

第251回地質調査所研究発表会講演要旨*

特集 地震波探査における散乱波処理法について

数値モデリングの現状と展望

竹中博士*

最近の計算機環境の向上は目覚ましく、波動の数値シミュレーション(数値モデリング)がごくごく身近になりつつある。特に飛躍的に性能が向上したパソコンのお蔭で、誰もが大規模な数値シミュレーションをお手軽に実行できる時代がやってきた。また、並列ベクトル計算機は実用的な規模の3次元シミュレーションを可能にしてくれつつある。このようなハードの進歩は、波形そのものを使って地下構造を推定する波形インバージョンの実用化を我々に期待させる。本講演では波形インバージョンを意識した数値シミュレーション手法の現状について報告し、近い将来の研究動向について展望する予定である。

(*九州大学理学部)

Keywords: numerical modeling, waveform inversion

ランダムな不均質構造における地震波のエンベロープ解析

佐藤春夫*

地震波は震源ではインパルス的な波形であるが、地球の強い不均質構造を反映して、その主要動の最大振幅は伝播距離の増加と共に減少し時間幅は拡大することが知られている。直達S波に引き続いて長い継続時間をもつ coda波とよばれる波群が観測され、これは主として散乱波から構成されると考えられている。これら微小地震の記録波形のエンベロープ形状の様々な特徴とモデリング、さらに地球の不均質構造の推定について、これまでの研究を中心に紹介を行う。

(*東北大学大学院理学研究科)

Keywords: inhomogeneity, coda wave, envelope analysis

石油探査において必要とされる地震波シミュレーション技術

佐藤岳彦*・松岡俊文*・佐伯龍男**

近年石油天然ガスの探鉱対象が深部化、複雑化してきた。これに対応して試掘リスクを最小化するため、また貯留層キャラクター化のため、探鉱ステージの初期段階から3次元地震探鉱調査が標準となりつつある。一方その技術体系の基礎となる3次元波動場シミュレーション技術は、手法の改善、並列計算機の登場により、ようやく実用段階に達しつつある。本講演では、石油探鉱における3次元波動場シミュレーションの現状およびその応用、特にマイグレーション技術について述べる予定である。

(*石油資源開発(株)・**石油公団石油開発技術センター)

Keywords: 3D seismic exploration, 3D wave field simulation, migration

物理モデルの新動向

—レーザードップラー振動計の利用—

西澤 修*

地質調査所ではレーザードップラー振動計(LDV)による波動伝播の物理モデル実験を行っている。LDVはレーザー光のドップラーシフト周波数によって物体表面の振動の速度を計測するもので、直径0.4mm以下の狭い領域における振動の全成分を正確に求めることができるため、波動伝播の実験的研究にとって有用である。LDVによる不均質岩石での波動伝播実験の結果と物理モデル実験の今後の可能性を議論する。

(*地殻物理学部)

Keywords: physical modeling, laser Doppler vibrometry

新しい物理探査・スーパーサーベイが目指すもの

村上 裕*・宮崎光旗*

地下資源探査の潜頭化、深部化、奥地化に伴い、従来の探査技術では探査が困難化している。複雑な地質構造における地下探査の不確実性を抜本的に改善するために、弾性波や電磁波の散乱波を利用し三次元的構造探査技術に関するフィジビリティスタディを行う。弾性波においては、測線側方から戻ってくる散乱波の利用は、従来の反射法とは異なる全く新しいデータ処理技術体系の開発を必要とする。電磁波においては、高温超電導技

* 平成9年7月17, 18日本所において開催

術に基づく磁力計のセンサーアレイにより検出した比抵抗異常体からの散乱波の三次元解析を行う探査法の開発が必要である。
(*地殻物理部)

Keywords: scattering of EM wave, 3D exploration

情報量規準と時系列解析

北川源四郎*

従来の統計科学の方法は、しばしば非現実的な強い仮定のもとで解析的方法を利用したものが多かった。しかし、飛躍的に発達しつつある計算機を活用し、より現実に即したモデルを用いてデータ解析を行おうとする動きが盛んになっている。ここでは、このような計算機の集約的利用にもとづく統計学(計算統計学)の典型的な例として、状態空間モデルに基づく時系列の解析法、ブートストラップ法にもとづく新しい情報量規準EICについて紹介する。また、自己組織型のモデル構成法についても簡単に紹介する。
(*文部省統計数理研究所)

