

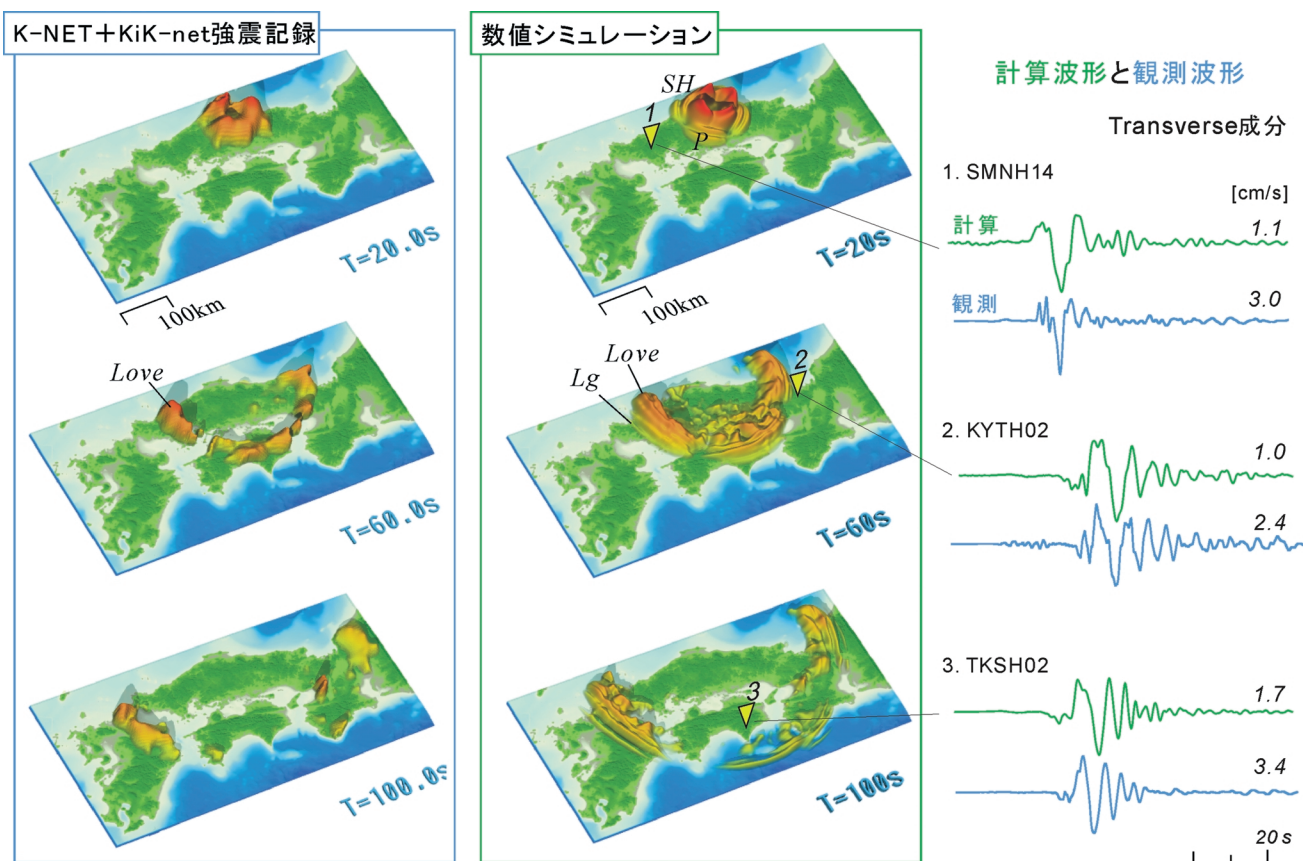


図4 (本文p. 6) 3次元強震動シミュレーションから求められた波動伝播のスナップショット（水平地動速度）とK-NET, KiK-net強震観測記録から合成した波動伝播との比較．図右に3つのKiK-net (SMNH14, KYTH02, TKSH02) 観測点での観測波形と計算波形を比較する．

## 目次

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 東海地方の最近の地殻活動について .....                  | 2  |
| 2000年鳥取県西部地震の強震動と数値シミュレーション .....       | 5  |
| 「衛星重力観測と地上重力観測」報告 .....                 | 8  |
| 平成13年度地震研究所公開講義 (2) 「三宅島で何が起きたのか」 ..... | 10 |

# 東海地方の最近の地殻活動について

地震予知研究推進センター 加藤照之

2001年は東海地方に異常な地殻活動が観測され、東海が注目された1年となりました。本稿執筆時点（2001年12月）においてはこの活動は次第に終息の傾向を見せているように思いますが、活動は2002年に続くと思われます。この活動について簡単に説明します。

## 1. 東海地方のGPSデータ

2001年7月に開催された地震予知連絡会強化地域部会（部会長島崎邦彦東大地震研教授）及び地震防災対策強化地域判定会（会長溝上恵東大名誉教授）において、東海地方で今年の春頃より通常とは異なる傾向の地殻変動が進行しつつあることが国土地理院より報告されました。

国土地理院はGPS全国観測網（GEONET）に基づいて日本列島の地殻変動を観測しています。図1は東海地方の最近3年間の平均的な地殻変動速度ベクトルを示していますが、この地域の太平洋岸は、通常は沈み込むフィリピン海プレートや太平洋プレートの影響を受けて西北西方向に押されるような動きを示します。これはフィリピン海プレートが陸側

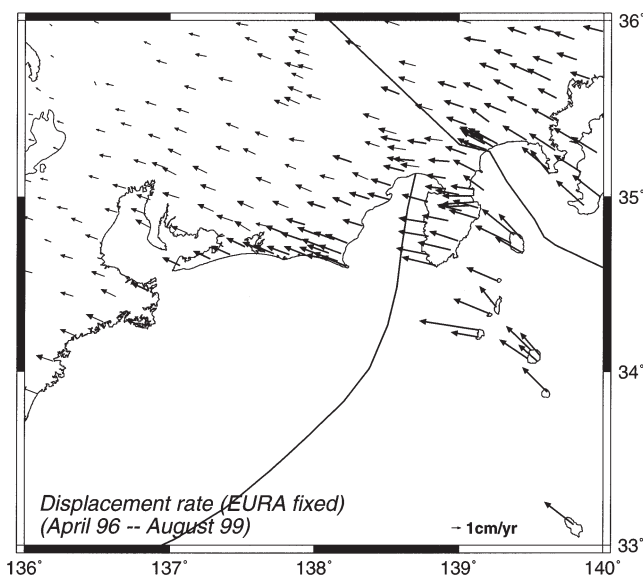


図1 1996年から3年間のGPS観測に基づく東海地方の地殻変動速度ベクトル。

のプレートに固着して陸側プレートを引きずり込んでいるためだと考えられています。

プレートの運動は定常的なので、GPS観測点の位置は時間とともにほぼ直線的に動いていきます。必ずしも原因は明らかではありませんが季節変化も見られることがあります。そこで、観測点位置の時間変化のデータから直線的な変化と季節変化の成分を取り除くと、普段の動きからのずれ、すなわち特異な変動を抽出することができます。図2に示したのは浜名湖のすぐ北にある浜北観測点のGPSデータに前述のような処理を施した位置の時間変化のグラフです。1997年から2000年のはじめ頃までは変

