

11-4 地震波の伝播と強震動生成のシミュレーション

Numerical Simulation of Seismic Wave Propagation and the Generation of Strong Ground Motions

東京大学地震研究所 古村 孝志

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

はじめに

将来発生が予想される大地震に対し、予めコンピュータシミュレーションにより強震動を精度良く推定することは、地震災害軽減のための重要な課題である。地震動は震源放射特性、伝播経路の付近質性、そして表層地盤の増幅特性の影響を受けているため、強震動シミュレーションにはこの3つの影響の適切なモデル化が不可欠である。3次元不均質場での波動場の評価には、有限要素法や差分法などの数値計算法が一般に用いられている。これらの手法を用いた強震動予測シミュレーションの実用化には、近年コンピュータ性能の飛躍的な向上と並列計算技術の進歩が大きく寄与している。

ここでは、1995年兵庫県南部地震と2000年鳥取県西部地震の2つを中心に波動伝播・強震動生成シミュレーションに関わる最近の成果を述べる。また、2002年3月に運用が開始された、世界最速の超並列ベクトル計算機「地球シミュレータ」を用いて進行中の南海トラフ巨大地震の強震動計算についても紹介する。

1995年兵庫県南部地震：基盤構造と「震災の帯」

兵庫県南部地震では、神戸市須磨区から西宮市にかけての、幅1~2km長さ20km以上にわたる狭い帯状の範囲に被害が集中したこと（「震災の帯」）が特徴である（第1図）。神戸-阪神地域の地下では六甲山から大阪湾にかけて基盤面が階段状に落ち込んでおり、その上には軟弱な堆積層が厚く覆っていることから、震災の帯の生成には、この不均質基盤構造が大きく関係していると考えられる。

神戸市街地の3次元地下構造モデルと震源断層モデルを組み込んだ数値シミュレーション（第2図）により、I)断層から放射された地震波が破壊先端に強いディレクティブパルスを生成し、II)これが基盤と堆積層境界で強い増幅・干渉を起し、そしてIII)地表に局所的に強震域（震災の帯）を生成する一連のプロセスが確認された¹⁾²⁾。

2000年鳥取県西部地震：観測とシミュレーション

強震観測網（K-NETとKiK-net）の整備により、現在では日本列島を地震波が伝播する様子を直接眺めることが可能になった。鳥取県西部地震では521観測点で強震波形記録が得られており、これらを空間補間することにより波動伝播のアニメーションを合成することができた（第3図）。これにより、周期8~10秒のLove波が西南日本を2.6~2.8km/sの群速度で伝播していく様子が確認でき

る。また、平野部の表層地盤で強く増幅され、長時間にわたって地震動が継続することもわかる。

次に、観測された波動伝播の特徴の、計算機シミュレーションによる再現を試みた。西南日本の820*410*122kmの領域を0.8kmの格子間隔で分割し、各格子点に地殻・上部マントル構造の物性値(V_p , V_s , R_0 , Q)を与えた。ここで V_p 値は人工地震探査や走時トモグラフィーの結果をもとに決めた。また V_s 値は資料が少ないため、観測されたLove波の形状を良く説明するようにモデルの修正と波動計算を繰り返し行って決定した。計算は東大情報基盤センターのSR8000/MPPを用いて行ない、16CPUを用いた並列計算には約1時間を要した。

計算結果をもとに作成した波動伝播のアニメーションには、断層面上の浅い($h=4\text{km}$)アスペリティーから放射されたSH波が大振幅のLove波を生成し、これが西南日本を伝播していく様子がよく現れている(第4図)。また、Love波が平野の表層地盤で強く増幅されるとともに、散乱や分散により地動が長く続く様子も良く再現されている³⁾。

