

No.123

May 30, 2005

 *Information*

講 演

2005年3月4日（金）・第145回談話サロン（東京・弘済会館）

講師・演題

大矢 暁：「2004.12.26 スマトラ-アンダマン諸島地震の特徴と

地球科学者の役割」

社団法人

日本工学アカデミー

THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

日本工学アカデミーの使命

社団法人日本工学アカデミーは、広く学界、産業界及び国の機関等において、工学及び科学技術並びにこれらと密接に関連する分野に関し、顕著な貢献をなし、広範な識見を有する指導的人材によって構成されており、工学及び科学技術全般の進歩及びこれらと社会との関係の維持向上を図るため、下記の諸活動を通じて、我が国ひいては世界の発展に資することを目的とする。

記

- 1) 国内外の工学・科学技術政策、教育等に関する調査研究、提言活動を積極的に行う。
- 2) 国内外における学際・業際的及び新技術領域の活動を推進することに資する調査研究等の諸活動を積極的に行う。
- 3) 国内外の工学、科学技術の健全な進歩発展に寄与するための教育活動、及び一般に対する普及、啓発活動を推進する。
- 4) 上記の諸活動を効果的に実施するため、国内外の諸団体、特に海外の工学アカデミーとの連携を強化し、共同事業等を推進する。
- 5) 上記の一環として国際工学アカデミー連合の主要メンバーの一員として、特に近隣諸国における工学アカデミーの設立に対して、良きアドバイザーとしての責務を果たす。

2000年7月19日理事会

「2004.12.26 スマトラアンダマン諸島地震の 特徴と地球科学者の役割」



大矢 暁 (おおや さとる)

1955年 東京大学大学院修士(数物系地質学課程)修了
1955年 勲深田地質研究所
1960年 応用地質株式会社
1982-1991年 OYO Geospace 社会長 CEO
1993年 応用地質株式会社社長
2001年 応用地質株式会社社会長
2003年 応用地質株式会社相談役
2000-2002年 物理探査学会会長
1997-2003年 スタンフォード大学地球科学部諮問ボードメンバー
1997-2004年 World Seismic Safety Initiative (WSSI) ボードメンバー
1996-2005年 (社)全国地質調査業協会連合会技術委員長
2003-2005年 NPO GeoHazard International 会長
2004-2005年 NPO 地質情報整備・活用機構 (GUPI) 会長



スマトラ島北西部ムラボー・チャラン間の海岸平野(水田地帯)に残る津波痕跡
なぎ倒された樹木などが海岸方向に引きずられた際の痕跡と推定される。海岸は浸食され後退している。
(応用インターナショナル(株)田中達吉2005年2月3日撮影)

司 会 (石井吉徳環境フォーラム代表) 時間が参りましたので談話サロンをはじめます。今日は、「スマトラ・アンダマン地震の特徴と地球科学者の役割」という題で、大矢さんにお話しいただきます。

その前に事務局から少し宣伝をしてくれというのですが、「豊かな石油時代が終わる」というタイトルの本を作りました。この本はアカデミーが一般の本屋さんで売る第1号の本です。副題は「人類はどこへ行くのか」。この本は私、きょうお話しいただく大矢さん、それから内田盛也さん、3名で書いた本です。

副題は「人類はどこへ行くのか」ということですが、基本的に今、石油がピークを迎えつつある、将来は安い石油をエネルギーとして便利に使えなくなるということを指摘しています。この問題にはいろいろな考え方がありますが、私は地球科学の立場からそのように思っています。日本工学アカデミーには「環境フォーラム」という作業部会があり、私とその代表ということで、いろいろな議論をしてまいりました。その議論の内容も含めて、この1冊の本にしております。

さて、大矢さんを簡単にご紹介させていただきます。このアカデミーの会員は、工学アカデミーの名前のおと、工学関係の先生方がほとんどですが、その中で私もそうですけれども、大矢さんは理学部出身の地質学者です。1953年に東京大学の理学部地質学科を卒業しておられます。

現在のお仕事は応用地質株式会社相談役です。東大の理学部をご卒業になった後、修士を出られ、1955年に(財)深田地質研究所に入所されこれが母体となって生まれた応用地質株式会社に1960年に移られました。この会社は日本最大の地質・土質工学の会社で、いろいろな土木工事に関わる地質調査を行う最大手の会社です。その後、アメリカに進出され、ヒューストンに設立された応用ジオスペースという会社で活躍され、いろいろな物理探査に使われる機器を作る会社に関係されまし

た。日本の応用地質株式会社を世界のOYOに発展されましたが、その原動力となったのが大矢さんでいらっしゃいます。

そのような関係で、例えばスタンフォード大学のアース・サイエンス学部のアドバイザリーボードメンバーとして長年活躍されるなど、この分野では外国で非常に著名な方でいらっしゃいます。

きょうは、アチェあるいはプーケットに甚大な津波被害を発生したスマトラ地震のお話をさせていただきますけれども、先ほど紹介した本では、大矢さんは日本の地下水や表流水が農業で過度に使われている肥料や農薬で汚染されているということ、ご自身の研究で指摘されています。

これからお話をされることも政府機関から何かを委託されたということではなくて、ご自分のいろいろな科学的な興味をベースにしてお仕事をなさっておられるものです。

きょうの話はインド洋沿岸諸国に津波被害をもたらしたスマトラ・アンダマン諸島地震についてです。地震は予知できません。しかし地震が起こったらどういうことが起こるかということはあらかじめ考えつくわけです。それをもとに行政や地域の住民コミュニティを教育し啓蒙することが可能です。今回被害が出た地域でも、そのような地震防災や被害低減に関係する国際的なお仕事をなさっておられたということのようです。

今日お配りした資料の中に「如何に科学者は人の命を救うことが出来るのか」という資料があります。これは科学者として、基礎研究をするだけでなく、社会に役立てる応用をするのが義務である、務めであるという大矢さんのお立場からお配りしたものです。また、応用地質(株)で実施されたスマトラ島沖の地震についての調査の速報がありますが、非常にカラフルで詳細なレポートです。今日のお話しの参考資料としてお配りしていただきました。

それではこれから、1時間ほどお話をいただき、その後、ご討議・ご質問等に入りたいと思います。

はじめに

大矢 暁 大変詳しい紹介をしていただきまして、ありがとうございました。ご紹介いただきましたように、私は出身が地質学で、地質に関わる仕事をしてきた関係で、地震の問題、津波の問題あるいは地盤災害に関する問題に関心を持っておりました。最近、国内・海外のNPOで地震防災に関するボランティアの仕事もやらせていただいております。

世界地震工学会の下部組織として作られた、WSSI (World Seismic Safety Initiative) という国際NPO組織があります。これは1991年から2000年までの10年間を国連が「自然災害防止の10年-IDNDR」という国際的なプロジェクトを進めたのに対応して作られたものですが、とくにアジアの開発途上国、不幸にしてそこに被害地震が非常に多いわけですが、一般に地震リスクマネジメントが行政的に取り上げられておらず、地域住民の方も地震リスクについてイノセントの状況に置かれ、被害も大きいことから、総合的に支援をすることを目的に作られたものです。地域の政府機関やアカデミーと一緒にあって、地震リスクに関するパブリック・アウェアネスをどうやって広げるか、それをもとにしたリスクを低減するためにプレパードネスをどう確立していくかということを進めている組織です。私はWSSIの関係で、いろいろな国で活動してきましたが、とくにミャンマーの仕事に深く関わりました。

ミャンマーでは政府機関である気象庁とミャンマー工学会を主要なカウンターパートとして、すでに4回ワークショップや研修会を開きました。昨年2月に開催したワークショップでは、私は講演の中で、アンダマン諸島付近で近い将来にマグニチュード8+クラスの地震が起こる可能性があること、それにより発生する津波の被害が考えられることを指摘し、ミャンマーの地震防災実行プランの中には津波の検討も1項目入れておくべきことを主張しました。

不幸にして、私が思っていたよりはるかに大きな地震が起こり、大津波を発生しました。ミャンマーでも数十の方が亡くなりました。私は、ミヤ

ンマーからスマトラにかけての地質構造と地震環境を検討して、津波地震の可能性を指摘していただきましたので、今回の地震や津波被害は他人事でない感じを持ちました。正月休み中、いろいろな資料を集めて検討し、ミャンマーに大きな被害を与える地震が起こる確率が高まったように感じました。そこで、今回の地震の特徴や、地球科学者としての反省などをメモにして工学アカデミーの環境フォーラムの関係者にお送りしたのですが、それがきっかけとなって今日の談話サロンで話すことになった次第です。

たまたま我々の会社では大地震の後、独自の調査隊を出して現地の被害状況を調査することをしており、今回もインドネシア、タイ、スリランカ、インドに調査隊を派遣しました。数日前にその速報をまとめましたので、お配りした次第です。

超巨大地震であったこと

今度の地震はここ10年ほど世界各地で起こっている地震に比べますと、大変に規模の大きな別格な地震です。私も随分地震のことを勉強したり、資料を集めたりしてきましたが、こんなに大きな規模の地震が起こるということを、全く予想できずにおりました。

調べてみますと、ご承知のように、これまで起こった地震の最大のものは1960年に起こったチリ地震、マグニチュード9.5となっておりますが、このときの地震では太平洋を越えて日本に津波が到達しました。津波波高最高6メートル、とくに三陸海岸で142人の死者を出した経験を持っているわけです。

今回の地震が昨年末12月26日に起こった後、アメリカの地質調査所USGSはすぐ地震情報を発表しますので、その緊急報告を見ました。まず最初にその余震域の広がりが大変広いことにびっくりしました。はじめは2-3万人ぐらいの死者が出た、というニュースが流れたわけではありますが、この規模でそんなもので済むはずがない。おそらく2けたの万の人が亡くなってしまったのではないかと思います。

これは言うならば、一つの大地殻変動ととらえるべきもので、この地震によって地球の自転速度

が少し速くなったほどの超巨大地震です。これまで比較的馴れ親しんできた被害地震とは別格の地震だと思いました。

この地震の余震域の大きさを示したのが図1です。余震域はスマトラからニコバル諸島、アンダマン諸島まで広がっています。この図面には主震の位置と24時間以内に発生したM:5以上の余震が四角の点でプロットしてありますが、これはUSGSの図の引用です。この図面に日本列島を同じスケールで重ねますと、主震の位置を三陸沖と考えますと、余震域の端まで約1,100km、四国の沖まで達します。言うならば、この主震を含めた余震域全体はほとんど本州全域をカバーするという広さです。こんな地震が日本に起こったらとんでもないことになるというような地震であります。

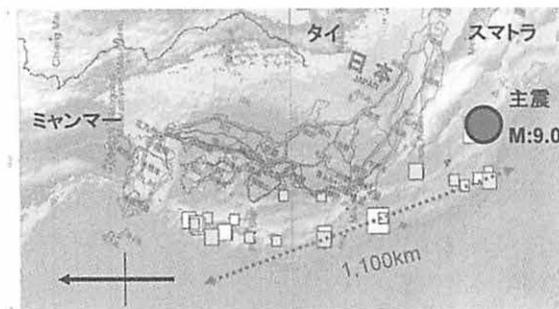


図1 スマトラ・アンダマン諸島地震の余震域と日本列島の比較
 ソース：余震分布は地震発生後24時間以内に起こったM:5以上のもの、USGSによる

同じ縮尺でなじみのある場所の地図を重ねてこの地震の規模が如何に大きかったかをみるというアイデアはUSGSでも考えられ、バンクーバーからカリフォルニアにかけてのカスケード地域と比較した図2が作られています。カスケード地域は、地震も多発する地域ですし、火山が帯状に並んでいる典型的なサブダクションの構造を持ち、カナダのバンクーバーから、アメリカのワシントン州、オレゴン州、カリフォルニア州に及ぶ延長1,100kmほどの構造帯です。この地域の地図に、今度のスマトラ・アンダマン諸島地震の余震域を重ねてみると、今度の余震域は、ほとんどカスケード・サブダクションゾーン全部をカバーする範囲におよぶことがわかります。この二つの例から、

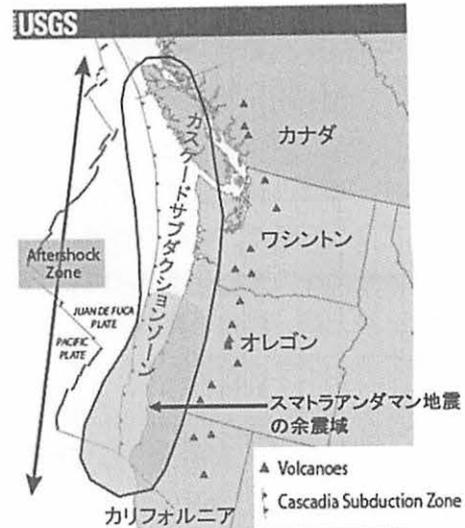


図2 スマトラ・アンダマン諸島地震の余震域をカスケードサブダクションと同一縮尺で比較した図
 ソース：USGS

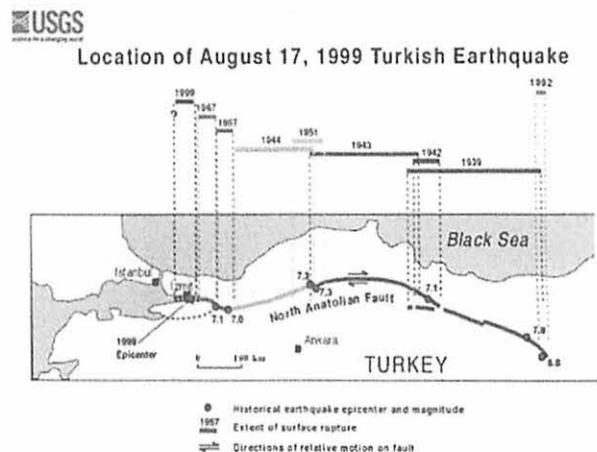


図3 トルコの主要な地質構造北アナトリア断層との比較
 ソース：USGS

今回の地震がちょっと従来の常識では考えられないような規模の地震だということが理解できると思います。

トルコの地震と比較して見ましょう。数年前に起こったトルコの地震はイスタンブールの東コカエリを震源としたものでしたが、トルコの地震は北アナトリア断層沿いに、地震が次から次に起こるという特徴があります。北アナトリア断層は南アナトリア断層との分岐点から西に、イスタンブールに向かって全延長で約1,000km、スマトラ・アンダマン諸島地震の余震域延長と同じぐらいの

延長規模がありますが、この断層の東の端で1939年にエルジンカン地震が起きました。その後、地震名は省略しますが1942年、1943年、1944年と毎年M:7以上の地震が起き、主震・余震の震源域は西に西にと移動していきました。さらに10年以上の静穏期を置いて1957年、1967年、そして1999年のコカエリ地震と、継続的に西に震源域を移動させていったのです。(図3)

この傾向が続けば、次はイスタンブールを直撃する地震が起こるということで、最近の数年間、イスタンブールに対する地震防災に非常に力が注がれたわけですが、北アナトリア断層の場合には、1939年から1999年まで60年かけて1,000kmの延長が、次々に動いたわけですが、今度の地震では同じ規模の延長範囲が、1日にして、一瞬にして起こったという規模の地震であるということです。

