

## 添付書類- 3

当該海底下廃棄をする海域が、海底下廃棄許可省令第2条において定める基準に適合し、かつ、当該海底下廃棄をする海域の海洋環境の保全に障害を及ぼすおそれがないものであることを説明する書類

## 目 次

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. 海底下廃棄をする海域の海底下廃棄許可省令第2条において定める基準への適合                                                  | 1  |
| 1.1 地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がない海域                                                          | 2  |
| 1.2 将来において地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれる海域                                                    | 4  |
| 1.3 特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害を防止する地質構造を有する海域                                             | 7  |
| 1.4 海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の監視及び汚染状況の監視をすることができる海域                                          | 9  |
| 1.5 特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害が生じ、又は生ずるおそれが生じた場合において、当該障害の拡大又は発生を防止するために必要な措置を講ずることができる海域 | 11 |
| 1.6 当該海域及びその周辺における、海洋環境の保全上特に保護を図る必要があるものの所在に関する知見が得られている海域                              | 12 |
| 2. 地層の特徴に係る事項                                                                            | 13 |
| 2.1 広域の地層・地質の特徴                                                                          | 13 |
| (1) テクトニクス概要                                                                             | 13 |
| (2) 北海道周辺の地殻応力分布                                                                         | 14 |
| (3) 北海道周辺および苫小牧周辺の地震活動                                                                   | 14 |
| (4) 苫小牧周辺の活断層                                                                            | 17 |
| 2.2 廃棄海域とその近傍の地層/地質の特徴                                                                   | 18 |
| (1) 周辺地域の地質概要                                                                            | 18 |
| (2) 周辺地域の地層水塩分濃度解析による水理地質評価                                                              | 19 |
| ① 萌別層～荷菜層                                                                                | 20 |
| ② 滝ノ上層                                                                                   | 20 |
| (3) 当該海域の地質                                                                              | 22 |
| ① 当該地域で実施した調査の概要                                                                         | 22 |
| ア) 三次元弾性波探査                                                                              | 24 |
| イ) 調査井                                                                                   | 24 |
| ウ) 圧入井                                                                                   | 24 |
| エ) CO <sub>2</sub> 挙動予測シミュレーション                                                          | 24 |
| ② 当該地域で取得したデータおよびその解析結果                                                                  | 25 |
| ア) 三次元弾性波探査結果解釈の概要                                                                       | 25 |
| a. 滝ノ上層                                                                                  | 25 |
| b. 萌別層                                                                                   | 26 |
| c. 地質構造                                                                                  | 26 |
| イ) 苫小牧 CCS-1 の解析結果の概要                                                                    | 31 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| ウ) 苫小牧 CCS-2 の解析結果の概要                                           | 33 |
| エ) 圧入井の解析結果の概要                                                  | 33 |
| オ) 解析結果                                                         | 34 |
| ③ 地質モデルの作成                                                      | 37 |
| ア) 滝ノ上層 T1 部層用の地質モデルの作成 (圧入井掘削前)                                | 37 |
| a. 岩相分布・性状分布の推定                                                 | 37 |
| b. 構造モデルの作成                                                     | 38 |
| c. 属性モデルの作成                                                     | 42 |
| イ) 滝ノ上層 T1 部層用の地質モデルの作成<br>(圧入井掘削結果を踏まえた更新モデル)                  | 42 |
| a. 滝ノ上層圧入井掘削結果                                                  | 42 |
| b. 掘削時のブラインによる圧入テスト等の<br>貯留層に係るテスト結果とその見直し                      | 44 |
| i) 掘削時の貯留層に係るテスト                                                | 44 |
| ii) 貯留層に係るテスト結果の見直し                                             | 45 |
| c. 岩相分布・性状分布推定の更新                                               | 45 |
| d. 構造モデルの更新                                                     | 49 |
| e. 属性モデルの更新                                                     | 49 |
| ウ) 萌別層砂岩層用の地質モデルの作成                                             | 50 |
| a. 岩相分布・性状分布の推定                                                 | 50 |
| b. 構造モデルの作成                                                     | 51 |
| c. 属性モデルの作成                                                     | 54 |
| ④ CO <sub>2</sub> 挙動予測シミュレーション                                  | 55 |
| ア) 滝ノ上層 T1 部層における CO <sub>2</sub> 挙動予測 (圧入井掘削前)                 | 55 |
| a. 概要                                                           | 55 |
| b. パラメータ                                                        | 55 |
| c. CO <sub>2</sub> 圧入時の挙動                                       | 56 |
| d. 貯留層圧力分布                                                      | 60 |
| e. シミュレーションによる貯留 CO <sub>2</sub> の長期挙動予測                        | 62 |
| f. 圧入に伴う貯留層内の CO <sub>2</sub> 分布予測                              | 62 |
| イ) 滝ノ上層 T1 部層における CO <sub>2</sub> 挙動予測 (圧入井掘削結果を踏まえた予測)         | 69 |
| a. 概要                                                           | 69 |
| b. パラメータ                                                        | 70 |
| c. CO <sub>2</sub> 圧入時の挙動                                       | 71 |
| d. 貯留層圧力分布                                                      | 72 |
| e. 圧入に伴う貯留層内の CO <sub>2</sub> 分布予測 (貯留 CO <sub>2</sub> の長期挙動予測) | 73 |
| f. CO <sub>2</sub> の貯留形態ごとの割合                                   | 76 |

