

### 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

#### 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

滝ノ上層 T1 部層および萌別層砂岩層に CO<sub>2</sub> を圧入し、それぞれの地層と CO<sub>2</sub> との地化学反応状況を推察するために、一次元地化学シミュレーションを実施した。

##### (1) 滝ノ上層 T1 部層

滝ノ上層 T1 部層の地層水は、苫小牧 CCS-1 (滝ノ上層調査井) で採取した地層水を基に、第 3.1-1 表に示す地層水組成を使用した。滝ノ上層 T1 部層の鉱物組成は、苫小牧 CCS-1 の試料を参照し、第 3.1-2 表に示す組成を採用した。

また、鉱物の熱力学データは、公開データベースである Thermoddem<sup>[1]</sup>を参照した。

第 3.1-1 表 地化学反応シミュレーションで使した滝ノ上層 T1 部層の地層水組成

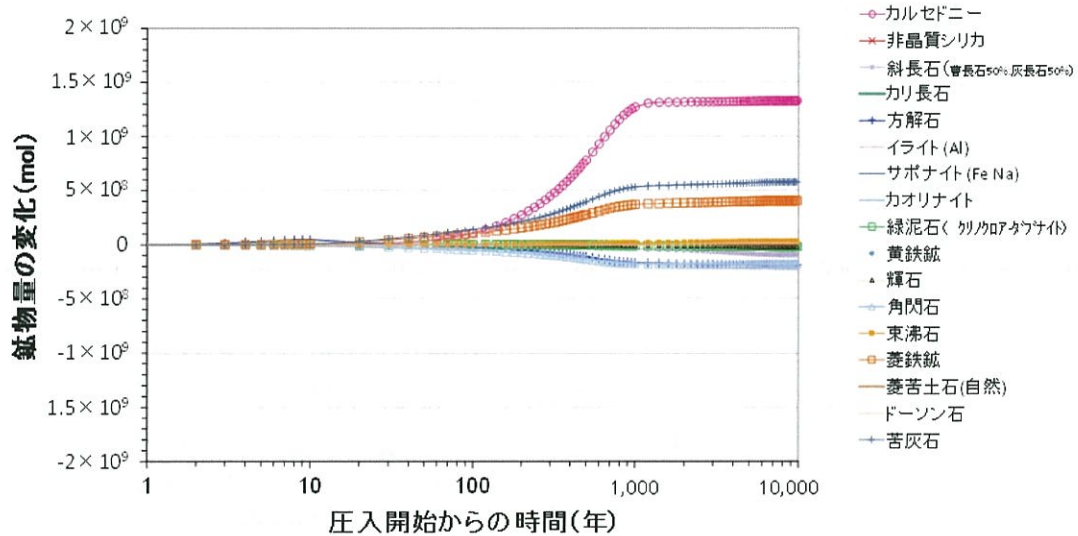
|                               | 滝ノ上層 T1 部層<br>地層水組成                                                                                   |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 貯留層温度 (°C)                    | 90                                                                                                    |
| pH                            | 6.75                                                                                                  |
| 組成                            | 濃度 (mg/kg)                                                                                            |
| Cl <sup>-</sup>               | 20,732.00                                                                                             |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 63.33                                                                                                 |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 10.23                                                                                                 |
| HS <sup>-</sup>               | 4.89E-04                                                                                              |
| SiO <sub>2</sub> (aq)         | 83.93                                                                                                 |
| Al <sup>3+</sup>              | 8.78E-03                                                                                              |
| Ca <sup>2+</sup>              | 8,321.83                                                                                              |
| Mg <sup>2+</sup>              | 2.06                                                                                                  |
| Fe <sup>2+</sup>              | 9.24                                                                                                  |
| K <sup>+</sup>                | 11.69                                                                                                 |
| Na <sup>+</sup>               | 3,893.70                                                                                              |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 16.61                                                                                                 |
| 備考                            | 黄鉄鉱, カルセドニー, 東沸石, カオリナイト, 方解石, サポーナイト (Fe, Ca), イライト (Al) と化学平衡になるように地層水組成を熱力学的に再構成 (Thermoddem を使用)。 |

