちに津山藩のお抱え絵師となり鰐形蕙斎と称した)によるものである。森島中良はこのような図をえがき、エレキテルの説明をしているにもかかわらず、先生の平賀源内について何もふれてないところがなぜである(可能性のある説明については、来月号でふれる)。(早稲田大学図書館所蔵)

図のあとに次のようなことが書かれています。

「この器、横2尺(60センチメートル)ばかり、幅8、9寸(25センチほど)、高さ1尺5、6寸(45センチほど)、内に車二つあり。箱の上に筒ありて、その中より針銅を出す。そのはりがねを、痛所ある病人にもたせ、療治する人は車をまわす。しばらく車をまわせば、病人のもちたる針銅へ、響動する事あり、そのときに療治の人、痛所を指の先にてつけば、忽ち火出るとなり。わが友に監醫齋といえる人、この療治を長崎にて受けたりと言う」。

こうしてみると、この本が出版された明和2年以前に、長崎では医者エレキテルを使っていたことがわかります。これは源内がエレキテルで江戸をさがせる、10年以上前のことでした。このエレキテルを使っていた医者がだれだったかは書かれていませんが、オランダ人から医学を学んだ蘭医だにちがいありません。この時代に新しいもの好きで、医者でもあり、エレキテルを買うことができたのは、阿蘭陀

通詞の吉雄幸左衛門(1724～1800)にちがいないと、長崎の歴史にくわしい松尾龍之介氏が最近出版された本の中で語っています(松尾龍之介『長崎を識らずして江戸を語るなかれ』平凡社新書、2011年)。この推理はこれまでだれもされていなかった新しいものです。そうだとすると、エレキテルを日本で最初に使った人は吉雄幸左衛門だったことになり、源内はその吉雄の家でエレキテルを見たにちがいないでしょう。

源内、エレキテルを長崎で手に入れる

それでは源内はどこでエレキテルを手に入れたのでしょうか。この手がかりをあたえるものに、『厚生新編』*3という本があります。この本の中に、大槻玄沢(1757～1827)と宇田川玄真(1769～1834)によって書かれた『エレキティリテイト(越列吉低力的乙多)』という項目*4があり、そこに次のようなことが書かれています。

「本邦に此の器舶来せしは宝暦の末、明和の初(1760～1765)にやと知らる。明和の初年*5、平賀国倫長崎に至り、和蘭訳司西善三郎(生年不詳～1768)という者、久しく所蔵せし諸機の欠損せし物ありしを、購ひ得て都下に帰り、其の損欠を補足して用に供せんと、工夫を凝らしめれど容易に其の機会を曉得ず。また久しく蔵め置きしが、一とせ西賓参向の春、就いて是を質すに、その製造の理を弁えたる人なし。時に随従の老訳生庄三は機知ある性の者にて、暫く是を弄して遂に其の製法を曉会し、乃ち国倫に伝う。国倫ここに於いて始めて自得し、再修成就(修理が成功)して、人にも示す如くになり、本邦に於いて我が一家秘蔵の奇器なりと、倣具(まねてつくった道具?)とは為したりき。実に我が邦にてこの物の顕れし権輿(はじめ)なるべし」。

これを見ると源内は先に長崎に行ったとき、阿蘭陀通詞の西善三郎からこわれたエレキテルを買ったことになります。しかし源内が長崎に行った明和

*3 フランス人の「ショメール(Noël Chomeil)」という人が書いた日用百科事典ともいべき本のオランダ語版を翻訳したもの。翻訳は1811年から1845年まで天文方の監査和解御用のプロジェクトとしてつづけられたが、江戸時代には出版されませんでした。

*4 この項目が書かれたのは文政10年(1827)で、源内がエレキテルをつくった時から50年もたっているのに、この記述がどこまで信用できるかどうか問題はありますが……。

*5 実際には明和7年(1770)であるので、明和末年とすべきでしょう。

逓信総合博物館のエレキテル

逓信総合博物館に源内の自作と伝えられているエレキテルがある。(左) 陳列されている複製品。源内作の本物は残念ながら年に1度、期間限定でしか見られない。これは1997年(平成9年)6月に重要文化財に指定されたためであろうか。(郵政資料館所蔵、展示は逓信総合博物館)

(中央、右) 本物の写真。木製の箱が白く塗られ、そこに赤と緑で唐草模様がえがかれている。裏にハンドルがあり、また裏蓋にSEIK IZET CELEKITERE(移動型電気器械の意味)とオランダ語が書かれている(理由は不明だが、現在の所蔵品に文字はない)。唐草模様にも源内のデザイナーとしての才能をみる思いがする。(郵政資料館所蔵、『平賀源内全集(上)』[名著刊行会、1970年]より転載)



7年(1770)には、西善三郎は亡くなっています(明和5年没)から、もし上の記述が正しいとすれば、西善三郎の遺族からそれを買ったこととなります。西善三郎は治療効果のないことがわかったエレキテルを吉雄幸左衛門からゆずり受けていたのかもしれません。

源内、エレキテルと苦戦

源内が、こわれていたにしても、エレキテルの器械を長崎から江戸に持ち帰ったのは、先月号でのべたように安永元年(1772)の秋でした。翌年の春には、手がけていた中津川鉄山事業に着手しますし、夏には先月号で紹介したように、秋田藩に招かれて秋田へ旅しています。したがってエレキテルを修理する時間はなかなかとれなかったでしょうし、摩擦電気の原理もわかっていない源内には、この修理は思った以上にむずかしかったかもしれません。先に紹介した『厚生新編』の記事にあるように、「其の損欠を補足して用に供せんと、工夫を凝らしぬれど容易に其の機会を曉得ず。」だったのでしょう。

このような源内を救ったのは、安永5年(1776)の春に江戸参府したオランダ人一行^{*6}だったのです。このころ売りだした源内櫛(菅原櫛)の売れ行きもよく、気分をよくして久しぶりにオランダ人一行の定宿、長崎屋を訪れたのかもしれませんが、しかし、エレキテルのことはオランダ人にもわからず、源内を助けたのは『厚生新編』によると「老訳生庄三」という人だったというのです。

この年、オランダ人一行に随行した通詞は今村三兵衛という人ですし、そもそも阿蘭陀通詞のなかには庄三という名の人は見あたらないのです。先に紹介した松尾龍之介氏の「長崎を識らずして……」の本の中では、これは安永6年(1777)の春、江戸参府に随行した吉雄幸左衛門のことを、大槻玄沢が「老訳生庄三」といったのではないかと推測されています。この松尾説はもっともなところもあるのですが、杉田玄白(1733~1817)が『解体新書』を書いたときに世話になり、当時日本一の通訳であった吉雄幸左衛門を、玄白の弟子である大槻玄沢が「老訳生」とけなし、しかも正しい名をあら

げなかったというのが、私には気にかかります。

私が見つけた、庄三という名前に近い人は、「田川庄三郎」という人です。この人はいわゆる通詞(通訳)ではありませんが、オランダ人の部屋つきという係の役人です。安永5年に江戸参府したオランダ人一行の中にツェンベリーという人がいますが、この人の書いた紀行^{*7}に、次のような個所があります。