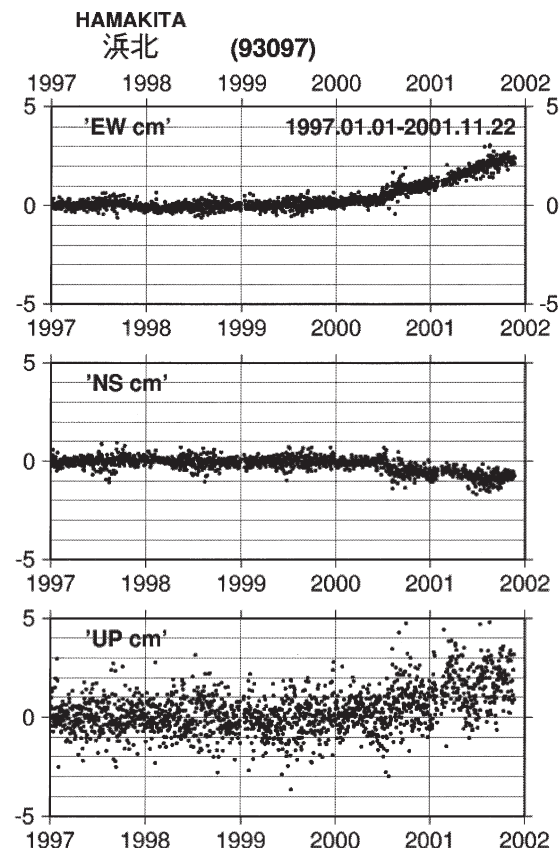


図2 「浜北」におけるGPS観測点の位置の時間変化。（上）東西成分，（中）南北成分，（下）上下成分。縦軸の単位はcm，横軸は年。（国土地理院ホームページより）

化がありません、すなわち定常的な動きをしています。2000年6月頃から急に東西成分に東向き、南北成分に南向きの変化すなわち南東方向への動きが現れています。これは三宅島噴火や神津島・新島近海の群発地震活動に伴う地殻変動によるものだと考えられます。2000年終わり頃にかけてこの動きは次第に沈静化していきます。ところが、今年の3月頃から再び南東方向への動きが始まっています。上下成分は精度が悪いのですが、隆起の傾向を示しています。

今回の特異な変化は浜北観測点だけでなく、東海地方を含む広い地域にわたってみられることがわかってきました。図3は3月26日から11月22日までの地殻変動ベクトル図です。永年的な直線変化分を差し引いていることに注意しなくてはいいませんが、3月から11月に至るまで、東海地方を含む広い地域が2cmくらい東～東南東方向に動いたことがわかります。誤差の原因が完全に取り除かれているかどうかよく検討する必要がありますが、東海地方のベクトルは他の地域に比べてかなり大きい変位量を示していますから、ほぼ間違いなく地殻変動を示しているといつてよいでしょう。

ところで、図3を見ると東海地方では約100kmの距離で変動量が1cmくらい変化しているのが見取れます。これをひずみに直すと $10^{-7}$ となります。これはひずみ計や傾斜計でもとらえられる量です。東海地域には気象庁による体積ひずみ計や防災科技

研の傾斜計など多くのひずみ計・傾斜計が設置されています。今のところこれらの計測器にはGPSに匹敵する変化はこれまでのところ報告されていません。ちょっと不思議に思いますが、量的に大きくてもそれがゆっくり進行する時には、ひずみ・傾斜の記録には途中で雨の影響などが入ったりしてシグナルが見えなくなっている可能性があります。GPSとひずみ・傾斜記録が互いに整合的であるかどうか、両者が地下で発生している物理現象を正しく反映しているかどうか、今後の詳細な検討が必要でしょう。

## 2. GPSデータで見えているものは何か？

最近の研究では、地震の発生直前には震源近傍で固着面が少しはがれてゆっくりとすべりが進行する可能性が指摘されています。この考えが正しいとすると、地震直前の「ゆっくりすべり」をつかまえられるかどうか、が東海地震の短期・直前予知の成功の鍵を握っています。一方、プレートの境界面が地震を起こさずにゆっくりすべる現象もGPS観測でとらえられるようになってきました。例えば豊後水道では1997年頃、約1年間に地表の変位で数cm、プレート境界面上のすべりになおして数十cmに達する「ゆっくりすべり」が観測されています。今東海地方でGPSデータに見られるいつもとは逆向きの動きは、東海地方直下のプレート境界面で「ゆっくりすべり」が起こっているらしい、ということを示唆しています。国土地理院による見積もりでは、浜名湖の直下を中心とする直径100kmくらいの領域がすべっていて、その量として昨年から1年間で最大約4cmのすべりが発生したことが示唆されています。これは、地震のモーメントマグニチュードに換算するとほぼMw6.7くらいの地震に相当します。最近のデータでは少し地殻変動速度が小さくなる傾向を示していますから、今後この「ゆっくりすべり」は減速して停止する可能性が大きいのではないかと考えられます。

## 3. その他の地殻活動

東海地方やその周辺では、昨年から今年にかけていろいろな活動がありました。昨年6月末に始まった三宅島、伊豆諸島における活動を端緒として、11月頃から今年にかけては富士山直下で多数の低周波地震が発生し、火山活動の兆候を示しました。東海直下のゆっくりすべりの開始時期がこの富士山の活動の開始時期と符合するのは興味深いところです。

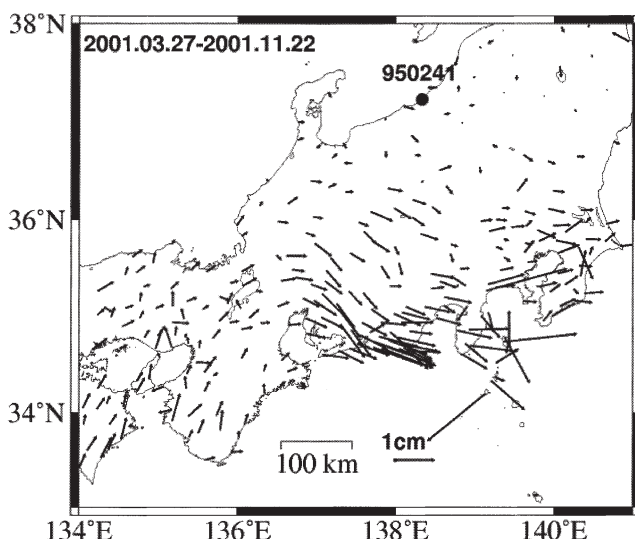


図3 定常的な変位と季節変化を除いた中部日本の水平地殻変動ベクトル。期間は2001年3月27日—2001年11月22日。(国土地理院ホームページより)

