

横方向不均質媒体中における波線追跡に基づく表面波フレネルゾーンの評価

The evaluation of the surface-wave Fresnel zone based on the ray tracing in laterally heterogeneous media

吉澤 和範[1], ブライアン ケネット[2]

Kazunori Yoshizawa[1], Brian L. N. Kennett[1]

[1] オーストラリア国立大・地球科学, [2] 地球科学研・豪州国立大
[1] RSES, ANU

<http://www.rses.anu.edu.au/~kazu/>

強い不均質の影響を受ける短周期表面波を扱う場合、波線理論による取り扱いだけでは不十分であり、大円からの波線のずれや波線周辺領域からの影響も考慮する必要がある。この領域は、第一フレネルゾーンで記述され得るが、不均質媒体中での厳密なフレネルゾーンを求めるのは容易ではない。

我々は、Cerveny ら(1992) の考えに基づき、波線追跡を用いて近似的な表面波フレネルゾーンを求める効率的な手法を開発した。これによって得られるフレネルゾーンは、1本の"幾何学的波線"に対して、有限幅を持つ"物理的波線"とも言え、モードカップリングを考慮した表面波計算やトモグラフィーの分解能向上等、様々な利用価値がある。

横方向不均質媒体中における波動場を、特に大規模波形インバージョン等に用いる目的で計算する場合、これまでは1本の波線(または大円)のみを考える波線理論に基づく手法が主流を占めてきた。この方法は非常に簡便である上、横方向不均質が弱い場合には波線理論の高周波近似がよく成立するため、実用上大変有効である。

ところが、短周期側、特に周期約30秒以下の表面波は、地殻や最上部マントル内の強い不均質の影響を受けるために波線理論による取り扱いだけでは不十分であり、表面波トモグラフィーなど、波線理論に基づく手法では、これまでほとんど用いられてこなかった。短周期の表面波を考慮するには、大円からの波線のずれや、横方向不均質によって生じる各モード間のカップリングなどの影響を考慮する必要がある。また実際の波動場は有限の周波数をもっており、波線に沿った構造だけではなく、波線周辺のある有限の領域からの影響も受ける。この領域は、第一フレネルゾーンで記述される。このような波線周辺の領域を特定できれば、波線理論の拡張である paraxial ray 近似などと組み合わせることで、より現実に近い波動場を少ない計算量で復元できることが期待される。

我々は、Cerveny and Soares (1992) が実体波に対して用いた手法に基づいて、横方向不均質媒体を伝わる表面波に対して、波線周辺のフレネルゾーンを効率的に求める手法を開発した。横方向不均質がある場合のフレネルゾーンは、震央距離だけではなく不均質の強さによっても幅が変化する。そのため厳密に求めるには、波線周辺の無数の点と、震源および観測点との間で、2点間波線追跡を繰り返す必要があり、膨大な計算量となる。我々の近似的な手法によれば、波線の軌跡を求める kinematic ray tracing (KRT) と、複数の波線間の振舞を記述する dynamic ray tracing (DRT) との組合せにより最低限の波線追跡のみで波線周辺のフレネルゾーンが得られる。実際の計算量としては、KRT で2点間を結ぶ波線を探し、さらにその波線に沿って、震源から観測点へ、観測点から震源へとDRTを2回解くだけである。これより得られる近似的フレネルゾーンと、均質媒体に対して得られる厳密解とを比較したところ、非常によく一致する事が示された。我々の手法では、DRT から得られる geometrical spreading factor を用いるため、caustic ではフレネルゾーンが0となり、波動場の特異点の位置を容易に知ることができる。また震源および観測点でも、近似的フレネルゾーンは0となるが、厳密な第一フレネルゾーンの定義によれば、これらの点でも半波長程度の幅を持っている。これを考慮すれば、特異点でのフレネルゾーンの幅も近似的に扱うことができる。

この手法によって得られるフレネルゾーンは、KRT で得られる1本の"幾何学的波線"に対して、有限幅を持つ"物理的波線"とも言えるものであり、表面波の散乱やモード間のカップリングを考慮した波動場計算への応用や、波線理論によるトモグラフィーの分解能の向上など、様々な利用価値がある。