「オランダ人は連れてきた奴隷に自分の世話をさせる。しかしほかの用向きには日本人を当てる。たとえば、食料品や一般に家事に必要なものを調達する諸色売込み人、すなわち各種の調達人、オランダ式の料理をつくる料理人、通訳はしないがオランダ語会話を学んだ日本人の小使は、商館長に4人、書記官に1人、医師に1人配属され、幕府参上の旅にも同行させる」。

このオランダ語会話を学んだ小使というのが、オランダ人の部屋つきという係の人だったと思われますが、田川庄三郎はそういう役柄で、オランダ人の世話役として長崎から使節団に随行した人です。先月号で紹介した古賀

^{*6} この一行の中に医学者、植物学者のツェンベリーがいました。ツェンベリーは桂川甫周(1751~1809)と中川淳庵(1739~1786)に医術を教え、また彼らから日本のことについて学びました。平賀源内がこの人に会っていれば、植物学について多くのことを学べたはずですが、そのような記録はありません。

^{*7} ツェンベリーの『江戸参府随行記』(高橋文訳、東洋文庫、1994年)



平賀源内記念館のエレキテル
源内の故郷、香川県さぬき市志度にある平賀源内記念館にある源内自作と伝えられるエレキテル。素朴な木の箱でつくられている。箱の大きさは35センチ×24センチ、高さ23センチほどのもので、通信総合博物館にあるものより若干小型である。箱の四隅に、薄い木でつくった器（曲げ物、直径9.5センチ）に松やにをつめたものを置いた。これが電気絶縁用の部品として使われた（『紅毛雑話』にある図では、火花を出す人が乗っている台の下に置かれている四角の台座がこれにあたるものである）。（平賀源内記念館所蔵）

十二郎（1879～1954）の『長崎絵画全史』という本の中で、紅毛画家としての田川が紹介され、オランダ使節の江戸参府にも参加していたことがしるされています。役目から、田川庄三郎もオランダ語がしゃべれたので、通訳の役目も果たしていたかもしれませんし、画家としての腕もあったので源内とは気が合い、すでに長崎で知り合っていた可能性もあります。

こうして、源内はこわれたエレキテルの構造やしくみを、だれだか本当のことはまだわからない庄三という人から習って、エレキテルを組み立てることができるようになったのでないでしょうか。したがってエレキテルはけっして平賀源内がひとりで発明したものではないことがわかります。しかし、源内自身はそういうことをひと言もべていないのも不思議なところです。源内の最初の著書『物類品鑑』には、その資料を提供した人の名前を必ずそえていたのと対照的です。しかし電気というものの自体がよく理解されていない時代に、源内は相当苦労してつくり上げたものであるゆえに、この功績をひとり占めにしたかったのかもしれま

せん。たしかに、この時代エレキテルという摩訶不思議な器械をつくり上げることができたのは、源内しかいなかったともいえるでしょう。

源内はエレキテルを完成する

あとでのべる源内のエレキテル偽作騒動の訴状の中で、彼は「私は先年長崎逗留の内、種々丹精仕り候て、漸く手がかり出来仕り、帰府の後7年の工夫にて、去々年11月始めて成就仕り候」と書いています。この訴状が書かれたのは安永7年（1778）のことと思われるので、源内がエレキテルを完成したのは、安永5年（1776）11月だったと思われる。庄三に教えてもらってしくみを理解したのは、同年の3、4月のことです。それからさらに半年もかかって完成にこぎ着けたことになります。仕事の速い源内にしては、これはちょっと時間がかかりすぎているように思えますが、どうしたのでしょうか。

私は完成時期が11月というのがヒントになると思います。摩擦電気発生器はできたにもかかわらず、梅雨や夏

の湿気の多い場所では、思うように、はたらかなかったのではないのでしょうか。皆さんも下敷きを髪にこすって静電気をおこした記憶があるでしょうが、こういう実験も湿気の多い日にはうまくいかないものです。つまり江戸で、湿度が下がり、静電気がおこりやすい11月という時期になって、はじめてエレキテルから火花が出るようになったのではないかと私は思います。とりわけ、現在とちがいプラスチックのような絶縁性の高い物質を使えない時代のエレキテルでは、乾燥した空気が必要だったのでしょう。

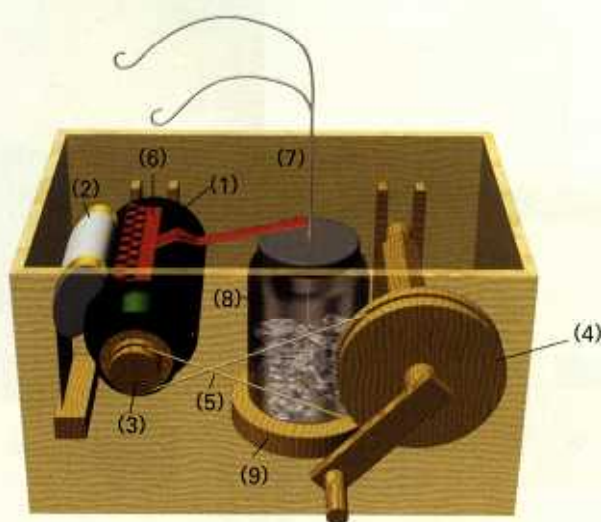
源内のつくったエレキテル

現在、平賀源内の手によると伝えられているエレキテルの器械が2台あります。一つは東京都千代田区（大手町2-3-1）にある通信総合博物館に、もう一つは源内の生まれ故郷である香川県さぬき市志度の平賀源内記念館にあるものです。どちらも元は香川県の物産陳列所が所有していたものだそうですが、1915年（大正4年）、当時の通信博物館の懇請により香川県知事が元の

所有者平賀熊太郎氏の了解を得て、通信博物館に寄託したものだそうです。

今の通信総合博物館では、本物は見られませんが、それからつくられたレプリカが展示されています。木製の箱（高さ28センチ、横46センチ、幅26センチ）に白いペンキが塗られ、そのうえに緑、赤、藍色で唐草模様がえがかれ、大変美しい外観をしています。ここにえがかれている模様はなんとなく、源内がえがいた油絵の西洋婦人図の髪飾りの模様を思いおこさせます。箱の上面中央から銅線が立っており、つるまき状に2本の枝が出ています。箱の側面にハンドルがあり、これをまわして摩擦電気を発生させるのです。この電気が、中央から出ている銅の枝のどちらかに伝わるようになっているのでしょう。きっとこの銅のつるをさわったときに、「ビリッ」とときたり、火花が出たものなのでしょう。

このエレキテルの内部がどうなっているか、博物館では見せてもらえませんが、これを調べた記事が電気学会から出版されている『電気学会五十年史』の石川弘三「電気工学界の回顧」（1938年発行）という記事に掲載されています。これから見ると、この木製の箱の中には、回転する二つの円筒があります。その一つ、大きいほうの円筒は箱の外に出ているハンドルを使ってまわされるようになっています。もう一つはガラスでできたもので、それが回転するとそこにさわっている枕（とありますが、綿状のものが入っているのでしょう）とガラス円筒がすれ合って、静電気が発生するしくみになっています。ガラス円筒の方にたまった静電気は金属製の鎖と伝わり、蓄電するためのガラスびん（いわゆるライデンびん）へ流れ、そのガラスびんにつながっ