どのくらいのエネルギーがあったのかと言いますと、図4にマグニチュードとエネルギーの関係を示しましたが、横軸がモーメントマグニチュードのスケールで、縦軸がエネルギーのエルグ数の対数表示です。スマトラ・アンダマン諸島地震の場合にはマグニチュードが9.0とされているので、10の26乗エルグぐらいのエネルギーということになります。

このグラフの直線上にいろいろなエネルギー比較を示しましたが、世界最大の核爆発のエネルギーよりも、今度の地震エネルギーは10倍以上大きなエネルギーといえます。チリ地震も示してありますが、これは今回のものよりも少し大きい地震です。地球が毎日受けている太陽のエネルギー、これは大変大きなエネルギーです。地球の年間の熱の移動とか、米国が使っている年間エネルギー消費の総エネルギー量とか、地球上に起こる地震で放出される年間平均エネルギーとか、広島原子爆弾のエネルギーなどが参考に示されています。いずれにしても、とんでもなく大きなエネルギーが放出された地震であったといえます。ちなみに神戸の阪神大震災のエネルギーと比較すると、1,000倍以上のエネルギーの放出ということになりますので、まさに、けた違いの地震であったと言えます。

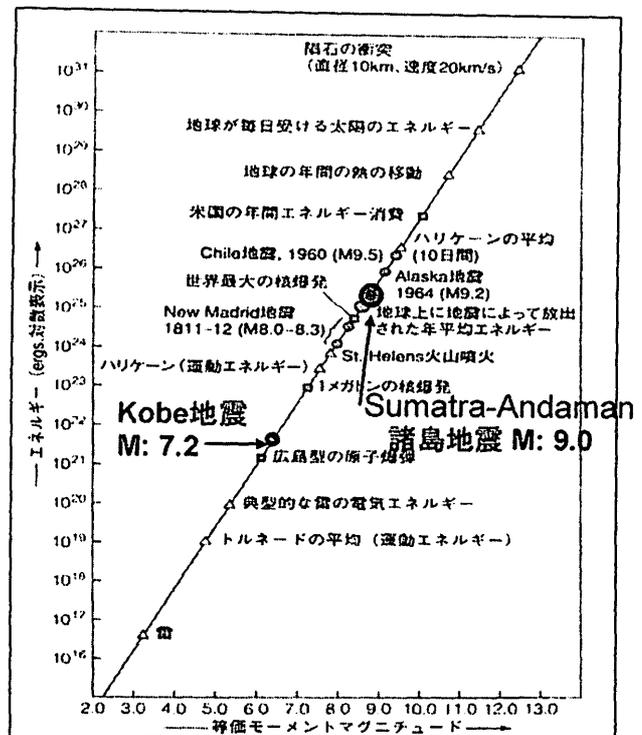


図4 スマトラ・アンダマン諸島地震のエネルギー規模
ソース：B.W. ピプキン他「環境と地質」古今書院に加筆

スマトラ・アンダマン諸島地震はいろいろ研究されていますが、瞬発的に大きな振動を与えたというよりは、比較的ゆっくりとした地震、津波地震と言われる定義に入るような地震で、3分間ぐらいかけて、延長1,000km、幅150-200kmの範囲が比較的ゆっくり動いたと考えられています。そのため、地震による強振動による被害そのものよりも、津波の被害が大変大きいということに特徴があるようです。スマトラからアンダマン諸島に至る延長1,000km、幅約200kmの地殻が逆断層で活動した地震ということが言えると思います。この地域のプレート境界の相対的な動きは年間5cmほどの速度で、インド・オーストラリアプレートがユーラシアプレートの下に潜り込んでいるということが、GPSの測定の結果で確かめられています。それが限界に達して逆断層として活動した、一口に言えばそういう地震です。

なぜ延長1,000km、幅200kmという非常に大きな範囲が動いたのかというのは、おそらく今の科学ではなかなか説明ができないのではないかと思います。いずれにしてもその部分が海域で

あったことと、巨大なラプチャー区域が巨大津波を発生したということです。

地震で発生したインド洋津波

地震直後に（独）産業技術総合研究所の佐竹健治さんが津波解析をされました。彼の考えたモデルはオーストラリア・インドプレートがユーラシアプレートの下に潜り込んで、それを引きずり込んだものがぱっとはね返ったというもので、図5はその模式図です。海溝に近い部分は隆起して海面を上を持ち上げ、背面部では逆に海水面が下がったというモデルで、東側海域に対する津波、タイのプーケットに被害を与えた津波は、最初に引き潮があり、その後大きな津波が来るというタイプになる。西のインド、スリランカに向かっては、初めから高波が襲うというメカニズムが解析されました。

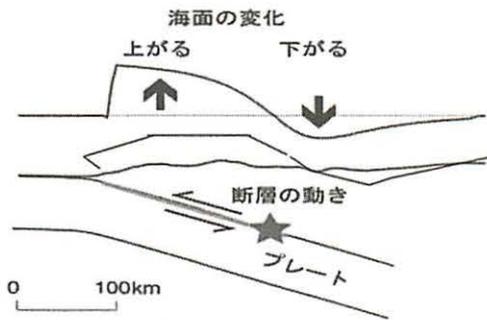


図5 インド洋津波の発生メカニズム
ソース：産総研活断層グループ佐竹健治（1部加筆）

図6、図7は佐竹健治さんによる津波の到達時間解析図です。1時間、2時間、3時間、4時間というような津波到達時間曲線が示されています。スリランカでは大体地震が起こってから2時間後、インドでも2時間半ぐらい、タイのプーケットあたりでも2時間半以上の時間があつたわけです。スマトラではバンダアチェに地震の約20分後に津波が来ています。主震の位置に対しては反対側から津波が襲ったようです。スマトラの南側の海岸にある主震位置により近い町ムラボーに津波が到達したのが30分後ということですから、明らかに津波を起こしたのは主震位置ではなくアンダ

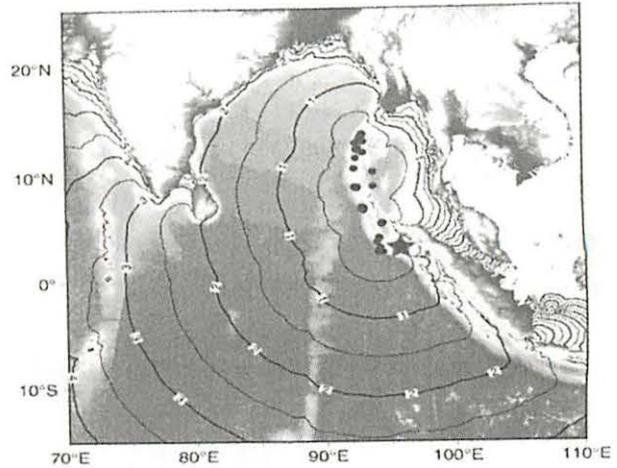


図6 津波到達時間シミュレーション
ソース：産総研活断層グループ佐竹健治

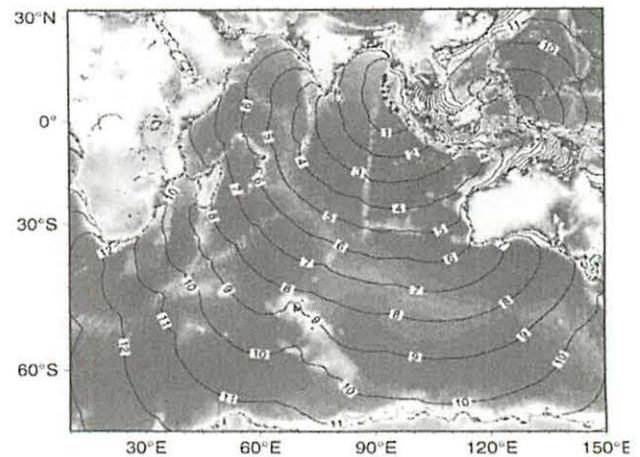


図7 広域の津波到達時間シミュレーション
ソース：産総研活断層グループ佐竹健治

マン諸島、ニコバル諸島を含む海域の変動によるものと考えられます。

図7はより広い範囲の津波到達時間図ですが、9時間、10時間かけてアフリカにまで死者を出す被害を伴ったということでもあります。津波の被害はタイ、スリランカ、インド（アンダマン、ニコバルおよびインド本土）、モルディブ、アフリカに被害を与え、津波はアラスカでも記録されたということです。

先ほど石井先生からご紹介していただきましたように、応用地質（株）では、タイ・インド・スリランカ・インドネシアに調査団を派遣して被害調査結果を速報にまとめました。被害の状況については、この報告書をごらんいただければと思い

ます。

今回の津波被害の問題は、地震発生後、津波が襲うまで、例えばインドネシアでも20分、インドなどでは2時間以上の時間があつたにもかかわらず被害を大きくしたことです。タイでも2時間の余裕時間がありました。それだけの時間があるのですから、津波到達前になぜ避難などの対応ができなかったのか、日本のようにすぐ津波警報が出されていたら、多くの人を避難させることができたに違いない。これほど大きな死者を出さずにすんだのではないかと私は思います。

そんなに時間があつたにもかかわらず被害を大きくしたのは、津波に対する行政的な、あるいは科学的な備えがなかったことに尽きると思います。地球科学者が真剣に被害軽減のための活動をしてこなかったことも問題です。それによってパブリック・アウェアネスが欠如したこと、準備、プレパドネスがなかったことに尽きると思います。地球科学の研究が未熟で知識がなかったから、こんなに被害が出たということではありません。地震が起こってからでも十分警報を出せたに違いない。しかし、地震の起こる前にすでにある地球科学的な知識を十分に活用して、啓蒙的な教育がなされていたら、さらに地震が起こってから適切な対応ができていたら、おそらく30万人亡くなった方のうち、何万人かの方を救うことができたに違いないと私は思っております。もしそうであれば、死ななくてよかった万の単位の人を殺してしまったことに対するギルティーはだれが負うべきなのか？ということが、大変気になりました。

図8は地震発生後1カ月たった1月26日の朝日新聞の記事であります。インドネシアでは行方不明者、死者合計して22万人ほどの方が亡くなりました。マレーシアでは74人、タイで観光客を主体として5,400人、ミャンマーで59人、バングラデシュで2人、インドで11,000人、モルディブでも82名、スリランカでは被害が多く33,000人、行方不明者を入れますと約4万人強の人が、そして東アフリカの諸国でも137人の方が亡くなっているという、広域で甚大な津波被害であることがまとめられています。

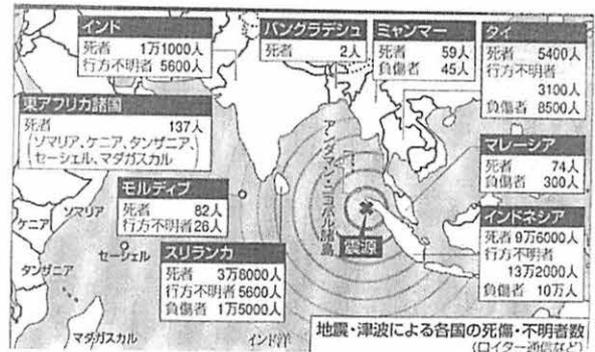


図8 地震発生後1ヶ月経過時の被害状況
ソース：2005年1月26日ロイター通信にもとづく朝日新聞記事

全体で死者が15万人、行方不明者14万人、合計で約30万人の方が亡くなっている。負傷者は50万人、避難者が150万人、被災者が500万人という、大規模の大きな被害であります。学校の損壊1,400校、職を失った人百万人、経済損失150億ドルという、差し当たりの取りまとめがされております。

17世紀以後の地震災害では1976年に起こった唐山（タンシャン）地震の死者、24万2,800人というのが最大ということになっています。人によっては唐山地震の死者はもっと多くて、40万人ぐらいだったという人もいますが、いずれにしても公表された死者数と比較すると、唐山地震を上回る惨事になり、17世紀以来最悪の被害地震になりました。とくに、500万人に達すると言われている被災者のうちの30%、50%が子供だということ、インドネシアでは3万5千人が孤児になったこと、国連の貧困層という基準でいうと、約200万人の人が新たに貧困層に加わったということです。

この津波はインド洋に面した国々に多くの爪あとを残しましたが、死者数からいうと圧倒的に震源地に近いインドネシアの被害が目立ちます。

応用地質(株)のまとめた地震調査速報には各地の被害状況を写真で紹介しておりますが、スマトラ島北西部、バンダアチェ、ルオンガ、ムラボーというスマトラ島北東部の主要都市の被害状況について、衛星写真なども含めて紹介したいと思います。

スマトラ島北西部の被害状況

今回の地震の後で衛星画像を利用して津波の被害状況がすぐにいろいろな機関から報告されました。写真1はバンダアチェの周辺に津波が襲ったときの状況を示すスポット衛星の画像です。津波で生じた渦なども写っています。海岸線から約5 km 程度の幅にわたって、ほとんど壊滅的な被害がバンダアチェでは起こりました。写真2はヨーロッパスペースセンターでまとめられたバンダアチェの津波被災範囲を示す図、写真3は海岸から数 km の範囲が壊滅的被害を受けたバンダアチェの衛星写真地図です。

これらの図や衛星画像は地震発生1ヶ月後に神戸で開催された、国連防災会議に展示されたもの

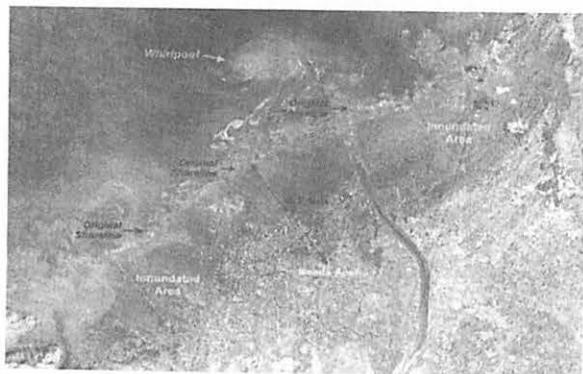


写真1 バンダアチェの SPOT 衛星による津波時の映像

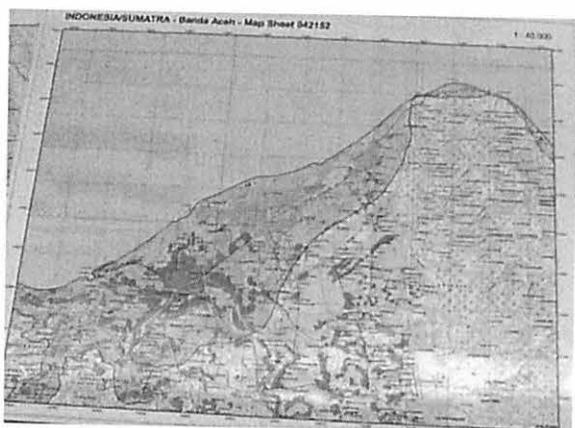


写真2 バンダアチェの街を中心に津波被災範囲を示す地図
ソース：ヨーロッパスペースセンターが衛星写真をもとに作成

です。ほとんどバンダアチェの海岸沿い数 km は全滅したといってもいい状態です。

WSSI で一緒に仕事をしている私の友人でインドネシアにテディー・ボーエン (Teddy Boen) という地震工学者がいます。地震後大活躍をされていますが、テディーはバンダアチェなどの被災地に地震直後に何回か行き、たくさんの写真を撮ってこられました。応用地質が調査にいったのは地震後かなり時間がたってからでしたので、ここではテディー・ボーエンが津波直後に撮ってきた写真を、自由に使っていいという了解をいただいておりますので、一部ご紹介します。とにかく写真でもめてもひどい状態です。

