# 長大オフセット反射法地震探査データに対する屈折法解析手法適用の利点

東中基倫*，阿部 進，斎藤秀雄，川崎慎治，川中 卓，井川 猛（地球科学総合研究所），

# Advantages of applying refraction data processing methods to long offset reflection seismic data.

Motonori Higashinaka*, Susumu Abe, Hideo Saito,
Shinji Kawasaki, Taku Kawanaka, Takeshi Ikawa (JGI, inc.)

**Abstract:** In recent years, reflection seismic surveys which the maximum offset exceeds 10km, have been conducted in sedimentary basins. For such long-offset reflection surveys, several refraction seismic processing methods are effective to detect sedimentary structures which are about 1 –2 kilometers below ground. In here, we will overview methods for both reflection processing and refraction processing and will introduce some results by applying them to long-offset reflection seismic data.

## 1. はじめに

阪神・淡路大震災以降,地震防災を目的として堆積平野における地下構造調査が積極的に行われてきた.また近年の大都市圏大災害被害軽減化プロジェクト（文部科学省）における反射法地震探査を用いた地殻構造調査では,島弧の下に潜り込むプレートを含み,首都圏および近畿圏における広域の地殻深部構造のイメージングに成功している．これらの反射法地震探査においては,先新第三系基盤および上部地殻の速度構造把握に資する屈折法地震探査データを取得するために,一般的な反射法地震探査に比べて,大きなオフセット範囲(20㎞～150㎞)においてデータ取得がなされている.

本講演では，長大オフセット反射法データ・セットに対して可能となる屈折法処理と反射法処理について概観し，屈折法解析結果を考慮した反射法プロファイルの精度向上について述べる.

## 2. 長大オフセット記録に対するデータ処理手法

長大オフセット反射法データに対して適用可能な主たる解析手法を挙げる.

**・反射法データ解析手法**

CMP 重合処理：堆積状況および基盤のイメージングに非常に有効である．構造形状把握のための基礎的かつ解像度が高い情報を提供することができる．また反射法速度解析の結果，反射面より浅い層の速度情報が得られる．通常，2㎞ 程度の深度を対象に反射法地震探査を行う場合，必要なオフセットは 3-4㎞ 程度で十分である．より精度の高い重合前マイグレーション処理などを行う場合も，同様の情報が得られる，即ち地下構造のイメージと，速度解析結果である.

反射法データ処理によって得られるイメージは，屈折法解析によって得られる構造に比べて，解像度が高く，また層境界での速度コントラスト比が少さく屈折面としてはデータが得られない層境界の情報が得られることなど，長所が多い．反射法速度解析によって得られる速度構造は最も下位の反射面より上部の速度情報しか得られないため，基盤の速度は把握できないことが多い.

広角反射法処理：堆積層最下部においては，中新統の堆積や圧密の進行によって，下位の先新第三系基盤とのインピーダンス差が相対的に低下し反射波が弱くなる傾向にある，しかし臨界角に至る広角部分のトレースにおいては，強い反射波振幅が捉えられることがある．この様な場合には，堆積層下部から基盤面のイメージングに，広角領域のデータを積極的に用いた CMP 重合処理あるいは重合前マイグレーション処理が有効である.

反射波トモグラフィ：反射法速度解析の一手法として，反射波トモグラフィがある．反射波トモグラフィは，一般的に詳細な速度の側方変化を求めるために用いられる．解析時には重合断面図上の反射波の同定が必要となる．反射波走時は反射面の位置と速度構造両方に依存するため，逐次的な解析もしくは両者を未知数としたインバージョン解析を行う必要がある.

