

2.2.4.5. 調査候補地点案総合評価

この章で検討してきた貯留層情報、遮蔽層情報、構造の情報、海洋環境の情報を用いて総合評価を行った。評価には評点方式を用いた。評価結果を表 2-50 に、評価に用いた各項目に与えた配点を表 2-51 に示す。

表 2-50 調査候補地点案 総合評価表

候補番号		ブロック8 (北陸-隠岐沖)									ブロック9 (山陰沖)						ブロック14 (天草-五島沖)				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
貯留層	平均海面下深度	○	△	△	○	○	○	△	△	◎	◎	○	◎	◎	△	◎	△	◎	◎	○	◎
	平均層厚	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	◎	◎	◎	◎	○	○	◎	◎
	孔隙率	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
遮蔽層	最小層厚	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
構造	地層傾斜	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
海洋環境	生物多様性保全上の重要性	○	○	×	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	◎	○	◎	◎	◎	

参考	操業漁業の有無	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	
	船舶運航の有無	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	
	鉱区の有無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	
	平均水深(m)	296	343	391	389	397	531	223	749	247	358	533	519	406	492	297	835	623	713	703	601
	離岸距離(km)	45	56	36	46	55	27	39	67	46	97	88	56	54	128	128	67	130	95	159	148

貯留可能量(億トン) [A]	51	63	102	25	23	37	82	34	18	13	9	8	56	41	17	73	13	4	27	20
評点の積[B]	0.11	0.05	0	0.11	0.11	0.11	0.05	0.05	0.18	0	0.11	0.06	0.18	0.05	0.18	0.09	0.11	0.18	0.18	0.18
[A]×[B]	5.5	3.4	0	2.7	2.5	4.0	4.4	1.8	3.2	0	1.0	0.5	10.1	2.2	3.1	6.6	1.4	0.7	4.9	3.6
評点ランキング	3	8	19	11	12	6	5	14	9	19	16	18	1	13	10	2	15	17	4	7

上段：評価に使用した項目、中段：評価には使用していないが参考として示した項目、下段：評価結果

表 2-51 総合評価配点表

	貯留層						遮蔽層			構造	海洋環境		
	記号	点数	平均海面 下深度(m)	平均層厚 (m)	孔隙率 (%)	貯留 可能量 (億トン)	記号	点数	最小層厚 (m)	地層傾斜 (度)	記号	点数	生物多様性保全上の 重要性 (情報の有無)
評 点	◎	1	>=800	>=500	>=25	>=50	◎	1	>=100	<=10	◎	1	沖合海底、沖合表層と もに無い
	○	0.6	>=1500	>=200	>=20	>=10	○	0.6	>=50	<=20	○	0.6	沖合表層のみ有り
	△	0.3	>=2000	>=50	>=5	>=2	△	0.3	>=20	<=30			
	×	0	>=3000	<50	<5	<2	×	0	<20	>30	×	0	沖合海底に有り

評価に際しては、表 2-50 の上段表で◎～×の評価に対して設定した配点を用いて調査候補地点案毎の評点を計算した。評点はすべての項目の積とした（下段：[B]）。この積と貯留可能量 [A] を掛けたもの（下段の [A] × [B]）を最終的な評点とした。

この最終的な評点の最も大きい候補地点を上位から 3 地点選定した。この結果上位から、ブロック 9 山陰沖の 4 番、ブロック 14 天草一五島沖の 1 番、ブロック 8 北陸一隠岐沖 1 番の順となった。それぞれの候補地点は以下のような特徴を持っている。なお、評点が次に大きいブロック 14 天草一五島沖の 4 番についても特徴を示す。

- ・ブロック 9 山陰沖の 4 番

海岸線からの距離は 54km、平均水深は 406m。平均貯留層厚は 798m、貯留層最小深度は 964m である。見掛けの地層傾斜は 8 度であり選抜された他の候補地点に比べ大きい。貯留可能量は概算で 56 億トン。計算に用いた貯留層面積は 323km² である。遮蔽層厚は新第三紀の地層が、平均 889m 程度存在する。

- ・ブロック 14 天草一五島沖の 1 番

海岸線からの距離は 67km、平均水深は 835m とやや深めである。平均貯留層厚は 1,498m、貯留層最小深度は 2,636m と深い。見掛けの地層傾斜は 2 度と小さい。貯留可能量は概算で 51 億トン。計算に用いた貯留層面積は 338km² である。遮蔽層厚は第四紀層相当の地層が、平均 520m 程度存在する。

- ・ブロック 8 北陸一隠岐沖の 1 番

海岸線からの距離は 45km、平均水深は 296m と浅めである。平均貯留層厚は 1,032m、貯留層最小深度は 1,610m である。見掛けの地層傾斜は 2 度と小さい。貯留可能量は概算で 51 億トン。計算に用いた貯留層面積は 329km² である。遮蔽層厚は第四紀層相当の地層が、平均 480m 程度存在する。

- ・ブロック 14 天草一五島沖の 4 番

海岸線からの距離は 159km、平均水深は 703m とやや深めである。平均貯留層厚は 546m で、貯留層最小深度は 1,317m と深い。見掛けの地層傾斜は 1 度と小さい。貯留可能量は概算で 27 億トン。計算に用いた貯留層面積は 462km² である。遮蔽層厚は第四紀層相当の地層が、最小でも 718m 程度存在する。

2.2.5. 二次元反射法地震探査測線の提案

評点の大きい上位4地点（そのうち調査候補地点は上位3地点）に対して二次元反射法地震探査測線の計画・提案を作成した。

2.2.5.1. 測線配置の検討

弾性波探査の測定は以下のような意味合いを持つと考えられる。

二次元弾性波探査（概査）

- ・ 調査候補地点周辺の地質構造の概要を把握
- ・ 調査候補地点の貯留層・遮蔽層および断層の分布状況を把握
- ・ 三次元弾性波探査の範囲等の決定

三次元弾性波探査（詳細調査）

- ・ 貯留地点としての妥当性確認
- ・ ボーリング掘削の位置等の決定

これらを踏まえて、二次元弾性波探査の測線計画を行うにあたり、以下のような目的・検討事項を設けて実際に測線を計画した。

目的

- ・ 調査候補地点周辺の地質構造の概要を把握する。（長測線の配置）
- ・ 調査候補地点の貯留層・遮蔽層および断層の分布状況を把握する。（格子状測線）

検討事項

- ・ 水深 200～1,000m の海域を中心に配置。
- ・ 測線間隔は最大 5km 間隔とし、格子状に配置することで、調査候補地点の貯留層・遮蔽層および断層の分布状況を把握する。
- ・ 測線配置は地層傾斜方向に並行・直交するように既往測線を考慮して計画する。
- ・ 既存の測線や坑井（基礎試錐等）への交差測線を設定する。ただし既往測線のうち再解析に使用できる程度のデータがある箇所は限られていると考えられる。現段階ではこれらのデータの有無までは確認していないため既往測線があってもこれと重複する箇所に計画測線を設定した。
- ・ 調査候補地点周辺の地質構造の概要を把握するために、長測線を数本配置する。

- ・ 既存の測線や坑井への交差測線を設定することで、弾性波探査実施後のシミュレーション等に使用できる情報を入手しやすくする。

なお、本検討においては、企業ベースで実施された探鉱については資料外としているため、探査を実際に行う段階では、企業探鉱データも含めて情報収集を行い、計画の精度を上げていく必要がある。

1)地点① ブロック 9 山陰沖の 4 番

測線設定

- ・ 地層傾斜方向は北西方向であり、これと並行方向を主測線方向とし NW-SE 方向測線とした。これに直交する測線方向を NE-SW 方向測線とした。
- ・ 北西側には日韓暫定水域がある。このため北西側にはあまり張り出さないように測線を配置した。
- ・ 周辺地質を把握するために長い測線を 6 測線設定した。

交差測線

- ・ 近傍に基礎試錐は無い。NE-SW 方向測線の中央は解釈の参考とするため、東側にある AIST 地質断面と交差するように設定した。
- ・ 地質情報を検討する上で試錐データが必要である。既存企業探鉱データがあるとの情報を得ているが正確な位置まで把握できていない。今後これらの情報を収集して交差測線を設定する必要がある。

測線情報

NW-SE 方向	： 測線間隔 3.5km
	： 62.5km × 1 測線
	： 64.0km × 1 測線
	： 80.5km × 1 測線
	： 28.5km × 6 測線
NE-SW 方向	： 測線間隔 3.5km
	： 72.8km × 3 測線
	： 35.6km × 6 測線
総測線長	： 810km

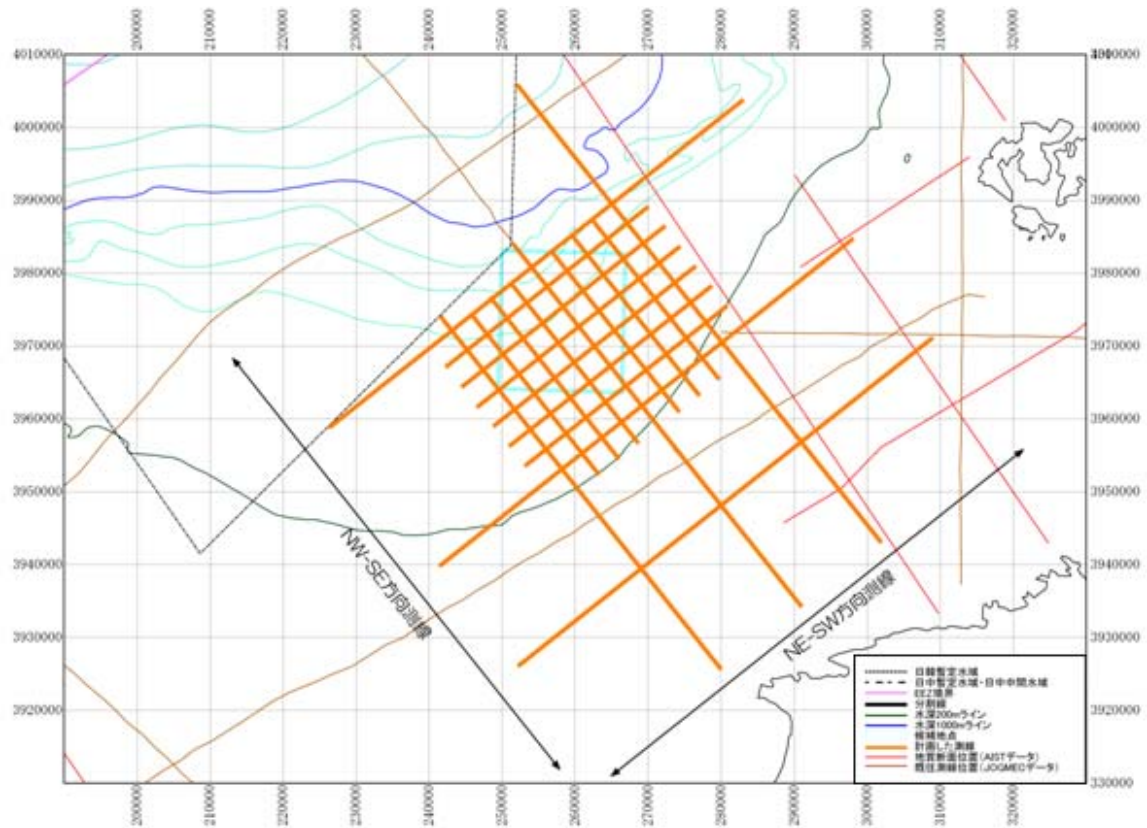


図 2-72 ブロック 9-4 測線計画案
(UTM ゾーン 53 にて表示)

2)地点② ブロック 14 天草ー五島沖の 1 番

測線設定

- 地層傾斜は南西方向でありこれと並行する方向に主測線方向として NE-SW 方向測線を設定した。これに直交する測線方向を NW-SE 方向測線とした。
- 調査候補地点の東方に甕島があり、これを避けるように測線を配置した。
- ブロック 14-1 の周囲にはいくつかの断層が確認されている、これらの連続性を把握する目的で、格子状領域の外側にも長測線を配置した。

交差測線

- 最も近傍にある基礎試錐は、「五島灘」であるが、ブロック 14-1 の北方 80km に位置しており離れている。この間には複数の断層が存在するため地層対比を行うのは難しいと判断して基礎試錐への交差測線の設定は行わない。そのかわり、長測線は解釈の参考とするため、南側および北側に東西方向に伸びる AIST 地質断面と交差するように設定した。
- また、地質情報を検討する上で試錐データが必要である。既存企業探鉱データがあるとの情報は得ているが正確な位置まで把握できていない。今後これらの情報を取

集して交差測線を設定する必要がある。

測線長

NE-SW 方向 : 測線間隔 3.5km

: 81.0km×2 測線

: 39.5km×8 測線

NW-SE 方向 : 測線間隔 3.5km

: 100km×2 測線

: 39.5km×8 測線

総測線長 : 1,013km

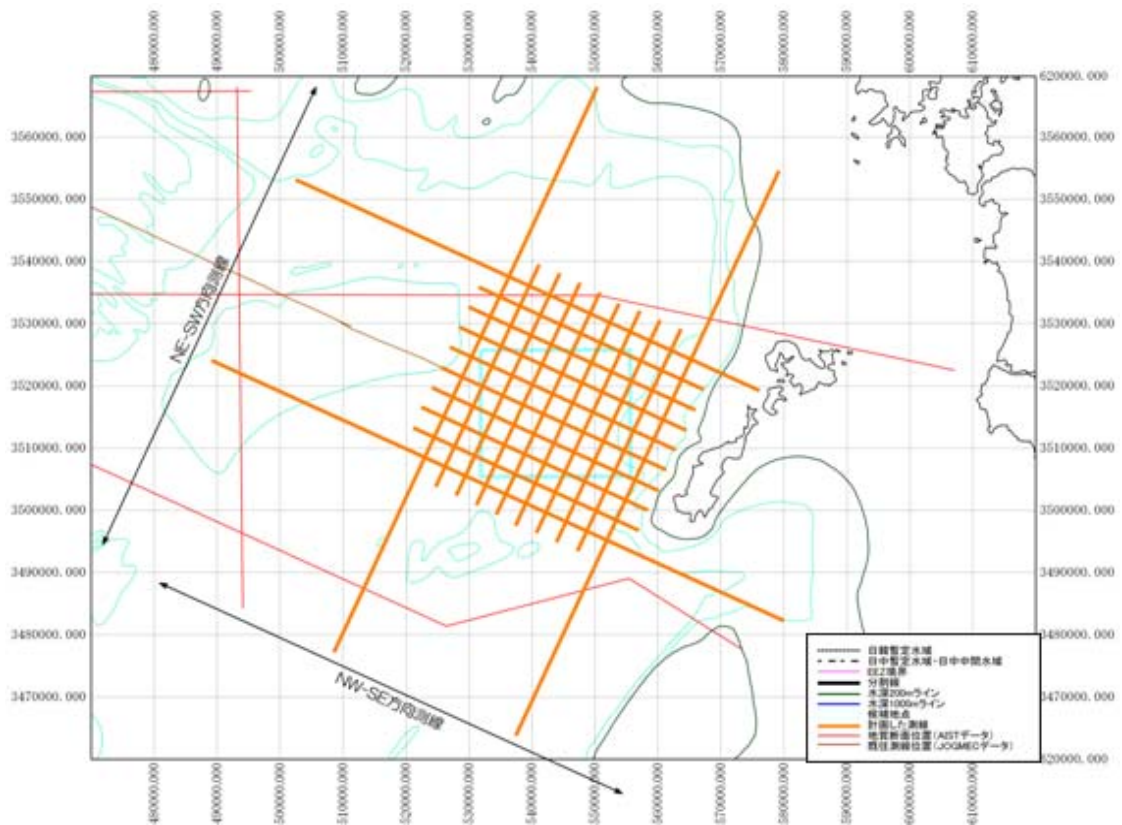


図 2-73 ブロック 14-1 測線計画案
(UTM ゾーン 52 にて表示)