写真4はバンダアチェの中心部にある有名なバイツラマンモスクです。これは海岸から随分内陸



写真3 バンダアチェの津波被災後の Quickbird 衛星画像地図
ソース：ヨーロッパスペースセンター作成



写真4 バンダアチェの Baiturrahman Mosque 周辺に押し寄せた津波漂流堆積物
ソース：Teddy Boen 撮影・提供

に入ったところにあります。このモスクの床面は周りの地面よりも1.5mほど盛土をした上にありますが、その何段かある階段のところの上まで水が来て、周辺には膨大な津波漂流物が堆積しています。

津波漂流物には倒壊した家の木材ばかりでなく、死体が数え切れないほど見られます。写真5もテディーの写真のひとつですが、たくさんの土左衛門死体が見られます。土左衛門まじりの津波漂流物ということで、10万人の死者を出した1945年3月の東京大空襲のときを再現するような写真です。これが何も1カ所だけではなくて、どこでもこういうものが見られたというのがテディーの報告です。まことに悲惨な状態だったと理解できます。



写真5 バンダアチェ市内の多くの溺死体を含む津波漂流物
ソース：Teddy Boen 撮影・提供



写真6 バンダアチェの津波で破壊された住宅地
ソース：Teddy Boen 撮影・提供

写真6は家があったものが、全部洗い流されてしまったという状況を、写真7は津波で相当内陸まで打ち上げられた漁船を示しています。

写真8に示したのが、これらの写真の撮影者テディー・ボーエンです。彼は今、70歳ぐらい、WSSIの活動に熱心です。

バンダアチェから少し西、スマトラ島の一番北西端の西海岸にルオンガというまちがあります。写真9(次頁)はヨーロッパスペースセンターが、衛星写真から津波の被害を受けた範囲を示した地図ですが、ルオンガの位置を示しています。写真10(次頁)はルオンガの津波被災前・後のイコノス衛星画像を比較して示したものです。海岸線が大きく変わっています。



写真7 バンダアチェの津波で運ばれた漁船
ソース：Teddy Boen 撮影・提供



写真8 バンダアチェの津波被災地で調査する Teddy Boen
ソース：Teddy Boen 撮影・提供

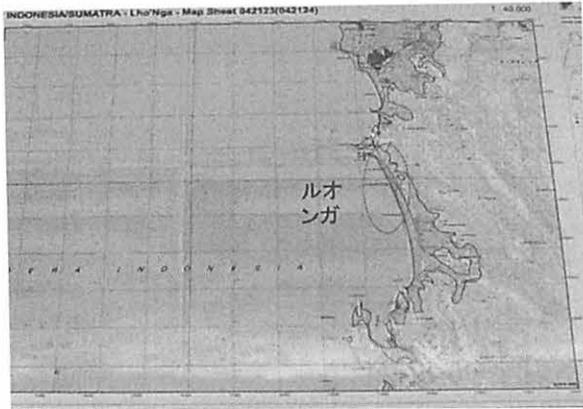


写真9 スマトラ島北西端西海岸ルオンガ周辺の津波被害解析図
 ソース：ヨーロッパスペースセンターが衛星画像をもとに作成

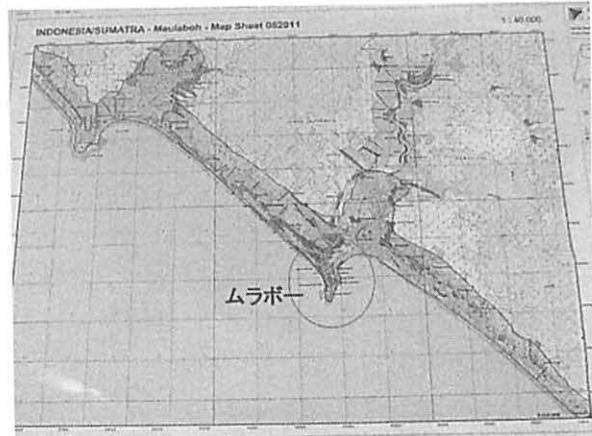


写真11 ムラボー周辺の津波被災状況解析地図、半島状のムラボーの被災が顕著
 ソース：ヨーロッパスペースセンター

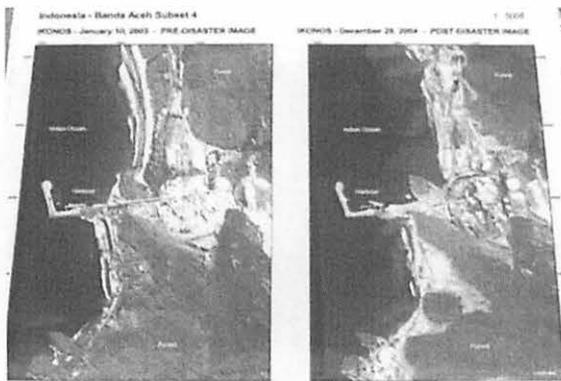


写真10 ルオンガ周辺のコスモス衛星による津波被災状況
 左：津波前 右：津波被災後
 ソース：ヨーロッパスペースセンター

津波到達前
 1/2撮影



津波到達後



写真12 ムラボーの津波前と後の比較衛星写真
 ソース：「©DigitalGlobe/日立ソフト」

東大地震研究所の都司嘉宣助教授が3月に現地調査をされましたが、ルオンガの内陸のほうで34.9mという、信じられない高さの遡上津波高を測定されています。おそらく海岸に来た津波の高さそのものは10m-20mほどではなかったかと思いますが、それが遡上していく過程で、地形その他の影響で部分的には大変に高い遡上津波高を記録したものと思います。

ルオンガからスマトラ島を少し南に下がって、東に行くと、スマトラ島の南側の海岸になりますが、ムラボーという、比較的大きなまちがあります。ムラボーもヨーロッパスペースセンターのまとめた被害地図(写真11)が示すように、津波の被害を全般的に受けたまちです。半島状になって



津波到達前
 写真12のA部



津波到達後
 1/2撮影

写真13 ムラボーの津波被災衛星画像
 ソース：「©DigitalGlobe/日立ソフト」



津波到達前
写真12のB部



津波到達後
1/2撮影

写真14 ムラボアの津波被災衛星画像
ソース：「©DigitalGlobe/日立ソフト」



写真15 ムラボアの津波被災状況
ソース：Teddy Boen 撮影・提供

いるムラボアの津波前、津波後の衛星画像を比較したものが写真12です。枠で示した部分を拡大したのが写真13、14に示してあります。住宅その他、全部津波で壊滅した状況が分解能1mのイコノス衛星画像で明瞭に示されています。

ムラボアは、結構緑の多い、感じのいい住宅地が広がっていた町であったことがわかりますが、ほとんど家も樹木も何もない状態になっているように見えます。

テディー・ボーエンは地震・津波後ムラボアにも行って被害状況を写真に記録しています。直後に撮った写真。津波漂流物がここも大変ひどい状態です。(写真15, 16, 17)



写真16 津波被害を受けたムラボアの住宅地
ソース：Teddy Boen 撮影・提供



写真17 激甚な津波被害を受けたムラボアの海岸地域
ソース：Teddy Boen 撮影・提供

ミャンマーの地震の特徴

初めにも申し上げましたが、私はミャンマーの地震リスクマネジメントに関わってきました。そのために、ミャンマーの地震の特徴について調査検討してきましたが、その結果ミャンマーの少なくとも西半分はサブダクションの構造を残しており、アンダマン諸島・ニコバル諸島を経てスマトラに繋がる大きなネオテクトニクス構造をもつことを明らかにしてきました。そのような立場で考えられることは、スマトラ・アンダマン諸島地震で大変広大な地域のひずみや応力が開放された後、次に不安定な地域はどこか、次に大地震が起こるのはどこであろうかということでした。

私は、ミャンマーがこの次に大地震を起こす可

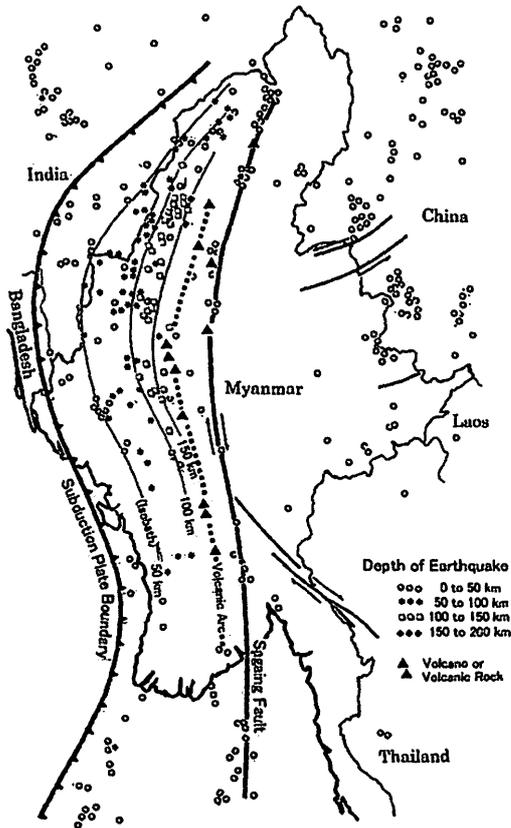


図9 ミャンマーで起こる地震の深度分布と地質構造

能性が高くなったと、強く考えています。その関係で、ミャンマーの地震の話をさせていただきます。

図9は、ミャンマーの、主要部分を示したものです。図9の左下に浅い地震が数ヶ所で起こっているところがありますが、このすぐ南（下）がアンダマン島です。その北約300kmの海域を隔ててミャンマー本土になります。西はバングラデシュ・インドに、東・南は中国・タイに接しています。

この範囲で1960年から2003年まで43年間に起こったM：5以上の地震の震央を深度別にプロットして見ました。深度を50kmごとに記号を変えて示してあります。黒丸で示したのが50kmより浅い地震です。*マークで示したのが50kmから100kmまでの深度で発生した地震です。中抜きの四角で示したのが100kmから150kmの深度で起こった地震、そして菱形◆が150kmより深い地震です。

このように深度別の地震の分布は、非常にきれいなゾーニングをしています。いわゆる和達・ベニオフゾーンがきれいに形成されているわけです。図9には、和達・ベニオフゾーン（用語解説28頁）の上面の地下等深線を50kmごとに示してあります。

このように地震を起こすゾーンが傾斜していること、地震を発生するゾーンが深さ150km以上にまで連続していること、そして150kmより深いところに火山列がみられることは、プレートの沈み込みの境界面と考えることができ、これはプレート境界がサブダクション型であることの典型的な特徴ということができます。プレートの沈み込むところは一般に海溝になっており、日本海溝やスダ海溝はそのよい例なのですが、ミャンマーがサブダクションだとするとどこに海溝があるのか、ということが問題です。南側ではスダ海溝の延長と考えられる深い海が追跡できますが、北に移るとその境界はバングデッシュ・インドの陸域になってしまいます。そのために多くの地質構造の研究者は、ミャンマーはサブダクションが変形したトランスフォーム断層の構造になっているのではないか、あるいはサブダクションが変形して衝突型のプレート境界になっているのではないか、などと考えていました。

しかし、最近のUSGSの地震カタログから震源の深度分布を調べてみると、まだサブダクションの特徴を残しているということがわかってきたのです。北側での沈み込みの境界部は、バングラデシュの沖積層で厚く覆われる地帯に入りますので、サブダクションゾーンの境界は不明確になっているに過ぎず、地震の深度ゾーニングから考えれば境界が推定できるので、構造境界を示してあります。

また、ミャンマーのほぼ中央部を南北に走る大きな活断層があり、ビルマ中央断層とかサゲイン(Sagaing)断層と呼ばれています。過去に起こった大きな被害地震の多くはサゲイン断層に沿って起こっています。この断層に沿って起こる地震は比較的浅い深度の地震で震源の深さは50kmより浅く、20-30kmで起こっているものが多く、アメリカのサンアンドレアス断層に沿って起こる地

震の起こり方によく似ています。典型的な右横ずれ断層で地形的にも追跡することができる大断層です。

このようにミャンマーで起こる地震はサゲイン断層の西側ではサブダクション境界で起こる地震と中央部でサゲイン活断層に沿って起こる地震とに注目すべきであること、そして北のほうや東の国境沿いでは別ないくつかの活断層に関係する浅い地震が起こりやすいというような特徴があることがわかってきました。

ミャンマーではインド・オーストラリアプレートがビルマ・マイクロプレートの下にもぐりこむサブダクション境界、そしてビルマの中央部を南北に走るサゲイン（ビルマ中央）断層に挟まれる西半分の部分と、サゲイン断層の東側の部分とでは地質構造的、あるいは地震環境的に大きく違うということが言えると考えます。

このような地質構造上の特徴をもとにミャンマーの地震ゾーニングをして耐震設計基準に取り入れる作業が進められています。私が提案したミャンマーの地震地質構造はミャンマーの地質学者、地震学者、地震工学者と時に激しい議論をしながら、今一緒になって耐震設計基準をつくる作業を進めています。建物の耐震設計基準に使う地域別の震度係数を地質構造を反映させた地震強度ゾーニングとしてまとめています。

地震は国境を考えずに起こります。ところが一般に地震学者、地震工学者の主要な関心は国内の耐震や地震防災をどう考えるかにありますので、国境を越えた地質構造の調査・研究や地震環境の調査などは行われていないことが多いのです。

しかし、大きな地質構造を見たいと考えると、同一の地質構造が延長している範囲は調査研究の対象になってきます。そこで、ミャンマーで考えられたサブダクション構造や中央断層の構造がどのように延長しているかをスマトラまで追跡して、地質構造図としてまとめたのが、図10です。

スマトラ島の南にはスンダ海溝という深い海溝がありますが、この海溝はインド・オーストラリアプレートとユーラシア・プレートの境界になっています。この境界でインド・オーストラリアプレートはスマトラ島が乗っているユーラシアプレートの下にもぐりこむのです。

