

ES の全ノードを用いた全球地震波形計算による地球内部構造の解明

坪井 誠司 (海洋研究開発機構 地球情報基盤センター)

1. 理論地震波形計算

地震により励起され地球内部を伝播する地震波は、弾性体力学の運動方程式で記述され、地球が完全な球であるならば理論的な解析解が存在する。しかしながら、地球は回転楕円体の形状をしており、地球内部の構造も球構造からの摂動成分は大きく、理論的に地震波を計算するためには解析的手法を用いることは期待できない。

我々は、これまでも地震波動場の数値解法であるスペクトル要素法を用いて現実的な地球モデルに対する地震波動の数値計算を実施してきた。地球を構成する岩石の弾性的性質により、地震波速度は km/sec のオーダーであり、地震波の P 波および S 波では周期 1 秒の波が卓越することが知られている。したがって、観測された地震波形を再現する理論地震波形を計算する上で周期 1 秒の精度は到達すべき目標であった。

初代地球シミュレータでは、4056CPU を用いて周期 3.5 秒の精度での計算を達成したが(図 1)、周期 1 秒の実現は困難であった。現在、京コンピュータを用いることで周期 1 秒の精度での計算は実現しつつあるが、京コンピュータでは計算機資源が限られており、試行的な計算に限定されているのが実情である。京コンピュータと同じ規模の計算は、地球シミュレータの 5,046 ノード(20,184 コア)により実現可能と推測され、地球シミュレータを用いることで周期 1 秒の精度での理論地震波形計算を研究に用いることが可能になると思われる。

地球深部の特に核・マントル境界付近は、地球マントル内のスーパープレームと呼ばれる熱的な上昇流の発生源と考えられ、水平方向には熱的にも地震波速度などの物質的性質も大きく変化していることが予想されている。このような領域の構造を詳細に調べることは、これまでは地震波の到着時のみを用いることが一般的であり、高精度な地震波形を現実的な地球内部構造モデルに対して計算して、観測波形と比べることは行われてこなかった。もし、地

球シミュレータを用いて周期 1 秒の精度で全球を伝播する地震波形を計算することが可能となれば、このような地球内部構造を推定する上で極めて有効な手段を提供することになり、詳細な構造を決定することが可能となると期待できる(図 2)。

2. 全ノード計算の技術的挑戦

全球を伝播する地震波形の理論計算は、これまで我々が用いてきたものと同じ、スペクトル要素法を用いた数値解法により計算する。スペクトル要素法の計算プログラムである SPECFEM3D_GLOBE はスカラー計算機向けに開発されているので、まずこのプログラムのベクトル計算機向けチューニングを行う必要がある。プログラムのチューニングを実施した上で、全ノードを用いた場合に予想される計算時間等の見積もりを行い、クラスタ間通信を実施するための方策について検討した。

地球シミュレータは 2,048 ノードの拡張クラスタ 1 台と、512 ノードの基本クラスタ 6 台から構成される。クラスタ間は 10G のネットワークで接続しているが、この上では MPI 通信が来ず、全ノードを用いた MPI 通信による計算を実行するためには、10G のネットワーク上の MPI 通信を可能とするためのシステムの開発が必要となる。今期は、この MPI ライブラリの開発を技術サポートにお願いした。計算を効率的に行うためには、MPI 通信を行う上で、IXS 通信の方が Ethernet 通信よりも高速のため、通信プロセスの割当を減らした方が良いが、クラスタ間の通信を効率的に行うには、通信プロセスの割当を増やした方が良い。アプリケーションの通信パターンによって、最適な計算プロセスと通信プロセスの負荷バランスを調整する必要がある。今期の開発では、適切な通信の状態を把握することが課題となり、全ノードを用いた MPI 通信を実現することは出来なかったが、今後通信プロセスの効率化を進める予定である。

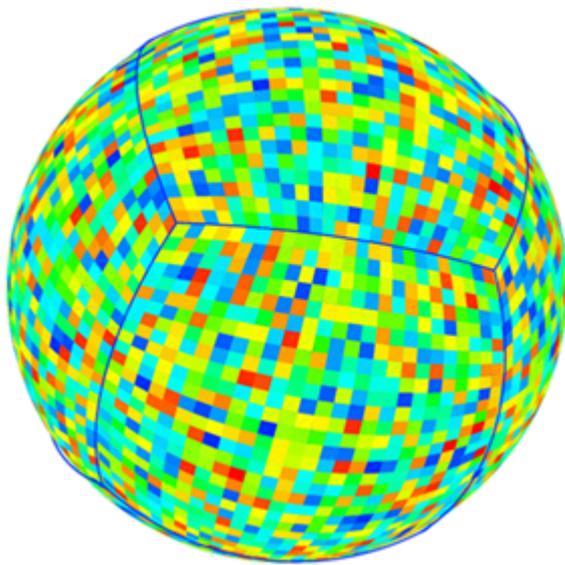


図1 4056CPUを用いて理論地震波形記録を計算した際のメッシュ形状

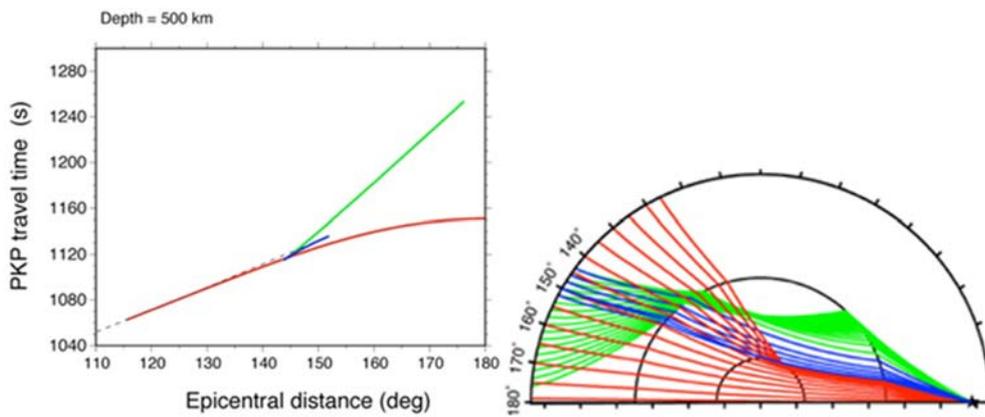


図2 地震波は外核・内核を通過する際に複雑な伝播経路を持つ。その中で、赤い線で示した波線と走時曲線はPKIKP波あるいはPKP-DFフェイズと呼ばれ、内核の情報をもたらす。PKIKP波は地表から観測点までおよそ20分かけて伝わるが、内核を通過する時間は100秒程度であり、地殻やマントルの影響も強く受ける。地殻や上部マントルの構造の影響はPKIKP波と他のフェイズとの時間差を取ることによってかなり減ずることができる。他の波との時間差は1秒程度であり、この精度での理論地震波形計算が望ましい。