エレキテルの内部構造

通信総合博物館にあるエレキテルの内部構造を示した。(1) ガラス円筒、(2) 銀紙をはった枕状の布、(3) ガラス円筒をまわすための円盤、(4) ハンドルが取り付けられた回転軸、(5) 回転ベルト、(6) 電気を伝える鎖、(7) 銅線、(8) 鉄くすの突いたガラスびん（ここに静電気をためる）、(9) 薄い木でできた器に松やにをつめたもの。

た銅線が箱の中央から外にのびているのです。

一方、志度の平賀源内記念館にあるものは、これよりちょっと小ぶり（高さ23センチ、横35センチ、幅24センチ）の木製で、色は塗られていませんから、ちょっと素朴な感じの器械です。こちらの方も、ガラス円筒と枕がたがいに回転してすれ合い、摩擦電気を発生するしくみになっています。ただしこれには静電気をためるガラスびんがないので、発生した電気は鎖をにぎる人間がためることになるのでしょう。十分人間が電気をためたところに、ほかの人がこの人をさわると火花が出たかもしれません。この志度にあるエレキテルは、絶縁用に木でできた輪に松やにをつめた直径10センチほどの円柱状のものが用意されています。試験する人物がこれを使って床と絶縁し、それによって人体に電気をためたものなのでしょう。

『紅毛雑話』のエレキテル

源内の弟子のあたる面白い人に森島中良（1754～1809）という人がいます。この人は本稿でも何度も紹介していますから、ここではこの人自身の紹介はスキップして、この人が書いた『紅毛雑話』にのせられたエレキテルの話だけをしましょう。この本は天明7年（1787）に刊行されたものですから、源内がエレキテルを最初につくってから、およそ10年後に書かれたものです。この本には実際にエレキテルを使っている図（本稿、冒頭の図）がのせられています。右にエレキテルのハンドルをまわしている人がいて、そこからのびる導線を持つ人が台の上に座っています。この人が森島中良の兄の桂川甫周でしょう。この台の四本足の下になにやら四角の形をした台座があります。これが先にのべた松やにを



エレキテル発祥の地

源内はエレキテルの復元に成功したころ、深川清住町（現在の江東区清澄 1-2 付近）に別荘をもっていた。源内はそこに当時の有力者を招待して、エレキテルを見世物として見せたと伝えられている。別荘があった場所に、現在「平賀源内電気実験の地」という記念碑が江東区によって建てられている。



隅田川と源内の別荘

源内の清住町の別荘は、隅田川のほとりの風光明媚のところにあった。源内の別荘があった付近の隅田川辺から北の方向（浅草方向）をながめた写真。神田の家からここまでは神田川、隅田川（当時は大川といった）を使い、舟で来ることができた。浅草、吉原にも、大川を使い、舟で行き来したものであろう。写っている橋は清洲橋（江戸時代にはなかった）、速くに建設中のスカイツリーが見える。

つめた絶縁体でしょう。この台の上に乘った人に対して、棒を当てようとしているのが、左に立つ著者本人である森島中良です。森島中良が右手に持つ黒い棒のことを、この図のあとにつづく説明では「火をとる棒」といっています。

この図のあとにエレキテルの構造の図もあり、さらに丁寧に分解図（散図と中良はっています）もついています。このエレキテルは源内作と伝えられるものと、少々構造がちがいます。まず箱の中に、ライデンびんのような蓄電装置がなく、平賀源内記念館にあるものと構造が似ています。また源内のエレキテルは箱の中央から導線がのびていますが、この森島中良のエレキテルでは箱の上に真鍮でできた円柱が横になっており、そこに鎖が巻きつけられています。この円柱が多少の蓄電装置となっていたかもしれませんが、あまり意味があるとは思えませ

ん。これらの部品についてもくわしく説明があり、最後に「この式を会得せば、『エレキテル』をつくること、掌を指すが如く成るべし」*8 としるされています。すなわち源内から 10 年後には、もうエレキテルはだれでもつくれる、それほどめずらしい器械ではなくなったことを意味しています。それでもこの図があったので、私は志度にあった木製の輪に入った松やにの使い方がよくわかったのです。

源内のエレキテル、江戸の町をさわがせる

火花が出るようになったこの器械は多くの人をおどろかせるようになります。このエレキテルは深川清住町（現在の東京都江東区清澄 1-2 付近）にあった源内の別荘に置かれていましたが、この別荘にはいろいろな見物客が来るようになります。

源内の出身地の高松藩のお偉方が別荘に来ることになったときの、打ち合わせの手紙が残っていますから、それをちょっと読んでみましょう（『平賀源内全集（下）』〔名著刊行会、1970 年〕1497 ページに手紙の原文があります。それをわかりやすいように、書きあらためています。かっこ内は私の注釈です）。

「別荘へお出で、（エレキテルの）ご見分は勿論（結構）の儀に存じ奉ります。もしくは（そのあと）直ちに竹田狂言をご見分くださるようであれば、北国（遊郭のある吉原を指す）までお供も致すことができます。左様なれば、清住町にてご饗応は無駄でございますから、本宅にて御酒にても差し上げ、船にて（神田川を下り隅田川へ出たの）でしよう）清住町に行き、そこで（エレキテル）をご見分し、直に北国さして乗り出すような手配をさしていただいても結構です。もし又北国ご見分には及ばずとなれば、清住町にて「しっぽこ」*9 でも差し上げることも出来ます。ここの所ご内意を承りたく、伺いたします。……いずれにしても貴公様（手紙の相手の宮脇又右衛門）にもお出で下されるようお願い奉ります」。

こういうぐあいに大名やその随員たちが別荘にエレキテルを見分に来るようになりましたが、源内はこれらの人をもてなすために、さまざまな苦勞をしていたことがわかります。

さらに大名や商人の中には、エレキテル見たさに源内を自邸に招く人たちもいました。信州松代藩の下屋敷（深川小松町）に招かれたときの源内（藩医、立田玄道への 7 月 3 日の手紙、安永 6 年〔1777〕のことだろう）の手紙が残っていますが、これもちょっと面白いので紹介してみましょう（『平

*8 森島中良は源内の弟子にもかかわらず、このエレキテルの項で源内のことをひと言もべていないのは不思議です。来月号にのべますが、源内の晩年（1779）に源内は森島中良とけんかをしていますから、ひょっとするとそのけんかの思い出が 10 年近くあとも森島中良に残っていたのかもしれませんが。

*9 卓袱料理。大皿に盛られた料理をとり分けて食べる西洋・中国風の料理のこと。



江戸の神田、深川周辺の地図

1. 湯島聖堂：四国から出てきた源内が最初に住んだ場所。2. 鍛冶町2丁目：江戸で物産展を開催したころに住んでいた家。3. 白壁町：明和年代、源内が最も輝いていた時代に住んでいた家がここにあった。4. 馬喰町：長崎から帰った源内が身を寄せた千賀道隆の家。5. 深川清住町：エレキテルをここで公開した。6. 神田大和町地：エレキテル時代はここを本宅、清住町の家を別荘とした。7. 橋本町：源内が「病狂喪心して人を殺した」（大田南畝の言葉）場所。8. 日本橋本石3丁目、長崎屋のあった場所。源内はオランダ人にここでしばしば会った。9. 伝馬町囚獄：源内はここで亡くなった。

