

コーダ波を用いたリソスフェアの不均質性に関する先駆的研究

Pioneering research on the lithospheric heterogeneity by using coda waves

佐藤 春夫 [1]

Haruo Sato[1]

[1] 東北大・理・地球物理

[1] Geophysics, Science, Tohoku University

www.zisin.geophys.tohoku.ac.jp/~sato

近地震のコーダ波を用いたリソスフェアの不均質性に関する研究は、故安芸敬一博士が長い期間にわたって携わってこられた、先駆的かつ独創的な課題である。一見不規則に見えるコーダ波が持つ情報の豊かさと独特の美しさとが博士を魅了したのである。早くも1956年(JPE)には、コーダスペクトルが震央距離によらないことに着目されている。コーダ波を不均質構造による散乱波と解釈する新しいモデルの提唱は1969年(JGR)だが、自伝によれば、査読結果には“OK to publish in JGR, but nobody will read it.”と書かれていたとのことである。その後のコーダ研究の確固たる枠組みを提供したのは1975年(JGR)のChouetと共著の論文である。この論文で、確率統計的な視点からリソスフェアの散乱係数(単位体積当りの散乱強度)をランダム不均質のスペクトルと関連づけ、これを地震学の重要な測定対象として提案した。このモデルはコーダ波の平均2乗振幅が震源エネルギー、散乱係数、震源時からの経過時間の逆2乗に比例することを導き、付加的に現象論的なコーダ減衰因子を導入している。その後の世界各地での解析から、S波の散乱係数は1~30Hzで0.01km⁻¹程度の値が求められている。コーダ減衰は1観測点での記録の解析からも容易に安定した値が求められることから世界各地で測定が行われ、1Hzで0.01程度、周波数が高くなると20Hzで0.001程度へと減少することが明らかにされた。このコーダ減衰はS波の減衰と同程度であることも指摘されている。この論文は、不均質構造と波動を確率統計的に扱うことの有効性とエンベロープ解析の重要性を示すことで、短周期地震学へ大きな指針を与えるものとなった。1980年(PEPI, JGR)には、コーダ波振幅が震源距離に寄らず経過時間のみの関数であることに基づいて、コーダ規格化法を提唱された。この方法は地盤増幅特性、震源スペクトル、およびS波の距離減衰を求める優れた方法として現在も広く用いられている。1986年(JGR)にはJinとの共著で、中国・唐山地震の際にコーダ減衰が時間的に変化していたことを報告した。これ以降、博士は、コーダ減衰の時間変化の研究に重心を大きく移された。世界各地での解析からコーダ減衰の時間的な変化は存在するという報告が数多く寄せられたが、大地震前後の短期間での比較がほとんどで、コーダ減衰が長期間にわたって安定な量なのかどうかは未解決のままであった。Jinと博士はこの問題に着手し、カリフォルニアにおける57年にわたる長期間にわたる記録の解析に取り組んだ。博士は1989年(JGR)のJinとの共著論文でコーダ減衰がb値と相関を持ちつつ時間的に変化していたことを報告すると共に、コーダ減衰は地殻の延性部分の微小破壊密度を反映しているとの解釈を提唱した。最晩年の2004年(EPS)の論文でも、コーダ減衰とある大きさの地震の数の時間変化を同時に監視することが地震発生前の応力蓄積の状態を知るのに有効であることを強く主張されていた。

博士のコーダ研究に啓発されて、1970年代後半から、世界各地で地震波の散乱とエンベロープの研究が進められるようになった。辻浦のバンドパスフィルター記録を用いたコーダ解析、佐藤によるエンベロープ形成モデル、干場・FehlerらのSeismic Albedo解析、蓬田・Benitesによる波動の数値シミュレーション等によって、ランダム不均質構造におけるコーダ波励起の仕組みの理解がさらに深められていった。確率統計的という視点からは、佐藤・小原による微小地震波形のエンベロープ拡大のモデルもこの範疇に入る。西上や松本による散乱強度空間分布のインバージョンは、コーダ解析を最も身近にしたものと言えよう。JinによるHi-netデータの解析に基づく詳細なコーダ減衰分布図は新潟・神戸構造帯を強い減衰域として検知しており、コーダ減衰が地殻の破壊状態の良い指標となることを示唆している。

固体地球にはいくつかの明瞭な境界があるが、その中にもさらに短波長の強い不均質が存在する。このような階層性を持つ不均質構造を伝播する短周期地震波を研究するには、媒質と波動の双方について確率統計的なアプローチが不可欠である。不均質構造は時間的に変動するものであり、地震波を用いてこれを検出することが可能である。博士のコーダ波を含む一連の地震波の散乱の研究は、このようなメッセージを我々に伝えている。決定論的な方法と確率統計的な方法を相互に補い合うように発展させることで、固体地球のさらに豊かなイメージを描くことが可能になるであろう。