3)地点③ ブロック 8 北陸—隠岐沖の 1 番

測線設定

- 地層傾斜は北西方向でありこれと並行する方向を主測線方向とし NW-SE 方向測線を配置した。これに直交する測線方向を NE-SW 方向測線とした。
- ブロック 8-1 の東方および南方にはいくつかの断層が確認されている、これらの連

続性を把握するため、また周辺の地質を把握する目的で、長測線を 6 本設定した。
 交差測線

坑井への交差測線は、23km 西方にある基礎試錐「金沢沖」まで延長した。既往測線は測定範囲の直下にあるため確認が可能。

測線長

NW-SE 方向 : 測線間隔 3.5km

: 35.6km × 8 測線

: 76.6km × 3 測線

NE-SW 方向 : 測線間隔 3.5km

: 45.0km × 6 測線

: 79.6km × 3 測線

総測線長 : 1,023.4km

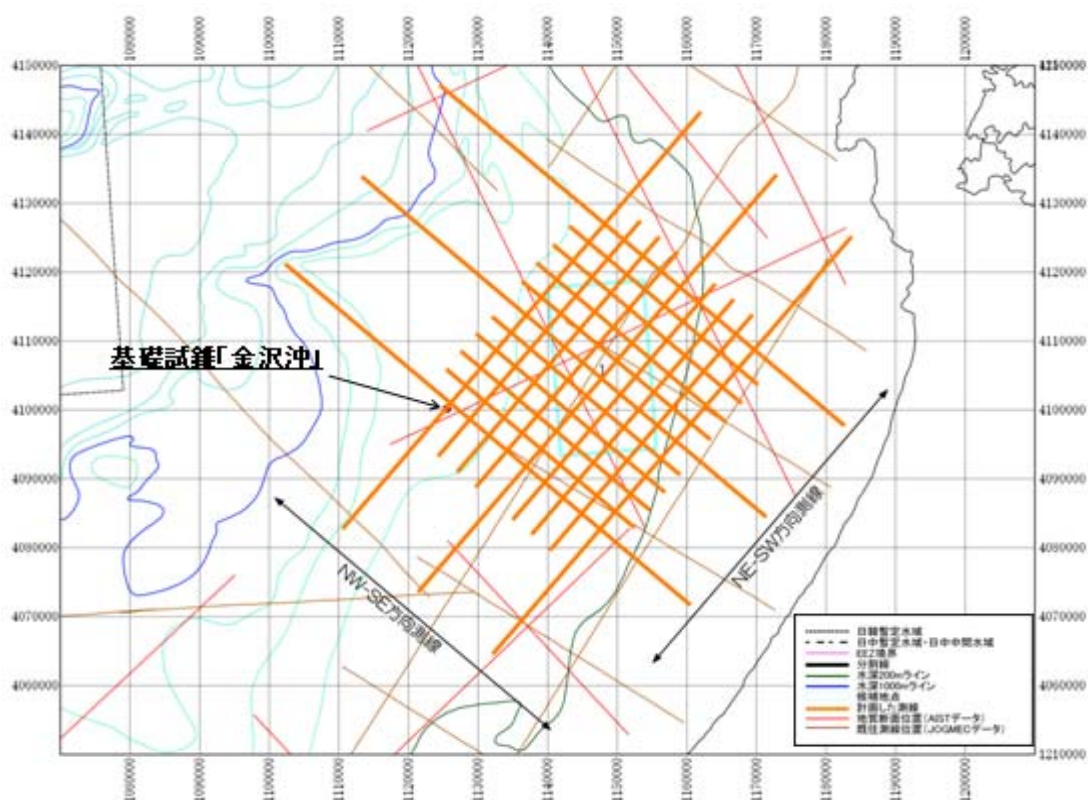


図 2-74 ブロック 8-1 測線計画案
 (UTM ゾーン 53 にて表示)

4) 地点④ ブロック 1 4 天草—五島沖の 4 番

測線設定

- 地層傾斜は南東方向でありこれと並行する方向に主測線方向として NW-SE 方向測

線を設定した。これに直交する測線方向を NE-SW 方向測線とした。

- ブロック 14-4 の東方および西方にはいくつかの断層が確認されている、これらの連続性を把握する目的で、格子状領域の外側にも長測線を配置した。

交差測線

- 周辺には基礎試錐は無い。このため交差測線は設定しない。
- ただし、地質情報を検討する上で試錐データが必要である。既存企業探鉱データがあるとの情報は得ているが正確な位置まで把握できていない。今後これらの情報を収集して交差測線を設定する必要がある。

測線長

NE-SW 方向 : 測線間隔 3.5km

: 84.3km×2 測線

: 41.4km×9 測線

NW-SE 方向 : 測線間隔 3.5km

: 65.2km×2 測線

: 42.6km×9 測線

総測線長 : 1,055km

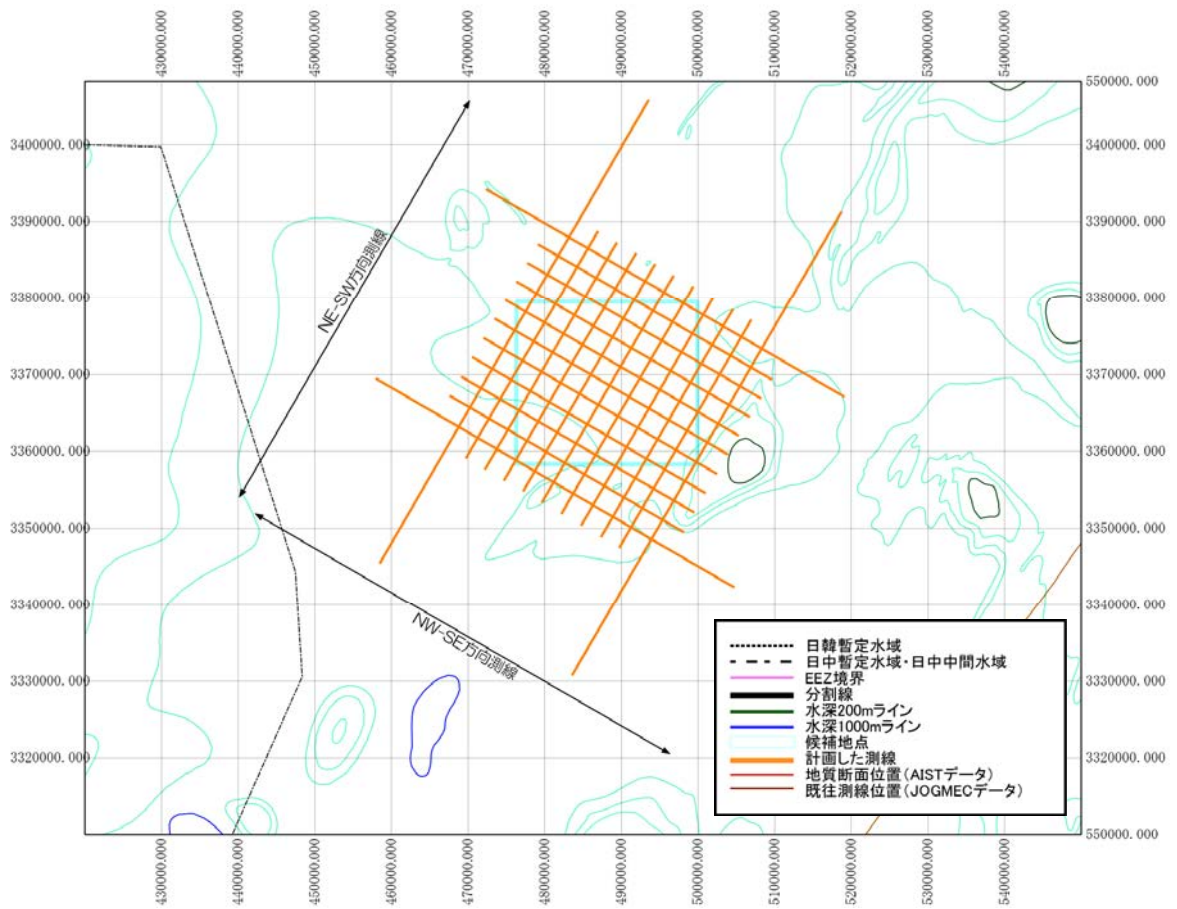


図 2-75 ブロック 14-4 測線計画案
(UTM ゾーン 52 にて表示)

2.2.5.2. 測定仕様の検討

過去に JOGMEC によって実施されている基礎物理探査のデータを基に、調査仕様を検討した。二次元弾性波探査では、地質概要を把握することが主目的である。このため同様の目的で実施されている JOGMEC 基礎物理探査報告書を参考として、比較的近年に実施されている仕様と同等かそれ以上の仕様を検討することにした。まず、基礎物理探査報告書から必要情報として、調査船規模、データ重合数、発震点間隔、震源容量、受振点間隔、同時受振数、記録長、サンプリング間隔を抽出し表 2-52 に示した。

表 2-52 過去における基礎物理探査の主な仕様

報告書名	船大きさ (トン)	重合数	サンプリング (ミリ秒)	記録長 (秒)	受振点間隔 (m)	同時受振 (ch)	発震間隔 (m)	震源容量 (立方イチ)
沖縄島-与那国	340.95	24	4	5	50	48	50	810
南西諸島	340.95	24	4	5	50	48	50	810
北陸	340.95	24	4	5	50	48	50	810
沖縄	340.95	24	4	5	50	48	50	810
北陸～山陰	340.95	24	4	5,6	50	48	50	960
沖縄西方海域	340.95	24	4	5	50	48	50	810
北海道西部-新潟海域	340.95	24	4	5	50	48	50	810
下北-東海沖	990.82	24	4	5	50	48	50	1570
トカラ列島海域	990.82	48	4	5	50	48	25	2090
富山沖・北陸～隠岐沖・山陰沖	990.82	48	4	5	50	48	25	2090
西津軽～新潟沖	990.82	48	4	8	25	96	25	4244
山陰～北九州沖	2415.34	60	4	8-10	12.5	240	25	4768
九州南西～トカラ沖	839	60	4	8	13.33	240	26.66	2250
対馬沖	2619	60/40	4	7	12.5	240/160	25	2250

この表から、最低限必要と考える仕様を検討した。検討結果を表 2-53 に示す。この検討結果は、どの海域においても同じ仕様を用いる場合として検討したもので、水深も浅く、貯留層となる地層の分布深度も浅いような海域ではこれより低い仕様でも十分な測定が可能な場合もあると考える。

表 2-53 必要な調査仕様

調査仕様 (案)	
調査船	: 1,000 トン未満の小型船 (大型船は小回りがきかないため隣接測線に入る時に、旋回半径が大きくなり作業効率が落ちる)
重合数	: 48 重合以上
サンプリング間隔	: 4 ミリ秒
記録長	: 5 秒以上
受振点間隔	: 25m 以下
同時受振	: 96ch 以上
震源	: エアーガン
震源容量	: 2,000 立方インチ以上

2.2.6. 今後の課題

2.2.6.1. 活断層調査

貯留適地の絞り込みに用いた断層は、既往文献から抽出した断層を用いた。実際には、決定した貯留適地候補地点において、十分な調査が実施されているかどうかはわからない。海域においては既往調査量が少ないことから、今後二次元探査を実施した結果、新たに断層が発見される可能性もある。また、既往資料にて確認されている断層についても、活断層かどうかを詳細に調査して判定を行う必要がある。次年度以降実施される二次元弾性波探査に加えて、活断層調査等で使用されている周波数の高い震源を用いた調査を行う必要がある。

一般的に海上地質調査に使用されているエアガン震源の周波数は数 Hz～数百 Hz ある。エアガンを用いるメリットは、低い周波数によって大深度までの測定が可能な点である。しかし極浅層部である第四紀層内の詳細な構造調査には周波数が低いことから分解能が低く不向きである。活断層調査で使用されている震源は、ブーマー等の高周波数震源で、これは 1kHz～10kHz 程の高い周波数の発震が可能である。高い周波数の発震を行うことで浅部を高分解能で調査することが可能である (図 2-76)。ただし、高周波数の発震によって浅部分解能は上がるが深部までエネルギーが到達しないため深部探査は出来ないことから、二次

元弾性波探査と併用する必要がある。

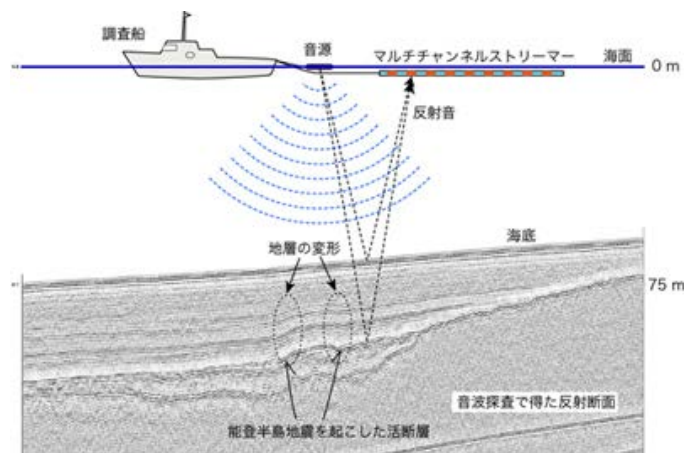


図 2-76 活断層調査の事例

(出典) 産業技術総合研究所[23]

2.2.6.2. 弾性波探査

(1)弾性波探査会社の現況

現在二次元探査船の備船は容易ではない。西暦 2000 年以前においては、二次元海上弾性波探査のサービスを行う会社は数多く存在した。しかし 2000 年前後を境として、それらの会社の多くは吸収・合併等によって統廃合され、世界中に事業を展開している会社としては、現在では 3 社に集約されている。そこで、適地調査における二次元反射法弾性波探査の実施に向けて、現在において備船可能な二次元探査船についての情報を収集した。

(2)日本周辺沿海域における問題点

日本周辺海域では定置網等による漁業活動が盛んであるため、ストリーマーケーブル曳航方式による探査を実施するには細心の注意が必要である。とくに探査時間については、航行の安全等の理由から制約を受ける場合が多く、探査時期によっては水深に係わらず漁場内の探査活動自体が制限される場合がある。したがって、探査の実施に当たっては、各地方海上保安部との調整や漁業協同組合との協議が必要である。