賀源内全集（上）〔名著刊行会、1970年〕652～653ページ）。

「お屋敷様へエレキテル持参仕る儀、明4日参上仕り様にて為されし段、仰せ下され畏れ奉り候。仰せ下され候どおり、8時頃（午後2時ごろ、すなわち「おやつ」の時間）参上仕りべく候。左の通り御人を遣わせられ候」。

とあり、注文を書いています。

「一、御釣台（人や物をのせて運ぶ台、板を台にして両端を前後からかついだ）1荷、重くございますので、3、4人がかり

一、右幸領 1人

一、駕人足 3人、私も重くございますので、達者なる人

右の通り、遣わせられ下さるべく候。外にご覧に入れ候品、少々持参つかまつるべく候。エレキテルは昼から暮れ合いの間が良く分かる候間（ますので）、そのお積もりで成されべく候。

萬々（まちがいなく）明日拝顔申し上げ候。以上 7月3日」

とあり、最後に追伸の形で

「猶々、私肥満、甚だ暑さに苦しみ候ゆえ、夏の内は 外に御屋敷にも出申さず候えども、貴君ご逗留の内にご覧なされたきこと仕り候。涼しき所に差し置き下され候様に第1にお願ひ申し上げ候。御酒は下戸に、食事などはお構い下されべく、涼しき所偏に願ひあげ奉り候」。

とあります。これから源内は太っており、暑さに弱かったとも読めますが、私はこれは、エレキテルは暑いところ（実際には湿度の高いところですが、源内にはその区別ができていなかったでしょう）ではうまくはたらかないことを源内は知っており、なるべく涼しいところでエレキテルを実演したいと思っていたのではないかと、想像します。

松代藩屋敷でのエレキテル、後日談

上の手紙には、源内はエレキテルを持って、安永6年7月4日の昼すぎにまちがいなく信州松代藩のお屋敷に訪問すると書いてありました。ところが、こう書いたものの、7月4日になってみると、老中の田沼意次（1719～1788）の長男である田沼意知（1749～1784）やその兄弟たちが、突然花見見物と称して源内の家に来てしまったのです。何かと目をかけてもらっている老中田沼意次の家族をむげにするわけにはいきませんから、松代藩の藩邸へ行くのはとりやめざるをえなくなってしまう。それにしても7月に花見というのもおかしいですね。エレキテル見物というのが、身分不相応と考えて、エレキテル見物を花見と称したのかもしれませんが。そういう突然のことわりの手紙が今も残っているのも面白いところです（『平賀源内全集（下）』〔名著刊行会、1970年〕付録12ページ）。

さて7月4日には松代藩の屋敷には行けなかったものの、2日後の7月6日に源内は約束したようにお屋敷を訪問します。心配していたとおり、この日も蒸し暑かったのではないのでしょうか。エレキテルからうまく火が出なかったのです。それをわびる源内の手紙もあります。屋敷から帰宅後、すぐに書いた手紙（先の立田玄道あて：『平賀源内全集（下）』〔名著刊行会、1970年〕付録13ページ）には、

「御家中御見の節は火出かね、散々の仕合、残念と存知奉り候。11日御出立の由、それより内一日御出奉待ち候。

今日は大いに疲れ、乱筆ご容赦くだ

され候。

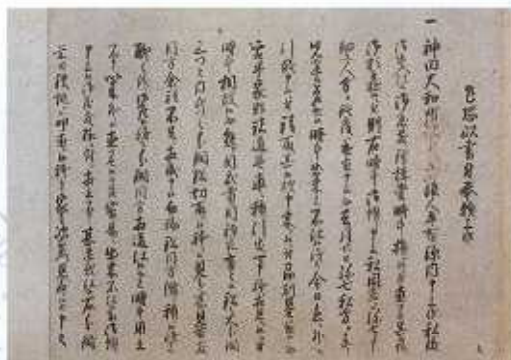
御留遊ばされ候品々、ご帰国以前にお返し下され候様、呉々願ひ上げ奉り候。

などとあります。実験がうまくいかず、「今日は大いに疲れた」とは率直な言葉です。このように、源内のエレキテルはいつでもうまくいくとはかぎらなかったことがわかります。

エレキテル偽造で訴訟になる

こうしてエレキテルを見せ物にして、源内はふたたび江戸の人気者になりますが、エレキテルを新しくつくってそれを売る商売もしていたのでしょ。う。そのおかげで、源内は神田大和町代地に新しく自分の家をつくることもできるほどもうかっていたのです。それを見て、源内がエレキテルをつくらせていた職人が、源内にはないしよでこれをつくって売ろうとした事件がおこります。これを源内は奉行所に訴えます。その訴状の写しが現在も残っていますが、その中にこんなことが書かれています。

「その後（先にのべたように、苦勞してエレキテルをつくったあと）、高貴なお方様へも召され、私浪々の渡世の一助にも相成り申し候。右に記した弥七儀は10年以前より私の下で細工致させ候者ゆえ、右の細工をも手伝わせ候につぎ、見覚え（つくり方を覚えた）まかりあり。しかるところ、同店（源内、弥七と同じ家主の店子である）玉細工人、忠左衛門と申し合わせ、エレキテルを拵え候由にて、屋敷方から金子貸り取り、右器物に似寄り候品（似かよった品物）が出来そうらえども、火出申さず。（中略）その後また弥七儀、本石町二丁目家主傳兵衛と申す者、右同様に欺き候居て、金子6両取り、エレ



キテル似寄り候品拵え候由にそうらえども、これまた火出す申し候。……」。

これから、源内の下ではたらいっていた弥七という職人が、あちこちの人物と組んでエレキテルの偽物をつくらうとしていたことがわかります。エレキテルの値段は上の偽物の場合、6両だったといえますから、今のお金で60万円ほど、源内はたぶん100万円ほどでエレキテルを売っていたのでしょう。

特許権などというものが無い時代、源内はこのエレキテル製造を自分のものとして確保しようとしていましたが、それをまねして金もうけをしようとする人物が身内から出てきたことで、源内は大いにがっかりしたことでしょう。

このあとも、世の中の流れはかえられず、とくに源内死後は江戸でも大阪でもエレキテルはつくられるようになりました。

源内訴状断簡

縦33センチ、横40センチほどの紙に書かれた、エレキテル偽造を訴える文書の写しと思われるもの。最初に「乍恐以書書付奉願上候」（恐れながら書付けをもって願ひあげ候）とあり、2行目に「神田大和町代地次右衛門店浪人平賀源内申し上げ候」とあり、本稿にしるした訴えの文章がつづいている。（平賀源内記念館所蔵、『平賀源内展』図録〔芳賀徹監修、東京新聞、2003年〕より転載）