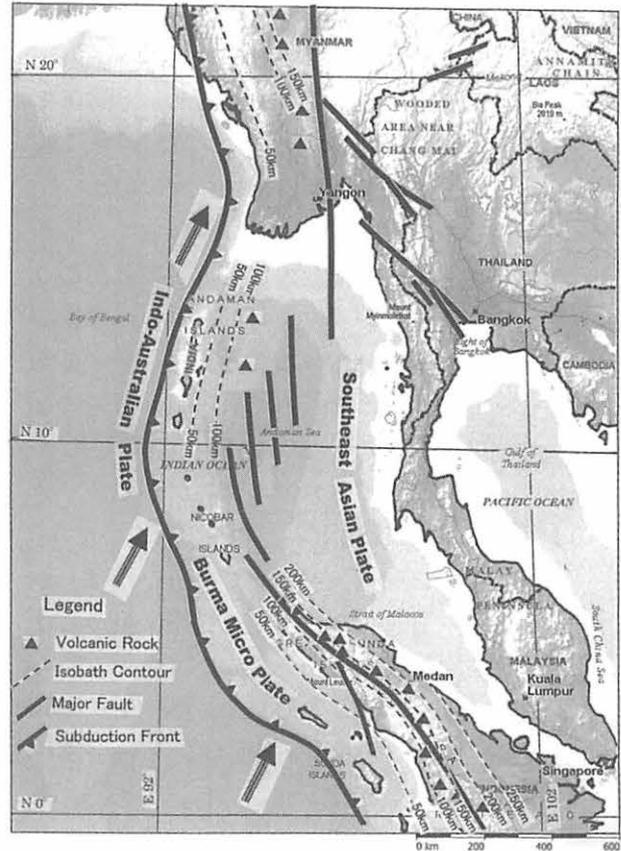


図10 ミャンマーの地震地質構造はアンダマンを経てスマトラに至る大構造

プレートの下にもぐりこむのです。もぐりこんだプレートの深さは地震の起こり方で調べることができ、スマトラの和達・ベニオフゾーンの地下等深線が示されています。スマトラ島では和達・ベニオフゾーンが150kmの深さになったところに多くの火山ができています。

サブダクションの特徴はプレートの沈み込み境界となる海溝があること、地震の深さ分布で和達・ベニオフゾーンが形成されていること、その上面の等深浅が100-150kmの付近で火山活動が見られること、が三つの条件になると考えていますが、スマトラではすべてが揃っている典型的なサブダクションです。

このサブダクションプレート境界はスマトラから北に伸びて、私の推定まで入れますと、図に示した範囲だけでも3000kmの延長を持つ大サブダクション構造です。さらに東にはジャワ島沖に伸びていますので、全体では大変規模の大きなどうか延長の長い地質構造です。

また、スマトラには大スマトラ断層 (Great Sumatra Fault) という活断層があり、カルテックのケリー・シー教授によって大変詳しく調査されています。この断層がアンダマン諸島の東に延び、アンダマン海域ではエシェロン状になって、サゲイン (ビルマ中央) 断層につながっていると考えられます。多くの地震地質構造研究者がこのような構造を考えています。エシェロンの構造については人によっていろいろな考えをしていますが、エシェロン構造のところで引っ張り構造になり (地質構造的にテンションの働く場)、いわゆるアンダマン海盆という水深の深い海ができていのも、その構造に関係すると考えられています。

ミャンマーでは和達・ベニオフゾーンがはっきり見える。50、100、150kmの地下等深線が描けることを図9の説明でしましたが、スマトラでもそれは非常に顕著に出ており、50、100、150、200mの和達・ベニオフゾーン上面コンターが調べられています。アンダマン諸島の付近でも同じような構造があります。明らかに一連の地質構造と考えてよいと思うわけです。

日本列島もサブダクション構造ですが、それと一番違う点は、サブダクションの境界になる海溝に対して、インド・オーストラリアプレートは直角にぶつかっていないこと、かなり斜めにぶつかっているという点です。スマトラでも斜めでありましたが、北に移ってアンダマン諸島付近では、もうほとんどプレートの動きは (図10の矢印で示す)、境界と並行とってよい形になります。そのためにオプリーク・サブダクションという表現が使われています。アンダマン諸島付近では、オプリーク・サブダクションというより、ほとんどストライク・スリップ・サブダクションと言っていいほどで、非常に特異なサブダクションだといえると思います。

もぐりこむ角度がオプリークであっても海溝に直行する成分が大きいスマトラでは活火山が多く見られ、海溝に並行するあるいは和達・ベニオフゾーンの地下等深線150kmのあたりによく並んでいます。

カスケードと同じように、あるいは日本と同じように、サブダクションの構造帯では大体和達・

ベニオフ上面深度コンターが150km付近のところに火山が並びます。ミャンマーでも調べて見ると幾つかの火山があり、これも大体170kmぐらいのところに並びます。また、アンダマン諸島の東側海域にも幾つか海底火山活動が記録されており、これも大体深さ150km程度で地震が起きているところで活動しています。

このような特徴が共通することから、図10に示したサブダクション境界とスマトラ中央断層・東アンダマン断層・サゲイン断層を連ねた右横ずれ断層線に挟まれたもともと地震活動あるいは地質構造的な運動が活発な地帯、延長3000kmに及び幅200-300kmの帯状の地域に対して、ビルマ・マイクロプレートという名前が使われるようになっていきます。ユーラシアプレートを細分した名前になるわけですが、スマトラ断層-サゲイン断層の東側の部分に対しては、東南アジアプレートと呼ばれることがあります。

日本やカスケードのサブダクションでは、サブダクション境界に並行する横ずれ断層がなく、このような帯状に地震活動が集中する範囲がありません。この相違を作っている主要な原因は、オプリーク・サブダクションであること、その引きずり効果で右横ずれ断層ができたことによるのではないかと思います。

図11はミャンマーを中心にタイ・マレーシア・中国・バングラデッシュ・スリランカ・インドを含む比較的広い範囲で1996年から2001年までに起こった地震の震源分布と主要な地質構造を示したものです。ミャンマーからスマトラにかけての地震がビルマ・マイクロプレートの範囲に集中していることがわかると思います。ヒマラヤから中国南部・タイ北部の地震の起こり方とは異なった帯状に集中した地震分布をしています。

アンダマン諸島からミャンマー南部イラワジ川のデルタにかけての地域には深い地震があまり起きていません。この部分はインド・オーストラリアプレートの動く方向と、サブダクション境界とがほとんど平行になっていて、ストライク・スリップのような運動になっている部分です。ストライク・スリップになりますと、サブダクションでプレートがビルマ・マイクロプレートの下にもぐり

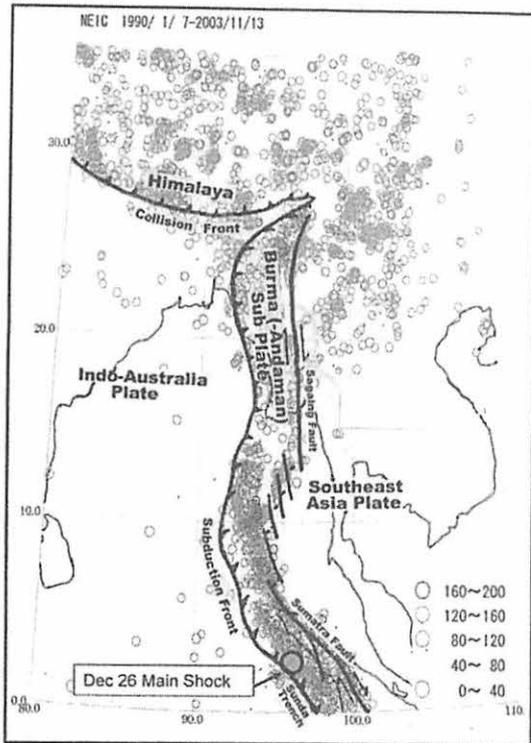


図11 この地域の主要な地質構造と地震分布との関係
ミャンマーからスマトラにかけての地震は殆どがビルママイクロプレートの範囲に集中していることがわかる

こまないで、横ずれになってしまいます。このため、もぐりこむプレートが、海水を深いところまで持ち込むことができない、海水がプレートと一緒に深いところに持ち込まれないと、火山活動が起きにくくなると考えられます。アンダマン諸島からミャンマー南部にかけては、そのような特徴がある地域です。

さて、今度の地震では規模の大きな余震が長い間継続しました。発生した余震が毎日 USGS で更新されて、公表されていくわけですが、図12は昨年12月31日まで、地震発生5日後までに起こった M: 5以上の地震の分布を示したものです。

前の図面よりもかなり数が増えています。この図にはサブダクション境界の構造線、スマトラ断層からサゲイン断層につながる右横ずれ断層を入れてあります。明らかに主震の位置を南東の端として余震域は幅200km 延長1,000km のビルマ・マイクロプレートの範囲に集中しています。

余震域の地殻が活動してラプチャーを起こしたと考えてよい、すでに述べたようにこの範囲が実

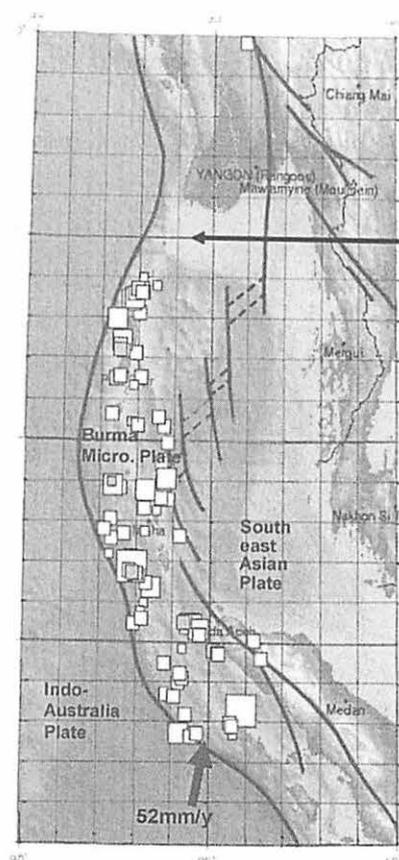


図12 地震発生5日後までの余震分布

アンダマン諸島の北に広がる余震の無い地域が不気味である

Major Tectonics and the Aftershocks of The 2004 Dec.26 M:9 Sumatra-Andaman Earthquake

Aftershock Source: Earthquake Map by USGS as of Dec. 31 2004

に巨大です。

ところが、アンダマン諸島の北端からミャンマーにかけては全く余震が起きていません。私には、これが大変不気味に思えます。アンダマン諸島までの地殻に溜まっていた累積した応力やひずみは今度の地震で地殻が壊れて解放された。それに対し、アンダマン諸島から北のビルマ・マイクロプレートに蓄積されている応力・ひずみは、まだ残っている。さらに言えば、アンダマン諸島までの部分は解放されたために、アンダマンからミャンマーにかけての地域に蓄積したストレスは比較的近い将来に大きな地震によって開放される可能性が高まったと考えなければならないのでは。それを前提にして、ミャンマーの地震リスクを見直す必要があるのではないかと考えています。たまたまミャンマーでこれまで一緒に調査研究してきた人たちが JICA の津波早期警戒システムの会議のため明日、日本に来るので、その機会に相談をして、今年中にワークショップを持つようにしたいと考えているところです。

2月27日の日経は、今回のインド洋津波が大変大規模であったことから、いろいろな研究者が地殻の破壊メカニズムについて研究していることを記事にしています。東大地震研究所の山中佳子研究員は、今度の地震は主震が起こって破断した部分、2回目に破断した部分、3回目に破断した部分、と3回に分かれて地殻が断層運動をしたのではないかというシナリオを考え、とくにスマトラ島北西部の2回目の地殻破壊、ニコバル諸島からアンダマン諸島にかけての3回目の地殻破壊が合体したために大きな津波を起こしたという説を考えています。

また、建築研究所の八木勇治教授は主震が1回目、それが引き金になってニコバル・アンダマン諸島を含む大きな範囲で、ゆっくりした津波地震が起こったのではないかという仮説を立てられています。いずれにしても南北に伸びたラプチャーした地塊が津波を起こしたため、東西に大きな津波を起こした。また主震に近いニコバル諸島付近の破壊量が大きかったためにスマトラのバンダアチェなどに大きな津波被害をもたらしたと考えておられます。

過去の大規模地震

さて、この地域には過去大きな地震が無かったのか、津波被害は無かったのかを調べた結果を図13に示しました。

スマトラ島の南東側海域では、1833年にマグニチュード9という地震が起こっています。この地震に伴ってかなりの津波が発生したという記録があるようです。

それから1861年に今回の主震位置に寄った部分でマグニチュード8.4の地震が起こっています。比較的広い範囲で余震域、すなわちラプチャー域が形成されています。その後、マグニチュード7クラスの地震が幾つか起こっていますが、その余震域は図に示したようになりに狭い範囲です。アンダマン諸島周辺でも幾つか、マグニチュード7クラス（1941 M:7.7, 1881 M:7.9）の地震が起こっています。いずれも余震域としては限られた範囲（100km以内）です。もちろん、それでも阪神淡路大震災を起こした兵庫県南部地震

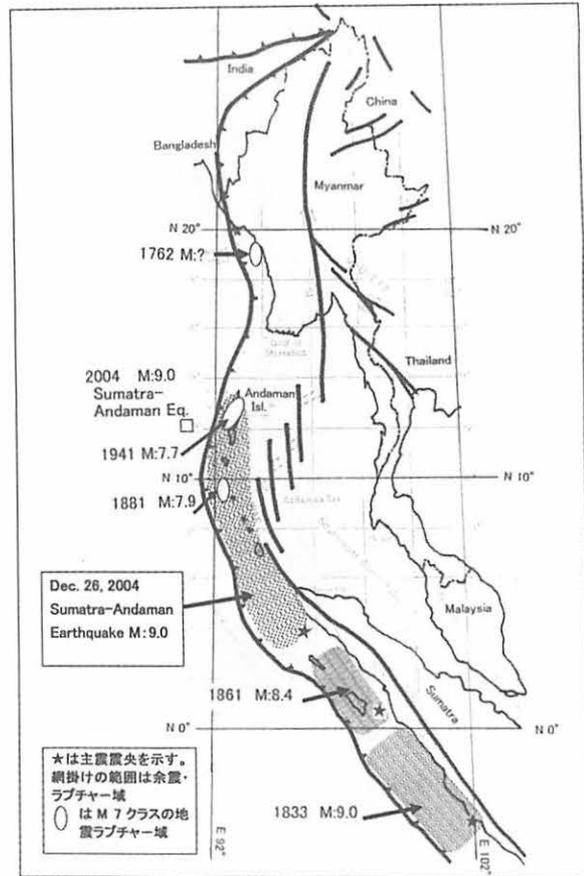


図13 スマトラ・アンダマン諸島周辺で過去に起こった大地震とそのラプチャー（余震）分布

の余震域よりははるかに大きいものですが、今回の地震の余震域とくらべると可愛い感じです。

スマトラ・アンダマン諸島の余震域というのは、ラプチャーが1000kmにも及ぶ大きな範囲で一度に地殻が破壊したのか、2回あるいは3回に分かれて地殻が破壊したのか、すでに述べたような研究が進められていますが、いずれにしても想像を絶する大変大きな範囲の地殻を壊した超巨大地震であるといえます。

過去の地震を調べてみると、マグニチュード9クラスの大地震が起こっていることや、その地震に対する余震域についても調査がされていたことや、大地震に伴って津波が発生しているという記録が文献にあることなどがわかります。

これらの過去の地震を広域的に調べておれば、今回のような地震が、いつ起こるかという予知はできないにしても、年代的に見て、1833年のM:9地震が起きたこと、その時の主震の位置は余震

域の東側の端部であったこと、その後1861年の地震は1833年の地震で破壊した余震域の北西側で起こっていることなど、この地域の大地震の特徴がわかります。

そして、今回のスマトラ・アンダマン諸島地震は1861年の地震の余震域の北西端に近いところで起こっていることを考えると、スマトラ島沖のプレート境界型の巨大地震は、トルコの北アナトリア断層に沿う地震が西に西にマイグレートしていったと同じように、スンダ海溝に沿って北西―北にマイグレートする特徴があるように思えます。