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| ウ) 萌別層砂岩層における CO <sub>2</sub> 挙動予測                         | 76  |
| a. 概要                                                      | 76  |
| b. パラメータ                                                   | 77  |
| c. ケーススタディ                                                 | 79  |
| d. CO <sub>2</sub> 圧入時の挙動                                  | 80  |
| e. 貯留層圧力分布                                                 | 82  |
| f. 圧入に伴う貯留層内の CO <sub>2</sub> 分布予測                         | 85  |
| g. 遮蔽性能検討                                                  | 93  |
| h. CO <sub>2</sub> の貯留形態ごとの割合                              | 99  |
| 2.3 鉱業権の設定または出願の状況について                                     | 100 |
| 3. 海底下廃棄をされた特定二酸化炭素ガスの潜在的な移動及び漏出の経路の推定結果に係る事項              | 101 |
| 3.1 特定二酸化炭素ガスと地層やシール層の成分との相互作用                             | 101 |
| (1) 滝ノ上層 T1 部層                                             | 101 |
| (2) 萌別層砂岩層                                                 | 104 |
| 3.2 CO <sub>2</sub> 漏出の可能性検討                               | 107 |
| (1) CO <sub>2</sub> 漏出要因の洗い出し                              | 107 |
| (2) CO <sub>2</sub> 漏出要因に関する検討のまとめ                         | 109 |
| 4. 海底下廃棄をされた特定二酸化炭素ガスの地層内での空間的な広がり及び特定二酸化炭素ガスの推定廃棄可能量に係る事項 | 111 |
| 4.1 海底下廃棄された特定二酸化炭素ガスの地層内での空間的な広がり                         | 111 |
| (1) 滝ノ上層 T1 部層中での空間的な広がり                                   | 111 |
| ① 地質モデル                                                    | 111 |
| ② CO <sub>2</sub> の平面的な分布範囲                                | 115 |
| ③ CO <sub>2</sub> の垂直的な分布範囲                                | 118 |
| (2) 萌別層砂岩中での空間的な広がり                                        | 119 |
| ① 地質モデル                                                    | 119 |
| ② CO <sub>2</sub> の平面的な分布範囲                                | 122 |
| ③ CO <sub>2</sub> の垂直的な分布範囲                                | 124 |
| 4.2 特定二酸化炭素ガスの推定廃棄可能量に係る事項                                 | 132 |
| (1) 滝ノ上層 T1 部層                                             | 132 |
| ① CO <sub>2</sub> の貯留領域面積 (CO <sub>2</sub> 貯留領域の水平投影面積)    | 132 |
| ② 平均層厚 (CO <sub>2</sub> 貯留領域の鉛直方向の平均長)                     | 133 |
| ③ 有効孔隙率                                                    | 133 |
| ④ CO <sub>2</sub> 貯留飽和度の最大値                                | 133 |
| ⑤ 貯留状態での平均 CO <sub>2</sub> 密度                              | 133 |
| ⑥ 収容量                                                      | 134 |
| ⑦ 期間内計画圧入量が適切であることの確認                                      | 135 |



|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| ア) 収容量                                                 | 135 |
| イ) 期間内推定圧入可能量                                          | 135 |
| ウ) 期間内計画圧入量                                            | 135 |
| (2) 萌別層砂岩層                                             | 136 |
| ① CO <sub>2</sub> の貯留領域面積（CO <sub>2</sub> 貯留領域の水平投影面積） | 136 |
| ② 平均層厚（CO <sub>2</sub> 貯留領域の鉛直方向の平均長）                  | 136 |
| ③ 有効孔隙率                                                | 137 |
| ④ CO <sub>2</sub> 貯留飽和度の最大値                            | 137 |
| ⑤ 貯留状態での平均CO <sub>2</sub> 密度                           | 138 |
| ⑥ 収容量                                                  | 138 |
| ⑦ 期間内計画圧入量が適切であることの確認                                  | 140 |
| ア) 収容量                                                 | 140 |
| イ) 期間内推定圧入可能量                                          | 140 |
| ウ) 期間内計画圧入量                                            | 141 |
| 5. 海底下廃棄をする海域の海洋環境の特徴に係る事項                             | 142 |

## 1. 海底下廃棄をする海域の海底下廃棄許可省令第2条において定める基準への適合

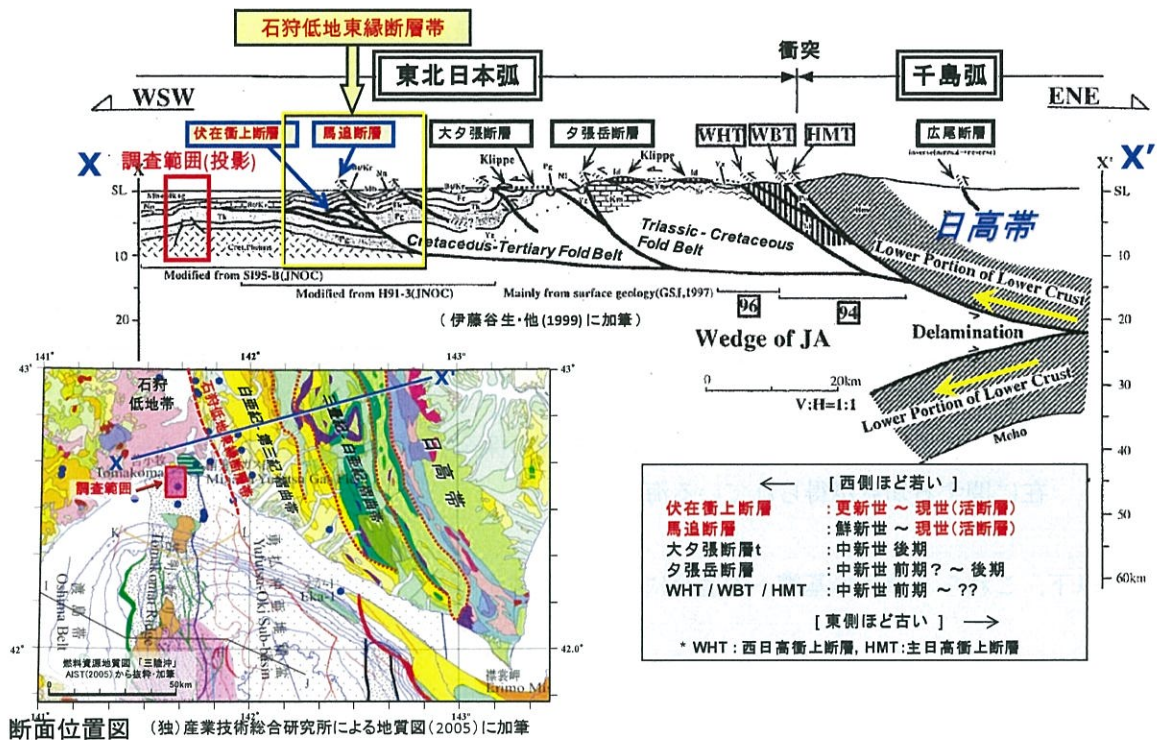
環境省令第二十三号（特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の許可等に関する省令）の第二条に定める基準は、以下の6項目である。