有力弾性波探査会社 3 社の二次元探査船保有状況を表 2-54 に記述する。

表 2-54 有力地震探査会社 3 社の調査船

 <p>© A. Macdonald MarineTraffic.com</p>	<p>WesternGeco 社 (英) Schlumberger 社 (米) の子会社で海陸弾性波探査分野における世界最大級の会社である。大型三次元探査船による活動が主力であるが、浅海域仕様の下記探査船による探査が可能である。 船名と母港：GILAVAR、母港 BAKU 港 船長×船幅：85m×16m 喫水と総トン数：5.4m、3,779 トン</p>
	<p>CGG 社 (仏) 世界最大級の弾性波探査会社である。浅海域仕様の探査船も数隻保有しているが、日本周辺沿海域における探査においては、ベトナムを母港とする下記探査船の使用が現実的である。 船名と母港：BINH MINH 02、母港 SAI GON 港 船長×船幅：62m×14m 喫水と総トン数：5.6m、2,319 トン</p>
	<p>PGS 社 (ノルウェイ) 海上弾性波探査のサービスに特化した会社であり、大型探査船は多数保有しているが、浅海域仕様の探査船としては、契約船である下記探査船の使用が可能である。 船名と母港：ISKATEL-4、母港は Korsakov 港 船長×船幅：45m×18m 喫水と総トン数：1.8m、878 トン</p>

(出典) WesternGeco 社、CCG 社、PGS 社資料

探査実施時の注意点について、以下に列記する。

- ①探査船の仕様：1500～2000m 程度の長さのストリーマ長への変更が可能か（例
120ch×12.5m=1500m）
- ②二次元探査船が比較的大型となることから警戒船も漁船ではなく作業船の備船
が必要→耐波浪性能のため小型船は航行が困難となることから
- ③沿岸域での補助警戒船として漁船の備船が必要となるか
→魚種、障害物の分布等の助言
- ④漁業活動の完全な把握：定置網・流し網・刺し網等の位置、活動時期、団体等
→測線計画立案
- ⑤探査は日中に限られる
→探査進捗計画に影響
→探査船観測費用に影響
- ⑥探査許可申請
→地方海上保安部への申請と水路通報への告知
→探査範囲が広域になる場合には多くの関連組合との調整が必要
- ⑦探査費用と見積もり
→現場までの往復回送費（観測時の半額程度）
→夜間待機費用の発生の有無
→探査機器故障の場合の費用負担
→警戒作業船の費用
→補助警戒船および必用に応じて漁業専門家同行の費用
→データ処理費用（船上あるいは処理センター）
→漁協対応費用（各海域最低2週間か）
→漁網等損傷保険
→データ取得 QC 業務

(3)広帯域弾性波探査

適地を選定するために実施する弾性波探査においては、より精度の高い地下構造解釈を行うことが重要である。近年、（主として海上反射法探査において）より広帯域の信号を取得する技術（広帯域反射法弾性波探査：BroadBand Seismic）を用いて精度の高い地下構造解釈を行う試みが盛んに行われるようになっており、各方面で成果を挙げている（図 2-77）。同技術は、対象帯水層から海底面にいたる広い深度範囲の構造の詳細な把握が求められる CCS 適地調査においても有用と考えられる。そこで、以下にその概要をまとめる。

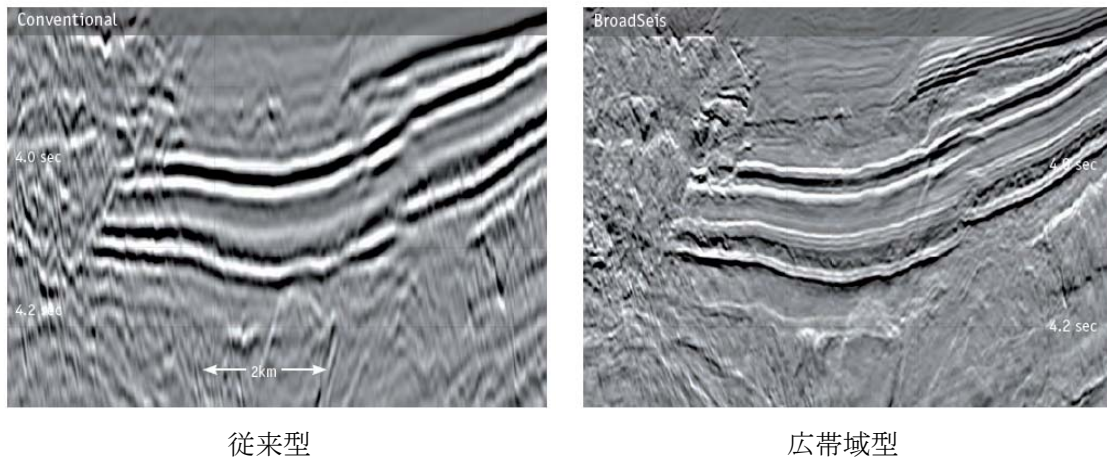


図 2-77 従来型と広帯域型の反射法弾性波探査によって得られた断面の比較(メキシコ湾)
(出典) CGG [24]

反射法弾性波探査は、受振した反射波パルスを地層境界に対応させる方法によって地下構造を可視化し、解釈する技術である。したがって、(時間領域で受振される) 反射波パルスがシャープであるほど、精度の良い解釈が可能となる。ところが、反射波パルスがシャープであるということは、その周波数スペクトルが周波数領域の広範囲にわたって平坦であること(広帯域)の必要性を意味する。つまり、高精度な解釈を行うためには、反射波パルスをなるべく広帯域のスペクトルを有する信号として受振することが重要である。

有力弾性波探査サービス会社である WesternGeco 社と CGG 社は、最近になって、それぞれ独自の方法で受振器水深の混在を実現した。以下に、両社の広帯域反射法弾性波探査技術の概要を整理する。

① WesternGeco

WesternGeco 社の広帯域反射法弾性波探査技術は Over/Under 法という。その概念を図 2-78 に示す。同技術においては、異なる水深に受振器を設置する方法として、2本のストリーマケーブルを1セットとして用い、各ケーブルを異なる水深に保って並行に曳航する。このようなアプローチが有効であるためには、1セットのストリーマケーブルを同一の鉛直面内で曳航することが必要であるが、このような操作は、ストリーマケーブルの操縦とポジショニングに関する近年の技術革新によって可能になった。

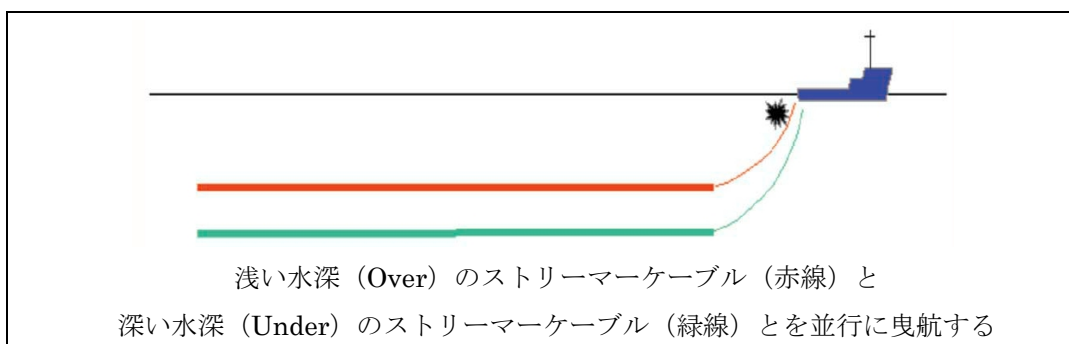


図 2-78 Over/Under 法の概念図

(出典) Moldoveanu, N. (2007) [25]

2本のケーブルで取得されたデータは、両者を組み合わせてゴーストを除去する処理(デゴースト)の過程で自然に重合され、Over ストリーマーカーによるデータと幾何学的に同等でかつ広帯域の特性をもったデータとなる。

二次元探査においては図 2-79 に示すようなケーブル配置が用いられる。すなわち、例えば、水深 7.2m に 1 本、18m に 3 本、25.2m に 1 本のケーブルが配置され、水深 18m の中央のケーブルが Over、25.2m のケーブルが Under として、それぞれ用いられる。そして、水深 18m の両翼のケーブルは音響ポジショニングネットワークを構成して主ケーブルを正確にポジショニングする目的で使われ、7.2m のケーブルは参照データの取得のために使われる。

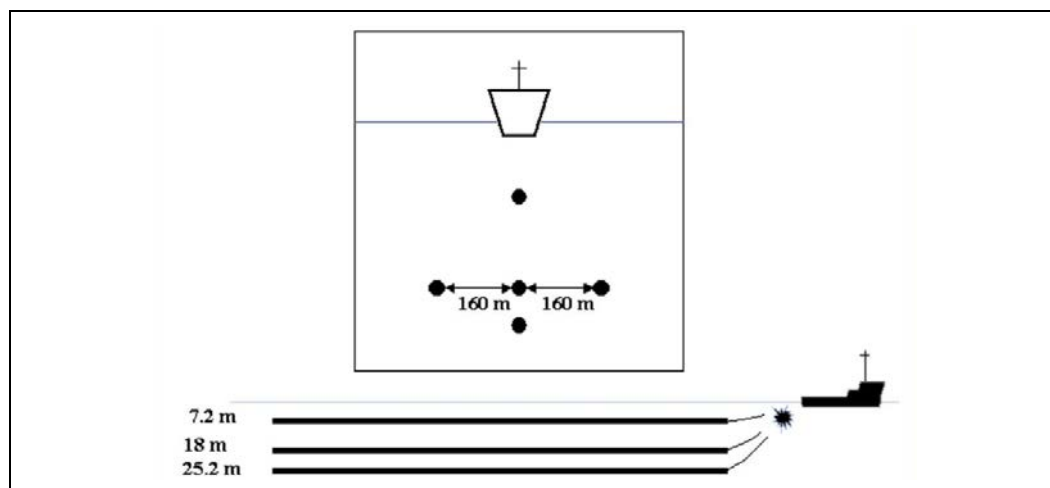


図 2-79 Over/Under 法による 2D 探査の例

(出典) Moldoveanu, N. (2007) [25]

図 2-80 に、メキシコ湾における Over/Under 法による広帯域反射法弾性波探査の結果例を示す。同図の上段は Over ケーブルのみを用いた断面であり、下段は Over/Under 法による断面である。Over/Under 法によって主要な地層境界がシャ

ープにイメージングされていることがわかる。

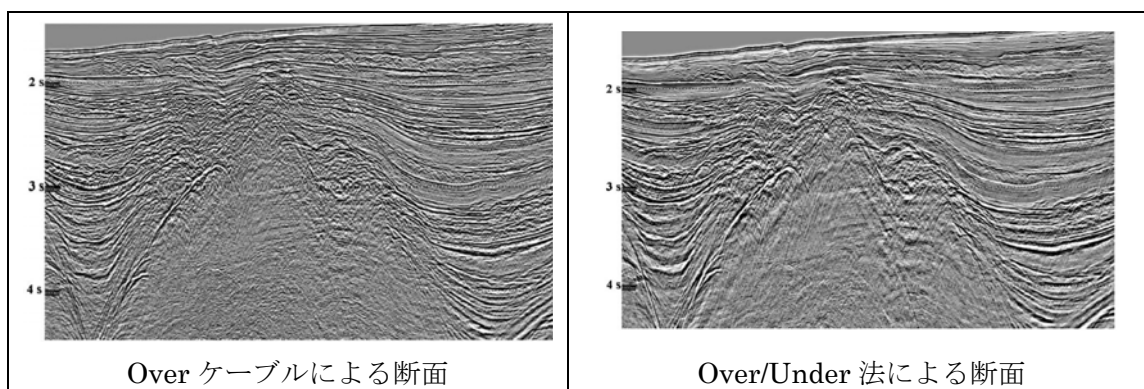
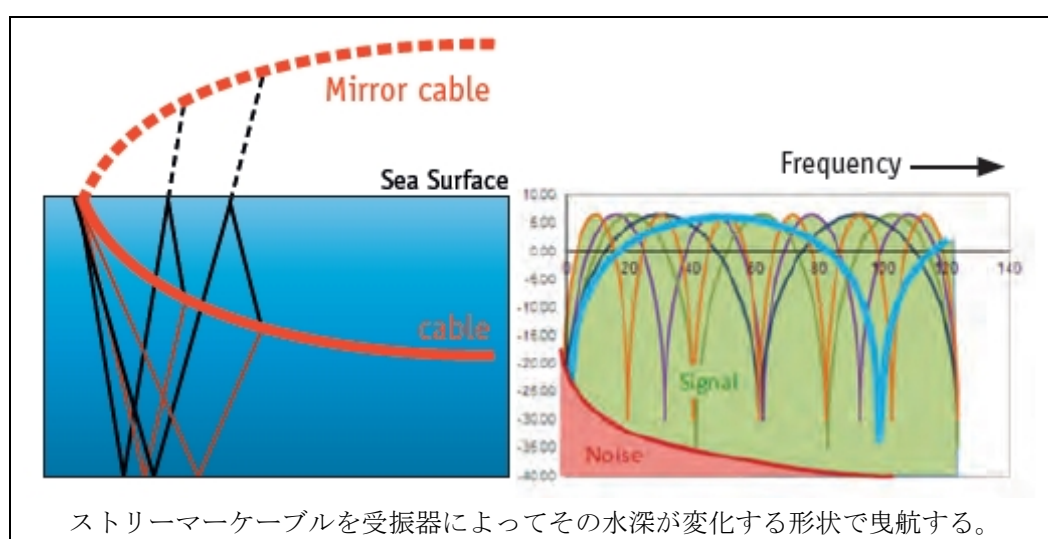


図 2-80 Over/Under 法による広帯域反射法弾性波探査の例（メキシコ湾）
 (出典) Moldoveanu, N. (2007) [25]

②CGG

CGG 社の広帯域反射法弾性波探査技術は **Variable-depth streamer** 法という。その概念を図 2-81 に示す。同技術においては、異なる水深に受振器を設置する方法として、ストリーマーカーケーブルを水平にせず、受振器によってその水深が変化する形状で曳航する。このようなアプローチが有効であるためには、ストリーマーカーケーブルを所定的水深に沈めるための技術が必要であるが、すでに水深 60m まで安定的に沈めることができる技術が確立されている。ストリーマーカーケーブルの形状は、探査海域の水深、探査対象深度、および弾性波速度によって最適化される。



ストリーマーカーケーブルを受振器によってその水深が変化する形状で曳航する。

図 2-81 Variable-depth streamer 法の概念図

(出典) CGG [26]

図 2-82 に、西アフリカにおける Variable-depth streamer 法による広帯域反射法弾性波探査の結果例を示す。同図の上段は従来型探査による断面であり、下段は Variable-depth streamer 法による断面である。Variable-depth streamer 法によって主要な地層境界がシャープにイメージングされていることがわかる。

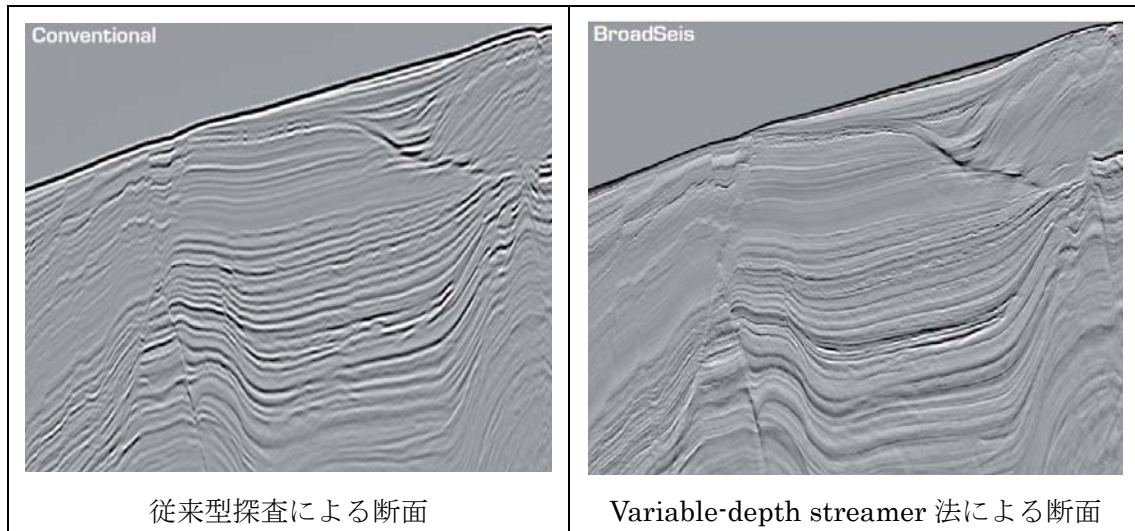


図 2-82 Variable-depth streamer 法による広帯域反射法弾性波探査の例（西アフリカ）
 (出典) CGG (2011) [27]、Soubaras, R. (2010) [28]