結果論ですが、今回、スマトラからアンダマン諸島にかけての地域のビルマ・マイクロプレートが大規模に破壊したわけですから、この地域の地震の特性は南東側から大きな地震が北西側に逐次動いていくマイグレーション特性を持っているという見方をするのが、適切なのではないかと私は思います。

本来であれば、1833年以後の地震の動きから、今回の地震もいつ起こるかは予知できないまでも、次にニコバル諸島にかけての地震が起こる可能性が高いことは、地球科学の現在の知恵でもって予測できてよかったですのではないかと思います。

このような議論が地域的にインドネシアの領域、インドの領域にまたがることなどから広域でまとめた研究になっていなかったのではないかと、私は大変残念に思っています。

反省ばかりしていてもしょうがありませんので、ここまで起こったのだから、次はさらに北に移るのではないかと考えて「次の地震」に対する備えをしなければならないと思っています。

今度の地震で大ざっぱに言って、アンダマン諸島までの地域の累積応力が解放されたと考え、次にミャンマーを襲う可能性の高い地震に備えるべきです。

図14に示したように、アンダマン諸島から北、ミャンマーの海岸（イラワジ川デルタ地域）にかけての部分、あるいはミャンマーの西の部分、ではまだまだ累積応力やひずみが開放されないで残っていると考えて、次の巨大地震に対する備え

をすることが重要です。

過去の地震を調べますと、とくにアンダマン諸島北端からイラワジ川デルタにかけての幅200km延長300kmほどの地域（主として海域）には過去あまり大きな地震、そして深い地震が起こっておりません。この地域は見方によっては、次に大地震が起こる空白域なのか、あるいは、この区域は境界の方向とプレートの動きの方向がほとんど平行しており、ストライク・スリップ的な構造であることから、大きな地震が起こりにくいところ、であるかどうかなど研究することが必要です。周辺海域にある小島のさんご礁の研究などから答えが出る可能性があります。また、GPSなどによる長期の測地観測も必要です。

前にも申し上げましたが、そのような議論を展開するワークショップを今年ミャンマーで開催したいと考えています。

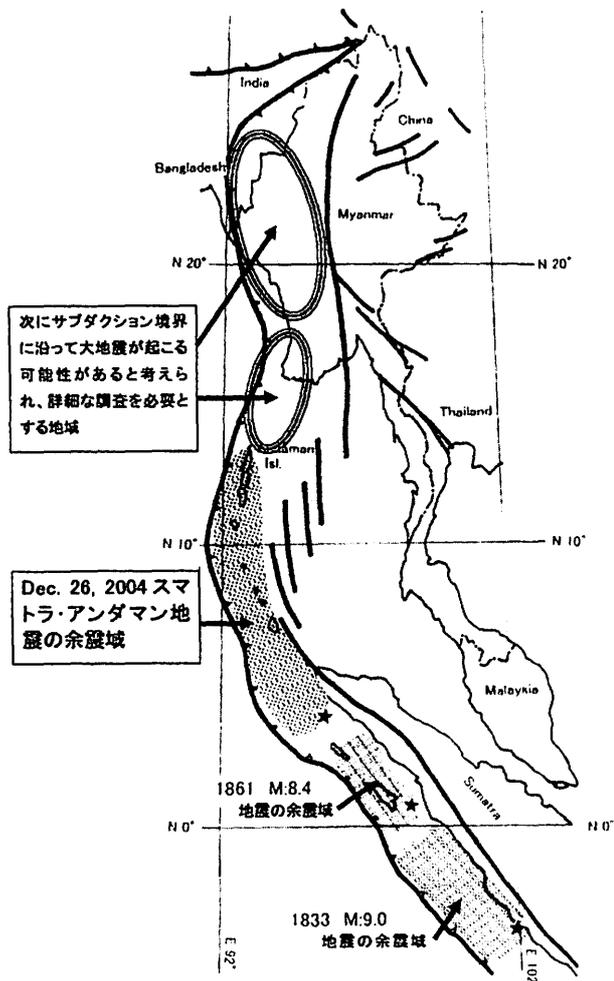


図14 次に大地震が起こる地域は？

地球科学者の役割と責任

今日、お配りした資料の中に2枚もので、「如何に科学は人の命を救うことが出来るか」という資料があります。これはカリフォルニア工科大学の地震地質学者ケリー・シー教授の書かれたもので、「タイム」の1月10日号の記事を訳したものです(29~30頁)。

ケリー・シー教授には、私は何回かお会いし、友達付き合いをしています。スマトラ・アンダマン地震後何回もメールで意見を交換しましたが、このアートを日本語に訳して、皆さんに配ることのご了解を得ております。ケリー・シー教授はスマトラの地震地質の研究を過去10年間、精力的に進めてこられた方で、とくに大スマトラ断層の研究をされ、この断層の累積移動量が20数kmに及ぶことや、今回の地震の震源地に近い島のテーブル珊瑚の年代や高さなどから、ネオテクトニクスの研究をされ、近い将来巨大地震が起こる可能性があることを地元の人たちに啓蒙・教育する講演会なども活発に進めておられました。

ケリー・シー教授は1833年の地震と同じ規模(M:9)の地震が起こる可能性について予想されていました。ケリー・シー教授が書いたこの文章を読むと、自分は10年間スマトラの地震地質の研究をやってきた、活断層の研究をやってきた、地震履歴の研究をやってきた。しかし、今回の地震で亡くなった20万人の人の命を救うことができなかったという無念さがにじみ出てくるような文章を書かれています。「今、我々は地震について、大変多くの知識を持っているけれども、その知識を応用してこなかった」というサブタイトルは反省を込めて書かれたものと思います。

私もケリー・シー教授の無念さを分かち合うことができるように思います。構造地質学、地震学、耐震工学、動土質力学など、地球科学に関係する科学・工学は最近の20-30年間に飛躍的に進みました。とくに1964年の新潟地震以来、液状化の問題等も含めて、日本の動土質問題、建築基礎地盤としての地震問題、あるいは地質構造的な問題に対する調査研究は顕著な発展をし、蓄積された知識も膨大です。さらに、兵庫県南部地震の後、今

年で10周年目を迎えたわけですが、その間に日本全国にK-Netという約1,000点の強震計ネットワークが作られ、また、ハイネットという高感度地震計ネットも作られ、それらを使った、リアルタイム地震情報が今年から気象庁から発信されるまでになりました。GPSネットも設置され、日本列島の測地学的研究も進みました。

日本では地質、地震、耐震工学、動土質力学、などの研究者が一緒になって、1つの防災ということで統合された研究活動を進めるようになりました。アメリカを除き、外国ではまだまだそれが十分ではありません。

例えばイランとかインドに行きますと、地震学のレベルは結構高いのですが、またイランなどでは1,000箇所近い強震計ネットも設置されているのですが、2年前のバム地震では3万人の人が日干しレンガで作られた住居建物の崩壊で亡くなっています。その後も同じような日干しレンガの建物が地震で壊れて、多くの人が亡くなるのが継続しています。最近バムと同じ地域で起こったイランの地震でも500の方が亡くなっています。過去の地震の経験が生かされていない。これを何とかしなければいけないと思っているのですが、なかなか容易ではありません。

地球科学を学んできた者としての反省であります。先ほども述べましたが、去年2月にミャンマーのワークショップでは、アンダマン諸島付近でマグニチュード8+規模の地震が起こる可能性を私は指摘いたしました。津波についても検討課題であることを指摘してきました。しかし、その地域の過去の地震に関する文献を収集したり、もっと強烈に警告を発するようなことをしてきておりませんでしたので、今、スマトラ・アンダマン諸島地震が起こってから、慌てていろいろな資料を集めてみますと、もっと徹底した啓蒙・教育活動ができていてよかったですと反省をしているところです。

とくにケリー・シー教授とは今でもメールをやりとりしていますが、大変残念なことをしたなどお互いに話し合っています。

これも繰り返し申し上げたことですが、僕らが今、持っている知識をほんとうに有効に使って、

行政、アカデミー、それから産業、市民、それらの
の連合されたような組織の中で、地震工学の知識
を地震により大被害を発生する可能性のあるアジ
ア諸国に広げていったら、間違いなく地震被害者
を軽減することができると思います。

日本の地震学、地質学、地震工学に関する知識
は間違いなく先進国でありますので、この特徴を
生かして、国際協力で日本はもっとリードする役
割を持つべきではないかと思ひます。

この協力の仕方にはいろいろ問題があります。
地球科学的に言うと、今回発生したM：9規模
の超巨大地震は今後も起こらないとは言えないわ
けですが、どういう場所で起こるかとか将来の問題
について議論できるまでになっていないように
思ひます。起こった後、いろいろ言うことは容易
です。起こる前に防災を進めることは、間違いな
くより少ない資金でより効果のある対策を作ること
が可能なのです。

それから逆に言ひますと、今回起こったような
とんでもないといえる規模の地震は、どんなに短
くても、まず同じ場所では500年に一遍以上起
ることはないものです。多分、1,000年に一遍起
るかどうかという規模の地震です。だから逆に
言うと、バンダアチェなどは、これから500年は
非常に安全な場所になったといえるのではないか
と思ひます。そういう場所でありながら、今、各
国の政府がやろうとしているのはインド洋に津波
警報システムをつくらうということです。作って
悪いことはありません。しかし、シー教授の言っ
ている点を参考にすると、彼は1833年にM：9
の地震が起こったあと、仮にその地震の後で今検
討されているような津波ワーニングシステムがあ
ったと仮定し、それを設置したと考えてみると、
設置してから約200年の間、地震が起こってい
ないことをどう考えるか。すばらしい設備を設
置しても、それを100年間、200年間辛抱強く
維持管理をして、啓蒙運動をして、地震が起こ
ったときに、ほんとうに役に立つようなことが
果たしてできたであろうかと。

これからのもし、津波ワーニングシステムをつ
くっていくとすれば、いい設備を短期間に大
きなお金をかけてつくすることも大事かもしれ
ないけれ

ども、それをどうやって地元の人と、地元の行政、
地元の科学者と一緒になって、これから100年、
200年、確実に維持できるようなシステムをつ
くるか、継続的な教育、維持管理に対する指導、
そして実行の管理がもっと重要であるということ
から、継続的な技術指導、資金援助を考えること
などがもっと必要なのではないかと思ひます。
シー教授とはこのような議論もしています。

最後になりましたけれども、きょう、お配りし
た資料について若干説明します。応用地質（株）
では大きな被害地震のたびに、外国の場合でも
国内の場合でも自社の資金で調査団を出して調
べ、その結果を報告書にまとめて配布するよう
にしています。今回は1月13日から20日まで
に第一次調査。このときは残念ながらバンダア
チェは大変セキュリティリスクが大きい、とい
うことで行くことができませんでした。その後、
インドネシアのテディーさんの段取りで行ける
ようになり、1月29日から2月9日まで3名
の職員が二次調査をしてきました。速報として
被害状況をまとめておりますので、ご参考にし
ていただければと思ひます。

以上で話を終えたいと思ひます。ご静聴あ
りがとうございました。（拍手）

質疑と意見交換

司 会 どうもありがとうございました。

私からの意見ですが、地震は起こったところ
に必ず繰り返して起こる。しかし何時起こると
いうことはわからない。

兵庫県南部地震が起こった後、当時、私は環
境庁国立環境研究所の所長をしていた関係で、
地震対策関係の審議会のメンバーになってお
りました。実は政府研究機関の中堅の研究者
が、あの地震が起こることはわかっていたと
言っただけです。わかっていたのなら、数千
人の人間を死なすことがなかったらうと。終
わった後では何でも言えるのです。その人
とはたまたま専門が似ているので、どなり
上げました。そのような不遜な態度では、
ほんとうの意味で進歩しないんだということ
です。

また、地震予知はできるという話がずっと
されてきました。毎年地震予知ができるとい
う前提で、

国家予算が出ているわけです。大矢さんのお話のように地震が起こるかもしれない。しかし、ワーニングを出すとか、そういう方向に行かないんです。予知ができるから、そのときに避難すればいいんだという話が繰り返し出されました。それで日本の地震予知の学問というのはお金が出れば出るほど、ハングリーじゃなくなりますから、非常にディグレードしました。そこで地震予知ができないかもしれないという意見も出てきます。

しかし、地震が実際に起こった直後にすぐ新幹線をとめるとか、災害を最小にする対応策はこれだけ科学技術や情報技術も進歩しているんだからできるでしょうという話を繰り返し、私はやりました。ところがタブーになっちゃうんです。地震予知ができるんだから、地震が起きた後にワーニングシステムなんていうのを考えるのは、タブーなんです。

ところがその当時、私と同じ東大の地球物理を出た後輩が、カリフォルニア工科大学の地震研究所のトップをやっていました。彼はリアルタイム地震情報の利用を進め、あった直後に秒単位で震源地に近い道路を封鎖するなどができるというシステムを開発しました。当然日本でも、同じことを言う人がいたんです。そういう人がほとんど研究の中核からはじき飛ばされました。余計なことを言うなど。

どういうふうになれば、ほんとうに災害がミニマムにできるかというのは、地震予知をできるかできないかと徹底的にやるだけではだめ。それでよく繰り返して言ったのは、割りばしをぼんと音を立てて折ります。秒単位では予測できます。しかしマイクロセカンドでこれは予測できません。だから、いわゆる地震学者が予知をするしないという、その頭の中のタイムスケール、それは年単位とか、何十年単位で必ず起こり得るというわけです。

寺田寅彦はそういうことで繰り返し起こると言ったわけです。ところが一般の市民の方々は行政も含めて、はしを折るときにマイクロセカンドでもって予知できるというような印象を持つわけです。そこに大きなギャップがあるんです。ですから、私の専門の仲間が必ずしもいいかげんで

あったわけではないんですが、この時間の時計が違うのです。地球科学者とテクノロジーで。私はもともと理学部を出て、その後、東大工学部に23年間いましたから、工学部の体質が嫌というほどわかっています。その工学部の非常に緻密な設計とかそういうテクノロジーをベースにしたことと、アース・サイエンスの立場の研究をほんとうにうまく融和をさせる必要があると思います。

武村雅之（賛助会員） 鹿島建設の武村と申します。非常に示唆に富んだいいお話をありがとうございます。

私はこの地震が起こってから、地震防災について考えたことは、最後に、大矢さんがおっしゃったことと非常に通じるんですが、要は最先端の科学とかテクノロジーだけが人を救うのではない。だから逆に言うと、最先端の科学とかテクノロジーをやっている人間がもしも人を救おうとしたときには、もう少し最先端のサイエンスなりテクノロジーと違った面も含めて、何をやればいいのかということを考えなければいけないんじゃないか。あまりにも今、学者は世間と遊離してしまっているということを非常に感じたんです。

それはどういうことかという、なぜみんな逃げなかったのか、ということに尽きるのです。日本人の方もたくさんいたけれど、津波が来ると思った人はほとんどいなかったのではないかと思えるんです。