また、今年の4月3日には静岡市で震度5強を記録したM5.1の地震が静岡県中部で発生しました。この地震の余震は順調に終息するかに見えたが5月30日から6月はじめにかけてこの地震の余震域でM3～4クラスの地震が数回発生しました。また、7月28日には大井川河口付近の深さ約20kmのところでM3.1の地震がありました。GPSデータに見られる地殻変動がこれらの地震活動とどう連携しているのかはわかっていません。

#### 4. 来るべき東海地震との関係

今回の「ゆっくりすべり」が豊後水道の時と同様にそのまま地震を起こさずに止まってしまうのか、今後加速して東海地震の発生に至るのか、が一番の関心時です。すでに1年以上この「ゆっくりすべり」が継続していること、そして最近ではやや減速の傾向があることなどを考えると、今後加速する可能性は低いようにも思えます。しかし、今後「何か」をきっかけにすべりが加速して地震を引き起こす可能性が全くないとは言えません。より微細でかつ急速な変動を知るためにはひずみ計や傾斜計の記録を注意深く見る必要があります。

ところで今年、中央防災会議では東海地震の想定震源域の見直しを行い、新たな想定震源域を設定しました(図4)。この案では、以前の案と比べ静岡県西部までをも含む地域が想定震源域に入っています。これは1944年の東南海地震の未破壊領域を考

慮した結果です(例えばサイスマ2001年8月号参照)。GPSが示唆するプレート境界面でのスリップは、おもにこの新たに加わった想定震源域の部分で発生しているように思われます。このことをどう考えたら良いのか、今後様々な科学的議論がたたかわされることが期待されます。

なお、ここで示したGPSのデータは国土地理院のホームページ(<http://www.gsi.go.jp>)で閲覧できます。

(本稿は月刊「なるふる」2001年11月号所収の原稿を改定したものです)

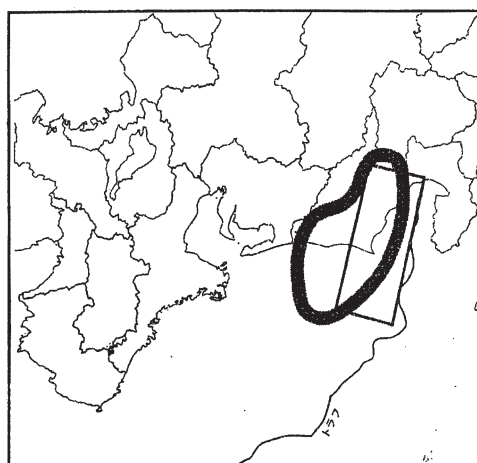


図4 中央防災会議によって改訂された想定震源域。  
四角は1979年に定められた領域。



# 2000年鳥取県西部地震の強震動と数値シミュレーション

地震火山災害部門 古村孝志・瀬戸一起

## 2000年鳥取県西部地震と強震動

K-NET, KiK-net強震観測網が日本列島全域にわたっておよそ20～25 kmの高い密度で配置されたことにより、大地震時の波動伝播の様子を直接眺めることが可能になった。たとえば2000年鳥取県西部地震(Mw6.6)では、K-NETとKiK-net合せて550観測点以上で強震記録が得られており、西南日本における波動伝播の特性を考えるための貴重なデータである。

震源から南西方向に向かって加速度波形記録を並べて見ると、震央距離150 km付近から短周期(周波数0.5～数Hz) Lg波が顕著に見られるようになり、これが鳥取県西部地震の最大加速度や震度に大きく寄与していることが明らかである(図1a)。西南日本ではLg波が水平・上下記録ともに良く認められ、その伝播速度が3.6 km/sであることがこれまで報告されており(島, 1962; Furumura and Kennett, 2001), ここで求められた群速度もこれによく一致する。

次に加速度記録を時間積分して変位に直すと、Transverse成分には8～10 sの卓越周期を持つLove波が浮かび上がってくる(図1b)。Radial成分や上下動変位記録にはRg波(Rayleigh波の基本モード)も見られるが、最大地動振幅は大振幅のLove波によって規定されている。

近地・遠地波形記録から推定された八木・菊地(2001)の震源モデルを見ると、地表下3 kmの位置に断層すべり量が2.5 mを超える大きなアスペリティが存在し(図3左下)、この浅い横ずれ断層から放射された長い周期のSH波が大振幅のLove波を励起したと考えられる。

## 表面波とマグニチュード

ところで浅発地震( $H < 60$  km)の気象庁マグニチュード( $M_j$ )の推定には、記録された最大変位振幅Aに対して、震央距離(R)に対する地震波の距離減衰を補正して求める「坪井式」(坪井 1956)

$$M_j = \log A + 1.73 \log R - 0.83$$

が利用されている。この式で用いられる距離減衰係数(1.73)は、日本付近で発生する浅い海溝型地震や内陸地震の距離減衰特性を平均的に良く表している。しかし、内陸の浅発地震のように表面波が発達する場合には距離減衰がずっと小さいために、距離減衰の振幅補正を過剰に行ってしまう。この結果、Rが大きくなるにつれマグニチュードが大きく求まるといった問題が生じる(図2 b)。

鳥取県西部地震の $M_j (= 7.3)$ とモーメントマグニチュード(Mw6.6)に大きな違いが生じた原因の一つには、Love波の発達とその小さな距離減衰の影響が考えられる。

ちなみに、K-NETとKiK-net記録から固有周期6秒の変位計記録を合成して最大地動変位の距離減衰係数を求めたところ、1.0の小さな値が得られた。

## Love波の分散曲線とS波速度構造

図1 bを見ると、震源付近で孤立波として見られたLove波は伝播とともに次第に形状を変え、さらに福岡から佐賀にかけての平野部を通過すると、分散しながら次第に振幅が減少していくことがわかる。これは鳥取から佐賀にかけて、地殻・最上部マントルのS波速度構造やQ構造が水平的に大きく変化していることを意味している。