地球シミュレータによる大規模計算：南海トラフ地震の強震動シミュレーション

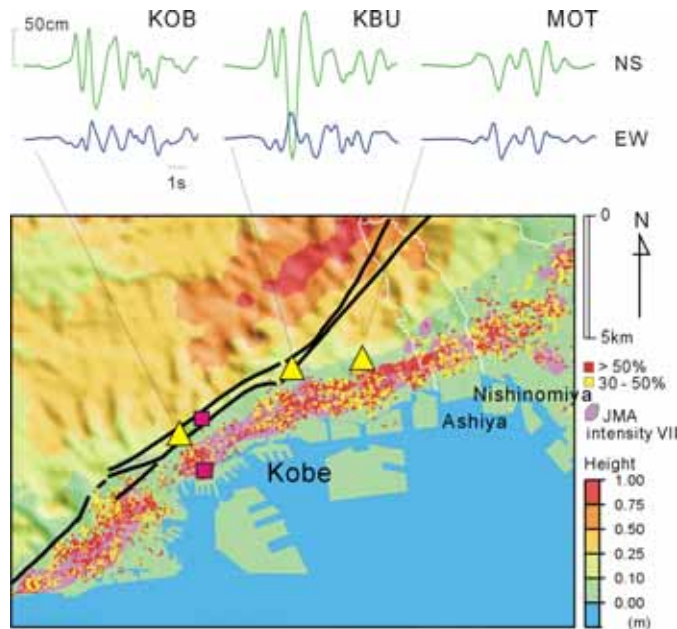
このように、観測とシミュレーションとの比較から、地下構造モデルの最適化が進められ。最終的に得られた日本列島のモデルは、将来発生が予想される南海トラフ地震の強震動の評価に利用できる。

また、「地球シミュレータ」(5120CPU, 40Tflops)の完成により、大規模な地震波動伝播シミュレーションが実現可能となった。第5図は地球シミュレータを用いて求められた1944年東南海地震の地震動と震度分布である。計算では最大1.5Hzまでの波動伝播を評価している。計算結果は観測記録をよく説明していることがわかる(第6図)。これまでは計算機の制限から、計算可能な周波数が0.5Hz程度以下に限られており、たとえば震度のように、数Hz程度までの高周波が関与する現象を正しく再現することが難しかった⁴⁾。

本計算では、まだ地球シミュレータの1%程度の資源(64CPU)を利用しているに過ぎない。今後地下構造探査や震源モデルの研究の進展とともに、詳細な地下構造・震源モデルを用いた、より高精度な波動伝播・強震動評価が十分に実現可能になったことを意味している。

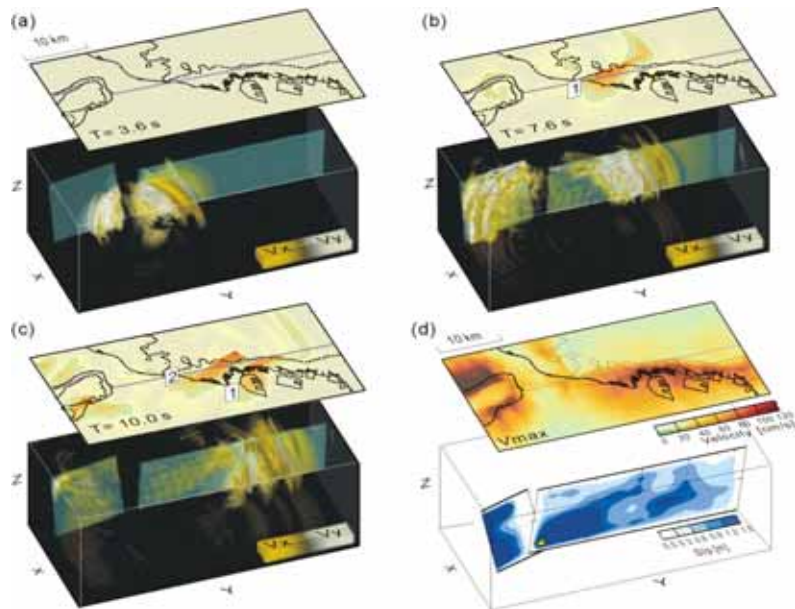
参 考 文 献

- 1) Furumura, T. and K. Koketsh (1998): Specific distribution of ground motion during The 1995 Kobe earthquake and its generation mechanism, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 829-838.
- 2) Furumura, T. and K. Koketsu, (2000): Paralel 3-D Simulation of ground motion for the 1995 Kobe earthquake, *Pure and Applied Geophysics*, 157, 2047-2062.
- 3) Furumura T., B.L.N. Kennett, K. Koketu (2002): Visualization of 3-D wave propagation from the 2000 Tottori-ken Seibu, Japan earthquake: Observation and numerical simulation, *Bull. Seiem. Soc.* in press.
- 4) Furumura, T. (2002): Parallel simulation of seismic wave propagation, *High Performance Computing*, in *Lecture Notes Computer Sciences*, Eds. H. P. Zima et al., 231-242, Springer.



