

資料-2

研究題名	弾性波の3次元粒子運動軌跡の解析による反射音の検出に関する研究	報告書作製者	浅沼 宏
研究従事者	浅沼 宏		
研究目的	<p>本研究は、弾性波の3次元粒子運動軌跡の解析により、直達音に重畳した反射音を検出する新たな音響信号処理技術を開発することを目的としている。ここでは、互いに直交した方向に感度を有する3軸弾性波検出器により検出した3次元弾性波粒子運動軌跡の共分散マトリクスにより反射音の到来方向と到達時刻を高精度に推定する方法を検討する。本手法は、弾性波の波形情報に加え、その振動方向を用いて反射音検出を行うため、弾性波が有する情報を最大限利用可能な手法であるため、極めて少ない個数のセンサを用いて、反射音を効率よく検出することが可能になると考えられる。</p> <p>一方、自然現象や人間の生活にともない発生する様々な種類の音響信号を反射法計測の音源として利用することができれば、簡便性、機動性を有した新たな反射法計測が実現する可能性がある。しかしながらこのような音響信号では音源の位置が未知であることに加え、放出弾性波の周波数特性やモードが未知である場合が多いと考えられる。このような音響信号を用いた反射法計測のためには、弾性波信号を確率過程としてとらえその特徴を確率論的に定量評価することが最も適当であると考えられる。本研究では、検出した弾性波の3次元粒子運動を確率過程として取り扱い、非定常弾性波に対して一般的に適用可能な反射音の検出技術を検討することを検討する。</p> <p>直達音に重畳した反射音を検出する技術は音響計測の分野でこれまで幅広く研究されてきており、ビームフォーミング、MUSIC、開口合成等の技術が開発されてきた。しかしながらこれらの方法では基本的に弾性波をスカラー量として取り扱っており、弾性波の粒子運動軌跡に着目した本研究とは概念を異にするものであった。また、これらの既開発の反射音検出技術では検出対象とする信号が確定信号であることが一般的であり、本研究のように非定常かつランダムな信号を音源として利用しようとする試みは殆んど行われていなかった。</p>		

研究内容	<p>本研究では以下の項目について具体的な信号処理法の検討およびフィールド実験により得られた実データの解析による有効性の評価を実施した。</p> <p>(1) <b>反射音検出技術の開発</b>：3軸弾性波検出器により検出した粒子運動軌跡の解析により、連続音に重畳した反射音を精度よく検出する方法について検討した。その結果、信号の遅延時間推定に用いられる一般化相関関数 (GCC; Generalized Cross Correlation) の概念を3次元粒子運動軌跡の解析に導入することにより、反射波の遅延および伝搬方向を検出できることが明らかとなった (別紙説明書中 図1を参照)。本項目に関連した研究成果は日本物理探査学会平成7年度秋期学術講演会で発表している。また日本音響学会誌への投稿論文として本項目の成果を投稿予定である。</p> <p>(2) <b>非定常連続音中の反射音の検出</b>：検出した非定常弾性波に対して移動時間窓主成分分析法を適用することにより時変関数として振動方向を評価可能であることを見いだした。また、検出した弾性波の振動方向を複数の正規分布の和としてモデル化することにより、ある時刻に検出した振動方向がどのモードの波であるのかを確率として表す方法を考案した (別紙説明書中 図2を参照)。この確率により、(1)で導出した反射音検出結果を重みづけすることにより信頼性の高い反射音検出を行えることを示した (別紙説明書中 図3を参照)。日本音響学会誌への投稿論文として本項目の成果を投稿予定である。</p> <p>(3) <b>フランス、ソルツフィールドでの地下弾性波計測実験</b>：本研究の一環として、ソルツHDRフィールドでの坑井掘削 (ボーリング) にともなう地下弾性波計測実験時に取得した弾性波を(1)、(2)で開発した原理に基づき解析し、地下構造の推定を行った。その結果、本手法により推定された地下構造は他の手法により得られた情報と良く符合するものであり、本手法の有効性を実証することができた (別紙説明書中 図4を参照)。本項目の成果は1996年アメリカ物理探査学会 (SEG) 講演会で発表予定である。</p>
------	---

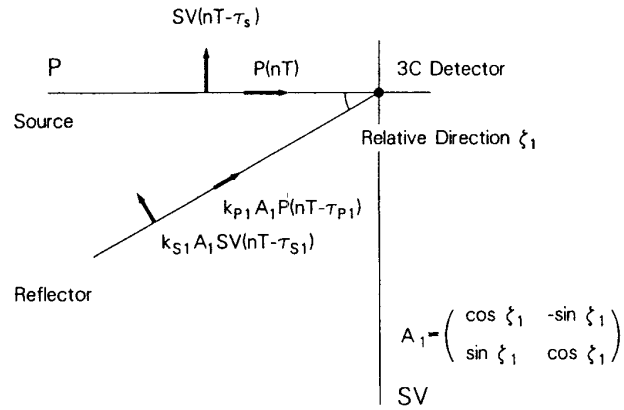


図1：弾性波検出器に入射する弾性波の粒子運動。反射音は直達音に対するディレイおよび伝搬方向差を有する。本手法では粒子運動を時空間で相関解析することにより直達音に重畳した反射音を検出する。