ただし、摩擦電気そのものの概念について、学術的ともよべるような実験が行われるようになるまでには、さらに20年ほどかかりました。このわが国最初の電気実験研究家は大阪に住む橋本曇齋（1763～1836）という人です。この人があらわした『阿蘭陀始制エレキテル究理原』*10には、摩擦電気に関するさまざまな実験をしたことがしるされています。こういう本を見ても、平賀源内のエレキテルはのちの時代の、電気学への第1歩であったといえると思います。

しかし、エレキテルを通じて江戸の人気者になった源内も、エレキテルの偽作事件以後、精神的にも不安定な時期をむかえたようです。エレキテル制作から3年後の安永8年（1779）には思わぬ事件を引きおこすことになりましたが、その話は次号にゆずることにしましょう。（次号につづく）

*10 この本はすばらしい本にもかかわらず、出版されませんでした。この原因として考えられるのは、橋本曇齋の門人の藤田鶴蔵（生年不詳～1829）という人が禁制のキリスト教に関する本を持っていたため、鶴蔵の処刑にあったという事件があげられます。

全星座の中で、最も面積が大きい星座「うみへび座」。その巨大さゆえ、姿がすべて空にあらわれるまでには、7時間もかかる。うみへび座は暗い星が多いため、少し見つけにくいですが、月明かりが暗い日、夜空に横たわるその姿をさがしてみよう。

国立天文台教授 **渡部潤一**

うみへび座

福島県で撮影された、うみへび座の画像（撮影：藤井 旭）。画像の右上に二つ縦に並んで輝くのが、ふたご座の「カストル」と「ポルックス」。その6倍ほど下にのびした先が、うみへび座の頭である。そこから少し左下に赤く輝く「アルファード」を結び、さらに左へとうみへび座はつづく（次ページの写真参照）。画像左右いっぱいとうみへび座は横たわる。画像の左下にはおとめ座の「スピカ」が青白く輝く。今年の春から初夏にかけて、おとめ座には0.6等級の明るい土星が輝く。この画像には、5月1日の位置に土星を合成してあらわした。

最も面積が 大きい のんびり星座 「うみへび座」



うみへびの頭の上には「かに座」が、しっぽの上には「おとめ座」がみえる。

まずは、東日本大震災で被災された方々に、心よりお見舞い申し上げます。こんなときにでも、夜空に月や星がかわらぬ輝き、朝日はやってくる。希望を胸に前を向いていただきたい。

春の夜空には、なんとなくのんびりした星座が多い。南の空を東西に横切るうみへび座は、究極ののんびり星座であろう。なにしろ、その頭が東の空から上がり、しっぽの先があらわれるまでに、なんと7時間もかかる長大な星座である。

5月のゴールデンウィークだと、空が暗くなったところに、頭の部分がちょうど南西に、しっぽの部分が南東にあり、その細長い姿の全体を見渡することができる。日周運動にしたがって、そのままのたりのたると西へ動いていくのだが、しっぽの先が見えなくなる前には、

夜が明けてしまうほどである。

星座の数は全天で88個あるが、その中でうみへび座は最も面積の大きな星座である。面積順でいえば、第2位がおとめ座、第3位には北天の北斗七星を含むおおぐま座がランクインしている。どれも春の星座である。

ギリシア神話では、女神ヘーラが育てた九つの頭をもつ海蛇である。その海蛇は、勇者ヘラクレスにやっつけられてしまう。その際、同じ沼にすむ友人の化け蟹が助けに入ったが、こちらにもヘラクレスに踏みつぶされてしまう。このようすを見た女神ヘーラは、化け蟹と海蛇の友情をたたえ、いっしょに天に上げて星座にしたとされる。かに座はうみへび座の頭部のちょうど真北にあり、仲よくともに輝いている。

ただ、実際にうみへびの姿をたどる

のは、なかなかむずかしい。面積が大きく、東西に長いことに加え、暗い星が多いためである。まずほぼ同じ明るさで並ぶ、ふたご座のカストルとポルックスをさがそう。この二つの星を結んで6倍ほど東へ(左へ)のばす。すると、そこには3〜4等のやや暗い星が集まっているのがわかる。これがうみへびの頭で、その北側にかに座がある。

頭部から左には、うみへび座で最も明るい「アルファード」というオレンジ色に輝く2等星がある。「孤独な星」という意味で、近くに目立つ星がない。さらに東に、おとめ座の1等星スピカや、たまたまおとめ座に輝く土星の下あたりを、夏の星座に向けて、くねくねとつづいている。ぜひ、月明かりのない暗い春の夜空に横たわるうみへびの長さを実感してみてほしい。