そこで、Love波がよく観測された4地点(A-D)を選び、各地点の周囲の5観測点をライン・アレイと見立ててLove波の位相速度を求めた(図3; 裏表紙)。観測点間隔は20 km～160 kmの範囲にあり、本解析から周期30～3 sのLove波の位相速度が得られた。これをLove波の基本モードと解釈し、インバージョンから推定された各地点のS波速度構造を図3に示す。波形分散が起きた佐賀(図3A地点)では低速度( $V_s = 2.3$  km/s)の表層が示されており、また四国山地下42 km以深には、フィリピン海プレートと考えられる高速度( $V_s = 4.8$  km/s)が見える(図3D)。

## 3次元強震動シミュレーション

求められたS波速度構造とP波速度モデル(たと

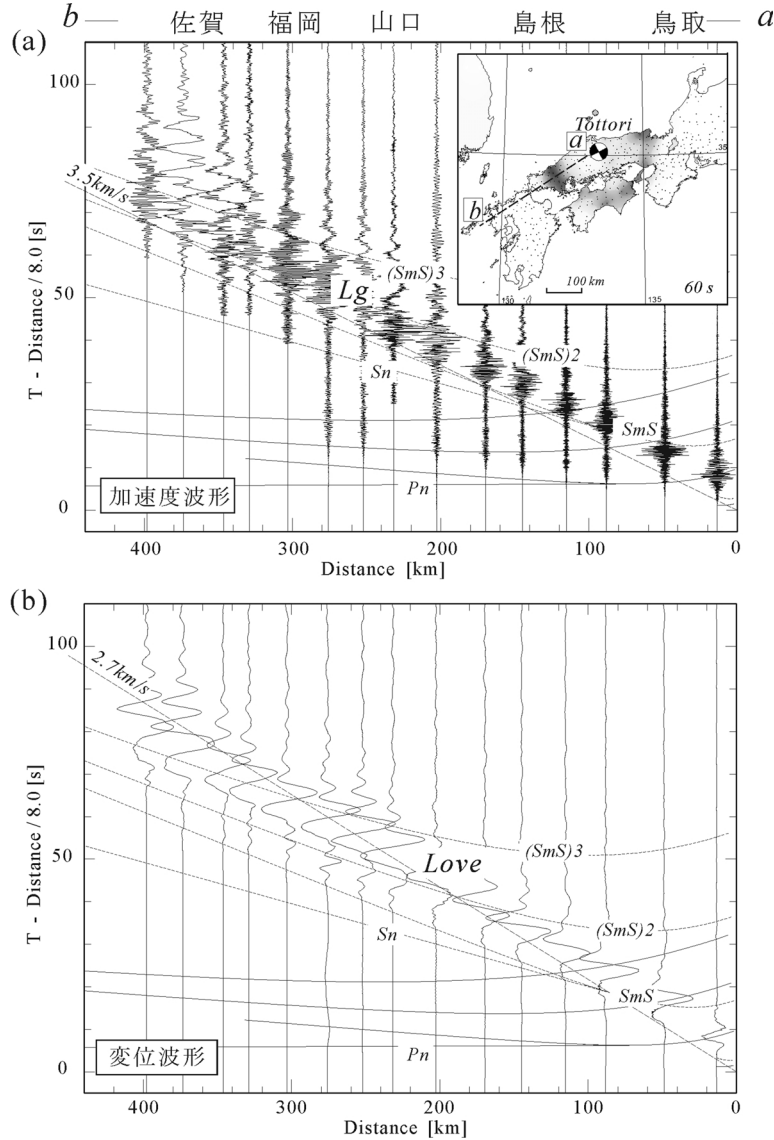


図 1 2000年鳥取県西部地震のKiK-net強震観測記録。(a) Transverse成分の地動加速度波形, (b) 変位波形.

例えばZhao et al., 1992) 等を統合的に解釈して作成した3次元地下構造モデルと、鳥取県西部地震の震源モデル（八木・菊地, 2001）を用いて強震動シミュレーションを実施した。

3次元西南日本モデルの820 km\*410 km\*128 kmの領域を水平1.6 km, 鉛直0.8 kmの格子間隔で離散化し, 「並列 PSM / FDM ハイブリッド法」(Furumura et al., 2002) を用いて周波数0.5 Hzまでの波動伝播を評価した。この計算法は運動方程式の水平 (x, y) 方向の微分演算をフーリエスペクトル法 (PSM) で, そして鉛直 (z) 微分を4次精度の差分法 (FDM) を用いて行なうものである。二つの計算法のハイブリッド化により, PSMの演算精度とFDMの並列化効率の両方が期待できる。なお,

計算は地震予知情報センターのSGI Origin2000並列計算サーバを用いて行い, 16CPUを用いた並列計算には6時間を要した。

求められた波動伝播のスナップショットを鳥瞰図表示し, 3つの代表的なKiK-net観測点 (KYTH02, SMNH14, TKSH02) での地動速度波形 (Transverse成分) とともに図4 (表紙) に示す。比較のために観測記録から合成した各時刻の波動場のスナップショットと波形記録を図4に並べて表示する。観測された波動場のスナップショットは, エリアジングを避けるために観測波形にカットオフ周波数0.25 Hzのフィルタを施し, 空間補完することによって作成した。