(4) 屈折法弾性波探査

先に述べた広帯域反射法弾性波探査は、新しい技術である。次に既存の調査方法であるが、これまでの海洋調査において実施されることが少なかった屈折法探査について説明する。

陸上土木調査で一般的に実施されている屈折法探査は、地下情報のうち P 波弾性波速度の分布を把握することが出来る。線的な物性の分布を把握するには海上調査では物理探査を用いるしか方法がない。この観点で弾性波速度を取得することができる屈折法地震探査を実施する意味は大きい。

陸上において実施する屈折法地震探査は、地表に一定間隔で受振器を設置し、遠方から発震することで地中を伝搬してきた弾性波の到達時刻を計測する。

図 2-83 に測定の模式図を示す。海上では、大量の受振器を海底下や、海表面に固定することが難しい。このため、比較的固定が容易である震源を固定し、受振器（ストリーマーケーブル）は反射法地震探査と同様に曳航する。

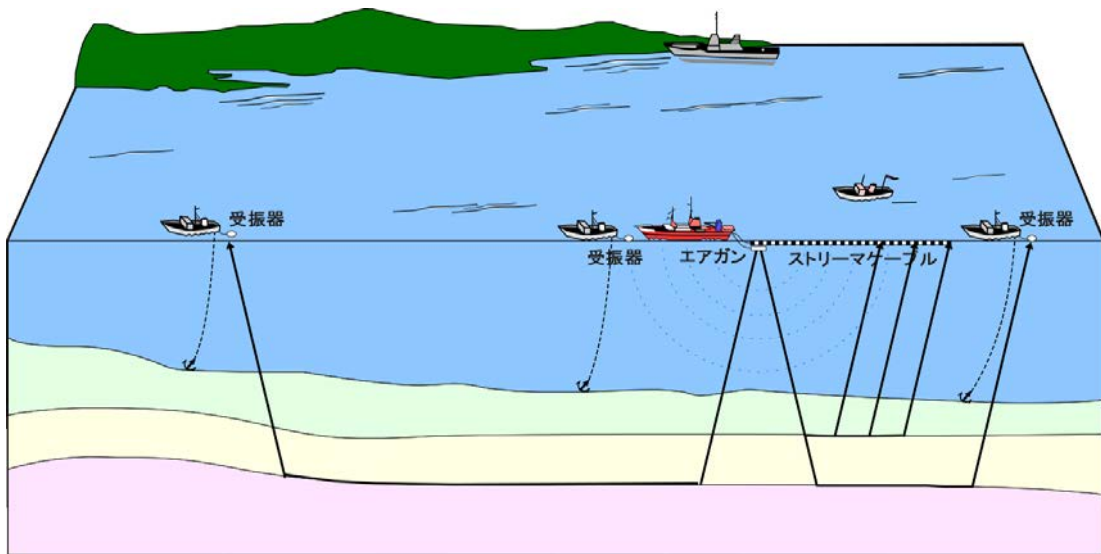


図 2-83 測定概要

発震船の移動に合わせて各震源を発震する。このような測定を実施することで比較的浅部に限られるが、線的に P 波弾性波速度を取得することが可能となる。解析においては、複数の測線を同時に解析することで各測線の矛盾が生じないようにする。解析イメージを図 2-84 に示す。

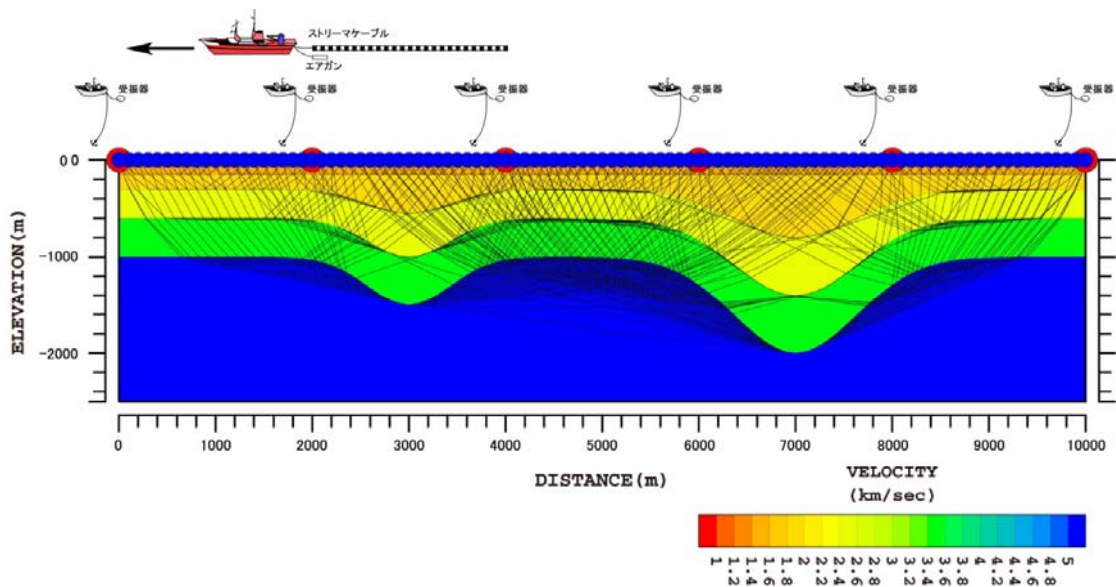


図 2-84 測定模式図と解析イメージ

2.2.6.3. 新技術の提案

(1)3D-VSP (三次元 VSP)

選定された貯留候補地においては、坑井掘削を伴うサイト性能評価が実施される。サイト性能評価においては、貯留層特性を取得して貯留可能量に関する予測精度を上げることや、CO₂ の圧入に伴う坑井の保全性、シール性能、断層に関する知見など、環境に与える負荷についての評価を行うことが求められる。そして、これらの作業において必要となるパラメータのほとんどは、坑井を利用することによって高い精度で取得でき、かつ、圧入井近傍のパラメータが貯留性能に最も大きく影響を与える。したがって、掘削された坑井についてはできる限り有効に利用して、より多くのパラメータを精度よく取得することを図るべきである。坑井を利用する反射法弾性波探査である VSP は、地表型反射法弾性波探査を補完して、貯留層や遮蔽層の構造、および断層構造を精度よく解釈するために有効であるほか、坑井近傍の力学特性の評価が可能な弾性論的パラメータを取得することや、圧入後の CO₂ の挙動や貯留層の状況をモニターするための初期状態を把握することができる強力な手法であるので、強く実施が推奨される。本節においては、推奨される最新技術である 3D-VSP を主眼として、その概要を紹介する。

①VSP

VSP は、古くからチェックショットという名前で行われてきた技術の拡張技術である。チェックショットおよびその拡張であるゼロオフセット VSP においては、図 2-85(a)に示すように、坑口近傍の海面付近で発生させた弾性波を坑井内で受振する。そして、坑井に沿って受振器の深度を変えた測定ができるという特性を活かして、走時対深度の関係（速度情報）を取得することを行う。

しかし、ゼロオフセット VSP では、反射点が坑井近傍に集中するため、得られるイメージも坑井近傍の狭い範囲に限定されたものとなる。そこで、振源を坑井から離して設置することによって、反射点の分布範囲（イメージング範囲）を拡大する手法も用いられる。これをオフセット VSP (図 2-85 (b)) という。オフセット VSP には種々の変形版があるが、いずれにおいても、図 2-85(a)に示すように、高角度の断層面のような、地表型反射法弾性波探査では取得することが難しい反射面からの反射波をも捉え、イメージングすることができる。

また、上述のとおり VSP データは、(地下情報の低周波成分を含む) 速度情報と (高周波成分を含む) 反射波情報との両方を高品質に含んでいる。したがって VSP は、弾性波の伝播に関与する物性値（弾性論的パラメータ）を取得するインバージョン解析への適用性も、地表型反射法弾性波探査より高い。弾性論的パラメータは各種の力学特性と密接に関係しているため、VSP データを注意深く解析すること

は、坑井近傍の力学特性を把握することに繋がる。例えば、VSP の走時データを使うことによってトモグラフィ解析を行うことも可能である。図 2-86 に示す例においては、(b)の初期モデルからスタートして解析を行い、より精度の高い速度分布 (d) を得ている。そして、得られた速度分布を基にして計算した直達波(f)の理論走時が実走時に矛盾しないことによって、解析結果が一定の信頼性をもつことを併せて示している。

さらに、帯水層に（超臨界状態の）CO₂ を圧入すると、帯水層岩石の P 波速度は CO₂ の飽和率の増加にともなって単調に減少するが、S 波速度にはほとんど変化が現れない（例えば、Carcione *et al.*, 2006, PAGEOPH ; P 波速度の単調な変化は、CO₂ の分布がパッチワーク状に不均質となる傾向があることによる）。従って両者の比 V_p/V_s は CO₂ 飽和度の良い指標になる場合が多いと予想される。全波形インバージョンは、その最も有力な方法である。図 2-87 示す例は炭化水素探鉱におけるものであるが、ガス層をターゲットにした既存の VSP データ ((a)に示す通常のイメージングだけを行ってあったもの)を用いて全波形インバージョンを行い、 V_p/V_s 値の異常値（赤色）によってガスの分布を高精度に把握することに成功している。このような手法は、CO₂ の圧入後において CO₂ をモニタリングするための方法として有効であることから、候補地の性能評価段階においても、ベースラインを把握するために実施しておくことは有意義である。

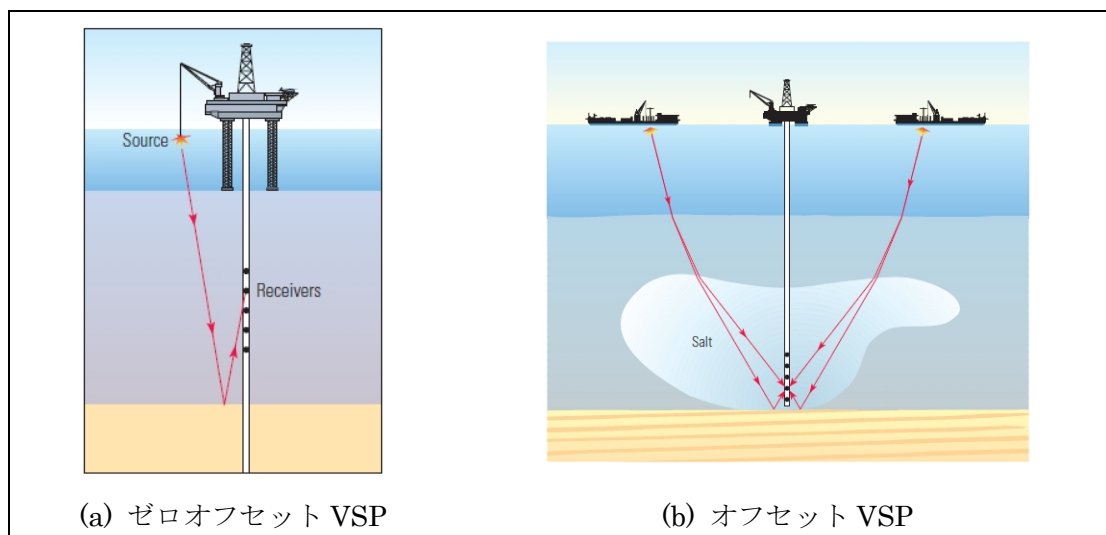


図 2-85 VSP (Vertical Seismic Profiling)の測定模式図

(出典) Blackburn, J. (2007) [29]

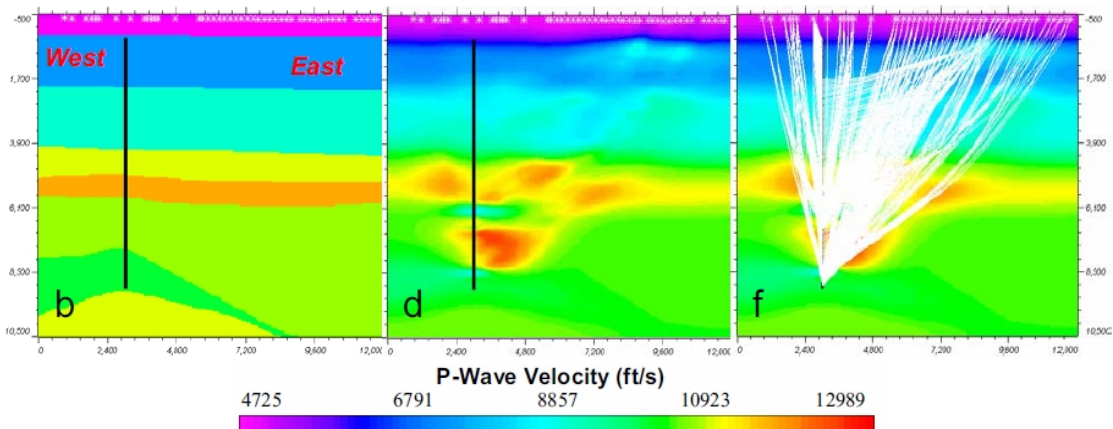
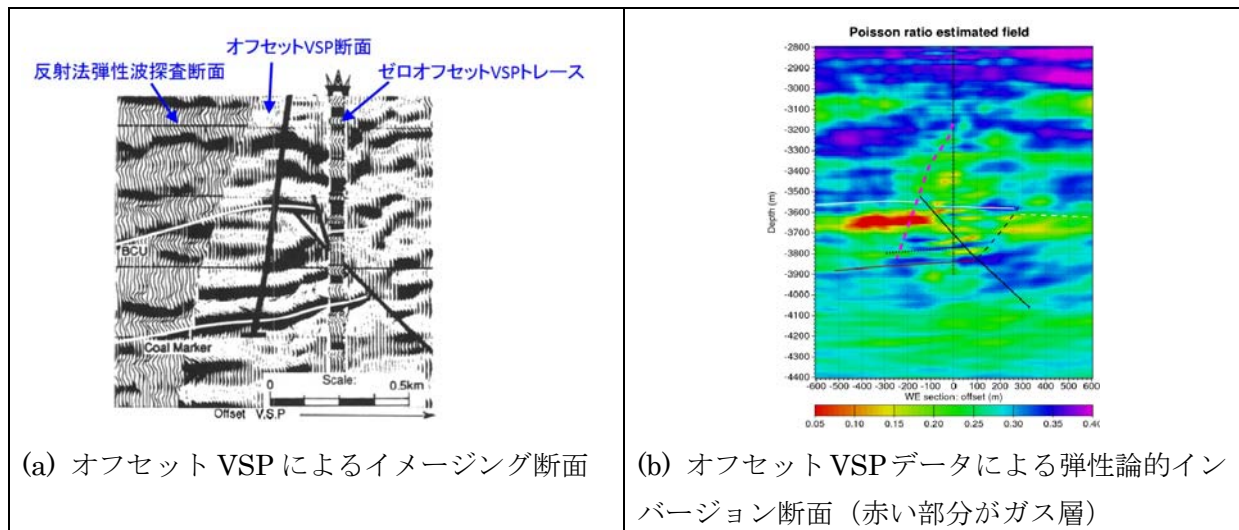