**・屈折法データ解析手法**

屈折初動走時から屈折面の構造または速度構造を求めることが出来る．一般に対象深度の 7～10 倍のオフセットの記録が必要となる．最大オフセット 4㎞ 程度の地震探査では，屈折法解析で得られる情報の最大深

度は，たかだか数 100m であるが，10km 以上の長大オフセットのデータを対象とする場合，深度 1-2km の堆積平野の地震基盤を含む解析が可能となる．

改良型タイムターム法解析：改良型タイムターム解析（市川他,1987）は，発震点タイムターム，受振点タイムタームおよび側方変化を伴う屈折面速度をインバージョンによって解析し，屈折面形状を把握する手法である．長大オフセットについては堆積層内の主要境界面および基盤面に関する多層解析が可能である．

フォワード・モデリング：反射法重合記録から速度構造モデルを作成し，モデルに対する走時計算を行い，計算走時と観測走時との整合性を確保するように，モデルを逐次修正する解析法である．

屈折波トモグラフィ：走時計算と非線形インバージョン解析により屈折初動走時から速度構造を得ることができる．速度不均質を反映した解像度の高い解析結果を得ることができる．反射波トモグラフィを併せて行うジョイント・インバージョン手法も選択肢として挙げられる．

## 3. 反射法と屈折法の総合解析

反射法データ解析と屈折法データ解析は，データの異なる要素を用いて解析するものであり，基本的に相互に独立した解析である．両者の結果は補完的であり，比較検討し統合することによって信頼性の高い地下構造の把握が可能となる．以下に両者を用いることにより信頼性が向上する要素を挙げる．

基盤の同定：屈折法解析によって得られた基盤に相当する速度構造との比較により，地震基盤の同定が可能となる．

堆積層の速度モデルの信頼性向上：反射法重合記録により，解像度の高い堆積層及び基盤の形状の把握が可能である．併せて，反射法速度解析により基盤以浅の速度構造が得られる．一方，屈折法解析からは，基盤の速度構造を含む速度構造が得られる．両者から得られた速度構造をクロス・チェックすることにより，信頼性の高い速度構造モデルの構築が可能である．

速度構造モデルは，● 強震動予測 ● 重力データとの相関による広域構造モデルの構築 ● 重合前深度マイグレーションなどの高度イメージング処理へのフィード・バック 等に利用可能である．S 波データが利用出来る場合は，更に S 波構造モデルや Vp/Vs の算出が可能である．

図１にこれら解析手法の模式図を示す．

## 3. 反射法処理結果と屈折法処理結果の例

長大オフセット反射法地震探査データに対して行った，反射法処理結果と屈折法処理結果の例を示す．

対象とする記録は，関東平野の成り立ちや，活断層の詳細な構造を明らかにする目的で 1997 年に，埼玉県比企郡嵐山町から北方へ比企丘陵を縦断して，荒川を越え熊谷市に至る約 16km の区間で実施した二次元反射法地震探査データ（RAN97）（井川他，1998）である．調査位置図を図２に示す．本調査域は，いわゆる中央構造線の延長と八王子構造線の会合点付近に位置し，中央構造線を境に三波川帯と領家帯が接するものと推定されている．

図３に，反射法処理結果を示す．通常の CMP 重合と重合後マイグレーションを行い，深度変換した記録である．併せて図４に屈折トモグラフィ解析結果を示す．

反射法重合記録で確認できる CMP400 付近より北に向かって大きく傾斜する基盤上面の形状と，屈折初動トモグラフィ解析結果の速度境界はよく整合している．

## 4. まとめ

長大オフセット反射法地震探査データに対する反射法データ処理および屈折法データ処理について紹介した．反射法データ解析による解像度が高く構造形状と反射法速度解析による基盤以浅の速度構造，及び屈折法解析結果による基盤を含む速度構造を総合的に比較検討することによって，両者の解析結果の信頼性を向上させることが出来，基盤を含む速度構造モデルの構築が可能となる．

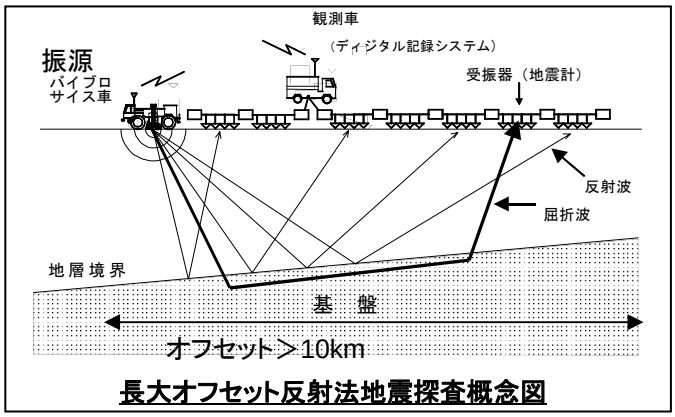
堆積平野の速度構造モデルは，強震動予測などの地震防災計画に不可欠な情報である．重力データとの相関による広域構造モデルの構築や，重合前深度マイグレーションなどの高度イメージング処理に利用可能である．