Keywords: information criterion, time series analysis, state space model

3次元アレイ観測による散乱波の処理

桑原保人*・伊藤久男*

地震コーダ波から構造探査を行う上で、地表に配置した小スパンアレイ観測は観測点が地表に限られるため波束の入射角の分解能、波の種類決定精度が不十分であった。ここではまず、理論計算により、地表アレイに加え坑井内に地震計アレイを配置した場合の波束の入射角、波動の種類決定精度の向上を検証した。また実際に栃木県足尾地域の坑井内に3連式の坑内用地震計を設置し、地表のアレイ観測とあわせ3次元の小スパンアレイ観測を実施した。いくつかの地震の3次元アレイデータでセンブル解析を行った結果、顕著な変換波の到来方向が震央方向と異なることやS波コーダのほとんどはS波の波束として求められていることが分かった。
(*地震地質部)

Keywords: 3D-array observation, coda wave analysis

葛根田地熱地域の微小地震波形の特徴

杉原光彦*

震源アレイ手法を岩手県葛根田地熱地域で発生した微小地震に適用し、地下構造の影響が地震波形にどのように現れるかを調べた。解析のターゲットを4000m級深部調査井近傍として、1988年1年間のデータからこの地域に震源決定された地震50個を選んだ。波形の相似性を利

用して震源の再決定を行い、結局、100m半径内に震源決定された8個の地震から成るアレイを選びだした。各観測点毎に、震源からの様々な射出角を仮定して地震波形を重ね合わせてみた。観測点方向には初動以外にもいくつかのコヒーレントな波相が検出されたが、葛根田花崗岩上面での反射波は明瞭には検出されていないので、さらに分解能を向上させる必要がある。
(*地殻熱部)

Keywords: Kakkonda geothermal field, source array

パルス幅よりもとめた水による誘発地震の震源継続時間

増田幸治*・佐藤隆司*・西澤 修**

水の移動や間隙水圧の変化によって誘発された地震活動は、余震活動、地熱開発等の分野で重要な役割をはたす。岩石実験で観測したP波初動部分のパルス幅の変化をもとに水によって誘発された微小地震活動(アコースティック・エミッション, AE)と応力によっておきたAEの震源継続時間について考察した。応力によって発生したAEがおさまった後、岩石試料下部から水を注入した。応力によるAEと水によって誘発されたAEそれぞれについて、P波初動部分のパルス幅と振幅を測定し、イベントのサイズ効果と震源から観測点までの距離の効果を補正した。水によって誘発された微小破壊活動の震源継続時間は、応力による微小破壊活動のそれより短くなる。
(*地震地質部・**地殻物理部)

Keywords: acoustic emission, water-induced seismicity, source duration time

散乱体によるエネルギートラップを考慮した多重散乱モデル: エネルギー輸送理論に基づく定式化

早川俊彦*・佐藤春夫*・大竹政和*

高周波地震動は震源から放射された地震波が地中のランダム不均質構造によって散乱されたインコヒーレントな波の重ね合わせであると考えられる。これまでのエネルギー輸送理論に基づく定式化は全て、散乱が瞬時的に起こるという仮定に基づいたもののみであった。しかし散乱体を空孔や低速度物質と考えるならば、散乱体は内部にエネルギーを蓄え、徐々に散乱波を出すことが波動論から期待される。以上のような立場から、エネルギー輸送理論に基づく多重散乱の素過程に時間遅れ効果を取り入れたモデルを考え、定式化することに成功した。その結果、直達波近傍でエンベロープが大きく変形し、ピークが遅れることを確認した。
(*東北大学大学院理学研究科)

Keywords: energy trap, multiple scattering, radiative transfer theory

液体を含む亀裂群による地震波の散乱

河原 純*

地殻内部の亀裂群は地震波の散乱の主要因の一つと考えられる。最も一般的な亀裂内物質は水であろう。本発表では、亀裂の散乱特性に対する間隙液体の存在の効果について検討する。亀裂が水のような低粘性液体で完全に飽和されている場合は、液体の体積弾性の効果が重要である。一方、飽和が不完全で気相が混入する場合は、開口変位に伴って生じる Poiseuille 流が散乱特性に多大な影響を及ぼす。この場合、液体が水であっても変位に対し強い粘性抵抗が働く。さらに、気液境界面上の表面張力の効果も無視できない。この結果、部分飽和亀裂は通常と異なり、微小亀裂であっても長波長 (~km) の波を散乱減衰させ得、観測事実を説明づける可能性がある。