よく「稲むらの火」の話が出て、まさにその話に尽きるのかもしれませんが、我々が今、地震学者の反省としてやらなければいけないことは、例えば小学校の教科書に津波のことをきちんと書く。それで、日本中どこに住んでいる人でも、津波ってこういうものだよということが頭の中に残る。人から聞いた話ですが、イギリスの方が2名、津波が来るといって、人々を高台に避難させて助けたとあるんです。実は1名の方は「稲むらの火」の原作であるラフカディオ・ハーンの『ゴッド・ハンド』を読んでいたということを知っています。

今、台湾とカンボジアにはまだ「稲むらの火」に当たるものがあるというんです。小泉首相は「稲むらの火」の話をマレーシアの首相かにインドネ

シアで急に言われて、ご本人はもちろんご存じなかったので、すぐに調べて、国連の防災会議でそのお話をされたということで、そのプロセスは非常にいいのですが、やはり一国の首相も含めて、日本人が全く津波を知らないというのが、これは非常に大きな問題。知っていれば、ひょっとするとこの場面でも国際貢献ができたかもしれないのです。

そう考えると、非常に近代的なシステムをつくって、そういうもので何か救われるんじゃないかと、多少我々も勘違いしている気がしています。そういう意味で、私もちょっと心を入れかえて、初等教育といいますか、社会に地震のこと、ないしは津波のことをもう少し浸透させていくような努力をしていかなければいけない。特に理系の人間、地学系と地球物理、物理系の人間はそういうことを今まで怠ってきたのではないかという気がしていて、きょうのお話を聞いて、やっぱり僕の考えはあまり間違っていないんじゃないかなという感想を持ちました。

大 矢 私も理学系の地質の一員ですので、全部がだめだと言われると非常に反発したくなるのですが、過去30年あるいは40年科学は細分化してきたように思います。たとえば地質学会という学会ですが昔は総合的な学会でしたが1960年代を中心に、細かく分裂しました。例えば鉱物学会であるとか、鉱山地質学会であるとか、火山地質学会であるとか、情報地質学会とか、〇〇地質学会というのがたくさんできました。しかもその中で専門別の分野がたくさんできて、それぞれの研究者は大変狭い範囲の研究をやる。その狭い範囲でもって、何人も世界中に仲間がいますから、その間で交流をして、その分野では非常にすばらしい研究をやる。

ところが、確かに分野を狭くして、深い研究をするというのは、研究の一つのやり方として大変重要だと思うんですが、ある段階では全体をインテグレートするという形がどうしても必要になる。科学という立場で言って、その科学は何のためにやるんだということになると、国民の生活を豊かにする目的があると考えれば、より行政だとか、市民団体と一体になって、その応用や実

行にどう貢献するかを考えるべきだと思います。

そういう意味で、科学のあり方、科学者のあり方、科学者の評価のあり方、研究論文だけでもって評価するのではなくて、もっと社会的な行動を実践した人の評価を高めてエンカレッジするとか、インセンティブを与えたりとか、そういうシステムができることが必要だと思います。

井上 恵太 トヨタのコンポ研究の井上でございます。大変貴重な、ほんとうに示唆に富んだお話をありがとうございました。

この場は工学アカデミーですので、工学者、あるいはそういう専門家の責任は何であろうかという問題提起であったわけですが、私は先ほどの石井先生のお話で、直前になってどうするかという話です。それは残念ながら予知できないと思うんですね。そのときに役に立つのは何かといったら、一人一人の方の危機に対する直感的な回避です。その部分の能力の衰退というのが非常に憂うべきことなんじゃないかと。その部分に関しても、何か工学アカデミーでちょっと別の方のご参加が要ると思うんですが、議論すべきではなからうか。それが一つです。

それからもう一つは、今度の中越地震で非常に感じますのは、神戸に比べて人的被害は非常に少ないにもかかわらず、物質的な損害というのは非常に多いですね。あれは言ってみれば、そこに住んでおられるということが宿命みたいなもので、助からないと。きょう拝見しました写真なんかでも、奥尻島の場合もそうでしたが、海面上は1メートル、2メートルぐらいのところなんて、みんなワイプアウトされてしまうわけです。それをどうするか。これはちょっとまた、予知の問題、警告の問題とは違う問題のような気がするんです。その回避するための人的な要素というか、それと今の被害が出た後というか、出ることを前提とした上でそれを最小化する方法、その辺についてはどんなお考えでしょうか。

大 矢 日本でも、いろいろな東南アジア全体の地震・津波対策のマルチディスプリナリーな研究をやっております。現地の方も含めて、国際研究をやっておりますが、津波に関しては海岸に津波防護林を作ることの効果が研究されています。

日本のような津波防潮堤は大きな建設資金を必要とするので実際的ではない、東南アジアに対しては無理だという判断で、海岸にヤシでも何でもいから、防潮林をつくらうというようなことを一つの結論にされているようです。

今度の津波で被害が出たタイのプーケットあたりでも、リゾート地だから、林をつくったほうが安全だという人がおられたそうですけれども、観光地開発に全部切ってしまった、それが被害を大きくしたというような反省があります。

それからもう一つ、この写真を提供してくれたテディー・ボーエンの話ですが、バンドアチェの海岸から被害が集中した約5kmの区間については、インドネシア政府が住宅地にしない、という政策を出したということです。テディーはそれに対して、500年間もうこの規模の津波は来ない、家の耐用年数はせいぜい50年か100年だから、このような政策は正しい判断とは思えないということです。地球科学者は津波に対して免疫になったようなものだという話を、500年間は大丈夫だと言えないのかという話がありました。これは武村さんに伺いたいのですが、もし具体的にインドネシア政府がバンドアチェの5キロ区間には家を建てさせないという法律をつくったら、それに対して黙っていればいいのか、未来永劫には言わないけれども、バンドアチェについてもっと科学的な都市計画をつくるべきだと言うべきなのか、いかがでしょうか。

武村 非常に難しい問題ですけれども、私は一つのポイントがあって、それは防潮堤もそうですが、人を低いところに住ませないということも、ほんとうに可能なんだろうかというのが問題です。500年間、もしそういう規制をしたところで、必ず人はそこに住むのではないかということがある。それからもう一つ、防潮堤についても、防潮堤というのはある意味では非常に苦痛なんです。つまりせっかく美しい海が見えるところを監獄にしているようなものなんです。

そういうことで、500年というのか、100年というのかわかりませんが、それに1回のものに対して、何でそんなに苦しみながら生活をしなければいけないのか。だから私はやっぱり地震対

策は、ふだんの豊かな生活を非常に大きく阻害するような政策はきつとうまくいかないという気がしています。

そういう意味では、やはり逃げるのが第一であって、さらに逃げやすくすることです。例えばそこで津波が来て、流れた分の家については、ちゃんと面倒を見てあげましょう。ないしは補助をきちっとやりましょうとか、それから逃げる先についてもきちんと確保しましょうとか、そういうほうがなじみやすいし、成功すると思います。だから、防潮堤をつくるとか、活断層の近くには家をつくらないとかいう話もいろいろありますが、もう少し日常の生活のしやすさみたいな観点から、防災対策というのは考えていくべきかなと思っています。

桜井 宏 もし地震の後の津波の被害を最小にとどめようとしたら、今度の地震で考えれば、スリランカやインドは十分な時間があつたわけですから、来るということを予測できていれば、地震のあつた後、十分処置ができた。ところを見ると、マダガスカルなんかは、まっすぐぶつかっているのに、どうも津波が来たという情報は何も入ってこない。日本の場合にもチリの地震のときにやはり相当の被害を受けて、その後、今度は西イリアン、ニューギニアの北で相当大きい地震があつたときには、来る来ると言ったけど、大したことなかった。

こういうように、地震があつたときに地形によって、津波の出る方向や出方というのは相当に違って、その詳細がわからないと、正確にはなかなか予測できないものなんでしょうか。それともある程度はここでこの程度の地震があつたら、この地域にこのくらい来るといえるのは、相当の確度で予測できるものなんでしょうか。地震発生後津波を、わずかなデータでどのくらいおのおの場所において予測できるものなんでしょうか。

大矢 私は津波の専門ではありませんので、よくわかりませんが、日本の例をとってお話ししますと、日本近海もサブダクションがありますので、結構大きな地震が起こる可能性があります。津波が起こる可能性もある。今、気象庁がやっている方法は、地震が起こって、地震の起こる場

所と規模を仮定して、シミュレーション計算をあらかじめしています。実際の地震が起こってから、その情報をもとにシミュレーションをやるのでは、今のスーパーコンピューターでやっても間に合わない。

そのために日本近海のいろいろな場所にいろいろな規模のいろいろな形の断層が起こって、津波が発生するというモデルでの計算を数十万ケースもやっておいて、その結果を一つのインベントリーとして持っています。ある地震が起こると、その地震に最も近いモデルを採用して、それで津波警報を出しているのが今の現状です。

ですから、日本でやっているのと同じようなことをインド洋にしてもどこにしても、やることは可能だと思います。例えば断層が南北方向の断層だったら、東西方向の津波が大きく出るよと。東西方向の断層が動いたんだったら、南北に大きな津波が来る。これは当たり前な話です。今度の場合は大体南北の断層ですから、東西方向に大きな被害が出て、バングラデシュみたいな北の方向に対しての影響があまりなかったというのがそれでわかるということです。

桜井 マダガスカルはどうして大丈夫だったんでしょう。

大矢 私はマダガスカルはよくわかりません。マダガスカルは結構距離がありますから、地形の影響その他がよほど悪くないと、大きな被害が出なかったのかもしれないとは思いますが、調べてみないとわかりません。

河田幸三 東大工学部の河田です。話がちょっとそれるかもしれませんが、先ほど司会者の石井先生がおっしゃった、神戸は地震はわかっていたとおっしゃった方がいたというんですね。何で予報しなかったんですか。それはかなり問題じゃないかと思うんです。

司会 大変に問題だと思いました。地震が起こると、おれはわかっていたという人がいっぱい出てくるのです。

河田 どれぐらいの規模で起こるかということがわかっていないのでは。それでは、わかっていたということはできないんじゃないですか。

司会 おそらく。私はもともと大矢さんと同じ

ようなアースサイエンティストですから、かなり地球とか自然に対する基本的な理解が違うと思います。それで、例えばテクノロジーの専門の方々と、地球自然に対する我々のコンセプトはかなり違うということが非常に私は気になっています。

例えば東京あるいは関東でも、これから関東の地震が起こるかもしれない。当然、この場所は安全、この場所は危ないというのがわかるわけです。活断層がどこにあるかというのはわかっている。それをつい最近まで発表させなかった。当然地震の強度がどこは丈夫で、どこが危ないというの、かなりわかっている。そういう調査、例えば地震波の速度とか、せん断波の速度とか、そういう分布を公表すると大変なことになる。要するに土地の価格が全く変わりますから。

河田 埋立地なんかたくさんあるんですか。

司会 あります。当たり前でした。ですから、そういう情報を国家機関が持っていますから、それを発表させないのは、むしろ市民のほうなんです。逆です。

河田 土建屋さんですか。

司会 いえ、一般の市民です。自分の土地がそういうことで値段に格差がつくというのを嫌うんです。私は自分の家・土地を購入する際に、整地・開発された土地を調べて岩盤を削ったところの土地を買いました。ところが同じ住宅地でも埋め土をしたところがあるんです。地山を削ったところと盛土した地盤では揺れが全く違うんです。それは当たり前でしょう。それを情報として行政がオープンにできないのが現状だと思います。一般の市民が調べればよいのです。

河田 また話が変わりますが、ほんとうの予知はできにくいから、何分何秒で起こるということは予知できない。それでは起こったら、新幹線をとめるとか、そういうことは大いにやっただいいのではないですか。

司会 今はかなり進んでいると思います。

大矢 リアルタイム地震情報利用協議会というNPOがあり、その副会長をしています。その事業は日本全国に防災科学技術研究所が設置した地震計や気象庁の地震計ネットを利用して、P波の到達直後3-4秒のうちに、その地震の位置と

規模を確定できる技術・システムが開発されたのを、防災に利活用することです。P波情報から地震緊急情報を流しますと、大きな揺れS波の到達する数秒、十数秒前に情報を伝えることができます。もちろんP波とS波との到達時間差が小さい直下型の地震では有効ではありませんが、少し距離のあるところで起こった地震だと、10秒とか15秒ぐらい大きな揺れが来る前に、地震の情報を得ることが出来る。その情報を利用して防災に役立てる応用システムを開発することです。

例えば、現状でも新幹線の場合、ユレダスというシステムで、揺れを検知したら直ちに電気の供給をとめることが実用化されて何年も経ちますが、もっと精度の良いリアルタイム地震情報を使うようにするというものです。新幹線だけが使っていたユレダス以上のシステムを一般の列車にも適用できるようにしよう、民営鉄道にもそのシステムを普及しようということが計画されています。

同じようなアプリケーションとしては、例えば高層ビルのエレベーターをほんとうに大きな揺れの来る前に最寄りの階にとめ、閉じ込めないようにしようという応用、あるいは最近では情報家電というのに大変関心が持たれておりまして、その情報を利用して、家庭のガスをとめる、電気をとめる、閉じ込めないようにドアの鍵を開けて逃げ道を確保するために半開きにさせる。そういうようなことに応用しようというリアルタイム地震情報の利活用が随分進み始めてきております。

河田 それは非常に評価できますね。

大矢 今、文部科学省のリーディングプロジェクトというプロジェクトの一つで、その問題を取り上げていただき、5年間の研究として進めています。中心は防災科学技術研究所と気象庁の共同研究になっています。

竹内良夫 竹内でございます。かねがね大矢さんが地球物理といいましょうか、理学系・物理系の知識を工学の方々にも、技術的にバックアップするという姿勢は大変高く私は尊敬しているわけなんです。

きょうも大変いろいろいいご示唆もいただいた

と思います。私はこの地震に関して、日本政府が地震サミットの中で、多分あの地域に対する予報の問題とか、それぞれについて援助の金を分けるとか、何かやろうとしているという気がするんですが、ほんとうのところ、さっきおっしゃったように、神戸の地震の1,000倍以上のエネルギーのあるようなスマトラ地震の後、直ちに対応すべき順序であるかどうかは、どうも違うのではないかと思います。もっと地球全体から見た対応があつてよいのではないか。例えば地中海なんか一体どうなっているとか、北極海の付近はどうだとか、太平洋の場合には相当進歩しているから、まあいいとしても、もっと具体性のある、セカンドというカードの部分、そういうところが検討されて良いのではと思うのです。

予報システムも大事ですけれども、先ほどおっしゃったような逃げるシステムだとか、そういうものを周知させるということのほうが実は大事なことじゃないか。そういうことも含めて、日本がリーダーシップをとった一つのサミットのようなもので研究するとすれば、そこら辺の主導権はむしろ全体的な視野でやるべきではないか。ただ、スタンドプレー的に援助費、あるいは皆さんから募集した金を配るということだけではいけない、と心配しているんですが。そういう点からいけば、むしろ工学アカデミーグループとして、正論を言ってもらいたい。それを日本側の代表者にも実行してもらいたいという感じがするんです。私の感想です。