図 2-86 オフセット VSP データを用いた P 波速度トモグラフィ解析 (西テキサス陸上)
(出典) Li, Y. (2005) [30]



(a) オフセット VSP によるイメージング断面

(b) オフセット VSP データによる弾性論的インバージョン断面 (赤い部分がガス層)

図 2-87 オフセット VSP の例 (ノルウェー領北海)

(出典) (a) : Minsaas, O. (1994) [31]、(b) : Barnes, C. (2010) [32]

②3D-VSP

前項で述べたように、オフセット VSP によってイメージングできる範囲は、地下構造と観測配置に依存する。従って、地下構造が一定程度の 3 次元的複雑さをもっていれば、地下の各部分について一様に適切な観測配置は存在しないということもあり得る。そこで最近では、振源を坑口の周辺に面的に配置して観測を行い、地下構造に影響を受けず、かつ多くの情報を取得できる 3D-VSP が試みられるようになった。3D-VSP は、圧入井近傍のパラメータを把握することが鍵となるサイト性能評価においては極めて有効であり、推奨される技術である。

3D-VSP の測定模式図を図 2-88(a)に示す。3D-VSP は陸上調査においても実施さ

れるが、とくに海上調査においては、図 2-88 (b)に示すように発振船の螺旋航行による発振位置の高速移動が可能であるため、通常の VSP に比較して、そのコストパフォーマンスは著しく高い。

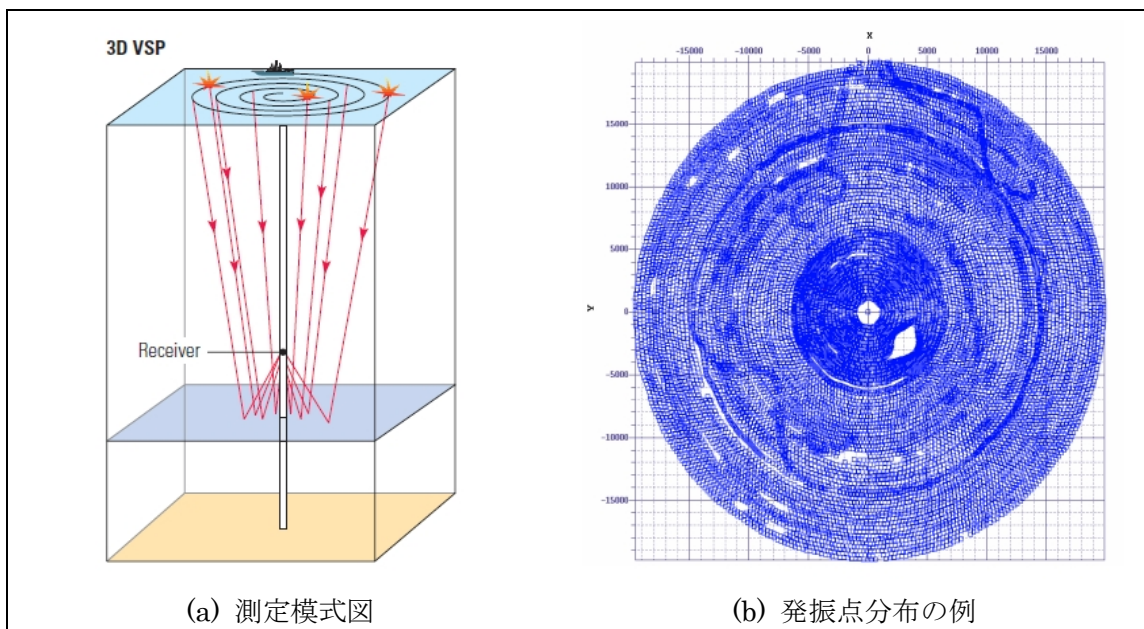


図 2-88 3D-VSP の概念図

(出典) (a) : Blackburn, J. (2007) [33]、(b) : Burch, T. (2009) [34]

3D-VSP によるイメージングの例を図 2-89 に示す。3D-VSP によって得られるイメージボリュームは、様々な視点で観察・解釈することが可能な、大容量の地下情報を含んでいる。

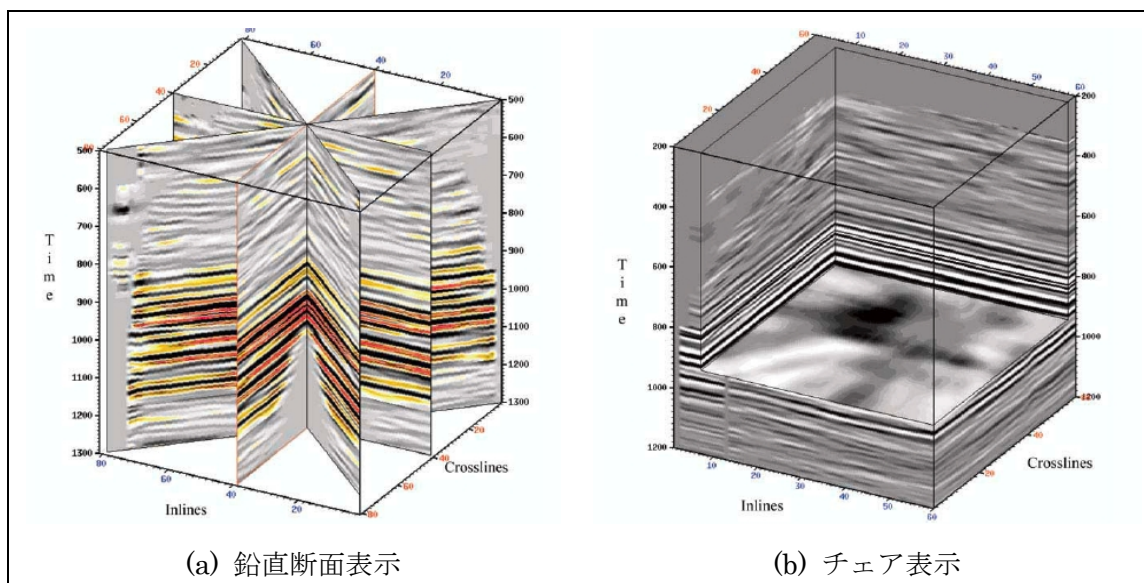


図 2-89 3D-VSP によるイメージング例 (カナダ陸上)

(出典) Chopra, S. (2004) [35]

③多重反射波利用型 VSP

3D-VSP におけるイメージング範囲の制限は、多重反射波をも利用する方法を採用することによって、かなり緩和される。そこで、3D-VSP の実施にあたっては、データ処理において多重反射波利用型 VSP イメージングを適用すべきである。

図 2-90 に多重反射波利用型 VSP の概念図を示す。通常の VSP においては、地下で 1 回だけ反射した 1 次反射波 (図 2-90 の青の波線) のみをイメージングの対象とする。これに対して多重反射波利用型 VSP においては、さらに地表面 (海水面) でも反射した 2 次反射波 (図 2-90 の赤の波線) をも利用する。この拡張によって、坑井からかなり離れた反射点までもがイメージングの対象となり、イメージング可能範囲は大幅に広がることとなる。

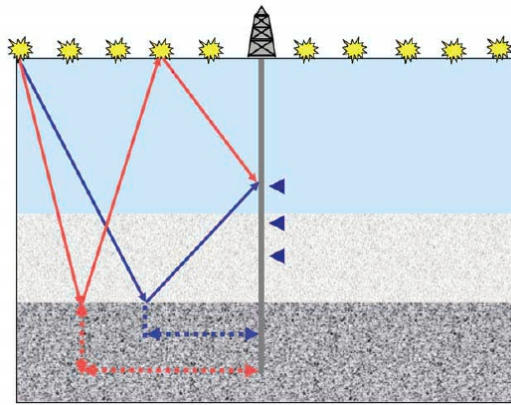


図 2-90 多重反射波利用型 VSP の概念図

(出典) Hornby, B. (2006) [36]

図 2-91 は、メキシコ湾で取得された 3D-VSP のデータに多重反射波利用型 VSP イメージングを施した結果である。3D 多重反射波利用型 VSP によるイメージ断面は、背景として表示してある 3D 地表型反射法弾性波探査による断面に比べて、高分解能、高 S/N 比となっていることがわかる。

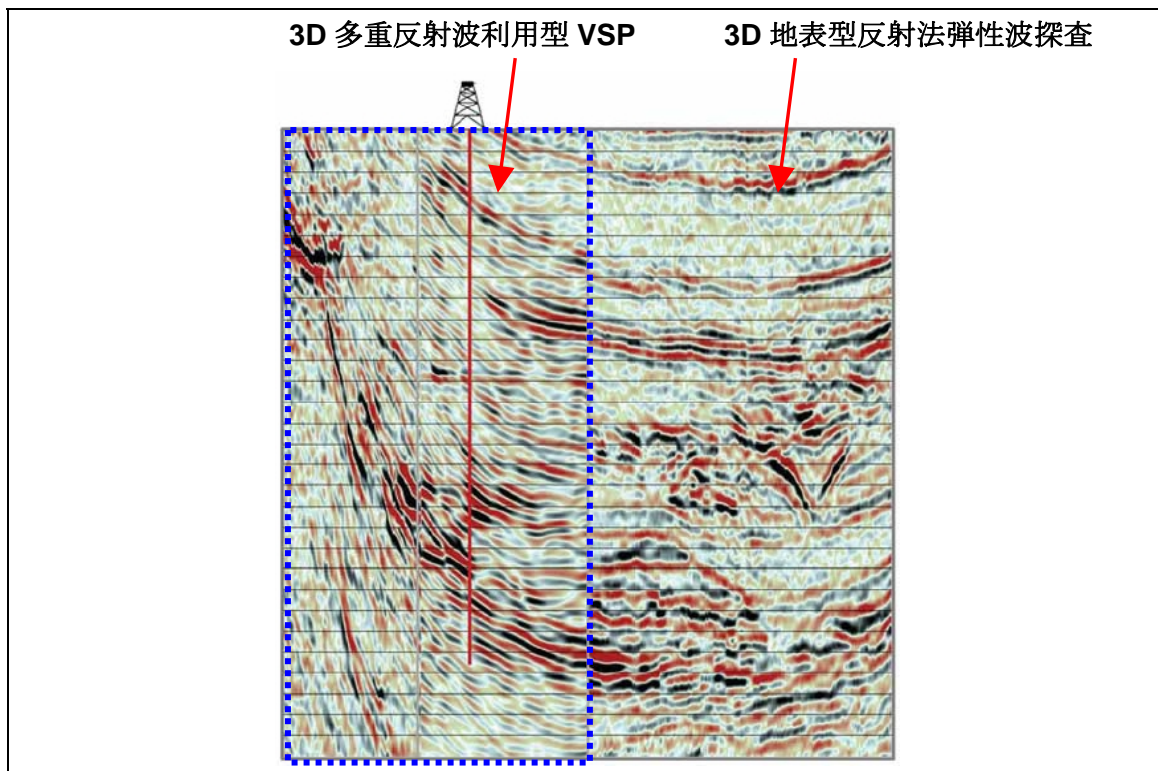


図 2-91 3D 多重反射波利用型 VSP の例 (メキシコ湾)

(出典) O'Brien, J. (2013) [37]

2.2.6.4. 性能評価のためのモデル作成

貯留地を選定するための調査・サイト評価の各段階においては、入手可能なデータや要求される精度に応じて候補地の貯留性能を評価するとともに、その結果を次の段階の作業に繋げていく必要がある。

とくに、候補地の貯留可能量は、候補地を順次絞り込んでいくための判断基準として最も重要な性能パラメータであり、繰り返し評価する必要がある。その評価は常に不確実性を伴うが、不確実性は、調査段階の進行に伴うデータの蓄積と評価法の高精度化によって低減されるべきものである。そして、このような繰り返し作業を効率よく進めて行くためのツールとして、地質モデルや貯留層モデルを作成することが有効である。

なかでも地質モデルは、適地調査段階のようにデータの質や量が十分ではない段階においても、入手可能なデータをコンパイルするためのツールとして有用である。既存のデータをコンパイルしたモデルは、関係者間における現状認識の共有を可能にするとともに、不足しているデータの存在や既存データの不確実性を明らかにし、次のアクションに向けた意思統一を促進するために威力を発揮する。また、適地調査段階において、サイト評価段階前半での作業に向けて結論を出すべき内容として、坑井の掘削位置の決定が重要であ

る。

本節においては、2D/3D（二次元/三次元）の弾性波探査を主とする適地調査段階において実施することが望ましい性能評価作業とそのためのモデル作成作業について、その概要を提案する。

(1) 適地調査段階のワークフロー

本節で提案する適地調査段階のワークフローを図 2-92 に示す。同図において角丸四角の囲みで表示している各項目のうち、濃紺は新たに取得するデータを、黄色は既存のデータを、水色は作業内容を、緑は作成するモデルを、ピンクはアウトプットを、それぞれ示す。

以下では、各作業の内容やその成果物について、イギリスで行われた CASSEM project (CO2 Aquifer Storage Site Evaluation and Monitoring project) での例等を引用しながら詳述する。以下に、同プロジェクトのレポート (Smith, M. *et al.*, 2011, CO2 Aquifer Storage Site Evaluation and Monitoring, Scottish Carbon Capture and Storage) に掲載されている図を転用する場合は、キャプションに『CASSEM report』と表記する。

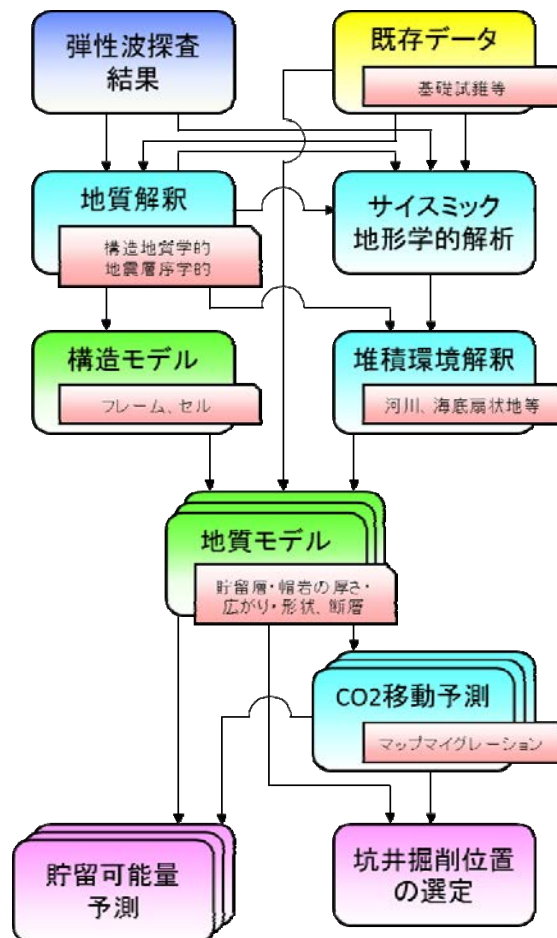


図 2-92 地調査段階のワークフロー

(2)地質解釈

2D/3D 弾性波探査の結果を、近傍の基礎試錐データなどの既存のデータをも参照しながら解釈する。ただし、弾性波探査データの時間深度変換には、適地調査段階においては坑井を利用した速度の実測が行われないことによって、速度情報の不確実性に起因する、相当程度の不確実性が見込まれる。そこで、弾性波探査結果の解釈においては、当初に得られた深度領域のデータを限定的に用いるのではなく、深度領域と時間領域のデータを併用したり、場合によっては、両領域の併用によって認識されるかもしれない不具合をデータ処理にフィードバックするなども行って、注意深く作業を進める必要がある。