屈折初動解析の積極的な適用によって，既存の反射法データをより有効に活用することが出来るものと考える．

## 参考文献

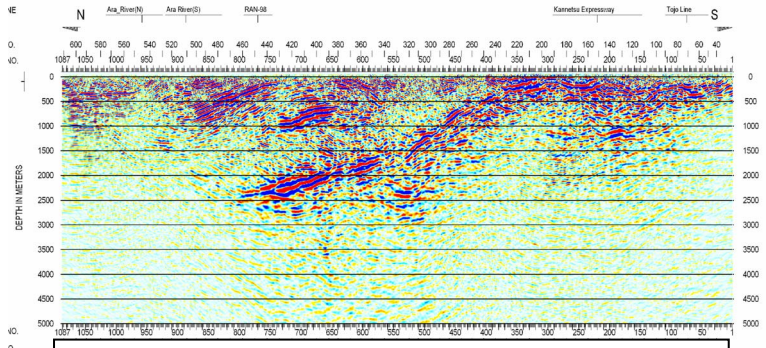
市川健一，太田陽一，熊井基，内田真人(1987)；改良タイムターム法を用いた会話型静補正システム，第 77 回（昭和 62 年秋期）物理探査学会講演論文集，129-133

井川猛，川中卓，小澤岳史，伊藤谷生，笠原敬司，佐藤比呂志(1998)；関東平野北西部の反射法地震探査による地下構造，1998 年度地球惑星科学関連学会合同大会 予稿集，370



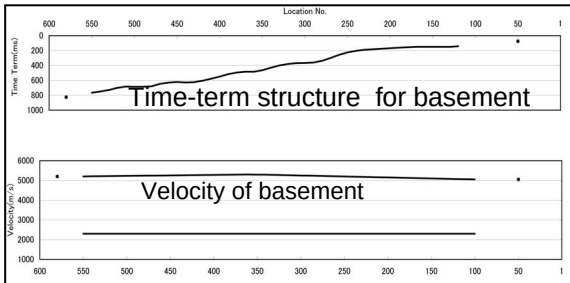

長大オフセット反射法地震探査概念図

## Reflection method



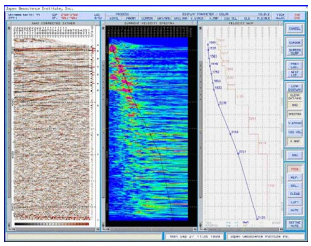
Seismic profile/ wide-angle seismic profile