(*茨城大学理学部)

Keywords: scattering, liquid-filled cracks

速度構造の小さな揺らぎによる最大振幅の大きな揺らぎ

干場充之*

速度構造に揺らぎがあると、波は Focussing や Defocusing を繰り返しながら伝播し、その結果、波の振幅の揺らぎが生じる。この構造の揺らぎの大きさは、振幅の大きさの揺らぎにどの程度の変化をもたらすのだろうか？この大きさを、ランダムな速度構造をもつ媒体に Ricker Wavelet 平面波を入射させ、最大振幅の分散の伝播距離依存性を数値計算により求めることで調べた。その結果、数%の速度構造の揺らぎでも、最大振幅の分散は平均値 (の 2 乗) を超えること、また、この最大振幅の分散は伝播距離の単純な増加関数ではなく、ある地点でピークをもちそれ以後では減少することが分かった。

(*気象庁気象研究所)

Keywords: random media, scintillation index

コーダ波の解析による兵庫県南部地震震源域周辺の不均質構造

西上欽也*・大熊裕輝*

兵庫県南部地震余震域における稠密テレメータ観測データを用いて、コーダエンベロープのインバージョン解析を行い、散乱体の 3 次元空間分布を推定した。その結果、野島断層周辺の深さ 0-15km 付近に強い散乱体が存在し、深さ 20-25km 付近にも散乱体が広く水平方向に分布することが分かった。また、淡路島北部に展開された分散型アレイ観測のデータを用いて、センプランズ解析によるコーダ波伝播特性の解析を行った。その結果、深さ 25-30km の下部地殻上面付近からの反射波を検出

した。これは、上記の散乱体分布とも対応する。今後、さらに解析を進めることにより、震源域周辺の地殻不均質構造のイメージングを試みる。

(*京都大学防災研究所)

Keywords: scattering, crustal heterogeneity, array observation, Kobe Earthquake

レーザー・ドップラー振動計を用いた圧電素子の放射特性の測定

佐藤隆司*・西澤 修**・雷 興林***・板山信彦†

レーザー・ドップラー振動計 (LDV) を用いて圧電素子 (PZT) の放射特性の測定を行った。特性を測定した PZT は直径 5 mm, 共振周波数 2 MHz の厚み振動タイプのものである。半円柱形のステンレスのブロックの中心に PZT を取り付けた。パルス・ジェネレータとパワーアンプを用いて発生させたパルスを PZT に入力して、ブロック内に弾性波を励起させた。励起された弾性波の振動をブロックの側面で LDV を用いて計測した。計測された P 波および SV 波の振幅の方位分布を理論計算と比較した結果、PZT の放射特性は、PZT を取り付けた面内に面に垂直な応力が加わったと考えるとよく説明できることが分かった。

(*地震地質部・**地殻物理部・***ダイヤコンサルタント(株)・†筑波大学第一学群自然学類)

Keywords: laser Doppler vibrometer, piezoelectric transducer, radiation pattern

水槽モデル実験装置を用いた地震探査シミュレーション

津久井朗太*・佐伯龍男*・松岡俊文**

地下構造を縮小したモデルとモデル実験装置を用いることによって、現実のフィールドで同様の実験を行うより低いコストで速度や地下構造が既知の各種地震探査データを得ることができる。また、専用の設備が必要なため、広く普及するには至っていないものの、計算機でのシミュレーションと比較してアルゴリズムの制約を受けない弾性波記録が得られることや、3次元データへの拡張が容易であることなどの利点をもっている。本発表では、石油公団・石油開発技術センターで導入・運営している 1/10000スケール水槽モデル実験装置と、石油資源開発株式会社との共同研究において同装置を用いて取得した実験データを紹介する。

(*石油公団石油開発技術センター・**石油資源開発(株))

Keywords: physical model, data acquisition

The Influence of Realistic Structure on Subduction Zone Earthquake Observations

P. Cummins*・平野 聡*・金田義行*

We consider the application of static displacement calculations to coseismic displacement associated with large earthquakes occurring off the coast of Japan. For most coseismic displacement studies, a homogeneous half-space is considered sufficiently accurate to model the observed displacement.