解釈作業は、まず、多重反射波等の雑音を識別して除外した上で、通常の方法によって、強振幅のホライゾンや断層を抽出し、構造を解釈することから始める（図 2-93）。この作業は構造の大枠を決める重要なものであるので、応力場などの大局的な地質知見との整合性にも十分に留意して行う。また、地史の復元などの構造地質学的方法も駆使して、妥当性をもった解釈結果を得るようにすべきである。

坑井掘削を行わない適地調査段階では、弾性波探査の結果のみを利用して、貯留層と遮蔽層の存在や、それらの厚さ、広がり、形状を推定するとともに、貯留性能に影響を与える断層を小規模なものをも含めて抽出することが求められる。したがって、最終的には、3D 弾性波探査の結果を用いた堆積環境の詳細な解釈を行うことを目標にして作業を進めるべきであるが、2D 弾性波探査を実施する段階においても、また 3D 弾性波探査結果の解釈の初期段階においても、地震層序学的な解釈を行って、堆積環境に関する解釈を進めていくことが重要である。とくに、2D 弾性波探査結果を用いた地震層序学的な解釈は、3D 弾性波探査を実施する場所の選定においても有意義である。

通常構造解釈においては、連続したイベントが主な手がかりになるが、地震層序学的解釈においては、堆積環境を示唆するイベントの不連続（不整合）パターンが鍵となる。図 2-94 に地震層序学的な解釈によって舌状の海底堆積物を抽出した例を示す。同図においては、上段の走向方向断面にマウンド相として、これに直交する下段の傾斜方向断面にはクリノフォームであることを示すイベント群として、いずれにおいてもイベントの不連続を伴う、舌状に堆積した海底扇状地の外形形態を示唆するパターンが観察される。

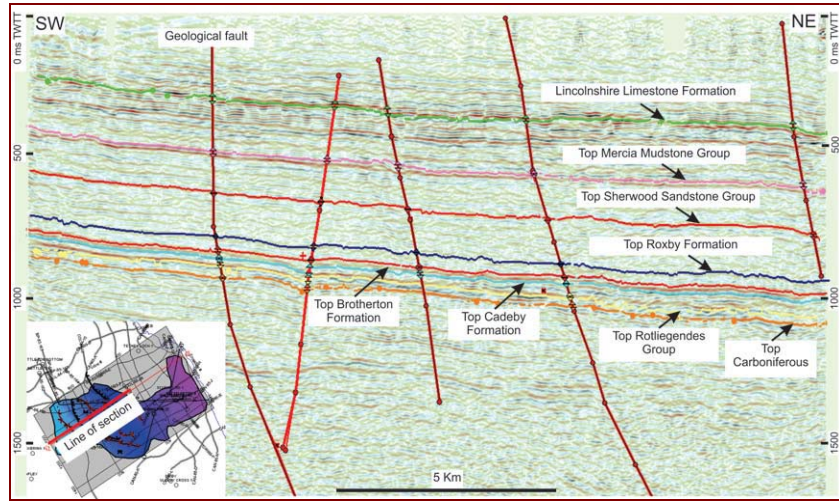


図 2-93 構造解釈の例

(出典) Smith, M. (2011) [38]

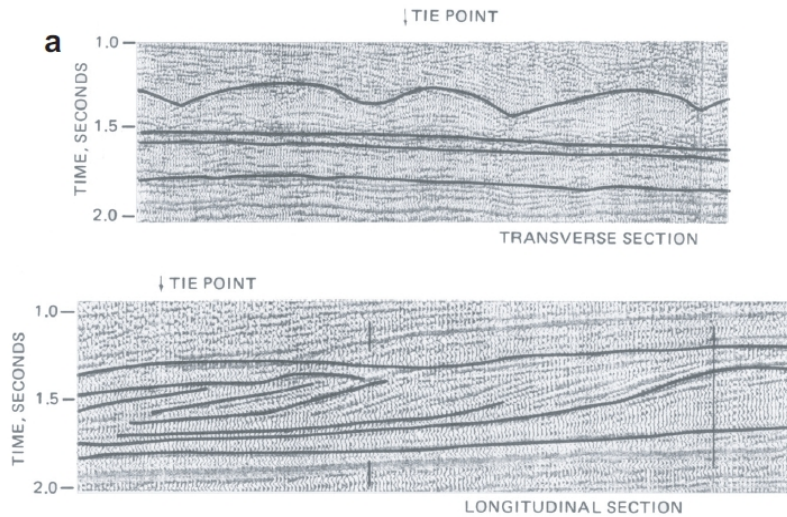


図 2-94 地震層序学的解釈による舌状の海底堆積物の抽出例

(出典) Weimer, P. (2006) [39]

(3)構造モデル

地質解釈の結果は 3D の構造モデルとしてまとめあげるのが良い。構造モデルは、弾性波探査のデータや既存の坑井データなどをコンパイルする器となるとともに、サイト評価段階で取得されることになる多くの坑井データを刻々と格納していくための器としても有効である。そして、坑井を利用して取得される多くの物性値を収納し、貯留層モデルとして仕上げてゆくための基本的な枠組みとして重要である。

ただし、必ずしも 3D のセル構造を有するセルモデルだけが有用であるわけではなく、

主要ホライゾンの詳細な面構造を反映したサーフェスモデルや、地下構造の概略を俯瞰するのに適した（サーフェスモデルと断層面だけで構成される）フレームモデルも、目的に応じた作成することが有意義である。図 2-95 にフレームモデルの例を示す。

セルモデルはフレームモデルをベースとして作成するが、セル構造の設定には、地震層序学的な解釈、とくに侵食様式に関する解釈をも反映させるべきである。図 2-96 に、オンラップ（下位層の侵食面の上に当該地層が堆積した場合）と侵食トランケーション（当該地層が削剥されて、その上位に不連続面が現れている場合）とにおけるセルモデルの作成例を示す。

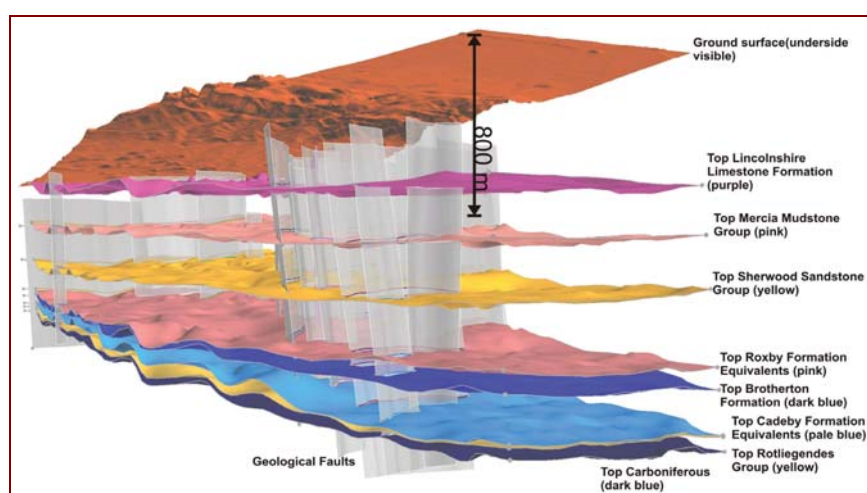


図 2-95 フレームモデルの例

(出典) Smith, M. (2011) [40]

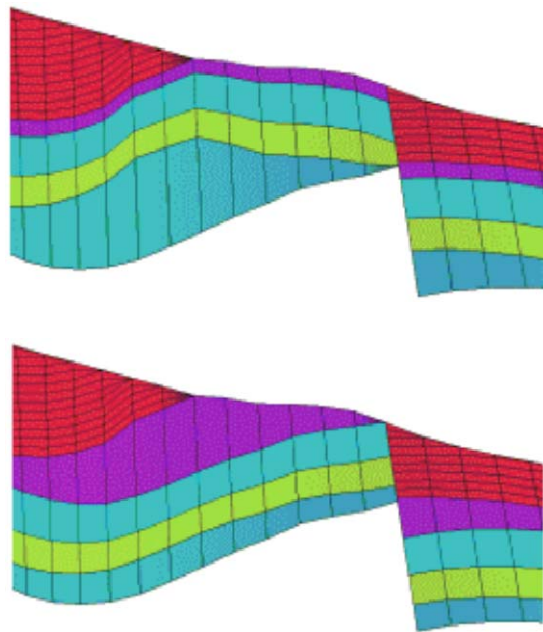


図 2-96 堆積環境を反映したセルモデルの作成例
(上：オンラップ、下：侵食トランケーション)

(出典) Schlumberger[41]

(4) サイスマティック地形学的解析と堆積環境解釈

3D 弾性波探査を実施した後の段階においては、弾性波探査データに含まれる多くの属性を抽出して表示するサイスマティック地形学的解析を行うとともに、それによって抽出される貯留層堆積体に対して（地震層序学の 3 次元的発展形である）シーケンス層序学的な詳細解釈を行い、堆積環境を詳細に把握することが重要である。地震層序学が、層序や地質時間の枠組みなど、主として鉛直方向の解釈を行う理論であるのに対して、サイスマティック地形学は主として平面的な堆積システムの広がり解釈するための理論である。

サイスマティック地形学的解析の代表的な手法としては、スライス解析、ホライゾンサーフェス解析、ボリューム解析、波形解析などがある。

スライス解析においては、タイムスライスまたはホライゾン（層準）スライスを観察して、チャンネルや谷状地形を抽出したり、堆積プロセスを復元したりすることを行う。

ホライゾンサーフェス解析においては、マウンド上面などの堆積学的に有意な面をソフトウェアのオートトラッキング機能などによって抽出し、抽出された面に沿った弾性波データの振幅、バリエーション、センプランス、傾斜方位、曲率などの属性を観察して、それらの形状から堆積形態や堆積物を考察する。

ボリューム解析においては、3D ボリュームとしての弾性波データの属性である、振幅、音響インピーダンス、弾性インピーダンス、AVO 属性などを観察して、堆積物や貯留層の分布形状を解釈する。

波形解析においては、ホライゾン間の小区間における波形パターンを抽出・分類して波形区分分布マップを作成し、地震層序学的な情報（不整合など）と比較するなどの方法で、堆積システムの概要を把握したり、貯留層堆積体内部の解釈を行ったりする。図 2-95 に地震層序学的な解釈の例として示した舌状の海底堆積物は、波形解析によって得られる波形区分分布マップ上ではパッチ状パターンとして現れる。

サイスミック地形的解析によって貯留層堆積体を抽出したら、それに対して、地形的、堆積学的、および地質学的解釈を行い、堆積プロセス、トラップ、貯留層分布などを明らかにする作業を行う。図 2-97 に、サイスミック地形的解析と堆積環境解釈を行って、舌状の海底堆積物の分布状況を解釈して例を示す。また図 2-98 に、構造モデルの中にタービダイト砂岩の分布域をホライゾンサーフェスとして可視化した例を示す。

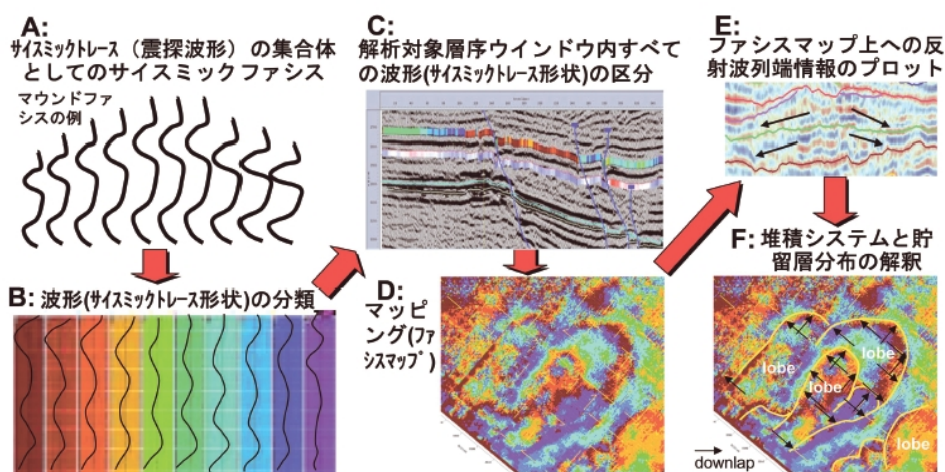


図 2-97 サイスミック地形的解析と堆積環境解釈の例

(出典) 高野・西村 (2009) [42]

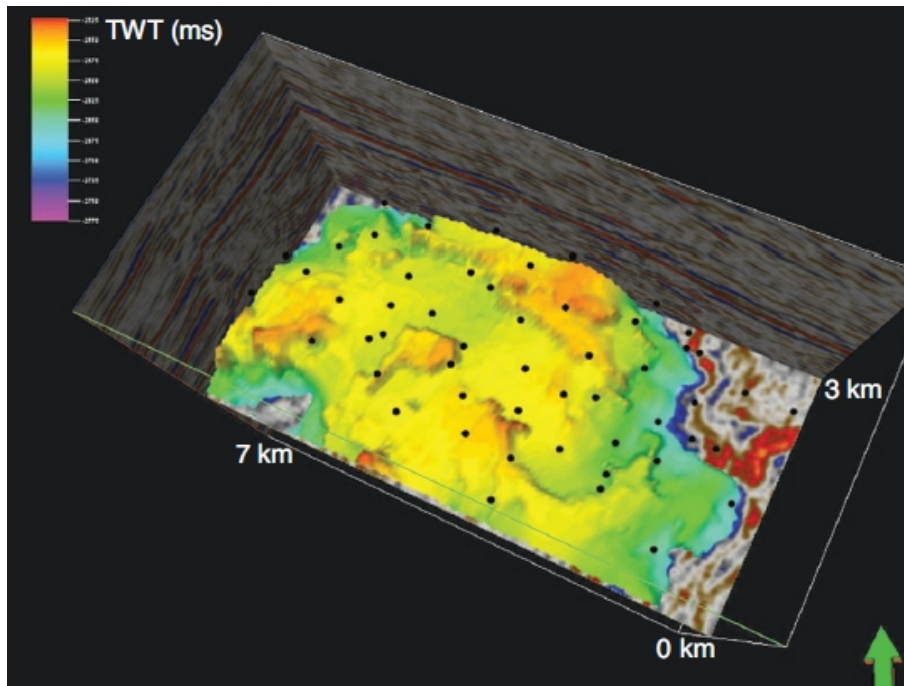


図 2-98 タービダイト砂岩の分布状況の可視化の例 (ブラジル沖)
 (出典) Matos, M. C. (2007) [43]