## Refraction method

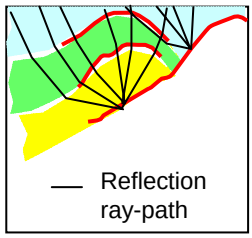



time-term method

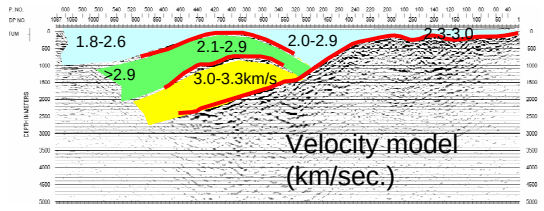
Layering



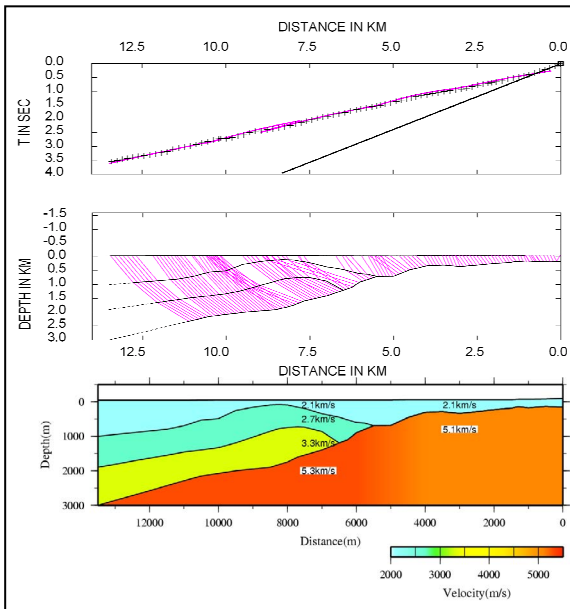
Stacking/migration velocity analysis



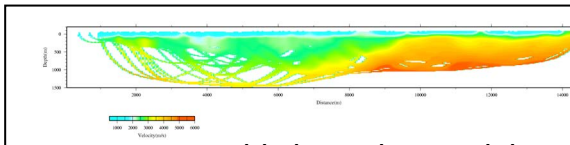

Reflection Tomography




Velocity model from reflection velocity analysis




Shooting ray forward modeling



Tomographic inversion model

Integrated velocity model for
- Interpretation
- Estimation of Strong ground motion
- Velocity for PSDM