もう一つは、「地震、雷、火事、親父」じゃないけれども、日本人は確かに地震の対応策というのはなかなかやらない。起きた災害に対する復興のときは非常に一生懸命やる。予測するということは水、台風、気候に対しては明治以来、あるいは江戸時代からずっとやってきたと思います。地震だとか火事に対しては、対応策というものはあまり考えていなかった。来たら仕方がない、急いで直そうというような気持ちは十分持っています。大地震の後はずぐ復興は考えるけれども、予防についての物の考え方をもう少し進めるべきではないかと、きょうのお話からも大変そういう気持ちを受けました。ぜひ……。

大 矢 大災害が起こると、どの先進国も応援する、国威をかけて応援するという動きが出てきます。だけど、大きな災害の起こる前に、今度のような災害は予測できないにしても、東南アジアにはまだまだ地震が起こって、ひどい災害、多くの人が亡くなる可能性があります。地震災害が起こる前に啓蒙活動にしても、耐震補強の方法にしても支援してくれたら、もっと安いお金でもっといいことができるに違いないということを、よく言われるんですけども、そういうお金は大変にくいですね。

今度の津波の問題については来週から JICA が中心になって、津波被災を受けた11カ国の気象庁関係の人が日本に集まって、どういう支援ができるかということをして2週間ワークショップを開くことになっています。実効のある会議になってほしいと思っています。

竹 内 JICA の何となく弱い点について言えば、もう少し正論を言いながら、お金もうまく使ってほしいなという気がします。

司 会 ちょっと今のご意見に関連して、自然とか地球、地球規模問題、環境問題も含めていろいろあるわけですね。自然科学、自然についてのいろいろな理解が、工学系、技術系の間でうまく交流されていないと思います。あるいは一緒に考えるということ、非常に環境問題も何かものすごくラディカルに旨く行くんですね。例えば、「デイ・アフター・トゥモロー」なんていう映画が出ますと、隣近所の奥さん方は、50年たったら水がついちゃうとか、ああいう話にすぐなるんです。アース・サイエンスをずっとやってきている人間は、実際に地球は変動の歴史というのが我々の常識ですから、変わるの当たり前と思っているんです。ところが一般の人たちは、変わらないのが当たり前と思っていますから、そこに根本的な違いがあるんです。例えば地球温暖化にしても膨大な、これからいろいろなことをやらなきゃならない。しかし、おそらく地球はある程度温暖化していくだろうと思うんです。そのときにどのようにサバイバル、あるいはどのように考えるか。

私は二、三カ月前に北大の人たちとフランクな話をする機会がありました。北大は北海道じゃな

いの。北海道は日本列島で一番寒いところでしょうと。地球温暖化になったときに、仮に1度か2度高くなったときに、今の環境と変わるよと。それを絶対地球温暖化しちゃいけないとなったときに、北海道が、あるいは北ユーラシアがどのようにやるのが一番効率的に望ましいかという視点の研究というのが北大から出てもいいではないですか。おそらく、今、温暖化するのはけしからんといっていたって温暖化するでしょうと。実際に炭酸ガスは増えているわけですから、そのときにけしからん、けしからんと言ったって、何の解決もしていないということで、日本列島で一番寒いところはどうするんですかという視点の学問があってもいいではないか。さっきの地震の話で、言てはいけないいろいろなタブーが出てくるんです。

ですから、自然環境が変わったときに、どのように対応するのが最もエフェクティブであるか、そのような技術があってもいいでしょうという話をすると、実はそれは言っちゃいけないタブーなんですね。温暖化に関しても、いろいろ意見を言うのですが、私は環境庁にいたから、私が言うと、人はあまり文句を言わない、「また元所長は余計なことを言っているな」で済んじゃうんですけども、ほかの人には鉄砲弾が飛んでくるわけです。

ですから、今のような格好で、例えばそういう視点から見ますと、地球について、自然について、自然科学で知らされていないことがいっぱいあるのです。例えばオゾンホールは毎年なくなっていることを多くの方がご存じない。オゾンホールは毎年なくなっているんです。それからグリーンランドの氷は真ん中では毎年厚くなっているんです。ところがどんどん解けているという話だけが出るわけです。グリーンランドの氷がむしろ厚くなっていくのは当たり前なのです。子供でもわかる話。地球がとにもかくにも温暖化していますから、水の蒸発量が増えているわけです。そうしますと、平均気温がマイナスのところでは水で落ちないで雪で落ちるのです。だから厚くなるのです。この話は子供もわかるのです。ところが大人がむしろわからない。グリーンランドの氷全部が薄くなっていると思っています。

そこから先がサイエンスとテクノロジーの日本

の国家の使い方が非常に外国と違うんです。NASAのゴダード・スペース・フライ・センターの人間は、じゃ、それをはかってみようと行動しました。人工衛星を飛ばしているんです。電波のエコーで測定しました。それで、実際に『サイエンス』か『ネイチャー』に載るような論文を書いたのです。年間に23cmほど厚くなっているという結果を出したんです。当たり前なのが起きたのです。私はそれがサイエンスだと思います。

工学系、技術系の人たちは自分が信じたいことを信じて、それでもって技術体系をつくらうという傾向が強い。ですから、自然科学系がもうちょっと勇気を持っていろいろなことを言えればいいんですけど、そんなことを言っちゃうと予算がつかなくなるから絶対言わないという、そういう答えが返ってきます。

地球の上に我々は住んでいますから、自然科学と工学の間の接点に、非常に重要な科学技術を発展させる要素があると思っています。

河村壮一 当アカデミーの広報委員会の委員をやっております大成建設の河村でございます。

今回の地震は確かに津波の被害があまりにも甚大だったために、津波に焦点が当たる。これは当然のことかと思うのですが、その一方で、どうも情報が不足しているなと思いますのは、地面がどのくらい揺れたのかという、いわゆる地震動に関する情報がほとんどないのではと思っています。

先般のNHKの特集でしたか、紙で記録している地震計がありましたが、その紙が破れてしまって記録がとれていないという紹介がありました。ところがこれだけ広い領域に影響を与えたマグニチュード9の地震に関して、日本でしたら、先ほどもご紹介があったような、たくさんの強震観測点があって、記録がとれる。地震記録に関して全く情報がないなという感じを受けています。やはり今後いろいろな対策を考えていく上で、地震記録は極めて大事な情報じゃないかと思っています。大矢さんのほうで何か情報がございましたら、ぜひ教えていただきたいと思います。

実はご存じのとおり、一昨年十勝沖地震というのがございました。あれで、長周期地震動、極めて周期の長い地震動に対して、例えば石油タンク

がどうかとか、あるいは今、いっぱい建っております高層ビルがどうかとか、それは極めて日本の中で現実的な大問題なわけですが、そういったことに関してすら情報がありません。

先般、私はシンガポールに行きまして、揺れはどうだったと聞いたら、「いや、たいしたことはなかったよ」と言うんです。確かに距離はかなり離れているにしても、今回、その辺がどうだったのか、ちょっとお伺いできればと思います。

大矢 シンガポールとかマレーシアでも、WSSIでいろいろなセミナーなどやりまして、クアラルンプールとかシンガポールで一番心配なのは、スマトラ沖の巨大地震M9クラスが起こった場合に高層ビルがどう挙動するかが常に話題になっております。長周期の波が出た場合に、壊れることはないにしても、相当揺れるのではないかと、パニックになるんじゃないかということが問題になっておりました。今度のスマトラ地震の後で、シンガポール、ナンヤン工科大学にいる私の友人のパン教授にも確かめましたが、お話にありましたように、ほとんど問題はなかったようです。

これは彼らが予想していたスマトラ沖の地震よりは震源がかなり北に移っておりましたので、距離が予想していた地震よりはるかに遠いことによるのではないかと思います。

どんな地震記録がとれたかというのは、私はまだ地震の波形記録を集めておりません。今集めているところでよくわからないのですが、少なくとも現地に行って調べた範囲では、地震の揺れによって壊れた建物はかなりあるのですが、主として手抜き工事の建物とか耐震設計をしていない建物が被害を受けているという報告です。しっかりした政府の建物などは被害がないということです。バンダアチエでの震度は、日本の震度階で言うと5+程度であったようです。

ですから、なぜマグニチュード9の地震で、構造物被害が少なかったのか、確かに地震記録を集めて検討する必要があります。地震規模が大きく短周期成分が少ないということもあるいはあるのかもしれない。

河村 ありがとうございます。

安富重文 鹿島の安富と申します。

私自身が3月10日までに文部科学省の提案で、研究資源の有効活用に関する調査ということをやっています。この津波とか地震の問題について、資源協会が受けてやっております、3月10日が期限で、ほとんどまとめてしまっているんですが、きょう、大矢先生のお話を伺って、大体これでいいかなというような感じでおります。

先ほど質問されました、鹿島の武村さんとも、いろいろ話しましたが、彼の書いた『関東大震災』という本が建築学会から出されています。大変興味を持っていろいろな人にその本を差し上げたりしていたんですが、石井先生のお話の中で、地盤の性状が問題であることに触れておられましたが、関東大震災の被害と地盤の関係についてかなり彼の著書に載っています。永田町はかたいけれども、溜池とか赤坂は緩いとか。

きょうのお話を伺って、やはりいろいろなことをやらなければいけないけれども、発災初期時の対応は日ごろのトレーニングとか、子供のときからの教科書での教育とか、非常に重要だと思いますので、それは最後か最初に、ぜひ私どもの提案に入れさせていただきたいと思います。

司会 何となく落ちが出たようですが、あと一つぐらい短いご質問ならばと思います。

杉田 清 新日鐵にいた杉田といいます。先生がご指摘になった縦割りの問題がたくさんあると思いますが、この会議でいつも終わりに出てくるのが科学者、技術者の社会的責任の議論なんです。私は一つ思いますのは、縦割りも大変だけれども、横割りもものすごい、知る人ぞ知るで、言い方は悪いですけど、一般大衆の人との乖離がますます開いている。皆さん、勉強しなさいじゃ、これは進まなくなっている。この知る人ぞ知るじゃなくて、みんながある程度、基本的なことを理解するには、やはり専門家がおりていかないといけないんじゃないかという感じがしています。

以上、感想です。

司会 ありがとうございます。そういう意味で一例ですが、はじめにご紹介いたしましたよう

に書店に並ぶ本を出して一般の人に啓蒙することは良いのではと思っています。アカデミーのサポートもあって1,000円です。結構売れているようです。そういう意味で、今までと、情報の発信の仕方を変えて、専門の先生方がグループの中だけでやるのではなく、双方向で考えていく、これからのテーマなのかもしれません。

ということで、時間が参りましたので、これで終わらせていただきたいと思います。

大矢さん、ありがとうございました。(拍手)

大矢 一つだけちょっと追加意見で申し上げますと、今度の津波の関係では、先ほども一部ご紹介しましたが、衛星画像が大変に多く紹介されました。それが随分役に立っています。地震が起こってから、すぐにこういう画像が出てくるのは大変に素晴らしいことだけれども、地震の起こる前に衛星画像を活用して大きな地殻変動がもっと解析されないものか、被害範囲の予測などができないものかと考えさせられました。世界にはそういう技術がもう既にあるんです。例えば合成開口レーダーの画像を使いますと、同じ場所で過去に何十枚か得られた画像を処理することで、年間ミリ単位以下の変動でも出せるような技術があります。

そういう技術を使って日本列島全体の動きをかなり細かい目で見るようなことが実際には可能なのに、そういったものが全国でまだできていない。そういうものが、僕は地震が起こってから、被害が起こってから、いろいろなものが出てくるのも大いに結構だけれども、起こる前に総合的な科学技術をまとめたものがもっとできていいのでは、と思います。津波が発生した直後に佐竹さんは津波シミュレーションをされ、世界中で評価されました。地震が起こる前に、このようなシミュレーションができ、アニメでインド洋周辺の人たちに啓蒙・教育できていたらと思います。

そういう形で工学アカデミーで提案をしていただくといいいのではないかなと思っております。

きょうは大変ありがとうございました。(拍手)

用語解説 (サブダクションと和達-ベニオフゾーン)

1970年代以後発展したプレートテクトニクスは、地球表面で起きている地質現象に首尾一貫したモデルを与えると同時にその形成過程にも統一した解釈を与える理論となった。この理論によれば、地球表面は7枚の大きなプレートと付随する小さなプレートから構成される。プレート同士が相互に作用する様式は僅か3通りしかない。

- 発散型境界 (divergent boundary)
- 収斂型境界 (convergent boundary)
- トランスフォーム型境界 (transform boundary)

図1は世界のプレートの分布を示す。

発散型境界部はプレートが生まれているところ。収斂型境界部は2つのプレートがぶつかり合うところで一般に地殻が破壊される様相を示すが、収斂型には激しくぶつかりあい山地を作る衝突型と、一方のプレートが他の弧状列島や大陸を載せたプレートの下に潜り込む潜り込み(サブダクション)型とがある。日本、南米、スマトラ-ミャンマーなどは典型的なサブダクション境界であり、潜り込みの深さが150km程度に達すると火山が生まれる。

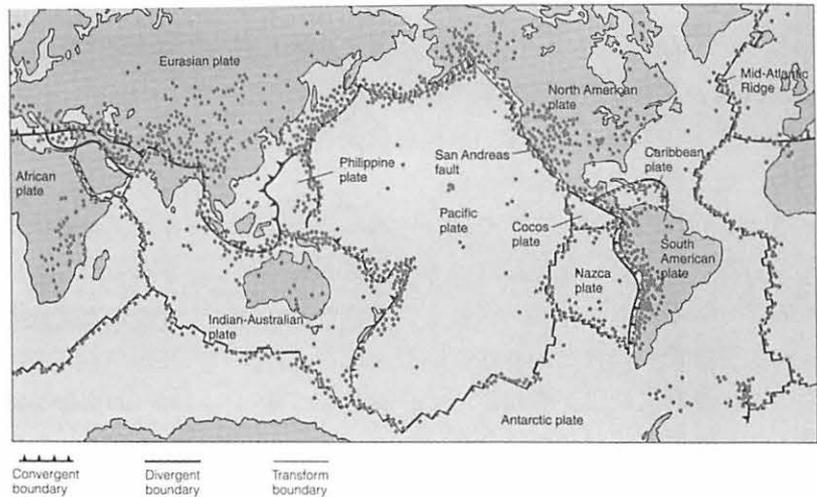


図1 地球上の主なプレートの分布。ドットは地震の震源を示す。殆どの地震はプレートの境界部で起きている。

サブダクションの構造を模式的に示したものが図2である。図では左の大陸または島弧のプレートの下に海洋プレートが潜り込む。潜り込む境界面には地震が発生するので、内陸ほど深い地震が起こる。地震の分布を調べて規則的に海溝から離れるほど深い地震が起こることを発見した和達、ベニオフの研究から地震の起こる面が傾斜しているゾーンを和達・ベニオフゾーンと呼ぶ。和達・ベニオフの地震構造の研究はプレートテクトニクス理論の生まれる前の研究で和達清夫により1927年に発見され、また