星ごよみ

5月1日

★★★★★★

火星と木星の接近。夜明け前の超低空で、火星と木星が、月1個分ほどに接近する。その上には水星、金星、月齢27の細い月も輝く。

5月2日

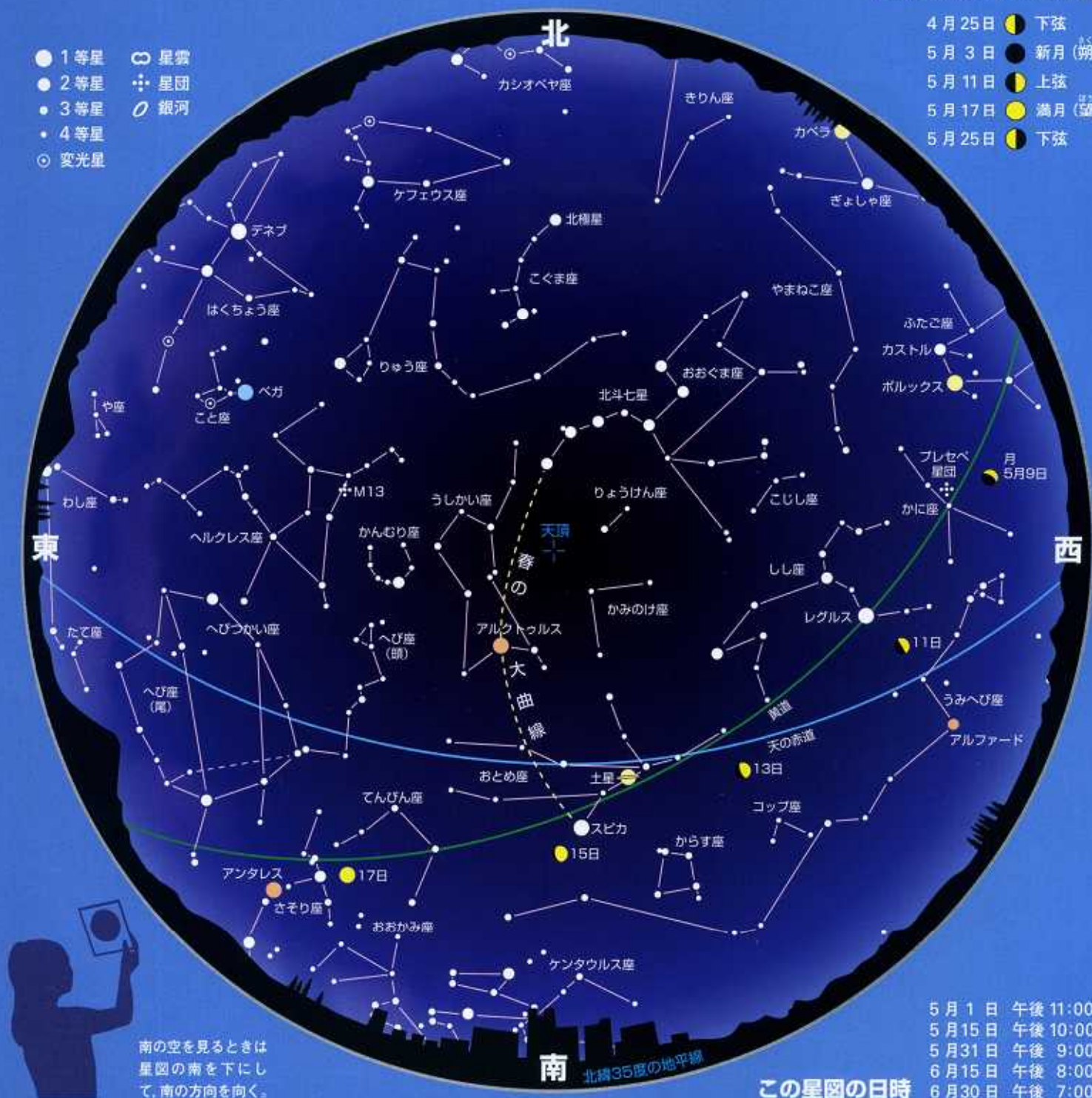
★★★★★★

八十八夜。雑節の一つで、立春から数えて88日目の日。この日を前後に春から夏へと季節がかわる。

月の満ち欠け(午後 11 時の位置)

4 月 25 日 下弦
5 月 3 日 新月(朔)
5 月 11 日 上弦
5 月 17 日 満月(望)
5 月 25 日 下弦

● 1 等星
● 2 等星
● 3 等星
● 4 等星
○ 変光星
☁ 星雲
✦ 星団
〇 銀河



5 月 1 日 午後 11:00
5 月 15 日 午後 10:00
5 月 31 日 午後 9:00
6 月 15 日 午後 8:00
6 月 30 日 午後 7:00

5 月 6 日

★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

みずがめ座 η 流星群の極大。早朝、みずがめ座に放射点をもつ流星が散見される。1 時間あたり 10 個以上の速度の速い流星が見られる。月明かりの邪魔はなく、条件はよい。

5 月 8 日

★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

水星が西方最大離角。明け方の東の地平線に輝く水星が、太陽から西へ 27 度ほどはなれ、西方最大離角となる。前後 1 週間ほどが観察のチャンス。

5 月 11 日

★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

金星と木星の接近。東の地平線で金星と木星が並ぶ。火星と水星を加え、四つの惑星が輝く、にぎやかな晩の空となる。

2011 年 6 月号は 4 月 26 日発売です。今月号を読んで実際の星空の観測に役立てることができるように、5 月の情報を掲載しています。

これだけは知っておきたい

原子力と放射能

私たちは今、未曾有の原子力災害に直面しています。4月中旬現在、いまだ福島第一原子力発電所事故は収束のきざしをみせていません。

そこでニュートン編集部では今月号に引きつづき、次号でもさらに原子力問題を掘り下げた大特集を展開します。すでに国民的な議論が巻き起こっている原子力問題を考えるうえで、必須となる事柄をくわしく紹介していきます。

福島第一原発の今後はどうなるのか？

4月中旬現在、福島第一原発事故はいまだ収束しておらず、緊迫した状況がつづいています。

次号では、今後、福島第一原発でさらに事故が拡大するおそれはないのか、放射能汚染水はどう除去・処分されるのか、廃炉はどう行われるのか、などに迫ります。

過去の被ばく事例と今回を比較

また、放射能汚染問題についても、今月号とはちがった視点からくわしく考えていきます。広島・長崎に投下された原爆による被ばく、過去の核実験による放射能の影響、1999年におきた茨城県東海村 JCO 臨界事故など、被ばく被害が生じた過去の事例をひもとき、福島第一原発事故での被害と比較していきます。

自分自身、家族、仲間を守るため、放射能の怖さは知っておくべきです。しかし怖がりすぎも、原発周辺地域

の農作物、水産物などの風評被害を生みますから、避けるべきでしょう。軽く考えすぎない一方で、怖がりすぎもしない、放射能の“適切な怖がり方”を探っていきます。

すでに原子力をめぐる国民的議論が巻き起こっている

原発事故後、原子力エネルギーの利用そのものを見直す動きも出てきています。私たちは今後どこに向かえばよいのでしょうか。それを考えるには、知識が必要です。原子力の今後を考えるうえで必須となるさまざまな事柄について、次号ではていねいに紹介していきます。

原子力発電の燃料とはどのようなものか、核燃料を再利用する「核燃料サイクル」、「プルサーマル計画」とは何か、さらには、長年にわたって未解決の大問題でありつづけている「高レベル放射性廃棄物」の最終処分などについても、くわしく紹介していく予定です。





主な内容 (予定)

Part1 続報・福島第一原発事故

- 放射能汚染水の除去作業 / 電源復旧作業 / 放射能汚染被害 / 廃炉の行方など

Part2 放射能の“適切な怖がり方”を探る

- 原爆を投下された広島・長崎の被ばく者たちの健康被害はどうだったのか？
- 茨城県東海村 JCO 臨界事故とその影響はどうだったのか？
- 喫煙、飲酒、交通事故、航空機事故、化学物質などのリスクと、被ばくのリスクを比較する

Part3 原子力と核燃料サイクル

- 原子力発電のしくみ ～ ウラン燃料の製造から、耐震設計・津波対策まで ～
- 使用済み核燃料から再利用可能なウランやプルトニウムを抽出する「再処理」とは？
- プルトニウムを再利用する「プルサーマル計画」とは？
- 未解決の大問題「高レベル放射性廃棄物」の最終処分

創刊 30 周年記念企画として、次号 7 月号および 8 月号での掲載を予定していた 2 号連続の大特集、「宇宙のすべて」は、未曾有の原発事故の発生を受けて、ともに 1 号先送りしての掲載とさせていただくことになりました。

人に薦めたい
チャンネル
5年連続No.1!

推奨
No.1

出典: 10年チャンネルブランド
調査2006-2010
(ジューシーテレビコム調べ)

特集:古代文明の真実 ～歴史の謎を解く～

吹き替え版
初登場!

考古学者ムーアの冒険

5/17(火)～20(金)深夜1時[※]か

考古学者ムーアが北米から南米、
そしてエジプトまであらゆる
歴史をご紹介します。

5/16(月)～20(金)深夜0時[※]か

ディスカバリーチャンネルが紐解く真実とは?!
未だ解明されていない古代エジプトに迫るドキュメンタリーを一週間特集!

©2011 Discovery Communications Inc.

※ 国語放送

2011年も新しい10ジャンルで発見の感動をお届けします。

カルチャー・旅・歴史・戦争・現代史・ミリタリー・サイエンス・宇宙・衝撃・パニック・プラネットグリーン 地球・エコ・犯罪・捜査・超常現象・テクノロジー・建築

ディスカバリーチャンネル

ケーブル
テレビで見る!



スカパー! HDで見る!
☎ 0570-039-888



スカパー! e2で見る!
☎ 0570-08-1212



IPTV
で見る!



