

海底地殻変動観測における音響測距の高精度化に向けて - 海面での反射波を含む音響信号波形に関する数値実験 - For Advance of Acoustic Ranging for Observing Ocean Crustal Deformation

藤井 昌和^{1*}, 田所敬一², 生田領野³, 永井悟², 渡部豪², 江藤周平²

Masakazu Fujii^{1*}, Tadokoro Keiichi², Ikuta Ryoya³, Nagai Satoru², Watanabe Go², Eto Syuhei²

¹ 名古屋大学理学部 (現、東京大学), ² 名古屋大学環境学研究科, ³ 静岡大学理学部

¹Nagoya Univ. (Now at Univ. of Tokyo), ²Environmental Studies, Nagoya University, ³School of Science, Shizuoka University

【はじめに】

駿河-南海トラフでは、M8クラスの海溝型地震が約100-150年の周期で繰り返し発生している。海溝型巨大地震のプロセス解明と発生予測のため、GPS/音響結合方式の観測システムを用いた海底の地殻変動の繰り返し観測が行われている。

現在、音響測距観測において、測距信号が海面で反射したと思われる後続波の混入により、以下の2つの問題が発生している。後続波の混入により真の時刻での相関係数も相対的に低くなり、使えるデータの量が減る、直達波の到達時刻での相関係数が後続波の時刻での相関係数がよりも小さくなり、真の到達時刻を誤って読み取ってしまう。そこで、真の到達時刻を正しく決定でき、後続波の混入した波形データでも解析に使えるようにするため、相関処理を自動で行う新たな手法を考案する必要がある。本研究では、直達波と後続波の相互作用による相関係数の変化を検証するため、波の重ね合わせによる数値実験を行った。

【音響測距観測方法】

音響測距では、海上局から6波5次M系列の測距信号を送信し、海上局と海底局との距離を求めている。海底局ではこの測距信号を再生送信(ミラー応答)し、これを再び海上局で受信する。そして、測距信号の理論波形と相互相関処理を行い、到達時刻を精度良く決めることで、往復走時を計測している。この往復走時とCTD測定から得た海中音速の値から最終的に海底局位置を推定している。

音響測距での海底局位置推定精度を規定する要因の一つは、観測されるデータの量と質である。後続波の混入により、この量と質が共に低下している。質を確保するため、現在は到達時刻での相関係数が0.7以上と高い値を示す音響波形データのみを採用している。

【研究手法】

測距信号と同じ6波5次M系列信号の基準波を周波数12.987kHz、信号長14.322ms、サンプリング間隔0.002ms、最大振幅16383digitsで理論的に作成した。直達波と海面での1回反射を想定した2波の重ね合わせを考え、基準波に対して遅れ時間DTだけずらした基準波を合成する。合成波と基準波で相互相関処理を行い、直達波の時刻での相関係数(CC1)と反射波の時刻での相関係数(CC2)の値を得る。合成する反射波の直達波に対する振幅比を0から1で変化させ、2つの相関係数の大小の変化を検証する。同様にして、海面での2回反射を想定した4波の重ね合わせを考え、同様に振幅比と相関係数の大小の変化を検証する。4つ目の基準波の遅れ時間は2DTとし、2回反射波の時刻での相関係数はCC3とする。実際の観測で見られる後続波の混入時刻を考慮し、DTの値は1msから3msの範囲で変化させた。

【結果と考察】

後続波の混入により真の時刻での相関係数も相対的に低くなり、使えるデータの量が減ることについては、海面での1回反射波が混入する2つの波の重ね合わせで示せた。数値実験の結果、直達波と反射波の振幅比が1:1の時にCC1は約0.7から約0.75の幅で変化することが明らかになった。実際には少しのノイズの影響でCC1<0.7となりやすいため、相関係数が閾値を超えないデータが増える事が予想される。よって、後続波の混入により相関係数が下がるのは、高い反射率で海面反射した測距信号自身が原因である。

CC1<CC2となり真の到達時刻を誤って読み取ってしまうことについては、4つの波の重ね合わせ(2回反射)で示せた。2つの波の重ね合わせでは、全てのDTにおいてCC1=CC2となった。CC1=CC2となるのは振幅比が1:1の時のみであるが、理論的に海面反射での反射係数は1未満であるので実際にはCC1>CC2となる。4つの波の重ね合わせには、振幅比1:2:1の時、全てのDTにおいて、CC1<CC2、CC2>CC3となった。また、CC1<CC3となるDTも多数存在した。つまり、CC2>CC3>CC1となるDTが存在し、CC1が最も低くなる場合があることが数値的に証明できた。実際に観測された波形ではDT=2.5msのところ2つ目の相関ピークが現れており、これは数値実験の結果と整合的である。よって、CC1が最大にならず到達時刻を誤って読み取るのは、測距信号自身が海面で2回反射することが原因である。

今後はこの結果を踏まえて、音響波形データを測距信号の理論波形と相互相関処理するのに加え、反射波の混入を

想定した擬似的な合成波形との相関処理を行う新たな手法で解析を行い、その有効性を検討したい。

キーワード: 海底地殻変動, 音響測距, 高精度化, 海面反射波, 相互相関処理, 数値実験

Keywords: Ocean Crustal Deformation, Acoustic Ranging, Advance of Precision, Reflected Signal at the Sea Surface, Cross-correlation Procedure, Numerical Experiment