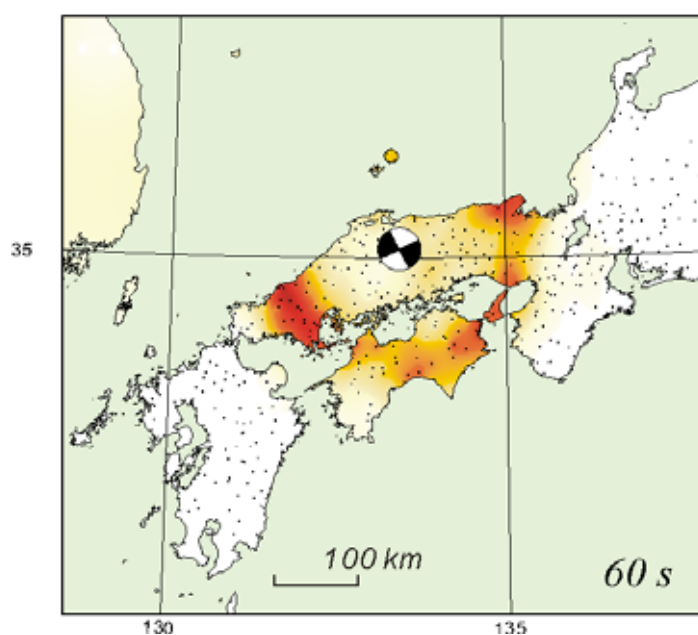
第 1 図 1995 年兵庫県南部地震と震災の帯。黒太線が活断層の位置を，桃色の領域が震度 7 の領域（震災の帯）を表す。

Fig.1 Damage belt of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake. Tick black lines indicate the fault and the area painted in pink denotes the area of JMA intensity 7 (damage belt).



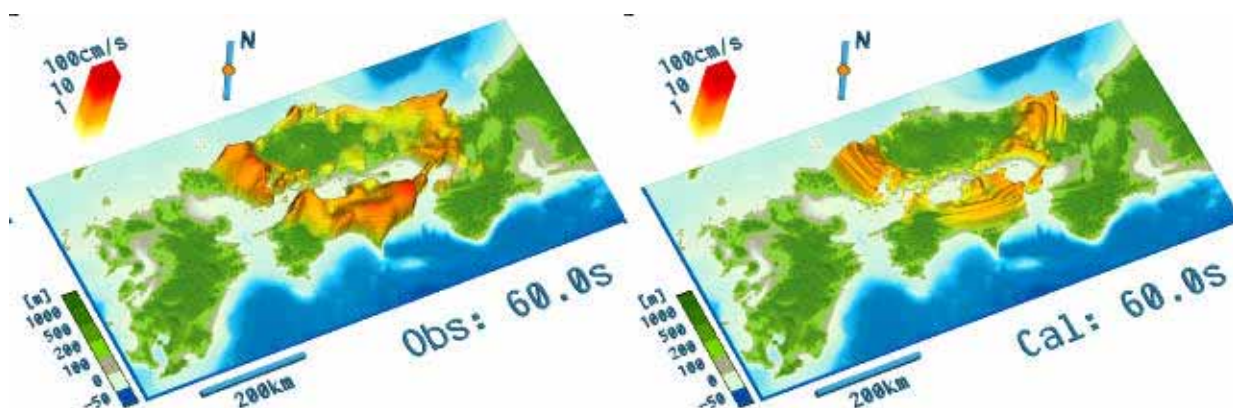
第 2 図 兵庫県南部地震の強震動シミュレーションと波動伝播のスナップショット（a-c）。計算結果（最大速度分布）は震災の帯をよく説明する（図 d）

Fig.2 Snapshots of seismic wave propagation during the Hyogo-ken Nanbu earthquake derived from numerical simulation of strong ground motion. Simulation results (peak ground velocity) explain the “damage belt” fairly well.