地震発生から20 s後にはSH波の4象現型の放射

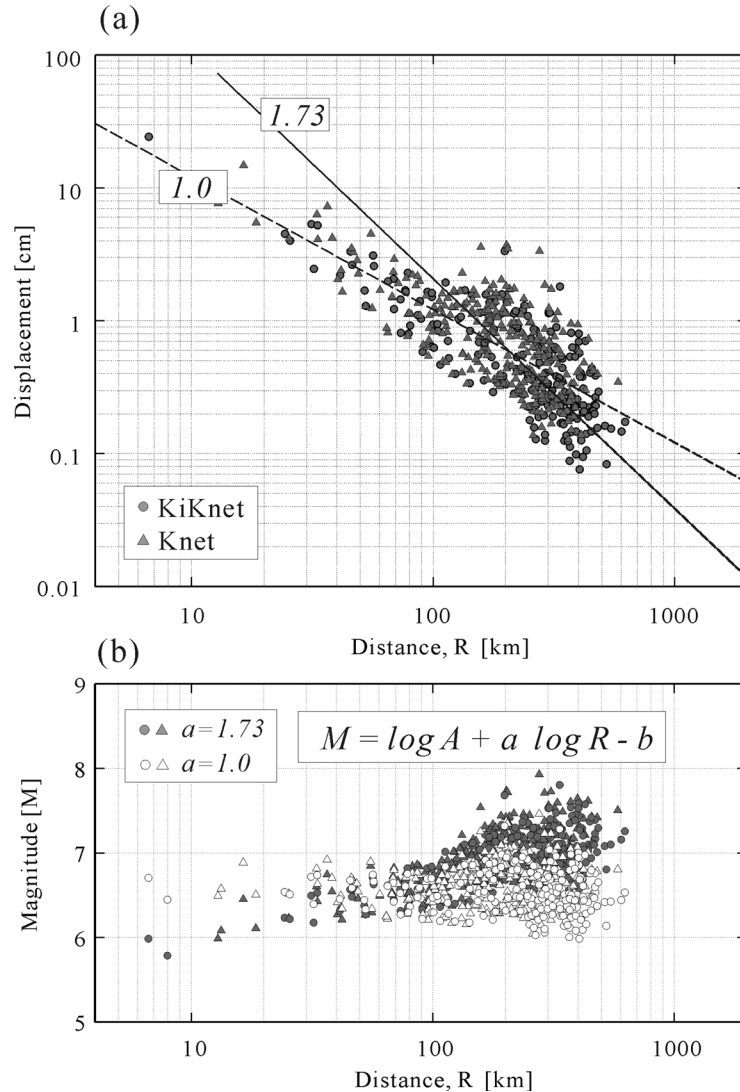


図 2 (a) 水平地動の最大変位の距離減衰。一般的な距離減衰係数 (1.73) による距離減衰 (坪井, 1956, 直線) と最小自乗法により求められた距離減衰 (距離減衰 1.0; 点線). (b) 「坪井式」から推定されるマグニチュード。距離減衰係数 1.73 を用いた場合 (黒丸, 黒三角) と係数 1.0 を用いた場合 (白丸, 白三角)。

が地表に見られ、西南日本を伝播するにつれ大振幅の Love 波を生成する (60s)。そして平野を通過した Love 波は表層地盤での分散と散乱により波群が長く伸びる (100s)。また、平野では長時間にわたって揺れが続く様子も確認できる (100s)。数値シミュレーションの結果は K-NET, KiK-net の観測結果をよく再現している。

#### 参考文献

Furumura, T. and B.L.N. Kennett, Variations in regional phase propagation in the area around Japan, Bull. Seism. Soc. Am. V91, 667-682, 2001.

Furumura, T., K. Koketsu and K.-L. Wen, Parallel PSM/FDM hybrid simulation of ground motions from the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake, Pure. Appl. Geophys, 2002, in press.

坪井忠二, 地震動の最大振幅から地震の規模  $M$  を定めることについて, 地震 2, 7, 185-193, 1954.

島 担, 近地地震より観測される Lg 波の速度, 験震時報, 27, 1-6, 1962.

八木勇治・菊地正幸, 10月6日鳥取県西部地震 (Mjma7.3) の遠地近地波形同時インバージョンによる震源過程, 2001年地震学会秋季大会, T04, 2001.

## 「衛星重力観測と地上重力観測」報告

地球計測部門 大久保修平  
国立天文台 佐藤忠弘

平成13年度共同利用による研究集会「衛星重力観測と地上重力観測」（代表者 佐藤忠弘）が、2001年8月6日－8日に、国立天文台水沢観測センターにおいて開催されました。この研究集会は、国立天文台および地球科学技術推進機構とのジョイントシンポジウムとしては、「衛星重力観測と衛星アルティメトリの新時代」として開催されています。以下では、この会が開催された背景をまず説明し、研究会の概要を紹介しましょう。

地球構造の最大の特徴は層構造を持っていることです。よく知られているように、表面から地殻、マントル、流体核、固体内核に大別されます。これに加えて表層の大気・海洋が地球流体圏の一部を構成しています。これらの各層は互いに無関係なままではありませぬ。たとえば、大気の揺らぎによって固体地球が貧乏ゆすりをさせられるような、常時地球振動という現象が、これは地震研海半球観測センターを中心とするグループによって1990年代後半に発見されています。このように地球の各層は力、電磁気現象、熱等を介して相互に強く影響を及ぼし合っているわけです。

一方、VLBI（超長基線電波干渉計）、GPS（全球位置計測システム）や超伝導重力計等、最近の地球計測の精度や感度の向上には目覚ましいものがありま

す。このような最新の観測技術を駆使して、地球各層の相互の結びつき・動きの相互の関係を研究する、「地球システム科学」と呼ばれる分野が起ってきました。重力観測は、「質量移動」をキーワードとして、地球各層での物質移動を結びつけるデータを与えてくれるので、地球システム科学を推し進める上で非常に重要な役割を果たすことが期待されます。

このような観点から、欧米各国では次々に重力観測衛星が打ち上げられています。たとえば2000年7月には欧州宇宙機構が重力衛星CHAMP（CHALLENGING Mini-Satellite Payload）の打ち上げに成功し、2001年の末にはアメリカとドイツの共同開発したGRACE衛星が、また、2004年には重力偏差計を搭載した衛星GOCE（Gravity field and Ocean Circulation Explorer）が打ち上げ予定になっています。上記の衛星ミッションにより、地球重力場の時間変動が低次の球関数については $1\mu\text{Gal}$ （ $=1\times 10^{-8}\text{ms}^{-2}$ ）、また130次程度の高次でも $1\text{mGal}$ 以上の精度で決定されようとしていることは大きな驚きです。

これくらいの分解能と精度で重力の時間変化が分かると、地球の内部変形、例えばマントル対流や氷河の融解にともなう地球のゆっくりした変形（ポス

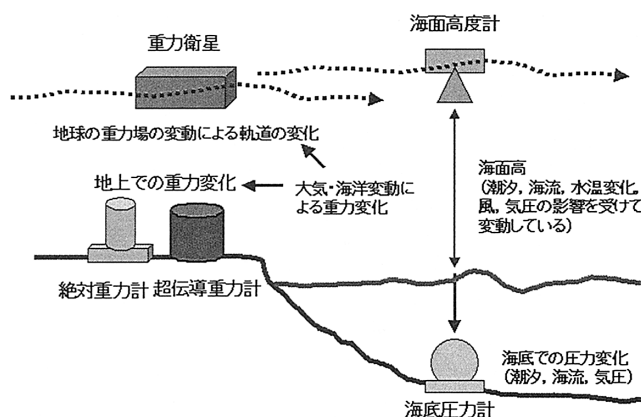


図1 地球重力場変動を捉えるには、さまざまな手段を組み合わせる必要がある。



ト・グレースナル・リバウンド)の進行の様子をリアルタイムで捉えられる可能性がでてきます。つまり、地上重力データと衛星重力データの活用は、従来の地球物理に革命的な変化をもたらす可能性を秘めているというわけで、本研究会が開催の運びとなりました(図1)。以下ではその概要を述べることとします。セッション1では、衛星重力観測について考えるきっかけとして、日本で既に行われている観測や、進行中の計画について紹介されました。月探査計画「SELENE」については松本晃治(国立天文台)が、また、衛星レーザー測距について佐藤まりこ(水路部)が解説しました。衛星観測における一般相対論の効果については福島登志夫(国立天文台)、昭和基地での観測については青木茂(極地研)が紹介しました。古屋正人(地震研)はGRACEの衛星観測データを地上データで検証する上での問題点を議論し、福田洋一(京大・理)は地上での重力場と衛星から見た重力場との違いをEGM96モデルを使ってシュミレーションしました。セッション2では地球科学への応用が議論されました。中田正夫(九大理)と奥野淳一(地震研)は、ポスト・グレースナル・リバウンドとマントル対流について、著者の計算結果を中心に計算上の問題点をレビューしてくれました。仲江川俊之(気象研)は全球陸水変動量についてGRACEの観測能力との