- 一 地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がない海域
- 二 将来において地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれる海域
- 三 特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害を防止する地質構造を有する海域
- 四 海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の監視及び汚染状況の監視をすることができる海域
- 五 特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害が生じ、又は生ずるおそれが生じた場合において、当該障害の拡大又は発生を防止するために必要な措置を講ずることができる海域
- 六 当該海域及びその周辺における、海洋環境の保全上特に保護を図る必要があるものの所在に関する知見が得られている海域

以下、これら6項目の基準への適合について記載する。

## 1.1 地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がない海域

第 1.1-1 図に、苫小牧周辺のテクトニクス概要を示す。



第 1.1-1 図 苫小牧周辺のテクトニクス概要

特定二酸化炭素ガスの圧入想定域は、北海道の石狩ー日高地域に属する（第 1.1-1 図左下の断面位置図）。地質構造的には、西方に向かって前進する北北西ー南南東方向の褶曲・衝上断層帯で特徴づけられる（第 1.1-1 図上段）。同褶曲・衝上断層帯は、東北日本弧と千島弧の衝突によって形成された日高衝突帯の西側の前縁部に形成されている<sup>[1]</sup>。

広域の地質構造的な特徴は、以下のとおり要約できる。

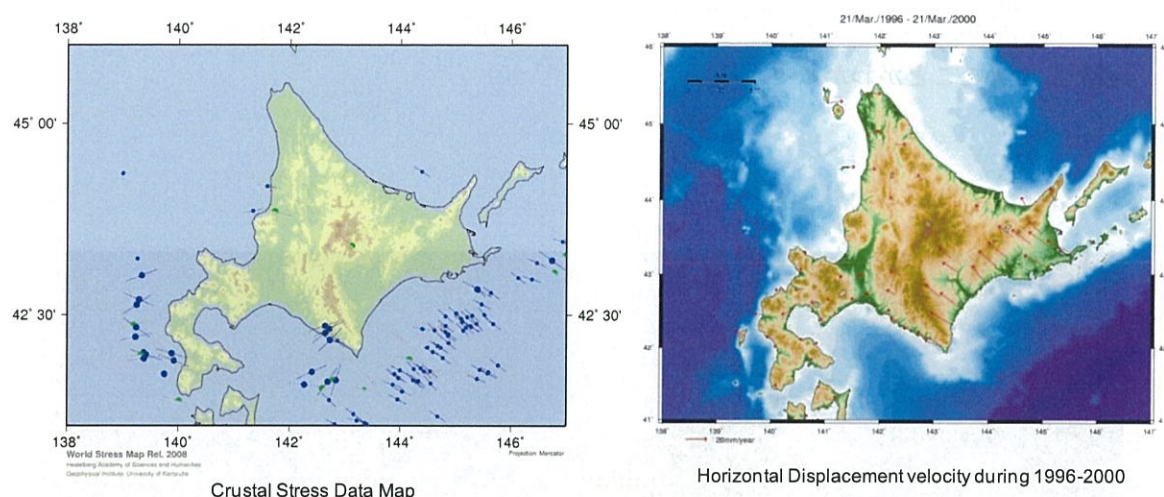
- ・西方に向かって前進する複数の褶曲・衝上断層帯が発達する。これらは、東北日本弧と千島弧の衝突によって形成されたもので、中新世に始まったものである。
- ・褶曲・衝上断層帯にはいくつかの断層が認められ、地表に現れている最も西側の断層は馬追断層で代表される断層群である。
- ・既往の弾性波探査データから、馬追断層の西側にはいくつかの伏在衝上断層が推定される。
- ・馬追断層およびその西側の伏在衝上断層は、南北に延びる活断層である「石狩低地東縁断層帯」を形成している。

国土地理院による GPS 観測点網 (GEONET) による年間平均変位速度ベクトルと、地殻応力デ

[1] 伊藤ほか. 1999. 日高衝突帯におけるデラミネーション-ウェッジ構造. 月刊地球, 21(3), pp. 130-136.