<sup>[1]</sup> Thermoddem (BRGM, the French Geological Survey : <http://thermoddem.brgm.fr/>, 2015 年 2 月 5 日アクセス)

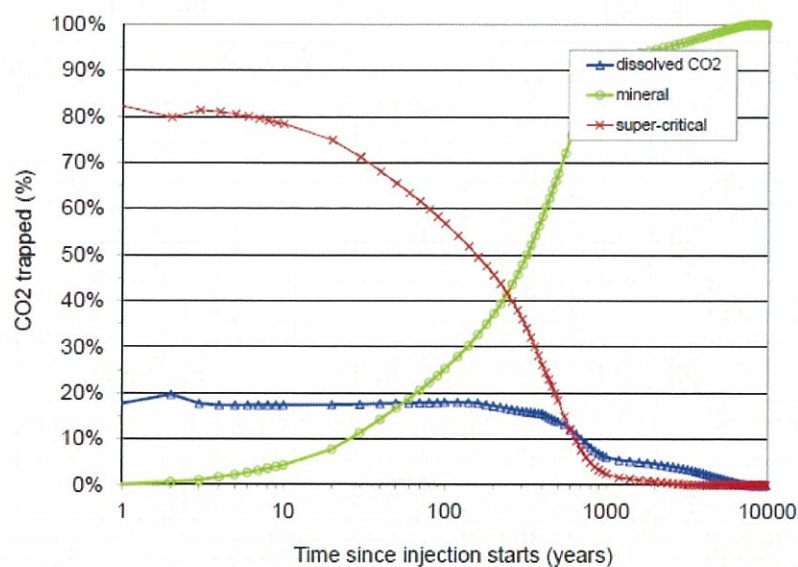
第 3.1-2 表 地化学反応シミュレーションで使した滝ノ上層 T1 部層の鉱物組成

| Class | 和名    | Name                  | Abbreviation     | 鉱物組成 (vol%) |
|-------|-------|-----------------------|------------------|-------------|
| シリカ鉱物 | 玉髄    | chalcedony            | chalcedony       | 8.61        |
| 長石    | 斜長石   | albite/anorthite      | ab0.5an0.5       | 16.04       |
| 長石    | カリ長石  | K-feldspar            | microcline       | 10.85       |
| 炭酸塩鉱物 | 方解石   | calcite               | calcite          | 4.05        |
| 粘土鉱物  | イライト  | illite                | illite(Al)       | 14.01       |
| 粘土鉱物  | サポナイト | saponite              | saponite(FeCa)   | 3.07        |
| 粘土鉱物  | カオリン石 | kaolinite             | kaolinite        | 0.00        |
| 粘土鉱物  | 緑泥石   | clinoclore/daphnite   | clcl2.5dap2.5    | 5.07        |
| 粘土鉱物  | 黄鉄鉱   | pyrite                | pyrite           | 3.10        |
| 輝石    | 輝石    | diopside/hedenbergite | diop0.8hed0.2    | 5.81        |
| 角閃石   | 角閃石   | tremolite/actinolite  | trem3act2        | 5.63        |
| 沸石    | 束沸石   | stilbite              | stilbite         | 8.24        |
| 炭酸塩鉱物 | 菱鉄鉱   | siderite              | siderite         | 0.00        |
| 炭酸塩鉱物 | 菱苦土鉱  | magnesite             | magnesite(Natur) | 0.00        |
| 炭酸塩鉱物 | ドーソン石 | dawsonite             | dawsonite        | 0.00        |
| 炭酸塩鉱物 | 苦灰石   | dolomite              | dolomite         | 0.00        |