比較で、特に平均時間のスケールによるシグナルの大きさの変化について調査しました。市川香(九大・応力研)は、衛星高度計データにGRACE等のデータが加わった場合、(1)海面力学高度を変動場を含め絶対値で記述できること、(2)海洋の順圧成分が分かることを示しました。その他、海洋大循環、海洋中の渦、黒潮の流軸変動、亜熱帯反流などの海洋現象について、議論されました。

セッション3では、日本の衛星重力ミッションについて議論が進められました。岩田隆浩(宇宙開発事業団)は、重力研究に係る衛星ミッションで、進行中か計画中の日本のミッションについて紹介しました。新谷昌人(地震研)は、彼が開発中のレーザー地震計を、加速度計として衛星内部に設置すれば、衛星重力計測の精度向上が図れることを示しました。内藤勲(国立天文台)は衛星重力観測もターゲットに入れた衛星ミッション立上げのための基礎研究プロジェクト「精密衛星測位による地球環境監視技術の開発」について紹介しました。

本研究会での講演・議論を通じ、従来は別々の研究分野でなされてきた重力観測・研究と地球表層流体の運動の研究とが相互に強い関連を持っており、固体地球と地球流体の研究者の緊密な連携が今後益々必要になって来ていることが改めて認識されました。

## 三宅島で何が起こったのか

火山噴火予知研究推進センター 中田節也

### 1. 常識をくつがえすマグマ活動

2000年6月末に三宅島では地震活動に引き続いて海底噴火が起きました。その後地震の活動域は神津島・新島沖に移りました。7月8日には小噴火を伴って雄山が突然陥没しました。その後8月末まで、断続的な噴火が山頂部で続き、神津島沖の地震活動も続きました。この間、三宅島全体は縮み続け、神津島沖の地殻は開き続けました。このような現象が起きたのは、三宅島の地下のマグマが、数十キロメートルも離れた神津島の方に、次から次に吸い寄せられたためであると考えられています(図1)。ここでは、雄山の陥没によってカルデラができました。

「陥没カルデラは大量のマグマがいききに噴出したために、地下の空洞に地表部分が落ちこ

てできる」などと本には出ていますが、三宅島では違いました。また、主な噴火が終わった後から、火山ガス(二酸化硫黄)が盛んに放出され始め、その量は地球上のどの火山でもこれまで観測されたことのないものでした。

三宅島では、このような火山学の常識を超えたことが次から次に起こったのです!

地震研究所では、三宅島の噴火について、地震、地殻変動、電磁気、重力、地形、噴出物などの観測を他の研究機関と協力して行い、噴火の仕組みと推移予測に関する研究を行ってきました。それぞれの分野で様々な研究成果が上がっていますが、ここでは主に地形や噴出物を中心として、今回の噴火の仕組みがどのようなものであったかについて解説したいと思います。

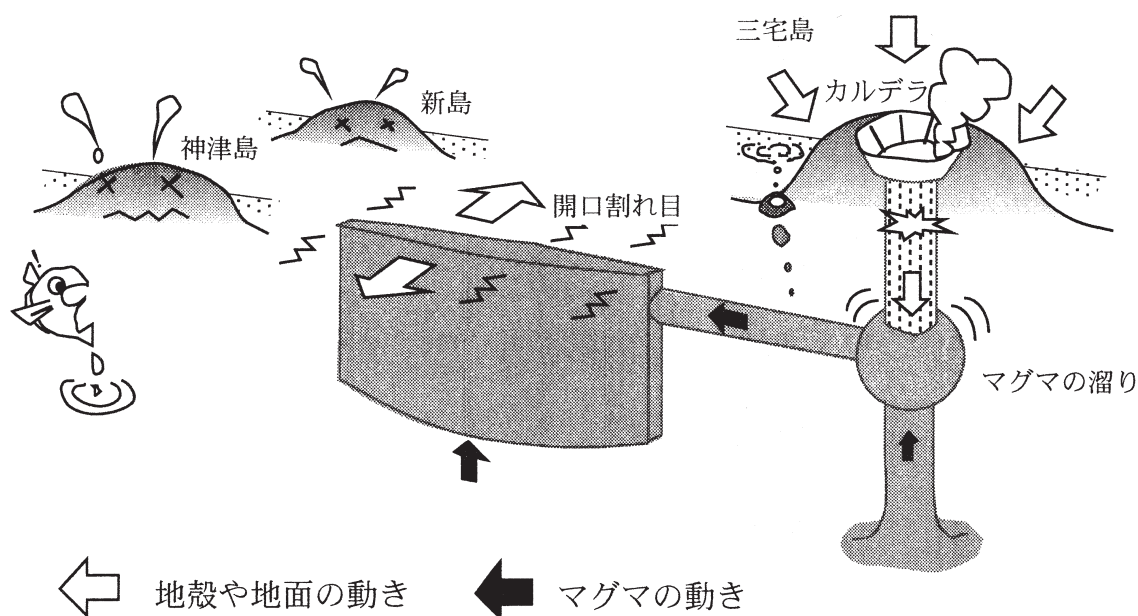


図1 2000年7~8月に三宅島、神津島、新島の地下で起こったマグマの動きと地殻変動を示す概念図。地下の様子を示しています。

## 2. 大きな噴火と「火砕流」

8月10日から山頂で活発になった噴火活動では、18日に成層圏まで火山灰が上昇する大きな噴火が発生しました（図2）。この時、島全体に火山灰が降り積もり、雄山の中腹には数mにも達する岩石が降り注ぎました。また、8月29日には「火砕流」噴火が起きました。でも、本当の火砕流とはちょっと違いました。噴煙の塊がゆっくりと地表付近を移動したもので、温度も高くはありませんでした。しかし、18日の大きな噴火の直後で、しかも有毒のガスが火口から出始めていた矢先の出来事でもあり、全島避難を決定するには十分過ぎる判断材料でした。

三宅島のこれまでの噴火の噴出物はスコリアと呼ばれる黒っぽい軽石であったのに対し、今回の噴出物は非常に細かい火山灰でした。水蒸気爆発に特有のものです。火山灰が地表を覆うと雨水が地下に浸透しにくくなり、少雨でも泥流が起りやすくなります。また、有珠山2000年噴火の水蒸気爆発で良く見られた、黒っぽい土砂が槍のように噴き上がる噴煙や火口から溢れ出る熱泥流がしばしば目撃されました。水分を多く含んだ噴火だったのです。