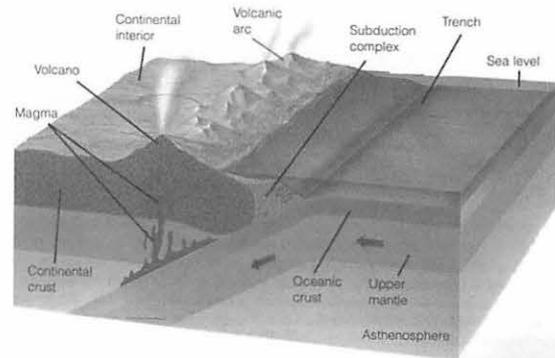


図2 サブダクション境界の模式構造図

Hugo Benioffは世界中の分布を研究した。プレートテクトニクスの発展の過程で和達・ベニオフの研究はサブダクション境界の重要な証拠として評価された。和達の研究は日本を対象にした研究ではあったが先駆的であったことから、世界に研究を広げたベニオフとともに Wadachi-Benioff Zone と呼ばれている。震源が200-500km まで深い深度に及ぶのはサブダクション境界のみの特徴である。

以上

参考資料

TIMEの1月10日号は津波特集号として編集された。これに寄稿した Kerry Sieh カリフォルニア工科大学教授は長くスマトラ島の活断層や過去の大地震履歴などについて研究を進めてこられた。今回のスマトラ地震は彼が長い間研究調査した場所のごく近くで起こった地震である。研究の結果をもとに将来の大災害に備えるための教育や啓蒙活動を去年から始めておられたが、彼自身も十分な活動が出来て、人命を救うことが出来たかどうかについては内心忸怩たるものがあるに違いない。そんな思いを込めて Kerry は TIME に 標題 How Science Can Save Lives-We know plenty about earthquakes, but we don't always apply the knowledge の寄稿をした。以下に全訳・紹介する。 大矢 暁

如何に科学は人の命を救うことが出来るのか

今われわれは地震について大変多くの知識をもっているが、その知識を応用してこなかった

Kerry Sieh

過去10年間私と私のインドネシアの仲間はスマトラの大地震について研究を続けた。私たちは昨年までに多くのことを学び、巨大地震断層がもっとも起こりそうな地域の島の人たちにその脅威について教えることを始めた。近いうちに私はその人たちに会いに行く予定であるが、それまでわれわれの努力がどれだけの人の命を救うことが出来たか知ることが出来ない。

アチェやベンガル湾周辺の住民に役に立つ警告として、われわれが知り得た知識を普及啓蒙してこなかったことは、悲しいことであるが、驚くことではないのである。われわれ地球科学者は少しずつ地震の研究をし、知識を増して来た。われわれが得た知識を使って、自然がもたらす災害にどう対処すべきかを社会に普及啓蒙する任務を科学者が持っているのは間違いないことである。50年前、われわれは地震がプレートの運動で起こるものと言うことを知らなかった。30年前、どのような頻度で巨大な断層が活動し破壊的な地震を起こすと言うことを知らなかった。20年前、歴史的に活動度の低い断層が突然活動して大地震を起こすと言う、今回のスマトラ地震のようなことが起こり得る、と言うことを知らなかった。15年前、津波ワーニングシステムを作り出せる技術・科学があることを知らなかった。このように、科学の歩みはゆっくりしたものであるが、確実に地震や津波に対する知識は進んだ。しかしながら、このような知識が人々の福祉・繁栄に役立つように応用されてきたかという、そうではない。地震災害の低減はなかなか進んでいない。その理由の一つは科学的発見がなかなか進まないことである。しかし、これは政府が、そして文化が、われわれを取り巻く環境をより早く理解するために、若い研究者を奨励して新発見に努力するようにすれば加速されるに違いない。

トーマス・クーンの言葉を借りるならば、人々の常識を再教育することにわれわれがやってきたことはまことに粗末（プア・ジョブ）である。スリランカの人たちは大波が彼女の家族を呑み込み、彼女の世界を未来永劫に変えてしまったことに対して、どんな夢を持てるというのだろうか。われわれ科学者は、人々に「巨大な地質学的プロセスがあなたを襲うことを心配なさい。それは明日来るかもしれないし、200年後に来るかもしれないのだが」ということを納得させることが出来ないでいる。毎日の

仕事に追われている、場合によっては職探しをしている人たちに対して、何百年に一度来る可能性のあるというような大災害に心配しろ、備えをしろと言うことは、如何に言葉巧みに話したとしても、簡単に納得してもらえないことではない。貧しい国では、その日暮らしをしている人たちが多い。彼らに遠い将来のことを考えようと話しても、そんなことに思いを及ぼす時間を持たないのである。

去年の7月・8月、スマトラの巨大地震断層の上に位置する島の人たちはわれわれが準備した破壊的な地震と津波がやってくる可能性のあることを示したポスターやパンフレットを見てびっくりした。住民の誰もこのことを知らなかった。しかし、彼らはこのようなことが1797年、1833年そして1861年に実際に起こったのだと話したら、よく聞いてくれた。私はこの島を再度訪れた時に、たとえ家やインフラストラクチャーは被害を受けていたとしても、われわれの話聞いてくれた人たちが生き残っていることを期待している。津波が来た時にわれわれの友人は私たちのアドバイスを思い出して高台に逃げてくれたものと期待している。

さて、スマトラ地震が起こった今、私や私の仲間は何をすればよいのか。12月26日に破壊した断層が如何に周辺に及んでいくかを、未だ完成したとはいえない機器ネットワークを拡充して調べるべきなのだろうか。今後20-30年かけてこの地盤の傷の癒えていく様子を観察すべきなのか。次の巨大地震・津波の予知が出来るようなことを研究すべきなのだろうか。予測が出来るかどうかは別として早期ワーニングシステムを立ち上げるべきなのだろうか。もし、われわれが19世紀に起こったスマトラ大地震の後、このようなワーニングシステムを設置できたと仮定して考えると、その後100年-200年の静穏期があったわけであり、そのような長い期間、辛抱強くシステムを維持することができたであろうかと思えないわけに行かない。

過去に起こったことをベースに、長期の良く検討されたビジョンを持つことによって将来の人類の被害を防止することが出来るに違いない。疑いなく過去起こった多くの災害に対して、真剣に対策を考えず、長期戦略を立てずに、あきらめたり、軽く見過してきた。1994年のノースリッジ地震の後、カリフォルニア工科大学で記者会見をした際、リポーターが私に“この地域に未だ調べられていない活断層がいくらあるのか？”と出し抜けて話してきたことがあった。もし、アチェやベンガル湾周辺で今回被害を受けた場所に、これまでアメリカや日本でやられてきたように資金的、学術的資源を投入して基礎的な調査をし、観測ネットなどを整備してきたとすれば、世界中の災害を最小にする道を、例えそれが長い道のりであったとしても、歩むことが出来たに違いない。

次の千年間に人類はこれまでと違った実行行為をすることが出来るかどうかの一つのテストを受けているようなものである。われわれは将来に対して責任を持つために必要な、洞察力のある持続性を整備できるであろうか。あるいは、これまで殆どの場合に繰り返してきたのと同じように、災害や惨事が起こるたびにとりあえずの個別的な対応をしていくことになるのであろうか。もし答が後者であるとするれば、スマトラ地震で見られたような惨状がこれからも続くに違いない。

以上

後記

この談話会サロンが持たれたのは、3月4日であった。談話サロンの速記録をもとに、この資料がまとまったのが5月半ばであり、2ヶ月以上が経過してしまっただ。この2ヶ月の間に、スマトラ島沖スダ海溝に沿う500kmにも及ぶ範囲で連続的に大きな地震が起きた。(次ページの図参照)

昨年12月26日のスマトラ・アンダマン諸島巨大地震を引き金にして「大地動乱」の時代に入ったかの感がある。とくに、3月28日に起こった地震は、M:8.7という巨大地震で、震源から100km程度の距離にあるニアス島、シメウルエ島に甚大な被害をもたらした。

談話サロンで話をした頃、文中で紹介したカルテックのケリー・シー教授はスマトラ各地とくにニアス島、シメウルエ島を訪問されていた。私は震源に近い二つの島の津波被害はどうであったか、地震の強震動による建造物の被害はどうであったかなどいろいろと質問をした。

ケリーは大変なことになっていると想像して島に渡ったのだが予想に反して、被害が僅少であったことに不思議な気持ちが出た、というのである。津波は殆ど被害を出すほどのものでなかった、と報告してくれた。1m程度の津波は襲ったようであるがスマトラ本島のパンダアチェやムラボーなどで見られたような潰滅的な被害は全く無かったとのことである。私は拍子抜けした感じであったがケリーもラッキーだったと喜んでた。

津波被害は免れたが、とくに震源に近いシメウルエ島では、さぞ大きな揺れで壊れた建造物が多かったのではと聞くと、これも殆ど被害が無い、主要建造物では0.1%も被害を受けていない、というのである。ケリーも驚くことに、という形容詞をつけて答えてくれたように、彼の予想を遥かに下回る被害であった。

ところが談話サロンのしばらく後、3月28日に

M:8.6という大地震がニアス島とシメウルエ島の間海域で発生した。昨年12月のM:9巨大地震の震源や余震域、3月28日の震源と余震分布を右ページの図に示した。大部分の余震はシメウルエ島、ニアス島付近に集中し幅100km、延長300kmほどの余震域(ラブチャー域)が形成された。この地震による二つの島の建造物被害は前回の地震とは比べようのない酷さである。シメウルエ島の人口は8万人弱、ニアス島の人口は10万を超えているが、ニアス島では少なくとも1000人の人が亡くなり、300人が怪我をし、300のビルが損壊した。シメウルエ島では100名が死亡し、多くの建物が損壊した。スマトラ本島のケブラウアン・バンヤクでは200名が死亡、前の地震で津波被害を受けたムラボーでも3名が死亡、40人が傷害を受けた。シメウルエ島に襲った3mの津波は港湾や空港に被害を与えた。ニアス島では2mの津波、ムラボーでも1mの津波が観測された。シメウルエ島では1mの隆起が観測されている。

このような大規模な地震が、昨年の巨大地震のすぐとなりで起こることを地球科学者は予想できたであろうか。再び私は殆どの地球科学者がこの規模の地震が隣接した場所で起こることを予想できなかったのではないかと思う。

2月に私が次の大地震はミャンマーで起こる可能性が高いと指摘したのに対して、ケリーは賛成しながらも、スマトラ南東部海域で巨大地震の起こる可能性があるという意見を述べておられた。しかし、ケリーの予想したのはもっと南東側で、これほど近い場所での地震を予想していたわけではない。地震の予知は科学者の洞察の範囲を超えた自然の営みと言わざるをえないように感ずる。

これを解決するには、GPSなどによる精度の高い測地観測がもっと多点で実施されるようになることが必要であろう。精度の高い測地結果から、

経時的なそして三次元的な地殻変状が把握できるようになれば、地質構造の調査研究とあわせてより信頼できる予測が可能になると思われる。

3月28日の大地震の後も、二つの大きな地震がおきた。一つは4月10日にシベルト島の近くで起きた地震で、M:6.7という規模である。近くの島までの距離が20-30kmあることから、この規模の地震では大きな被害は無かったと推測される。

また、この印刷ゲラの初稿を見ていた5月14日にM:6.9の規模の地震がニアス島の近くで発生した。この地震の被害はまだ報告されていないが、ニアス島は3月28日に北側で大きな地震が起これ、5月には南側で大きな地震がおきたことになる。

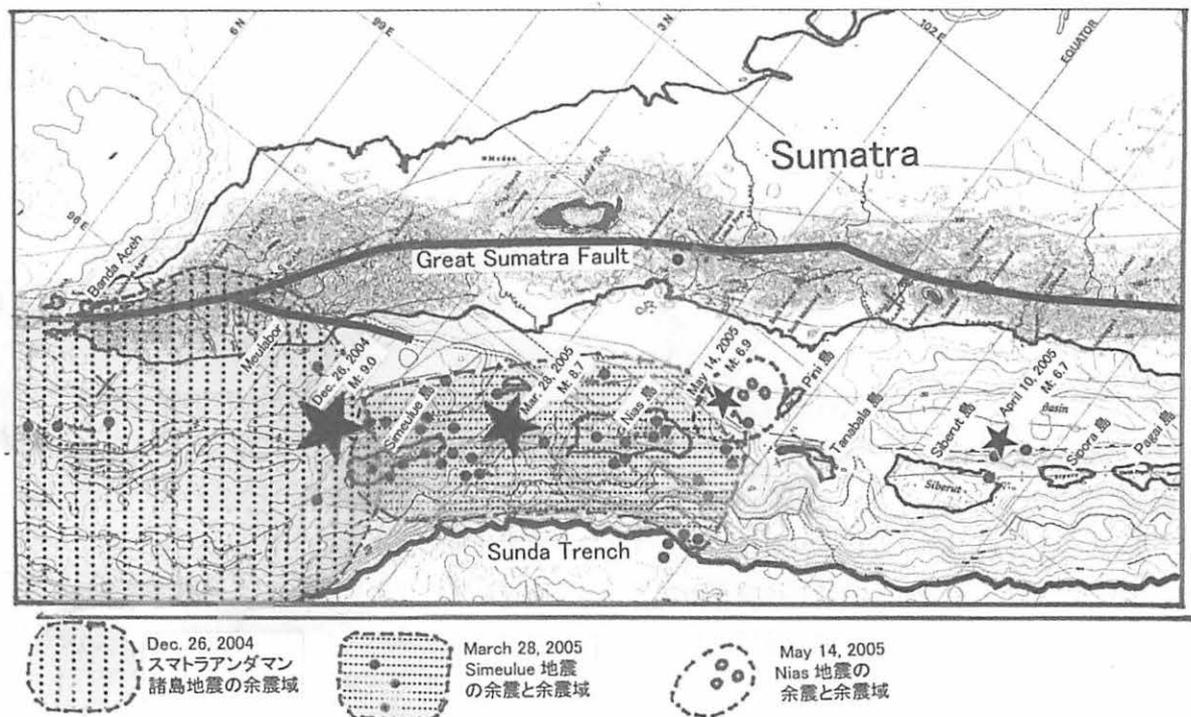
スンダ海溝に沿って数ヶ月の間に継続的に起

こった地震は、昨年(2004年)の巨大地震の余震なのだろうか。私は余震の定義からは外れていると考えるが、同じ地質構造帯に起きた地震であり、連鎖地震と呼ぶのが良いと考える。昨年12月26日の地震の規模があまりにも大きかったために、その後の周辺の地殻内の応力やひずみの再配置が連鎖的に進む過程で起こった地震であると考えられる。

日本でいえば、東海地震、東南海地震、南海地震のどれか一つが起これると、連鎖的に次々と巨大地震が起こる可能性があることが指摘されているが、その教訓になるような事例と考える。改めて、南海トラフに沿って起こる地震が心配である。

この報告をまとめる過程で、工学アカデミーの志満宣子さんに大変お世話になった。記して謝意を表する次第である。

(平成17年5月18日 大矢 暁)



ソース: 1. 海底地形を含む地図、地質構造は Kerry Sieh: Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia Journal of Geophysical Research, Vol. 105, No. B12 Dec. 10, 2000 による。
2. 地震位置については USGS による。

2005年 5 月30日

編集発行

(社)日本工学アカデミー

〒108-0014 東京都港区芝 5 - 26 - 20
建築会館 4 F

Tel : 03-5442-0481

Fax : 03-5442-0485

E-mail : academy@ej.or.jp

URL : <http://www.ej.or.jp/>