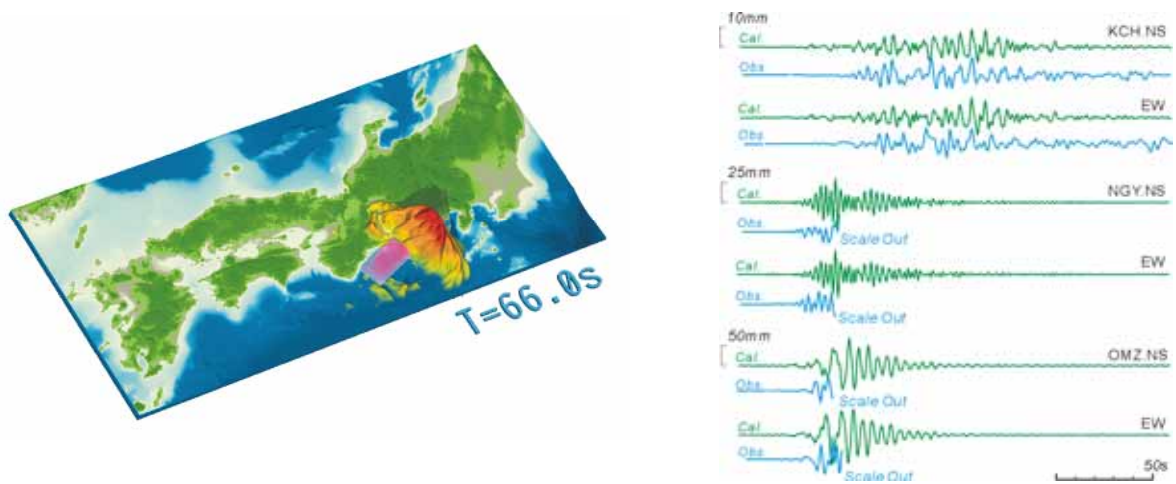
第 3 図 2000 年鳥取県西部地震の波動伝播特性。521 点の K-Net, KiK-net 強震記録より合成。

Fig.3 Wave propagation character during the 2000 Tottori-ken Seibu Earthquake derived from an interpolation of waveforms at 521 K-net and KiK-net stations.



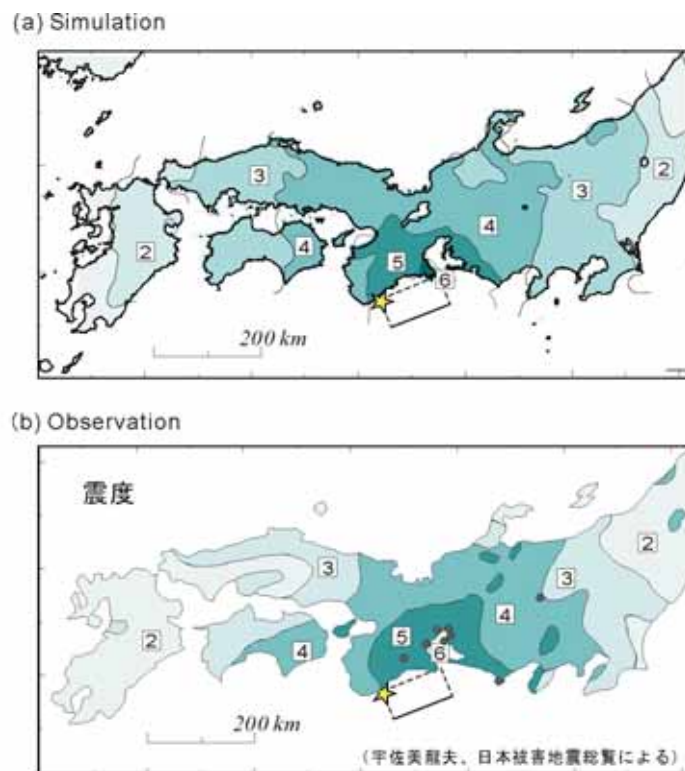
第 4 図 鳥取県西部地震の地動速度分布。観測（左）とコンピュータシミュレーション（右）の比較。

Fig.4 Distribution of ground velocity motions during the 2000 Tottori-ken Seibu earthquake, comparing the observation (left) and simulation (right).



第 5 図 1944 年東南海地震の強震動シミュレーション。波動伝播のスナップショットと計算波形の観測記録との比較。

Fig.5 Numerical simulation of strong ground motions for the 1944 Tonankai earthquake. A snapshot of seismic wave propagation for the earthquake, simulated (cal) and observation (obs.) waveforms at three stations.



第 6 図 (a)シミュレーションから求められた, 1944 年東南海地震の震度分布と, (b)観測された気象庁震度分布。

Fig.6 (a) Distribution of seismic intensities for the 1944 Tonankai earthquake derived by computer simulation and (b) observed JMA intensity.