8月末までの火山灰には熱水の中でできる鉱物も含まれていました。また、火山灰には水蒸気爆発の際に良く観察されるように多量の硫酸イオンが付着していました。つまり、8月までの主な噴火には、地下にある熱水が強く関係していたことを示しています。しかし、9月の火山灰には熱水鉱物が含まれなくなり、付着する硫酸イオンが減って塩酸イオンが増加し始めました。

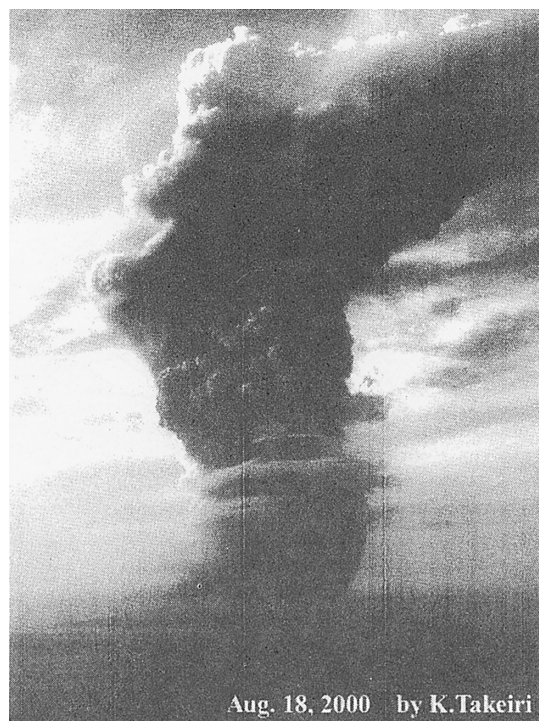
## 3. 噴火を起こしたマグマ

今回の噴火による噴出物の量は約1千万 $\text{m}^3$ で、

雄山の陥没量（約5.6億 $\text{m}^3$ ）や神津島沖に吸いだされたと考えられるマグマの量（約10億 $\text{m}^3$ ）に比べてほんのわずかでした。ちゃんとしたマグマは、6月27日に海底で噴出した溶岩と、8月18日に山頂から噴出した火山弾の2種類だけしか確認できていません。

潜水艇を使って採取した海底の溶岩は17年前に噴火した溶岩と組成がそっくりでした。恐らく同じマグマが地下に潜み続けていたものと考えられます。一方、火山弾は、表面がガサガサで全体がカリフラワー状のもので、柔らかい高温のマグマがそのまま飛び出したようには見えませんでした。また、海底の溶岩とは異なる組成で、多くの結晶を含んでいました。この火山弾は、すでに地下水などによって冷却され一部が固まりかけていたマグマのようです。

マグマの組成が2つの噴火で異なることは、それぞれの噴火を起こしたマグマが別々の場所



Aug. 18, 2000 by K.Takeiri

図2 2000年8月18日に三宅島で起こった大きな噴火（御蔵島竹入啓司さん提供）



にあったことを示しています。一緒にあれば2つのマグマは混ざりあってしまうからです。恐らく、マグマが神津島の沖に吸い寄せられることによって、三宅島の地下にあった17年前のマグマがなくなり、次に、深部から別のマグマが上がってきたのだと考えることができます(図1)。

#### 4. 雄山の陥没

最初の陥没では、直径1kmほどの部分がそのまま約200mも落っこちました。これは直ぐ下に巨大な空洞ができていたからです。数日前に観測された重力のデータはこれを見事に捕らえていました。地震のデータは、数日前から次第に震源が浅くなっていたことを、また、電磁気のデータも空洞が上昇してきたことを示していました。

鉱山で、天井の岩石を落として隙間を作りながら上に掘り進む方法をストーピングと言います。パテと砂の薄い層をいくつも交互に積み重ねて地層の模型を作り、その内部に穴をくりぬいてシリコン・オイルを満たしてマグマの溜りに見立てた実験があります。シリコン・オイルを下から少し抜いてやると、その天井がごそと落ち、地層の中に空隙ができます。その後、空隙はストーピングを起こしながら次第に上昇し、ついには表面に丸い陥没孔を作ります。雄山の最初の陥没もこのようにして生じたものと思われます。この実験では、空隙の通った後には、ガサガサのパテと砂が詰まった円柱が残ります。ガサガサの部分は隙間だらけですから、実際の火山では、そこに地下水が浸入し、下から来る火山ガスであたためられて熱水の溜りが

できるものと思われます。

陥没口は直径約1.5km 深さ約500mのカルデラと呼べる大きさにまで成長しました。その間、山がゆっくりと収縮しながら地震が増加し、その後、突然、長周期の地震が起きて山が元に戻る、という繰り返しを何度も起こしました。地下のマグマが抜け続けることによって、上で述べた円柱が断続的に落っこちたというモデルが考えられています。落ちた円柱が溜りのマグマを押しつけた反動でマグマ全体が膨張して長周期地震を起こしたと提案されています。

#### 5. 吸い寄せられたマグマ

マグマが何故神津島沖に吸い寄せられたのかはまだきちんとは分っていません。今回のような、雄山が落ち込むような活動は、少なくともここ2500年ほどは起こっていません。三宅島や神津島が乗っているフィリピン海プレートは、北西方向に移動しながら本州に衝突し、富士山の南辺りで日本列島の下にもぐり込んでいます。このため、神津島から三宅島にかけての部分は、本州に押しつけられる一方で、西側と北側では、それぞれ、相模トラフと駿河トラフに押し込められるような力が加わっています。このため、三宅島から神津島にかけては、ちょうど北西から南東方向の割れ目が開きやすいようになっています。マグマはこの開いた割れ目に吸い寄せられたと考えられます(図1)。

三宅島から神津島にかけての地域では、数千年ごとに大きな割れ目を開くことによってプレートの歪みが、解消されているのかもしれませんが、もちろん三宅島の地下にあったマグマの圧力が高まったことが遠方の割れ目を作った直接