(5)地質モデル

3D 弾性波探査にもとづく構造モデルが完成し、堆積環境解釈にもとづいて貯留層分布が把握できたら、遮蔽層の分布に関する解釈をも併せて、それらを地質モデル（主として岩相モデル）として表現することを行う。ただし、適地調査段階における地質モデルは、ただ 1 個の表現としてこれを作成するのではなく、例えば、堆積環境解釈に基づいて砂岩相の分布を決定論的に与える方法や、堆積環境解釈にもとづく統計的な性質を利用して、確率論的な方法によって砂岩相の（数多くの）リアライゼーションとして表現する方法など、なるべく複合的な作成方法を採用し、地質解釈につきまとう不確実性をも反映するように心がけるべきである。

図 2-99 に、サーフェスモデルおよびセルモデルとして作成した地質モデル（岩相モデル）の例を示す。

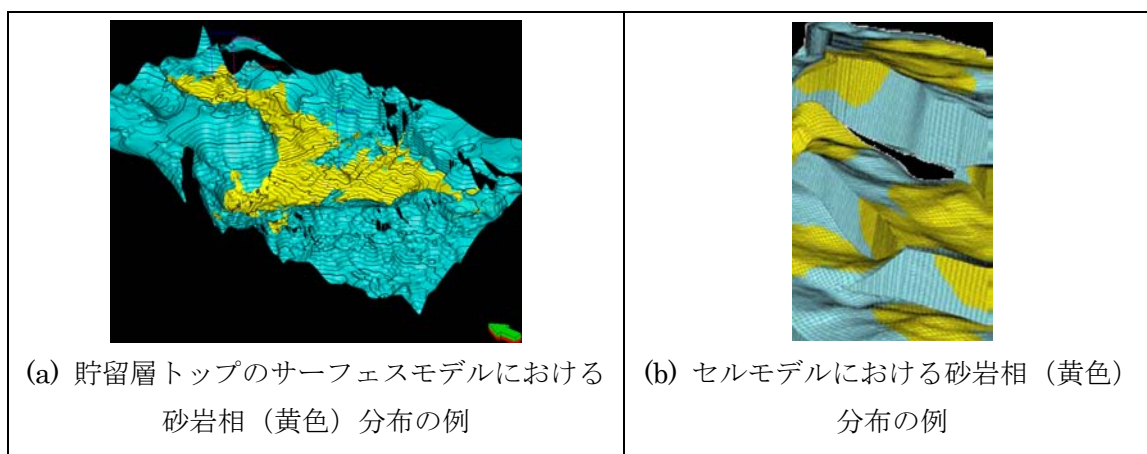


図 2-99 地質モデル（岩相モデル）の例

(出典) (a) : Dance, T. (2006) [44]、(b) : Geomodeling[45]

(6)CO₂ 移動予測、貯留可能量予測、坑井掘削位置の選定

貯留層が孔隙圧の側方への開放が期待される Open システム下であり、帽岩に十分なシール性能があり、断層が漏洩経路とならないと仮定すれば、CO₂ は貯留層内を浮力のみで駆動されて移動する。

水と CO₂ の濡れ性の違いとそれによる残留 CO₂ (毛管トラップ) や不動水の発生を無視すれば、水と CO₂ は遷移帯を作らずシャープな境界面を形成して 2 層に分かれ、CO₂ プリュームは貯留層上面に沿って限りなく遠方までひろがってゆくことになる (図 2-100)。ところが、実際には濡れ性の違いが強く作用し、例えば地下水流れのある傾斜貯留層においては図 2-101 に示すように、1) 不動水を含む CO₂ プリューム、2) 残留 CO₂ を含む可動水、および 3) CO₂ を含まない水の 3 層に分かれる。

図 2-101 のモデルについては、解析的な検討によって以下のことが知られている。

- i. CO₂ プリュームの水平到達距離は、CO₂ の残留率 ($\Gamma = S_{gr}/(1 - S_{wo})$) ;ただし、 S_{gr} : CO₂ 残留飽和率、 S_{wo} : 不動水飽和率) の増大とともに減少する (Hesse *et al.*, 2007)。
- ii. CO₂ プリュームの水平到達距離は、貯留層の傾斜の増大とともに減少する (Hesse *et al.*, 2009)
- iii. CO₂ の貯留可能量は、CO₂ プリュームの到達面積と貯留層の厚さの積に、CO₂ の残留率と動き易さをパラメータとする関数を掛け算した量に比例する (Szulczewski and Juanes, 2009)。

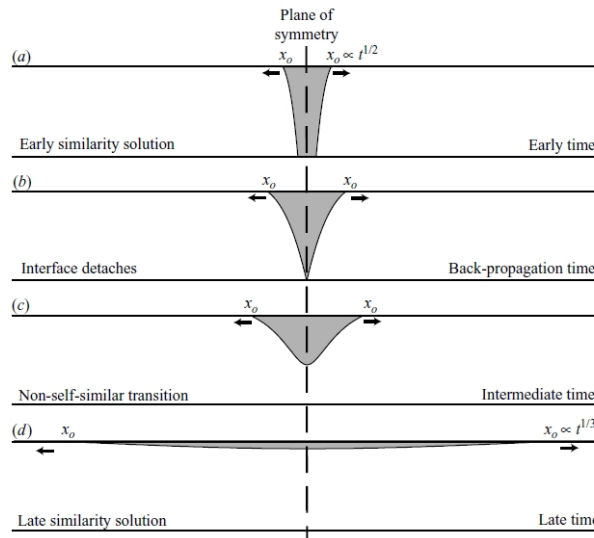


図 2-100 毛管トラップを無視した場合の、圧入後の CO2 プリュームの広がり
(出典) Hesse, M. A. (2007) [46]

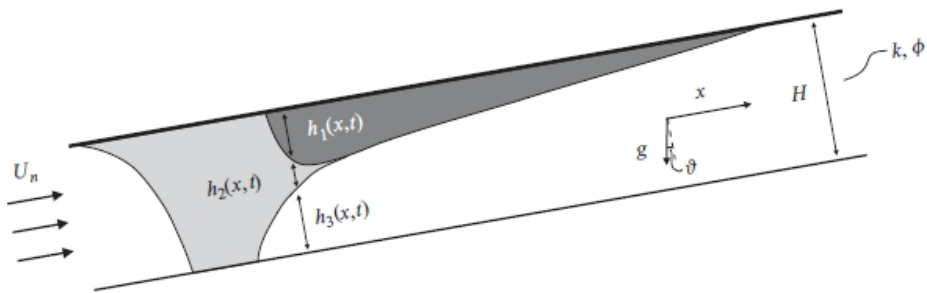


図 2-101 地下水流れのある傾斜貯留層における毛管トラップを考慮した場合の CO2 プリューム
ューム

(出典) Macminn, C. W. (2010) [47]

ここで、図 2-100、図 2-101 から、貯留層の厚さが変化する場合における『厚さ』は圧入位置での貯留層厚と読み替えてよい。

以上のことから、貯留層の詳細な物性値を知ることのできない適地調査段階においても、各候補地の物性値を未知の定数とすることによって、貯留性能の大小比較を CO2 プリュームの到達面積と圧入位置での貯留層厚の積で概略評価できると考えられる。

CO2 プリュームの到達面積は、貯留層トップのサーフェスと断層面を含むフレームモデルを利用した簡易的なスピルポイント解析（シングルマップマイグレーション）によって、パラメータとして与える不確実な物性値に応じた結果ながら、その概略を推定す

ることができる。図 2-102 にシングルマップマイグレーションによる CO₂ 移動予測の例を示す。

したがって、各候補地において、シングルマップマイグレーションを、圧入点（坑井掘削位置）を変えて多数実施し、その結果から（何らかの基準によって）計算される CO₂ プリュームの到達面積と圧入点における貯留層厚の積を求め比較すれば、各候補地での最大値によって貯留性能を比較することができ、併せて各候補地における坑井掘削位置の有力な候補地点を選び出すことができる。

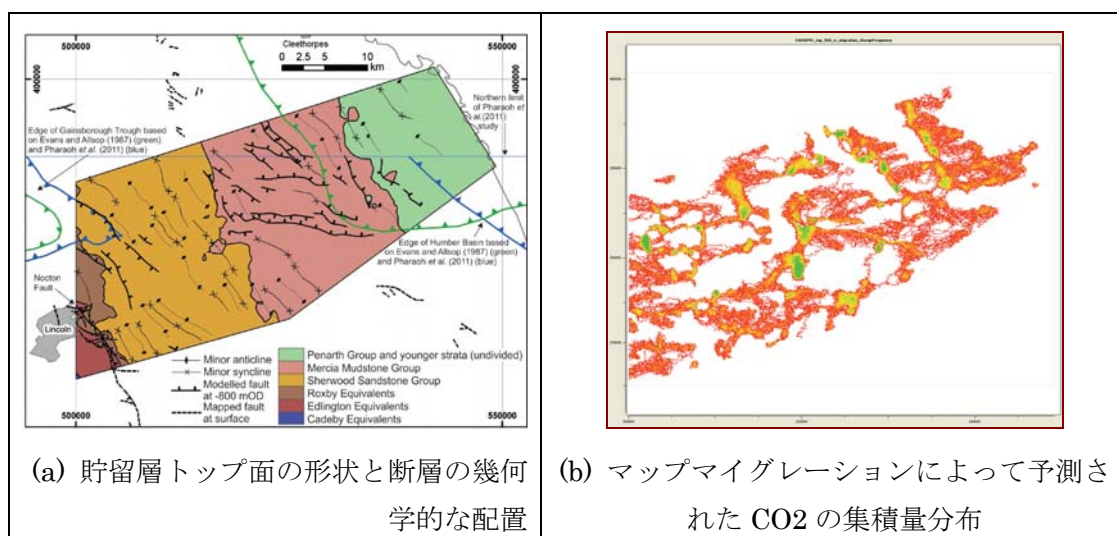


図 2-102 CO₂ 移動予測の例

(出典) Smith, M. (2011) [48]

2.2.7. まとめ

1) 詳細検討ブロックの抽出

詳細検討ブロックの抽出においては、既往文献を基に、以下の4項目に着目して抽出を行った。

- ① 既往資料から得られた CO₂ 概算貯留量
- ② 既往資料から得られた、各ブロックの想定貯留地層の孔隙率
- ③ 探鉱活動の有無
- ④ 大規模地震の想定震源断層の有無

その結果、ブロック 14 天草ー五島沖、ブロック 8 北陸ー隠岐沖、ブロック 9 山陰沖の 3 ブロックを抽出した。

2) 調査候補地点案の抽出

3 ブロックそれぞれについて、貯留適地候補案を AIST 海洋地質断面図および JOGMEC の基礎物理探査解釈断面を用いて抽出した。抽出した貯留適地候補案の中から以下の条件を基に調査候補地点案を抽出した。

- ① 断層を回避
- ② 測線上で、候補となる貯留対象層の連続した長さが長いものを選択
- ③ 交差測線がある場合には優先的に交差測線がある地域を選択
- ④ 1 エリア最大 25km 範囲程度

その結果、ブロック 8 北陸ー隠岐沖に 9 地点、ブロック 9 山陰沖に 6 地点、ブロック 14 天草ー五島沖に 5 地点の調査候補地点案を抽出した。

3) 調査候補地点

全 20 箇所の調査候補地点案の中から、貯留層の平均海面下深度、平均層厚、孔隙率、貯留可能量、遮蔽層の最小層厚、地層傾斜、生物多様性保全上の重要性の 7 つの指標を用いて総合評価を行った。

最終的な評点の大きな地点を上位から 3 地点選定した。3 地点はブロック 9 山陰沖 4 番、ブロック 14 天草ー五島沖 1 番、ブロック 8 北陸ー隠岐沖 1 番となった。評点が次に大きいブロック 14 天草ー五島沖 4 番とともに二次元弾性波地震探査の測線計画を作成した。

2.2.8. 補足 B) 途上国における適地調査の課題

ここでは、地質データの乏しい途上国における貯留適地を検討する際の課題について記す。

図 2-103 に一般的な適地調査のフローを例示し、同図における既往調査資料検討の課題について以下に概要を記す。

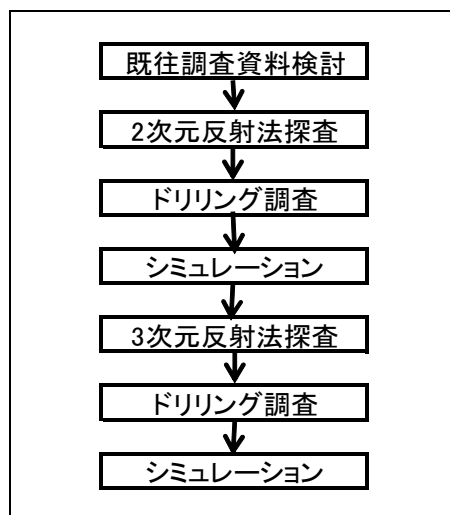


図 2-103 一般的な CCS 適地調査フロー (例示)

①対象とする地質データ

超臨界貯留を考え、対象深度の深さ・対象地層から考えると、既往調査資料は石油・天然ガス開発で得られる地質データに、ほぼ限定される。地質データとは、図 に記した 2次元反射法探査以下のデータを示す。石油・天然ガス胚胎層が存在しないような途上国においては、既往調査資料は、ほとんどないと想定される。この場合、図 に記した 2次元反射法探査以下の探査・調査・シミュレーションの作業量・数量が増大することになる。

②既往調査資料の入手

上記①の地質データが存在し、当該国でデータベースとして集約されており、公開資料として入手可能であれば、それを入手し利用することになる。データベースが構築されていないようであれば、石油開発会社、油ガス田開発分野の研究機関・大学等から入手することになる。国あるいは公的研究機関にデータベースが無ければ、民間の石油開発会社から入手することは、一般的に困難が予想される。更に、既往調査資料が入手可能であっても、その資料が良質か否かを検討する必要がある。

③シンク・ソースマッチング

輸送コストを低減するために、CO₂ 排出源・貯留サイト間の距離はできるだけ短

いことが望ましい。貯留サイトの地質データがあっても、そこに輸送可能な排出源のデータがないとCCS一貫システムを概略検討する際の障害となる。

④CO₂EOR

途上国では、一般に経済的にも余裕が無いため、当面、CO₂を石油の増進回収（EOR）に利用することが考えられる。CO₂EORの場合、圧入したCO₂がブレイクスルーして、生産井から地表にもどってきてしまい、全量を貯留できないことに留意する必要がある。

2.2.9. 補足 C) 貯留候補地の抽出に利用可能なデータの取り扱いに関する国別比較

貯留候補地の抽出段階において、既存の物理探査や基礎試錐などの入手可能なデータの量および質が、抽出作業の内容や精度を大きく左右する。既存の物理探査や基礎試錐などのデータの入手可能性は、国によって大きく異なる。貯留候補地の抽出において、海外の法規制や先進事例を参考にすることは、既存の物理探査や基礎試錐などのデータに関する国による違いを考慮する必要がある。下表に、既存の物理探査や基礎試錐などのデータの国による取り扱いの違いを比較する。