However, with the recent installation in Japan of a dense network of permanent GPS stations, very precise measurements of crustal deformation have become available. It therefore seems worthwhile to reconsider whether homogeneous half-space calculations are sufficient for modeling such data. Here we compare static displacement calculations for a homogeneous half-space with those for a realistically layered sphere. We suggest that for large earthquakes, even at appreciable distances from the source, the difference between the two models is potentially greater than the resolution of the data.

(*海洋科学技術センター)

Keywords: coseismic deformation, GPS, subduction zone, earthquakes

散乱波マイグレーションによる岩盤内亀裂のイメージング

稲崎富士*・倉橋稔幸**・渡辺史郎***

岩盤内の亀裂を可視化し、その走行傾斜・つながり等を解析することができれば、岩盤の安定性や施工への影響度を的確に評価することが可能となる。その一手法として、トンネル坑内や岩盤表面上に測線を展開し、岩盤内部の亀裂からの散乱波・反射波を捉え、重合前マイグレーションによって直接イメージングする現地計測・解析手法を開発中である。本手法では、岩盤内に一様な速度構造を仮定し、亀裂を散乱体の集合とみなしてイメージングする。表層の緩み層補正にははぎ取り法を用い、オフセット起振によってワイドレンジを達成する。また高分解能解析を可能にするため、新たに開発した高周波換振器を使用した。トンネル切羽前方部亀裂探査はすでにルーチン的に実施されており、前方100m程度までの亀裂分布を数m程度の誤差で予測することが可能である。また岩盤斜面での適用では、岩盤内部の亀裂を明瞭に捉えることができた。

(*地質情報センター**建設省土木研究所***環境地質部)

Keywords: fracture imaging, migration

差分法における任意形状の自由表面の取り扱いおよび火山地域での波動伝播への応用

大湊隆雄*・B. A. Chouet**

火山性地震を解析しマグマ等の流体の動きを探るためには、火山地域を特徴づける強い不均質と険しい起伏を考慮した数値シミュレーションを行い、波動伝播特性を把握する必要がある。現在もっともポピュラーな波形計算法の一つである差分法に任意形状の自由表面の境界条件を導入する方法を考案し、簡単な地形での波動伝播シミュレーションを行った。また、活動的な火山である薩摩硫黄島の実際の地形を用いて等方的な震源からの波動伝播を計算し、山頂付近で水平成分が増幅されるという、観測波形と調和的な結果を得た。また、波形インバージョンを行う際には地形の効果を入れたグリーン関数の計算が必要であることも確かめられた。

(*地殻熱部**米国地質調査所)

Keywords: finite difference method, free surface, volcano

堆積盆地における地震波動場を計算するための鉛直境界打ち切りの補償を考慮した直接境界要素法

畑山 健*・藤原広行**・竹中博士***

境界要素法を用いて堆積盆地における地震波動場を計算するとき問題となることの1つに、本来無限に続いている境界をある場所で打ち切ってしまうことによって、非物理的な波が発生し、解の精度が低下してしまうということがある。これまでに、横方向に無限に広がった境界に対して、この問題を解決するための近似解法が提案されている。一方、盆地内の特に表面波波動場を効率的に計算することを目的として、鉛直方向の数学的な境界に対して立てられた境界積分方程式を解くという方法が提案されている。本研究では、この鉛直方向に無限に広がった境界の打ち切りによる精度低下の問題を解決するための近似解法を提案する。

(*消防庁消防研究所**科学技術庁防災科学技術研究所・現在オーストラリア国立大学***九州大学理学部)

Keywords: BEM, reference solution approximation, surface waves

反射法地震波探査におけるイメージング処理

阿部 進*・清水信之*・井川 猛*

国内の石油・ガスの探査や学術調査や環境計測の分野で利用されている反射法地震探査では、地下の速度構造の複雑さ等に応じて、それぞれ異なるイメージング処理手法が反射波データに適用されてきた。一方、地表条件が複雑であったり、水平方向への速度変化が著しく大きな場合には、従来の手法では良好なイメージング結果を得るのが困難なもの事実であった。本講演では、陸上及