ータベースである World Stress Map<sup>[1]</sup> (WSM) を利用して応力分布について調査した。第 1. 1-2 図に、WSM による応力データ分布および札幌観測点を固定した変位速度図を示す。



第 1. 1-2 図 北海道地域の地殻応力データ分布図（左側）および水平変位速度分布図（右側）

これらの図に現れた応力分布を反映すると考えられる特徴を列記する。

北海道南東部一日高山脈南部は、太平洋プレートの沈み込みによる千島弧の東北日本弧への衝突が生じている地域である。地殻変位速度はこの衝突と整合的な西から西北西への変位が顕著であり、南東ほどその変位速度が大きく、年間 20mm 以上に達している。応力データ分布図には陸域のデータが少ないが日高山脈南端付近に逆断層型の東西圧縮を示すデータが存在し、地殻変位速度ベクトルと調和的である。

石狩低地帯内に存在する札幌観測点を固定点とした場合、北海道北部地域から苫小牧一室蘭に至る地域は相対的な変位は小さい。

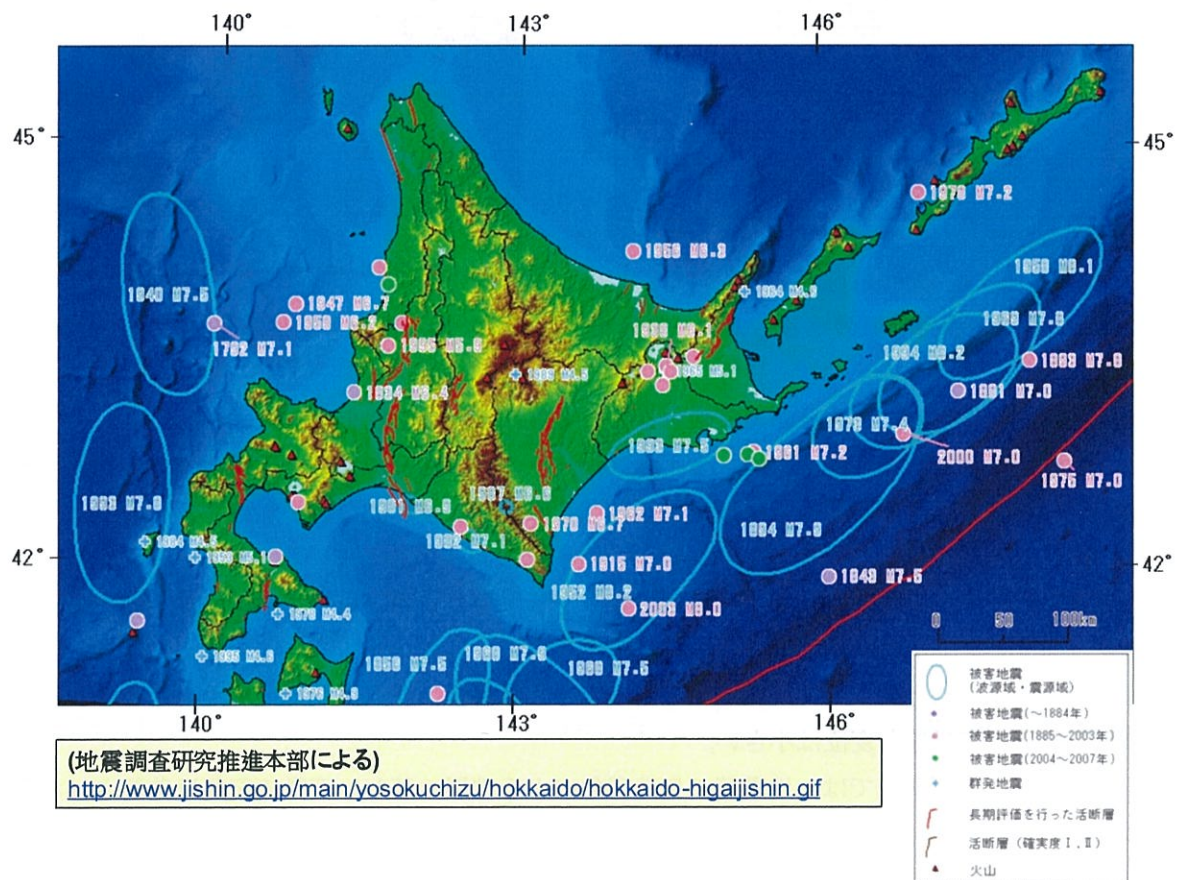
上記より、当該海域では、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録は確認されなかった。

[1] World Stress Map (<http://dc-app3-14.gfz-potsdam.de/>, 2015/1/28 アクセス)



## 1.2 将来において地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれる海域

北海道周辺には、深部（100km 以深）の海溝型（プレート境界型）と浅部（20～40km 以浅）の内陸地震の2タイプの地震活動があり、千島海溝－日本海溝に沿って、津波を伴うマグニチュード（M）8クラスの海溝型巨大地震が繰り返し発生している（第1.2-1図）。北海道では、古文書に記録された古い地震は少ないが、津波堆積物の調査から、400～500年周期で巨大津波を経験してきたことがわかっている。



第1.2-1図 北海道周辺の地震活動

苫小牧周辺における現在の地震活動を、第1.2-2図に示す。

震源分布断面図からは、地下深部（100km 以深）の海溝型（プレート境界型）と浅部（20～40km 以浅）の内陸地震の2タイプの地震活動があることがわかる。平面分布図から、圧入想定地点周辺の地震活動度は、他の地域の活動度とほとんど差異はないことがわかる。