のきっかけだったのでしょう。

## 6. マグマはどこに？

噴火の最中、マグマがどこまで来ているのが議論になりました。特に、8月18日の大噴火や29日の「火砕流」噴火直後には、さらに激しい噴火活動に移行するかどうかが重大な関心事でした。地殻変動のデータからは、18日の噴火の後、神津島沖へのマグマ移動はほとんど止まったと考えられますが、島全体は相変わらず収縮を続けていました。この時も多くの人はマグマがまだ上昇していないと考えていました。マグマの上昇を直接示すような観測データが見当たらなかったからでした。また、18日の火山弾が柔らかい高温のマグマが飛び出してできたようには見えなかったことや、水分の多い噴火の性質を示し続けていたことも、マグマの上昇を示すようには見えなかったせいでもありました。しかし、最近になって18日の火山弾を詳しく調べ直してみると、どうも高温で火口を飛び出したと考えざるを得ないことが分ってきました。ひよっとしたら、8月に入ってから断続的な噴火は、マグマが浅い所まで上昇していながら、多量の熱水が関係して起きた噴火だったのかもしれない。

一方、9月からは噴火にマグマが直接関係し始めていることが明らかに分かりました。二酸化硫黄の量が次第に多くなったことや、前に述べたように、火山灰に付着する成分が変わったことなどがその現れでした。8月の2回の大きな噴火によって、地下につながる煙突ができると同時に熱水の溜りが消えて、マグマからのガスが直接放出されるようになったものと考えられま

す。重力のデータは少なくとも9月以降は、重いマグマが地表に接近し始めたことを示していたようです。

## 7. まだ解けない謎と火山学の進歩

三宅島の観測研究は今も継続していますがまだ十分に理解できない現象がいくつもあります。18日の大きな噴火が何故起きたのか、この噴火を境に何故神津島沖へのマグマの移動が止まったのか、さらには、今回に限って大量の二酸化硫黄が何故放出されたのか、などはまだ分っていません。

一旦始まった噴火の推移予測はまだまだ不完全です。しかし、噴火が起こるたびに火山学は着実に進歩してきています。新しい現象の理解によって火山学の知識が急速に進むからです。このため、火山噴火の現場においては、何が本質かを見極めて現状を評価するための観測が大変重要で、そのためにはある程度の挑戦的な観測が必要になります。危ない危ないと遠巻きにしているだけでは何も進歩しないのです。

三宅島では、2500年前にも似た噴火が起こっていたことも重要です。過去の噴火履歴をきちんと洗いなおせば、噴火の予測に十分役立つことを教えてくれているからです。今回の三宅島噴火は住人の方にとって全島避難という大きな犠牲を強いていますが、我々に、今の火山噴火予知の到達点を再確認させてくれたと同時に、多くの火山学的知識を与えてくれている大イベントなのです。

東京大学地震研究所広報  
発行 地震研究所広報委員会  
担当 上嶋 誠, 藏下英司, 井出 哲  
電子メール kouhou@eri.u-tokyo.ac.jp  
〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1  
東京大学地震研究所  
電話 03-5841-5666 (庶務掛)  
FAX 03-3816-1159  
印刷 創文印刷工業(株)

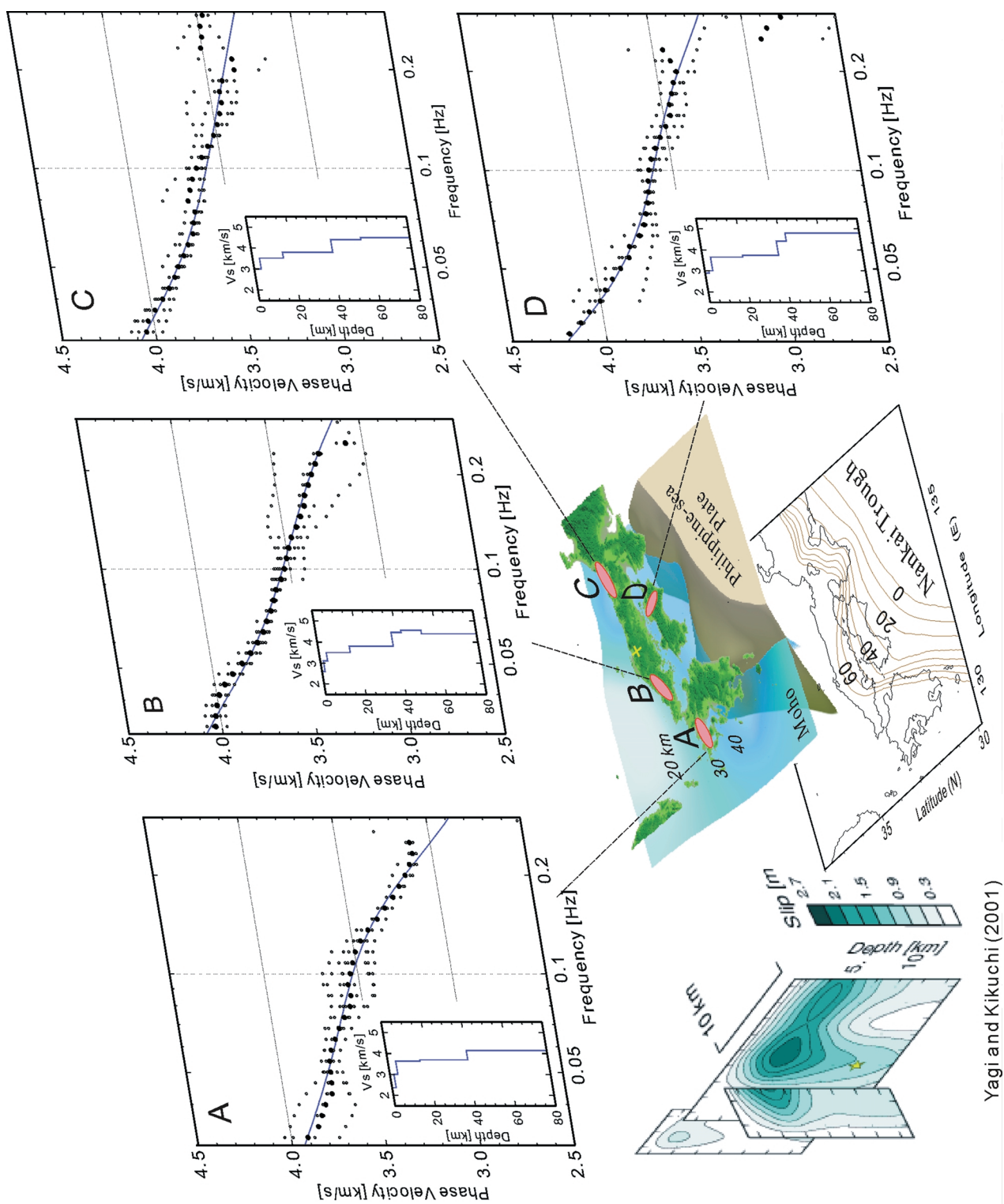


図 3 (本文 p. 5) Love 波の分散曲線から推定された西南日本の S 波速度構造 (A-D 地点)。  
2000 年鳥取県西部地震の震源断層すべりモデル (左下: 八木・菊地, 2001)。