ご視聴に関するお問い合わせは
通話無料 10:00～18:00 (年中無休)

カスタマー
センター



0120-777362

ディスカバリーチャンネル

「今日の番組表」が携帯からもご利用いただけます!

検索



www.japan.discovery.com/mobile/

●ディスカバリーチャンネルオリジナル動画をニコニコ動画、YouTube公式パートナーサイトで公開中!!

京大の「ゼロエミッションエネルギー研究」とは?

京都大学エネルギー理工学研究所が、核融合、光、ナノ、バイオなどのゼロエミッションエネルギーに関する公開講演会を開催します。5月14日(土)の13時から、京大宇治キャンパスおうばくプラザにて。先着順、無料。<くわしくは<http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/>>へ

「宇宙飛行士はこうして生まれた」DVDプレゼント

宇宙飛行士になるという夢を抱きつづき、選抜試験に全力でいどんだ人々を追った密着ドキュメントDVDが、5月27日に発売。963人の挑戦者の中から、2人の日本人宇宙飛行士の候補者が誕生する最終試験の過程を追った、Newton読者2名様にこのDVDをプレゼント。応募方法は本欄下部を参照。

元素でカードゲーム! えれめんとランプ

株式会社化学同人から、元素や周期表に加えて素粒子にも親しめるカードゲームが誕生。簡単なルールでいろいろな遊び方ができます。<くわしくは<http://www.kagakudojin.co.jp/special/elementrump/index.html>>へ。Newton読者5名様に本品をプレゼント。応募方法は本欄下部を参照。

古代ギリシャの究極の身体、完全なる美

神戸市立博物館で「大英博物館 古代ギリシャ展」が6月12日まで開催中。傑作の彫像「円盤投げ(ディスコボロス)」をはじめ、つばねなど約130点を紹介。詳細は<http://www.body2011.com>へ。Newton読者5組10名様に7月5日から開催の東京展のチケットをプレゼント。

光学調査で解明! フジタ作品の技法

ポーラ美術館で「レオナルド・フジタ」展が9月4日まで開催中。初公開を含む66点を中心に、職人的な技法の秘密などを紹介。<くわしくは<http://www.pola-museum.or.jp/>>で確認を。Newton読者5組10名様に本展の招待券をプレゼント。応募方法は本欄下部を参照。

ご存知ですか? 5月10日は地質の日です

2011年で第4回をむかえる「地質の日」に応じて、その前後の期間、全国各地の博物館や教育研究機関で地質にちなんだ講演会や、野外観察会、体験イベントが開催されます。<くわしくは地質の日事業推進委員会のポータルサイト<http://www.gsj.jp/geologyday/>>をご覧ください。

栄光のペルシア その歴史と文明とは?

東京・池袋の古代オリエント博物館で、ペルシアの歴史と文明を学べる春の特別展「栄光のペルシア展」が開催中。平山郁夫シルクロード美術館所蔵の名品、約220点を公開。10時~17時開館。5月22日まで。入館料など<くわしくは<http://www.silko.net/~aom/>>へ。

公開講演会「日本の森を活かそう!」

独立行政法人森林総合研究所が平成23年度公開講演会を開催。森をいかすための動向や研究成果を紹介します。6月12日(日)13時~17時15分、東京大学本郷キャンパスの安田講堂にて。参加費無料、事前申し込み不要。<くわしくは<http://www.frc.go.jp/index.html>>へ。

うま味とおいしさを生みだす科学の世界

うま味研究会の公開シンポジウムが開催されます。うま味とおいしさを生みだす先端科学技術から、伝統的で身近な製品まで広く紹介します。5月20日(金)10時より、コクヨホール(東京・品川)にて。事前登録制。参加費1000円。<くわしくは<http://www.srut.or.jp/>>へ。

深海のジュエリー-宝石サンゴの魅力にせまる!

国立科学博物館(東京・上野)で、企画展「宝石サンゴ展~深海からのおくりもの~」を開催しています。匠のわざによるさまざまなジュエリー作品も必見。5月29日まで。9時~17時開館。月曜休館。詳細は<http://www.kahaku.go.jp/event/2011/03coral/index.html>へ。

サイエンスカフェ『宇宙』2011

多摩六都科学館で5月28日(土)に数学「ガロア理論」、6月25日(土)に素粒子物理学「暗黒物質」をテーマにしたサイエンスカフェが開催されます。定員80名。メールで要事前申し込み。各回<くわしくは<http://www.ipmu.jp/ja/node/977>>で確認を。

次のはやぶさを! 「君が作る宇宙ミッション」

JAXA(相模原キャンパス)が、数人のチームで自分たちのミッションを計画、研究する体験型学習プログラムを行います。8月1~5日(4泊5日)に開催。高校生対象。定員約20名。参加費や<くわしくは<http://www.isas.jaxa.jp/kimission/>>で確認を。

NTT CS 研オープンハウス 2011

NTTコミュニケーション科学基礎研究所(京都)では、恒例のオープンハウスを6月9~10日に開催いたします。メディア科学、情報科学、人間科学に関する最新の研究成果を講演・展示いたします。<くわしくは<http://www.kecl.ntt.co.jp/openhouse/2011/>>へ。

第19回施設公開でSPRING-8をみよう

兵庫県にあり、さまざまな研究に生かされる大型放射光施設「SPRING-8(スプリング・エイト)」。通常は見られない各施設が公開されます。今年の開催日は4月30日(土)。入場無料、予約不要。<くわしくはhttp://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/events/open_sp811/>へ。

Newton Digital Books「超巨大地震」

首都圏、東海・南海・東南海でやがておこりうるM9クラスの「超」巨大地震について徹底解説したNewton電子書籍を刊行しました。2010年5月発売のNewton別冊「巨大地震」を再編集。そのとき、いったい何がおきるのか? 全44画面、特別記念価格230円(税込)。

Newton Digital Books「昆虫のすがた」

100億分の1の世界をもみられる電子顕微鏡で昆虫の全身やパーツをとらえた画像が満載のNewton電子書籍を刊行しました。西永英氏が撮影・着色したあざやかな画像で、ふだんは見ることのできないミクロの世界がみえてきます。全62画面、特別記念価格230円(税込)。

Newton Digital Books「ブラックホール」

光さえのびこんでしまう、なぞ多き暗黒の天体ブラックホールについて、ていねいに解説したNewtonの電子書籍を刊行しました。研究成果をふまえたNewtonならではのイラストレーションとともに、わかりやすく理解できます。全47画面、特別記念価格230円(税込)。

Newton Digital Books「大宇宙観測」

NASA(アメリカ航空宇宙局)のスーパー宇宙望遠鏡「ハubble」・「スピッツァー」・「チャンドラ」などが撮影した宇宙天文画像を厳選して収録した、Newtonの電子書籍を刊行しました。特別価格の115円(税込)で60枚もの美しい画像とその解説を楽しめます。

Newton 別冊「数学パズル 論理パラドックス」

古典的な名作をはじめ、頭の体操になるさまざまなパズルをイラストとともに解説したNewton別冊を3月28日に発売しました。図形パズルや計算・論理パズル、知って得する確率論的なパズルまで盛りだくさんの内容です。144ページ、定価2,415円(税込)。