苫小牧市南西側には、樽前山などの活火山があり、群発地震が発生することがある。ほとんどの場合 M5 以下であるが、まれに M5 より大きくなり、局所的に被害が生じることがある。群発地震の活動期間は、多くは1～3ヵ月の比較的短い時間で収まるが、1年を越えた例も知られている。

また、北海道地方の活断層のほとんどは逆断層であり、北海道の中央部がほぼ東西方向に圧

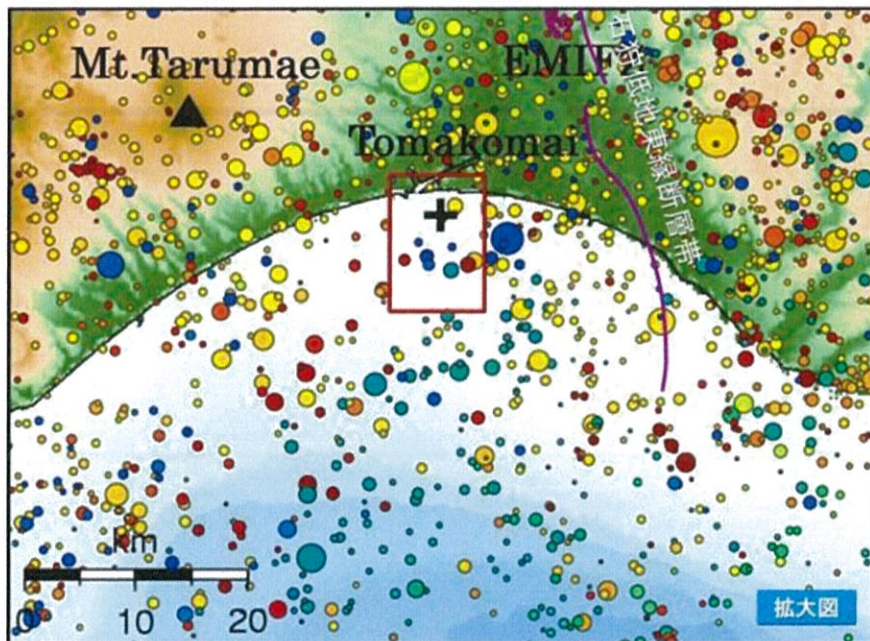
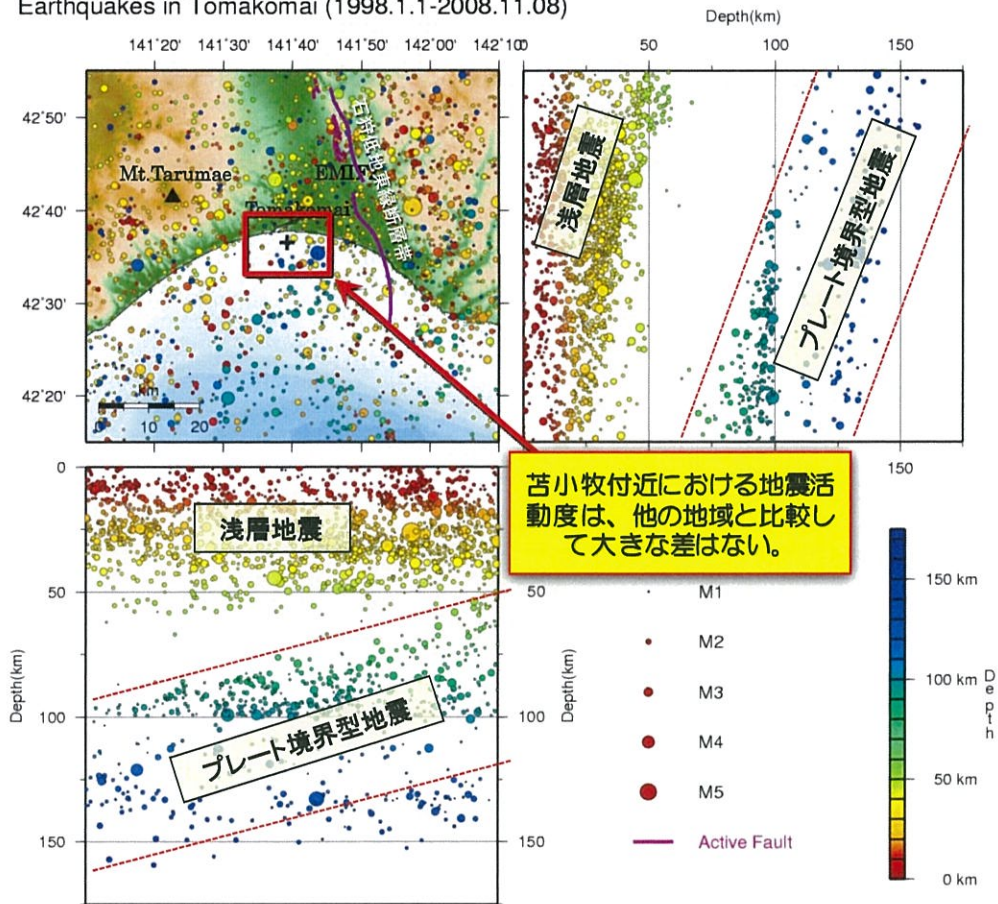
縮されている。地殻変動観測からもおおむね西北西－東南東方向の圧縮場にある。

苫小牧周辺の活断層としては、石狩平野の東縁に沿って南北方向に走っている「石狩低地東縁断層帯」がある。圧入地点からは 20km 以上あり、十分離れている（詳細については、第 2.1 節(4)参照）。