表 2-55 貯留候補地の抽出に利用可能なデータの取り扱いに関する国別比較

	米国	英国	豪州	ノルウェー	ブラジル	オマーン	マレーシア	日本
民間が実施する探査データの取扱	政府の要請に応じて提出	政府の要請に応じて提出	政府の要請に応じて提出	政府の要請に応じて提出 (探査データや結果については提出することとされている)	ブラジル石油省のNDR* ¹⁷ であるBDNP* ¹⁸ への登録義務	オマーン油ガス省のNDR であるOGDR* ¹⁹ へのデータ開示義務	マレーシア国営石油会社ペトロナスのNDR であるPETRONAS EPDC* ²⁰ へのデータ開示義務	政府の要請に応じて提出(2012年鉱業法改正施行後)
対象とする調査	地質探査(試掘等)と物理探査(地震波探査等)	物理的・化学的手段による地質調査や資源の取得を伴わない浅い掘削	地震調査等、又はサンプルを採取し、石油を発見するために、当該調査のデータや情報を使用する意図からそれを実施する場合	地質学的調査や岩石物理学的調査、地球物理学的調査、地球化学的調査、地質工学的調査、浅い試掘	試掘データ、地震探査データ等	物理探査データ	試掘データ、地震探査データ等	鉱物資源の開発に必要な地質構造等の調査

	米国	英国	豪州	ノルウェー	ブラジル	オマーン	マレーシア	日本
制度概要	石油・天然ガスの探査については、連邦大陸棚領域法* ¹ 及びその関係法令に規定されている。探査については、生産のリース権* ² とは別に、地下の構造及び資源の賦存状況を調査する <u>G&G 調査</u> * ³ が規定されている。	石油・天然ガスの探査については、石油法* ⁴ 及びその関係法令に規定されている。探査については、生産ライセンス* ⁵ とは別に、探査のみに許可する特別のライセンス* ⁶ がある。ただし、生産ライセンスの中でも探査を行うことはできる。	海域における石油・天然ガスの探査については、海洋石油及び温室効果ガス貯留法* ⁷ 及びその関係法令に規定されている。探査については、入札により与えられる排他的な探査ライセンス* ⁸ (発見されれば生産ライセンスへ移行することが可能)において行われるものと、探査のみ許可する特別の認可である石油特別概査* ⁹ がある。	石油・天然ガスの探査については、石油事業法* ¹⁰ 及びその関係法令に規定されている。探査については、生産ライセンス* ⁵ とは別に、探査のみに許可する特別のライセンス* ⁶ がある。ただし、生産ライセンスの中でも探査を行うことはできる。	BDNP* ¹⁸ は 2000 年に開始され、以後大幅に改訂されている。BDNP は陸域・海域すべてを含む NDR で、3 万件近くの試錐データと 1,300 件近くの地震探査データの主要鉱区にわたっている。	鉱業権者は、王国内での操業に関するすべての記録と文書を保管する義務を負う。鉱業権者は油ガス省の関係者に次の活動を認めることとする。 <ul style="list-style-type: none"> ● 操業に関するすべての記録と文書の入手 (コピーも含む) ● 過去に抽出・試掘・試錐された石油物質の試験 ● 操業に使用されているあらゆる施設・設備の確認 	国営石油会社ペトロナスの NDR である PETRONAS EPDC は、2004 年に設立された。ペトロナスは、石油管理ユニット (PMU)を通じて、マレーシア国内の油ガス開発の全体を統括する権利を有する。	鉱物の探査 (鉱物資源の開発に必要な地質構造等の調査のうち鉱物の掘採を伴わないものであって、一定の区域を占有して行うもの) を行う場合、事前の許可が必要となる。

	米国	英国	豪州	ノルウェー	ブラジル	オマーン	マレーシア	日本
備考	<p>探査を行う場合には、探査の予定、それに活用する機器の説明、申請者名、目的、探査エリア等を記載した資料を提出することが必要。</p> <p>G&G 調査*³とは、「地質探査」と「物理探査」を意味し、これらについては、G&G 調査として実施することができる。</p> <p>探査で得られたデータや情報(加工、分析、解釈を行った情報も含む)は、政府の求めに応じて提出することが必要。</p>	<p>探査計画や地図、記録などの探査結果は英国内にとどめておく必要があり、政府からの要求があった場合には、必要なデータのコピーを提供することが必要。</p>	<p>法の対象とする石油・天然ガスの探査は、①沖合海域で地震調査もしくはその他の種類の調査を実施するか、又は沖合海底ないし下層からサンプルを採取し、②石油を発見するために、当該調査のデータや情報を使用する意図からそれを実施する場合に、探査とみなされると規定されている。探査に関する帳簿や記録、サンプルなどの保持を政府は命令でき、それを提出させることが可能。</p>	<p>探査とは、開発の前段階の試掘を含めたものとされ、具体的な行為として、地質学的*¹¹調査や岩石物理学的*¹²調査、地球物理学的*¹³調査、地球化学的*¹⁴調査、地質工学的*¹⁵調査、当局が定める深さまでの浅い試掘を指す。</p> <p>ライセンスを受けた者は、政府の要求に応じて必要な情報を提出することが必要(探査データや結果については提出するとされている)。</p>	<p>BDNP の状況</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 試錐データ、地震探査データ、地震探査以外のデータ：ほぼ登録済み <p>BDEP の目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 試掘および生産活動で得られた全データの受け取り、保存 ● 石油省の塩水堆積盆の研究と外部利用者へのデータ活用 ● 鉱区(開発)の促進 ● 一般的な地質の知見の拡大 	<p>OGDR の状況</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 物理探査データ：ほぼ登録済み ● 試錐データ：計画中 <p>OGDR の目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ● データの保全 ● 鉱区開発の促進・支援 ● 物理的な提出 ● オンライン提出は計画中 ● データ開示 ● 公開の計画なし 	<p>EPDC の目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 国営アーカイブ(データ保管) ● データ保護 ● 法規制 ● コスト削減 ● 鉱区開発の促進 <p>データ提出</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 物理データと電子データの両方を記録媒体を介して PMU に提出 <p>データ開示</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 内部利用：ウェブ GIS でデータを特定 ● 外部利用：公的な申請書を提出 	<p>国が鉱物の存在状況を把握するため必要があると認めるときは、探査の結果の報告を求められる場合がある。</p> <p>JOGMEC(独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)による基礎調査の成果(基礎試錐報告書/基礎物理探査報告書)は借用可能。</p> <p>AIST(独立行政法人産業技術総合研究所)は海洋地質図を公開しており、利用可能。</p>

- *1: Outer Continental Shelf Lands Act *2: oil and gas lease
- *3: Geological & Geophysical explorations *4: Petroleum Act 1998
- *5: production licenses *6: exploration licenses
- *7: Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2006
- *8: petroleum exploration permit *9: petroleum special prospecting authority
- *10: Petroleum Activities Act 1996 *11: geological *12: petrophysical
- *13: geophysical *14: geochemical *15: geotechnical
- *17: National Data Repository *18: Banco de Dados de Exploração e Produção
- *19: Oil & Gas Data Repository *20: E&P Data Centre

資料：経済産業省[49]、Energistics[50]、経済産業省[51]

2.2.10. 参考文献

- [1] 石油公団. “平成 15 事業年度財務諸表”
<http://www.enecho.meti.go.jp/koudan/pdf/H15/15-2.pdf>
- [2] 防災科学技術研究所. “J-SHIS 地震ハザードステーション”.
<http://www.j-shis.bosai.go.jp>
- [3] 地震調査研究推進本部事務局（文部科学省研究開発局地震・防災研究課）.
http://www.jishin.go.jp/main/herpnews/series/2008/img/05/02_z_1.jpg
- [4] 産業技術総合研究所. 海洋地質図 13, 日本海南部および対馬海峡周辺広域海底地質図,
海底地質図, 昭和 54 年 10 月 29 日発行
- [5] 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会. 改訂版日本の石油・天然ガス資源, 昭和 57
年 3 月 31 日発行, P.322
- [6] JOGMEC. 昭和 60 年度 国内石油・天然ガス基礎調査基礎試錐「金沢沖」調査報告
書, 昭和 61 年 3 月 31 日
- [7] JOGMEC. 昭和 63 年度 国内石油・天然ガス基礎調査基礎試錐「香住沖」調査報告
書, 平成 2 年 2 月 20 日
- [8] JOGMEC. 平成元年度 国内石油・天然ガス基礎調査海上基礎物理探査「山陰～北九
州沖」調査報告書, 平成 2 年 3 月 31 日
- [9] 伊藤 康人ほか. 北陸～山陰～北九州海域の石油地質-山陰～北九州海域の地震探鉱に
よる地史解釈-. 石油技術協会誌. 1992, 第 57 巻, 第 1 号.
- [10] JOGMEC. “平成 8 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「五島灘」調査報
告書” . 1998-01
- [11] 徳山英一、本座栄一、木村政昭、倉本真一、芦寿一郎、岡村行信、荒戸裕之、伊藤康
人、徐垣、日野亮太、野原壯、阿部寛信、坂井眞一、向山建二郎. 日本周辺海域中新
世最末期以降の構造発達史. 海洋調査技術. 2001, 第 13 巻, 第 1 号, p.27-57.
- [12] 産業技術総合研究所. 海洋地質図.
- [13] 海上保安庁. 「海洋台帳」船舶運行情況調査, <http://www.kaiyoudaichou.go.jp>
- [14] Global Biodiversity Information Facility (GBIF), <http://www.gbif.org/>
- [15] Imahara, Y. Previously Recorded Octocorals from Japan and Adjacent Seas.
Precious Corals & Octocoral Res. 1996, 4-5, p.17-44.
- [16] 徳山英一、本座栄一、木村政昭、倉本真一、芦寿一郎、岡村行信、荒戸裕之、伊藤康
人、徐垣、日野亮太、野原壯、阿部寛信、坂井眞一、向山建二郎. 日本周辺海域中新
世最末期以降の地質構造発達史. 海洋調査技術. 2001, 第 13 巻, 第 1 号, 別添 CD-ROM

- [17] 水産総合研究センター, 魚種別系群別資源評価 (52 種 84 系群),
<http://abchan.job.affrc.go.jp/>
- [18] NEO (NASA Earth Observations), <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/>
- [19] 環境省, 自然環境保全基礎調査, http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd_list_h.html
- [20] Ocean Biogeographic Information System (OBIS), <http://www.iobis.org/>
- [21] 續辰之介・中尾徹. 天然湧昇域の海洋環境特性について. 水産土木. 1986, 第 22 巻,
 2 号, p.41-58.
- [22] バードライフ・インターナショナル. “Marine e-atlas” . 2012.
- [23] 独立行政法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター. “研究紹介”.
<https://www.gsj.jp/researches/project/subjects.html>
- [24] CGG, BroadSeis; brochure on web, CGG-Broadband Seismic, <unknown date>
<http://www.cgg.com/default.aspx?cid=4891&lang=1>
- [25] Moldoveanu, N., et al. Over/under towed-streamer acquisition: A method to
 extend seismic bandwidth to both higher and lower frequencies, The Leading
 Edge, USA, SEG, 2007, p.41-58.
- [26] CGG, BroadSeis; brochure on web, CGG-Broadband Seismic, <unknown date>
[http://www.cgg.com/data//1/rec_docs/2575_13F-SV-161-V1_300NC_BroadSeis_-_W
 avelets_without_sidelobes.pdf](http://www.cgg.com/data//1/rec_docs/2575_13F-SV-161-V1_300NC_BroadSeis_-_Wavelets_without_sidelobes.pdf)
- [27] CGG, Broadband Marine; brochure distributed at a technical seminar in Tokyo in
 2011.
- [28] Soubaras, R. Variable-depth streamer – a broadband marine solution, First Break,
 Netherlands. EAGE. 2010, p.89-96.
- [29] Blackburn, J., Borehole Seismic Surveys: Beyond the Vertical Profile, OilField
 Review, France, Schlumberger, 2007, p.20-35.
- [30] Li, Y. 3C VSP tomography inversion for subsurface P- and S-wave velocity
 distribution, Ann. Mtg. SEG. 2005, p.2625-2629.
- [31] Minsaas, O., Integration of exploration and reservoir approaches through
 geophysical and geological technologies in mature areas, 14th World Petroleum
 Congress, UK, WPC, 1994, p.77-88.
- [32] Barnes, C., Anisotropic anelastic full waveform inversion: Application to North
 Sea offset VSP data, Ann. Mtg., USA, SEG, 2010, p.972-976.
- [33] Blackburn, J., Borehole Seismic Surveys: Beyond the Vertical Profile, OilField
 Review, France, Schlumberger, 2007, p.20-35.

- [34] Burch, T., Subsalt 3D VSP imaging at Deimos Field in the deep water Gulf of Mexico, *The Leading Edge*, USA, SEG, 2009, p.4139-4143.
- [35] Chopra, S., Processing/integration of simultaneously acquired 3D surface seismic and 3D VSP data, *The Leading Edge*, USA, SEG, 2004, p.422-430.
- [36] Hornby, B., VSP: Beyond time-to-depth, *The Leading Edge*, USA, SEG, 2006, p.446-452.
- [37] O'Brien, J., VSP imaging using free-surface multiples: A case study from the Gulf of Mexico, *The Leading Edge*, USA, SEG, 2013, p.1258-1266.
- [38] Smith, M., CO2 Aquifer Storage Site Evaluation and Monitoring, Report, UK, Scottish Carbon Capture and Storage, 2011, p.37-102.
- [39] Weimer, P., Introduction to the Petroleum geology of deepwater settings, *AAPG Studies in Geology 57*, USA, AAPG, 2006, p.491-498.
- [40] Smith, M., CO2 Aquifer Storage Site Evaluation and Monitoring, Report, UK, Scottish Carbon Capture and Storage, 2011, p.37-102.
- [41] Schlumberger, Petrel manual; on web, Petrel, <unknown date>
- [42] 高野修・西村瑞恵. 三次元サイスミック地形学 (seismic geomorphology) 手法による貯留層のイメージングと分布解析: 海底扇状地タービダイト砂岩を例として. *石油技術協会誌*. 2009, vol.74, No.1, p.40-51.
- [43] Matos, M. C. Unsupervised seismic facies analysis using wavelet transform and self-organizing maps. *Geophysics*. SEG. 2007, p9-21.
- [44] Dance, T. Geological Reservoir Characterisation and Modeling of the Offshore Perth Basin, Appendix 6 of report PRT06-0162, Australia. CRC for Greenhouse Gas Technologies. 2006, p.1 - 44.
- [45] Geomodeling, ReservoirStudio for Petrel; brochure on web, ReservoirStudio, <unknown date>
- [46] Hesse, M. A., Gravity currents in horizontal porous layers: transition from early to late self-similarity, *J. Fluid Mech.*, UK, Cambridge Univ., 2007, p.363-383
- [47] Macminn, C. W., CO2 migration in saline aquifer. Part 1. Capillary trapping under slope and groundwater flow, *J. Fluid Mech.*, UK, Cambridge Univ., 2010, p.329-351
- [48] Smith, M., CO2 Aquifer Storage Site Evaluation and Monitoring, Report, UK, Scottish Carbon Capture and Storage, 2011, p.37-102.
- [49] 経済産業省, 総合資源エネルギー調査会 鉱業分科会・石油分科会合同分科会 (第 2

回) 参考資料, 平成 23 年 2 月 10 日.

http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/kougyou/bunkakai_goudou/002_s01_00.pdf

[50] Energistics. “Country Index”.

<http://www.energistics.org/regulatory/country-index>

[51] 経済産業省 関東経済産業局. “鉱業法改正のポイントについて”.

<http://www.kanto.meti.go.jp/seisaku/kougyou/kougyou/data/kaiseipoint.pdf>