Newton 別冊「はやぶさが開く宇宙新時代」

2010年に小惑星「イトカワ」の物質とともに地球へ帰還した小惑星探査機「はやぶさ」。その快挙の背景にある研究者たち、技術者たちの長年にわたる挑戦。さらにははやぶさにつづく数々の探査機に注目したNewton別冊を3月28日に発売しました。144ページ、定価2,415円(税込)。

Newton 別冊「イオンと元素 増補改訂版」

発売から3年以上が経過した好評の同名書に、新しい情報を加えて増補改訂したNewton別冊を4月27日に刊行します。どこにでも存在する一方で、その正体が一般に知られていない「イオン」とそのカラクリがよくわかる1冊です。160ページ、定価2,415円(税込)。

Newton 別冊「微分と積分」

数学が苦手な人から、微分・積分の理解をさらに進めたい人まで幅広く楽しんでいただけるNewton別冊を4月27日に刊行します。微分・積分を生みだした天才科学者アイザック・ニュートンの思考から本質にせまる。入門書の決定版です。144ページ、定価2,415円(税込)。

※読者プレゼントへの応募は、葉書に希望の品、氏名、住所、年齢、電話番号を明記のうえ下記まで。5月25日必着。

〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-1-1 新雷メインスタワー (株)ニュートンプレス インフォメーション担当

情報広告を募集しています(有料)

Newtonでは本欄に掲載する情報広告を募集しています。新製品情報、イベント情報、オープンキャンパス、新刊案内などが対象です。掲載を希望する方は、見出しを20字以内、情報内容(イベントなどの開催日時・場所・対象・料金・問い合わせ先など)を100字以内にまとめた原稿を下記までお送りください。Newtonは毎月26日(日曜・祝日の場合は25日)発売です。各号が発売される前月の末日までにお申し込みください(6月25日発売のNewton8月号に掲載を希望する場合は5月31日までにお申し込みください)。掲載料金については下記までお問い合わせください。なお掲載の可否はNewtonにて判断させていただきます。

お申し込み・お問い合わせ先: 株式会社ニュートンプレス「Newton INFORMATION」係

電子メール: npinfo@newtonpress.co.jp 電話: 03-5352-6053 FAX: 03-5352-6057

LETTERS

非常に不思議なことがおきる
柴本智徳／千葉県船橋市

Newton Special「未来は決まっているか」を読みました。動きの予測が不可能なミクロの粒子が集まってマクロな物体を形づくると、その物体の動きはニュートン力学によって確実に予測可能となるのですね。このようなことがおきることは非常に不思議であり、興味深いと思いました。

●動きの予測が不可能な粒子が集まっているのに、動きの予測が可能な物体になる……。頭を抱えてしまうような話ですね。

決定論をはじめて知った
伊藤耕三／愛知県名古屋市

Newton Special「未来は決まっているか」に興味深く読みました。読んでみて、決定論という考え方があることをはじめて知りました。私は未来の予測はできないと思っていますが、ニュートン力学だけにしたえば、確かに物体の動きの未来は決まってくるんですね。

●読者の方々の感想をみると、決定論よりも、非決定論の方が納得しやすいということで支持をする人が多いようです。

ワームホールにわくわく
大熊涼太郎／埼玉県入間市

「時空のトンネル」は実在するか？」を読みました。ワームホールには前から興味があり、くわしく知りたいと思っていました。調べられてきたデータの中に、ワームホールの痕跡があるかもしれないなんてわくわくします。

●ワームホールの痕跡、ぜひみつけて夢を届けてほしいですね。

地球の月は特異な存在
三輪一美／東京都江戸川区

「太陽系の“名脇役”」を読まし



た。ふだん何気なく見ている地球の月が、太陽系の中では特異な存在であることをあらためて感じました。ほかの惑星の衛星にもさまざまなタイプがいて、個性的だと思いました。

●惑星とくらべて一見影の薄い衛星たち。個性あふれる姿をお楽しみいただけたでしょうか。

不死の生物におどろき
渥美沙緒里／愛知県あま市

「『死』と『不死』のサイエンス」がとても興味深かったです。命あるものはいつか死をむかえるものと思っていたのですが、死の遺伝子をもたない不死の生物がいたことにおどろきました。遺伝子に傷がつき、変化がたび重なるごとに生物が進化していくなど、とても面白かったです。細胞死と病気の関係の研究が進み、新たな治療法が生まれることを期待しています。

●私たち生物の「死」を、ミクロな目線でみてみると、これまでとはちがった考え方で死をとらえられるかもしれませんね。

生きていくのはたいへん
坂中里香／神奈川県藤沢市

「雪上のピューマ」はネコ好きの私にとって興味のある記事でした。雪上を動きまわるために足が大きくなっていたり、自分のにお

いを獲物に気づかれないように体をなめて清潔にしたりと、たいへんな苦労をして生きているピューマの姿に共感しました。

●写真からは、さまざまなふうをして生きぬいていく、ピューマのたくましさがよく伝わってきますね。

大クスを見てみたい
山口満弘／東京都小金井市

「写真でめぐる日本の特別天然記念物」が面白かったです。とくに加茂の大クスの写真が美しく、今回、この木の存在を知ることができてよかったなと思いました。近くに行きたときには実物を見てみたいものです。

●4月号では、植物の特別天然記念物を数多く紹介しました。

今後も注目したい
岡野美香／香川県丸亀市

「やがて来る水素社会」を読んで、水素のもつ大きな可能性を学ぶことができました。水素エネルギーには、水素エンジンや燃料電池など、さまざまな使われ方があるのですね。いずれも、ガソリンとくらべるとクリーンな燃料であり、注目を集めていることがあらためてわかりました。今後も注目していきたいと思っています。

●究極のクリーンエネルギーとい

われる水素エネルギーは、これからどんな社会をつくってくれるのでしょうか。

研究の進展が望まれる
尾崎大蔵／愛媛県西条市

「マントルは水飴のようにのびる!」の記事に強く関心をもちました。3月11日、東日本を突然襲った大地震は多くの災害をもたらしました。マントルの研究は、地震発生メカニズムを解明するために、とても重要であると感じました。多くの地震災害を回避するためにも、この研究の進展が望まれると思います。

●「Newton」では6月号で、東北地方太平洋沖地震のしくみをくわしく解説しました。今後も、地震の情報をレポートしていきます。

Newton 2011年4月号に一部誤りがありました。おわびして訂正いたします。
p101 ヤッコソウの説明文
「スジグイ」→「スグジイ」

皆さんの声をお聞かせください

Newtonでは、読者の皆さんからのご意見やご希望、記事のリクエストなどをお待ちしております。住所、氏名、年齢、職業（学生の方は学年も）、電話番号を明記のうえ、はがき、または電子メールでお寄せください。LETTERSのコーナーに採用させていただいた方には、Newton特製図書カードをさしあげます。

●宛先：〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-1-1 新宿マインスタワー（株）ニュートンプレス「ニュートン・レターズ」係

●電子メールのアドレス：
letters@newtonpress.co.jp



Newton 特製図書カード