上記より、当該海域では、将来において地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれた。



# Earthquakes in Tomakomai (1998.1.1-2008.11.08)



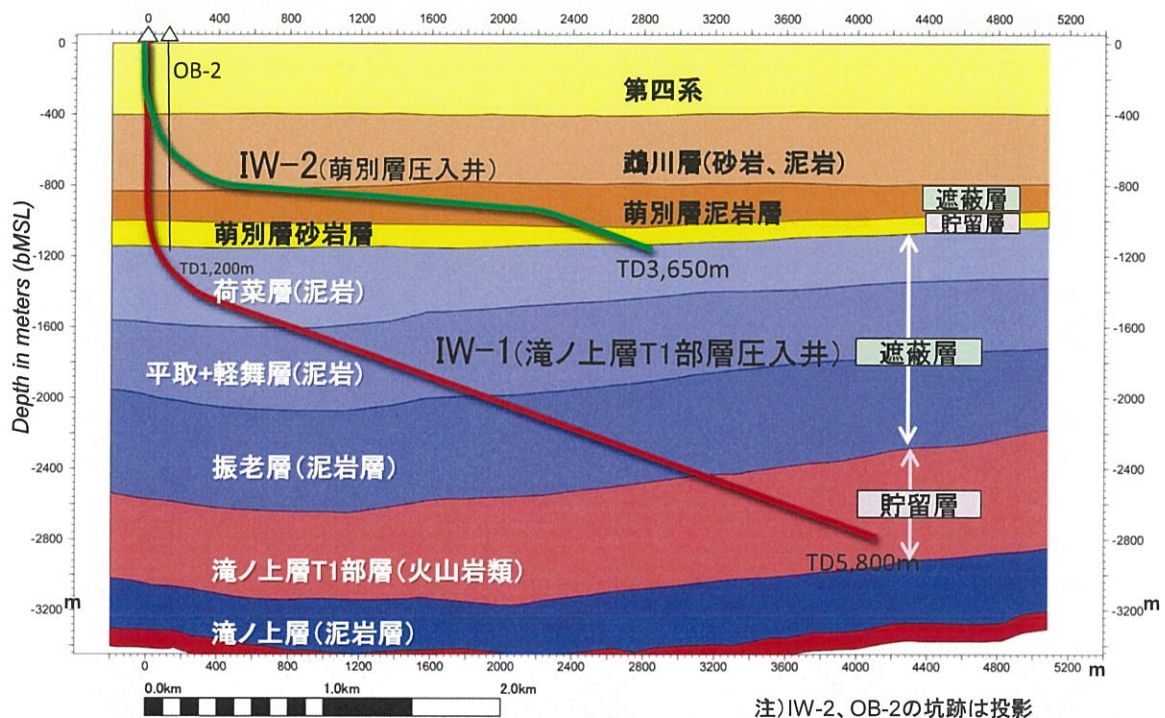
注：1998 年～2008 年， $M>1$ 。赤枠内は，調査範囲。

第 1.2-2 図 苦小牧周辺の最近の地震活動



### 1.3 特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害を防止する地質構造を有する海域

本計画においては、滝ノ上層圧入井および萌別層圧入井を新たに掘削して、滝ノ上層 T1 部層および萌別層砂岩層の 2 つの貯留層に特定二酸化炭素ガスを圧入する。それぞれの貯留層の海面下深度の上限は、滝ノ上層 T1 部層で約 2,400m、萌別層砂岩層で約 1,000m であり、十分な深度を確保している（第 1.3-1 図）。



第 1.3-1 図 苫小牧地点の層序

また、それぞれの貯留層に対する遮蔽層の厚さおよび浸透率については、滝ノ上層 T1 部層に対しては 850m 程度および  $8.2 \times 10^{-6} \sim 36.7 \times 10^{-6} \text{mD}$ 、萌別層砂岩層に対しては 100m 以上および  $0.80 \times 10^{-3} \sim 1.73 \times 10^{-3} \text{mD}$  であり、十分に特定二酸化炭素ガスを封じ込められ、海底下廃棄の安全性／完全性が確保されている。

本書の「2.2 廃棄海域とその近傍の地層/地質の特徴」および「4. 海底下廃棄をされた特定二酸化炭素ガスの地層内での空間的な広がり及び特定二酸化炭素ガスの推定廃棄可能量に係る事項」において、地層/地質構造に係る調査結果およびそれらのデータを用いた  $\text{CO}_2$  挙動予測シミュレーション結果を記載しており、それぞれの貯留層に対する圧入終了後 997 年間（圧入開始から 1,000 年間）の  $\text{CO}_2$  挙動予測は次のとおりであり、 $\text{CO}_2$  漏出の可能性が極めて小さいと判断できる。

#### 1) 滝ノ上層 T1 部層

- ・ 気相  $\text{CO}_2$  および溶解  $\text{CO}_2$  の広がりとは滝ノ上層圧入井から 200m の区間。
- ・  $\text{CO}_2$  は、遮蔽層へ到達しない。