図1. 長大オフセット反射法データに対する反射法及び屈折法解析手法

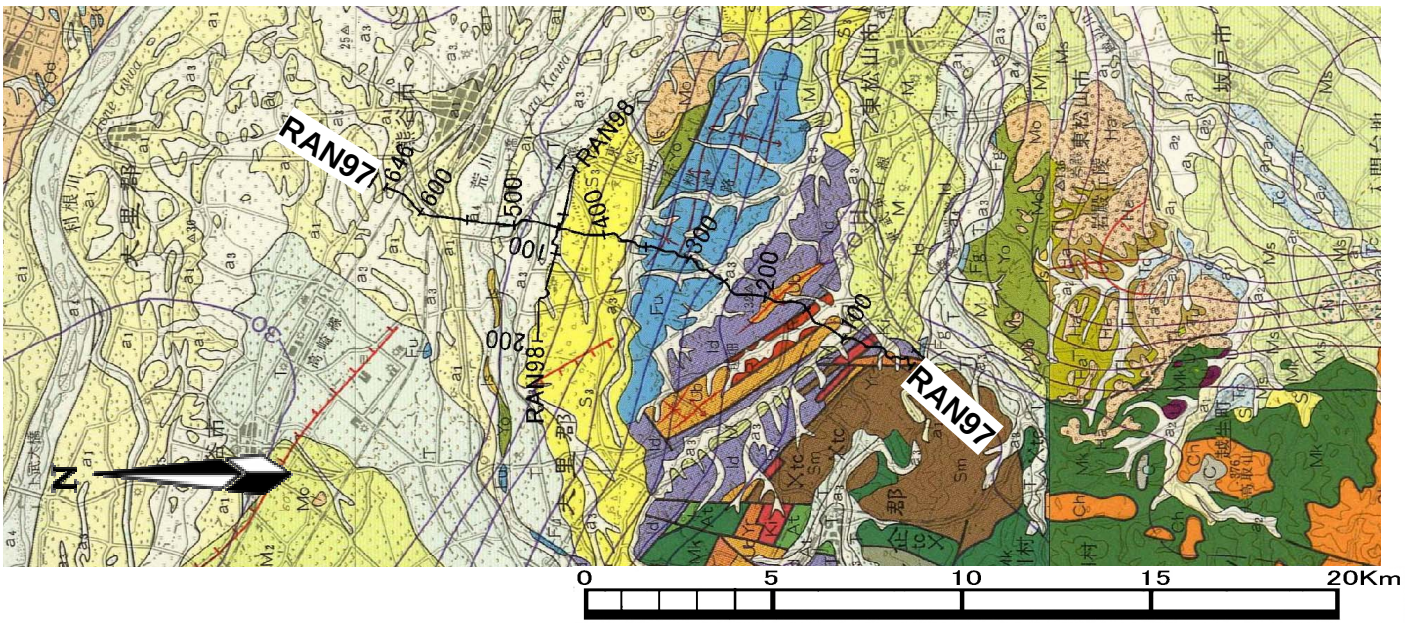



図2. 調査位置図（地質調査所 1:200,000 地質図に加筆）

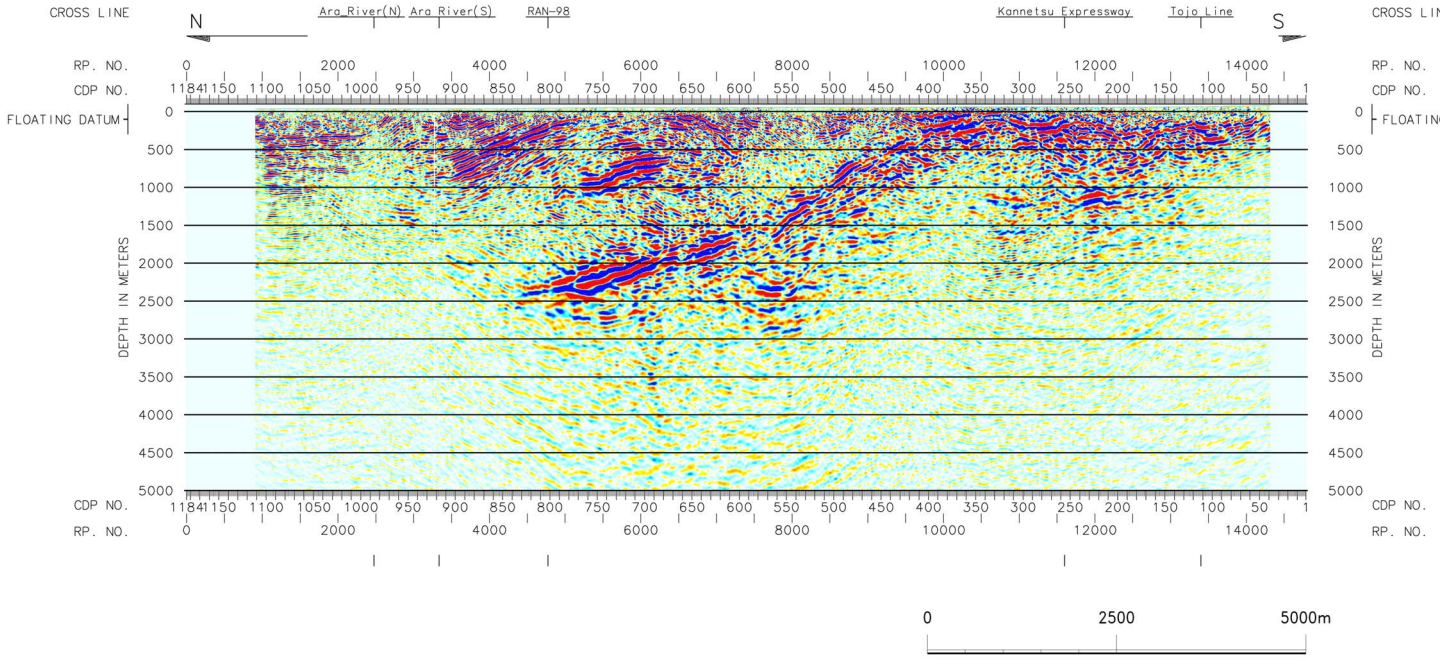



図3.反射法マイグレーション深度断面図

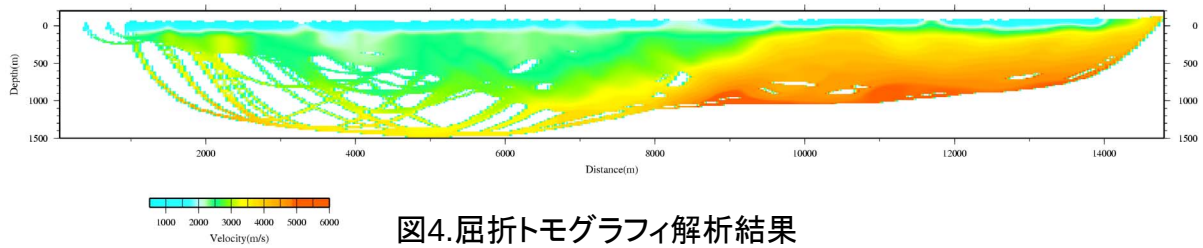



図4.屈折トモグラフィ解析結果