び海上の実データ並びにシミュレーションデータを例にとり、イメージング処理が反射法地震探査の中で如何に貢献してきたかを紹介した後、近年開発が進められている重合前深度マイグレーションに関わる処理技術の内、モデルビルダーと言われる会話型のモデル構築ツールに焦点をあてて紹介する。 (*地球科学総合研究所)

Keywords: imaging, prestack depth migration, model builder

トランスバース異方性媒質の走時計算と キルヒホッフマイグレーション処理の アルゴリズム

中島義成*・松岡俊文*・佐伯龍男**

マイグレーションとは、地下の地質構造をイメージングするために利用される、地震探査データ処理の手法の一つである。ここで用いたキルヒホッフ型深度マイグレーションでは、地下を格子に区切り、各格子点について発振点からその点を経由して受振点までの走時を計算する。そして、その走時にあたる振幅データをその点にマッピングしていくことでイメージングを行う。走時計算に関して、より高精度な計算をするためには、地下における地震波伝播の異方性を考慮する必要がある。異方性が、地震波の進行方向と深度軸とのなす角のみに依存する場合をトランスバース異方性という。砂岩と泥岩の互層で形成されているメキシコ湾のような堆積盆地では、この様な異方性が存在すると現在考えられている。

(*石油資源開発㈱・*石油公団石油開発技術センター)

Keywords: anisotropy, Kirchhoff migration, imaging

湯坪地熱地帯における坑井間を利用した CDP 重合法ならびに散乱重合法適用の 比較とその考察

松島 潤*・六川修一**・横田俊之***・宮崎光旗†

湯坪地熱地帯において取得された坑井間地震探査記録に対して、CDP 重合法ならびに散乱重合法の適用を行った。その結果、散乱重合法の適用により良好と思われる重合断面を得た。これは、反射面イメージングに関しては CDP 重合法より散乱重合法の方が優位であるため、数値実験を利用してその検証を行った。また得られた散乱重合断面は周波数依存性が確認され、その原因として、(1)散乱現象の周波数依存性、(2)データ処理の周波数依存性、(3)分解能の周波数依存性などが考えられ、これら各項目について数値実験を用いて考察を行った。

(*東京大学工学部・**東京大学大学院工学系・***石油公団石油開発技術センター・†地殻物理部)

Keywords: cross-well, CDP stacking, diffraction stacking

3軸ダブルゾンデによる坑井内 AE 計測と時間 一周波数コヒーレンス解析による 散乱波中の反射波検出—

浅沼 宏*・高山純一*・A. Lesniak*・新妻弘明*

坑井内弾性波計測では、直達波や反射波を散乱波と分離する手法が重要である。筆者らは、信号の時間一周波数領域でのコヒーレンス解析により、コーダ波中の特定モードの波を検出するため、坑井内 3 軸ダブルゾンデシステムを開発した。本検出器では、センサー間距離を 1 m~数 m まで可変である。本ダブルゾンデシステムを実フィールドでのシューティング試験および AE 計測に使用したところ、音源からの直達波に加え、地層境界からの反射波と見られるモードを検出することができた。本手法は多くの研究課題を有するが、坑井内弾性波計測一般に広く利用可能であると考えられる。

(*東北大学大学院工学研究科)

Keywords: time-frequency coherency, downhole double three-component detector

S 波コーダの 3 次元ホドグラム解析による反射波の 検出と深部地熱貯留層構造の推定

相馬宣和*・新妻弘明*

本報告では、3次元ホドグラムの形状変化に着目した反射波検出法と 3次元地下構造推定法を説明し、葛根田、ソルツ(仏)、フェントンヒル(米)の AE データに適用し有効性などについて議論する。3次元ホドグラムはランダムノイズなどの incoherent な信号観測時には球状に、P 波などの coherent な信号観測時には直線的な形状に変化する。この形状変化の定量評価によりコーダ中の反射波の検出が可能となる。葛根田、ソルツにおいては地質データと調和的な地下構造が推定されたが、フェントンヒルでは観測器の特性が不十分なため地下反射面が検出できず、観測器の 3次元粒子運動検出能が重要であることが分かった。

(*東北大学大学院工学研究科)

Keywords: linearity of 3D hodogram, detectability of 3C detector

新手法による断層破碎帯中の亀裂の長さ と分布密度の推定

村井芳夫*・山下輝夫**

本研究では、断層破碎帯を断層面に平行な亀裂が密分布する低速度の領域としてモデル化し、亀裂間の多重散乱と高封圧下での亀裂面の接触状態を考慮して、波動伝播を厳密に計算できる新しい手法を開発した。この手法では、1枚の不連続面で摩擦法則を空間的に不均質に分布させることによって亀裂列をモデル化する。そして、