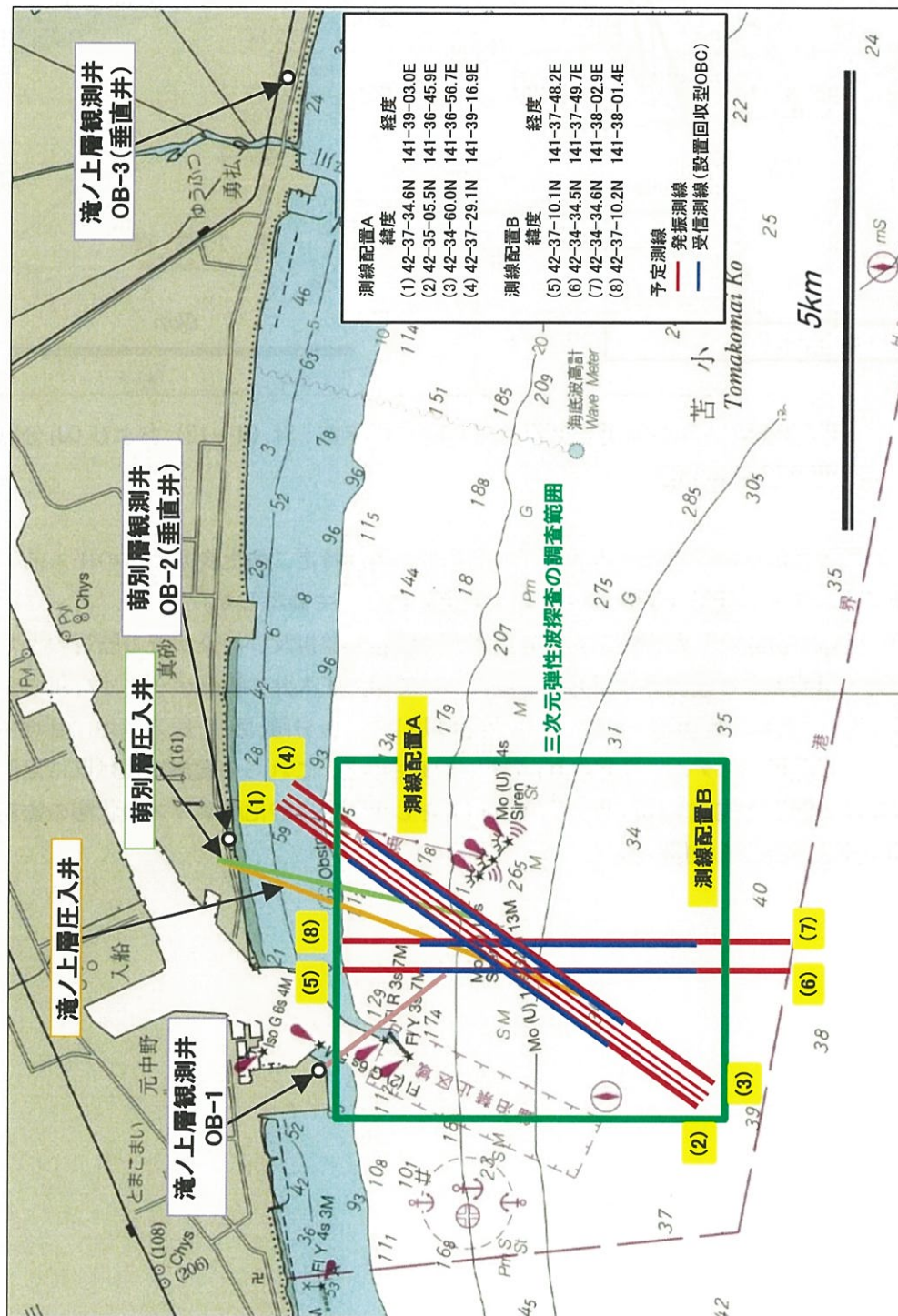
## 2) 萌別層砂岩層

- ・気相  $\text{CO}_2$  の広がり、水平方向に東西 400m 程度、南北 600m 程度。また、溶解  $\text{CO}_2$  の広がり、東西 400m 程度、南北 600m 程度。
- ・遮蔽層へは、遮蔽層の下限（のセル）には溶解  $\text{CO}_2$  の状態で  $\text{CO}_2$  は存在するが、それより上位へは移動しない。

上記より、当該海域は、特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害を防止する地質構造を有する。

#### 1.4 海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の監視及び汚染状況の監視をすることができる海域

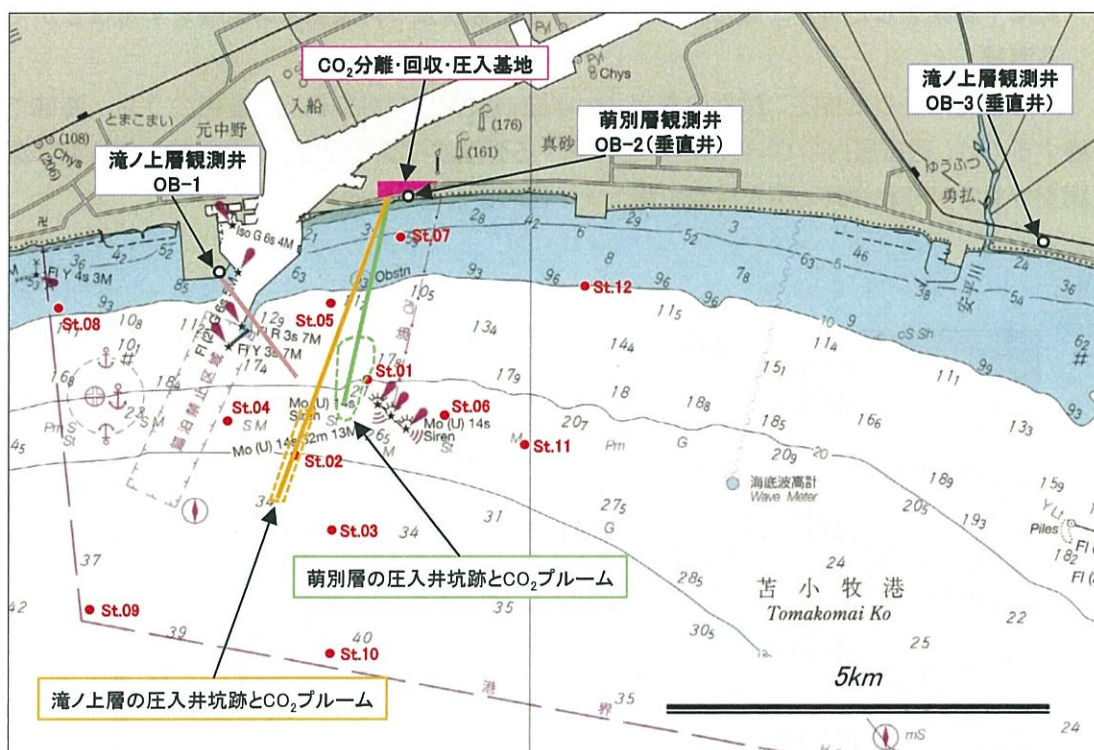
海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の監視及び汚染状況の監視のうち、海域で実施するのは、貯留層内のCO<sub>2</sub>の広がりを確認する弾性波探査と、汚染状況を監視する海洋環境調査である。それぞれの調査海域を第1.4-1図および第1.4-2図に示す。