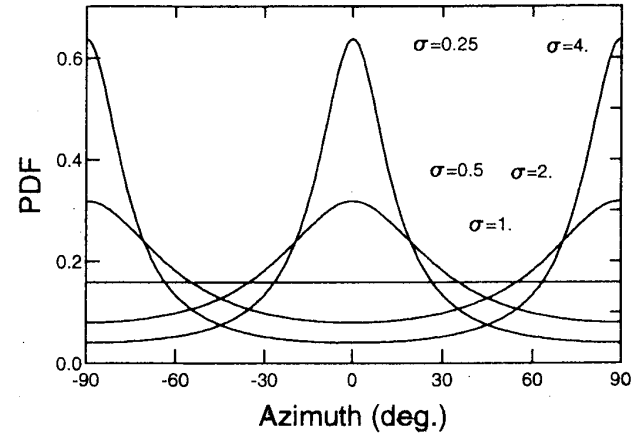


図2：検出した弾性波の振動方向を多次元正規分布の和として表すことにより、各時刻で検出した弾性波の振動方向がどのモードであるかを確率として表すことができる。

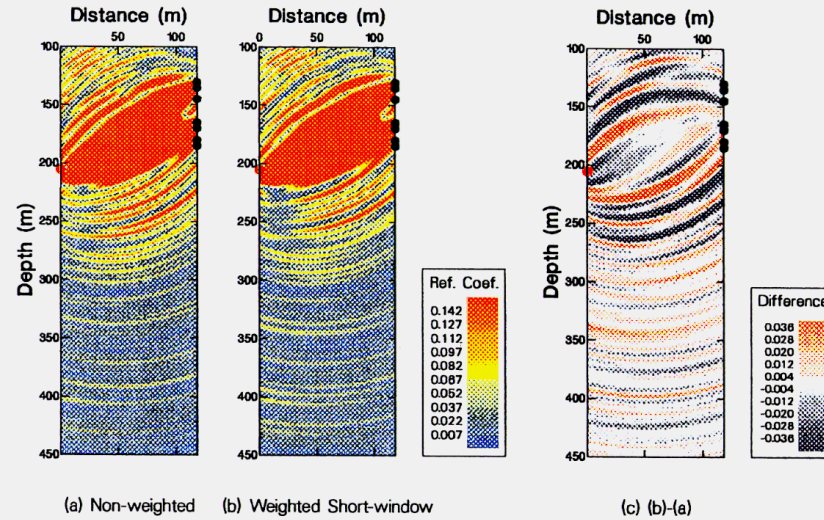


図3：地下開発の最も主要な手段である坑井の掘削時に検出した弾性波を用いた反射法解析結果。掘削音の非定常性を考慮しない解析結果（左）と非定常性を考慮し、弾性波の振動方向を確率論的に処理することにより推定した地下構造（中）を比較すると深度350m、390m付近の反射体が強調されている。これらの深度には地下構造の変化があることが知られており、本解析結果は実際の地下構造と調和的である。また、連続音の非定常性を考慮することによる反射係数の変化（右）をみると、本手法により実際の反射体に対応する反射係数が約2倍に強調されていることがわかる。（日本音響学会に投稿中）

(注：フローチャート図、ブロック図、構成図、写真、データ表、グラフ等 研究内容の補足説明に御使用下さい)

様式-10

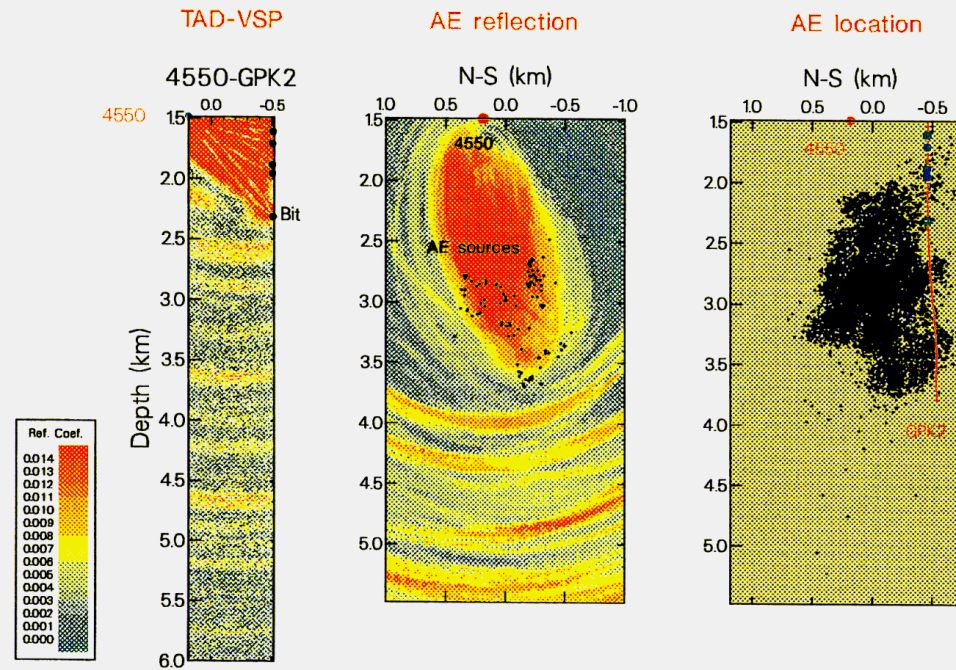


図4：フランス，ソルツフィールドで記録した坑井掘削音の解析結果（左）。本手法により推定された2600mおよび3600m付近の反射体は花崗岩中に人工的に作製された貯留層（右）の上端および下端である可能性が高い。またそれより大深度にみられる反射体は，微小地震を用いた反射法解析結果（中）と比較的よく調和する。（SEGに投稿中）

(注：フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明に御使用下さい)

様式—10