多数のこのような不連続面によって、体積的に分布する多数個の亀裂を表現する。理論計算の結果、1992年 Landers 地震の破碎帯での観測データがよく再現され、卓越する亀裂長が約200mと推定された。さらに、スペクトル解析によって破碎帯とその外側での速度比と亀裂分布密度が同時に求められる可能性が示された。

(*気象庁福岡管区气象台 **東京大学地震研究所)

Keywords: cracks, low velocity zone, mathematical method

地震波エンベロープ解析に基づく 決定論的不均質構造の推定

小原一成*

S コーダ波エンベロープは、地下の不均質構造によるインコヒーレントな散乱波の重ね合わせで構成される。地下構造の不均質性を表現するパラメータは必ずしも一様ではないため、不均質パラメータの非一様の分布が地震波エンベロープ形成に与える影響を調べ、特異な形状を示す地震波エンベロープの解析から、3次元的不均質性の分布を推定した。浅い地震のエンベロープ波形に見られる微妙な振幅の盛り上がりは、下部地殻からの散乱波であると考えられる。また、深発地震で観測されるS波エンベロープの形状の変化は、火山フロントの両側における不均質性のスペクトル特性の違いを反映している。

(*科学技術庁防災科学技術研究所)

Keywords: seismogram envelope, scattering

アレイ解析による兵庫県南部地震震源域の 散乱体分布の検出

松本 聡*・小原一成**・長谷川 昭***

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震の余震域周辺において、1995年10月から12月まで淡路島(岩屋周辺)においてCDPケーブルを用いたアレイ観測を行った。得られた自然地震、人工地震をslant stackを用いて処理した。slant stack処理によりアレイに到来する方向ごとの散乱波エネルギーを見積もった。従来CMPがとれない大きな震源距離のeventの振幅をエネルギー換算することで、これらのeventをstackし、推定の信頼性を向上させた。この結果、得られた散乱体の分布は速度構造や本震時の短周期地震波を発生した部分と密接な関連を持つことが示唆された。

(*秋田大学鉱山学部 **科学技術庁防災科学技術研究所 **東北大学理学部)

Keywords: Hyogoken Nanbu Earthquake, scatterer

地震波形エンベロープ・インバージョンによる 高周波領域での震源過程の推定

中原 恒*・佐藤春夫*・大竹政和*・西村太志*

高周波地震波動の生成に関する研究は、強震動予測や複雑な断層運動の解明を行う上で大変重要である。一般に高周波地震波動は不均質な地球内部構造により強く散乱される。このことを考慮して、我々はエネルギー輸送理論に基づき、ダブルカップル型震源に対する全S波エンベロープ・グリーン関数の合成法を開発した。さらに、このグリーン関数を用いて強震記録の波形エンベロープから断層面上におけるエネルギー放射量の空間分布を推定するインバージョン法を構築し、1994年三陸はるか沖地震と1995年兵庫県南部地震へ適用した。その結果、高周波エネルギーは、主に破壊の加速・停止に伴って輻射されているものと考えられる。

(*東北大学大学院理学研究科)

Keywords: seismogram envelope inversion, high-frequency energy radiation

ランダムな不均質媒質中の地震波伝播と地下探査： 数値シミュレーションの現状と今後の課題

河原 純*

地震波を用いた地下探査に対し、小規模(<波長)のランダムな不均質による散乱波が及ぼす影響を、数値波動シミュレーションによって調べた研究について紹介する。それらはいずれも、地殻の成層構造モデルにランダムな不均質を付加し、差分法計算によって地下探査の模擬実験を行ったものである。仮定される不均質構造は、当初の単純なものから地質学的データに基づく現実的なものまで多様である。ランダムな不均質は記録断面上に虚偽の反射面を発生させ、また実在の反射面のイメージを歪曲する。一部のシミュレーション結果は現実の地下探査結果の総合的特徴を再現し、「反射面に富む下部地殻」のイメージに疑問の余地があることを示唆する。

(*茨城大学理学部)

Keywords: random inhomogeneities, seismic exploration, numerical simulations