注：海上保安庁発行の海図（W1034）に加筆

第1.4-1図 弾性波探査（三次元と二次元）の調査位置





第 1. 4-2 図 海水の化学的性状の調査海域と測点位置（赤点：St. 01～12）および CO<sub>2</sub> 分離・回収・圧入基地の位置

当該海域でこれらの監視をすることができることは、特定二酸化炭素ガスの圧入前に行った海域のベースライン観測（平成 25～26 年に実施）において確認した。

なお、海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の監視及び汚染状況の監視のうち、圧入井の圧力・温度および観測井の圧力・温度については、圧入井の観測データは専用の光ケーブルによって、観測井の観測データは電話回線を利用して CO<sub>2</sub> 分離・回収・圧入基地内管理棟の坑井モニタリング監視システムに送信され、監視、記録される。これらの観測機器は既に設置され、ベースライン観測を実施しており、海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の監視及び汚染状況の監視が出来る状態にある。

1.5 特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害が生じ、又は生ずるおそれが生じた場合において、当該障害の拡大又は発生を防止するために必要な措置を講ずることができる海域

「特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害が生じ、又は生ずるおそれが生じた場合」は、通常時監視の確認調査で移行基準の超過が確認された場合が該当し、「当該障害の拡大又は発生を防止するために必要な措置を講ずる処置」は、圧入の停止である。圧入の停止後は、環境省指示のもと適切な措置を実施する。

#### 1.6 当該海域及びその周辺における、海洋環境の保全上特に保護を図る必要があるものの所在に関する知見が得られている海域

苫小牧市および厚真町周辺海域の海洋生物について、浮遊生物の生息状況、魚類等遊泳動物の生息状況、海草及び藻類の生育状況並びにさんご類の生息状況、および底生生物（メイオベントス、マクロベントスおよびメガロベントス）の生息状況を、現地調査と既存資料の整理により把握した。また、生態系について、藻場、干潟、さんご群集その他の脆弱な生態系の状態、重要な生物種の産卵場又は生育場その他の海洋生物の生育又は生息にとって重要な海域の状態、および熱水生態系その他の特殊な生態系の状態を、既存資料<sup>[1]-[8]</sup>の整理により把握した。さらに、海中公園その他の自然環境の保全を目的として設定された区域としての利用状況を、既存資料の整理により把握した。これら調査の結果、海洋環境の保全上特に保護を図る必要があるものの存在は確認されなかった（添付書類-1「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をすることが海洋環境に及ぼす影響についての調査の結果に基づく事前評価に関する事項を記載した書類」の「3.2 海洋生物」、「3.3 生態系」および「3.4 海洋の利用」）。

上記より、当該海域及びその周辺は、自然保護的観点から特別に保護すべき対象が存在していないことが把握されている場所である。

- 
- [1] 『国立公園』（環境省ウェブサイト：<http://www.env.go.jp/park/index.html>, 2014/10/17 アクセス）
  - [2] 『道内のラムサール条約登録湿地一覧』（北海道環境局生物多様性保全課ウェブサイト：<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/envirom/wetland/ramsargaiyou.htm>, 2014/10/17 アクセス）
  - [3] 『自然環境保全地域等』（北海道環境局生物多様性保全課ウェブサイト：<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/kouen/hozen.htm>）
  - [4] 『苫小牧市自然環境保全地区』（苫小牧市環境生活課自然保護係ウェブサイト：[http://www.city.tomakomai.hokkaido.jp/shizen/shizenhogo/yachohogo/hozenchiku/tomakomai\\_hozenchiku.html](http://www.city.tomakomai.hokkaido.jp/shizen/shizenhogo/yachohogo/hozenchiku/tomakomai_hozenchiku.html), 2014/10/17 アクセス）
  - [5] 『平成 25 年度鳥獣保護区等位置図』（北海道, 2013 年）
  - [6] 『第 4 回自然環境保全基礎調査』（環境庁, 1994 年）
  - [7] 『サンゴの生態』（日本サンゴ礁学会ウェブサイト：[http://www.jcrs.jp/wp/?page\\_id=622#q3](http://www.jcrs.jp/wp/?page_id=622#q3), 2014/10/17 アクセス）
  - [8] 『西太平洋の化学合成生態系』（独立行政法人海洋研究開発機構ウェブサイト：<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-e/XBR0/eco/project/busshitsu/shinkai/onsen2.html>, 2014/10/17 アクセス）