シミュレーションの結果を、第 3.1-1 図および第 3.1-2 図に示す。



第 3.1-1 図 滝ノ上層 T1 部層に CO<sub>2</sub> を圧入した際の鉱物変化量の推定



第 3.1-2 図 滝ノ上層 T1 部層に CO<sub>2</sub> を圧入した際の鉱物固定化量の推定

CO<sub>2</sub> 圧入終了から 20 年程度は、ほとんど反応が起こらない。100 年程度以降から、カルセドニー、方解石、苦灰石が析出し、緑泥石や角閃石、方解石が溶解するものと推定される。溶解した鉱物も含め化学反応が進行し、数 10 年後ごろから CO<sub>2</sub> が鉱物として固定化される量が増加する。10,000 年後には、圧入した CO<sub>2</sub> のほぼすべてが鉱物として固定化される結果となった。

第 3.1-3 表に、苫小牧 CCS-1 で採取したカッティング試料の X 線回折分析結果を示す。

第 3.1-3 表 苫小牧 CCS-1 で採取したカッティング試料の X 線回折分析結果

| 深度<br>(m) | 地 層 名  |     | 岩 相<br>(肉眼記載) | 同 定 さ れ た 鉱 物 |      |     |      |       |         |       |    |     |     |     |       |     |     |     |
|-----------|--------|-----|---------------|---------------|------|-----|------|-------|---------|-------|----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
|           | 果層     | 部層  |               | スカルイト         | イライト | 緑泥石 | 斜方沸石 | モナシ沸石 | スフィエライト | ホーネクト | 石英 | 斜長石 | 角長石 | 方解石 | ドロマイト | 黄鉄鉱 | 赤鉄鉱 | 角閃石 |
| 900       | 萌別層泥岩  |     | 砂質シルト岩        | ×             | △    | △   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | △   |     | △   |
| 950       |        |     | 砂質シルト岩        | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   | △   | ×   |       | △   |     | △   |
| 1000      |        |     | 砂質シルト岩        | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | △   |     | △   |
| 1050      |        |     | 砂質シルト岩        | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     |     |       | △   |     | △   |
| 1100      |        |     | 砂質シルト岩        | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   | △   |     |       | ×   |     | △   |
| 1150      | 萌別層砂岩  |     | 砂質シルト岩        | ×             | △    | △   | △    |       |         |       | ○  | ○   | ○   |     |       | ×   |     | △   |
| 1200      |        |     | 砂質シルト岩        | ×             | ○    | ○   | △    |       |         |       | ◎  | ○   | △   |     |       | △   |     | △   |
| 1250      |        |     | 砂質シルト岩        | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     |     |       | △   |     | △   |
| 1300      |        | 荷葉層 |               | 砂質シルト岩        | ×    | ○   | ○    |       |         |       | ◎  | ○   |     |     |       | △   |     | △   |
| 1350      |        | 荷葉層 |               | 砂質シルト岩        | ×    | ○   | ○    |       |         |       | ◎  | ○   | △   |     |       | △   |     | △   |
| 1400      | 荷葉層    |     | 砂質シルト岩        | ×             | △    | △   |      |       |         |       | ○  | ◎   |     | ×   |       |     |     |     |
| 1450      | 荷葉層    |     | 砂質シルト岩        | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ○  | ○   | △   | ×   |       | ×   |     | ○   |
| 1500      | 荷葉層    |     | 砂質シルト岩        | ×             | ○    | ○   | △    |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | ×   |     | △   |
| 1550      | 荷葉層    |     | 砂質シルト岩        | ×             | ○    | △   | △    |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | △   |     | △   |
| 1580      | 荷葉層    |     | 砂質シルト岩        | ×             | ○    | △   | ○    |       |         |       | ○  | ○   | △   | ×   |       | △   |     | △   |
| 1650      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ○  | ○   |     |     |       | △   |     | △   |
| 1700      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | ○    |       |         | ×     | ○  | ○   |     |     |       | △   |     | △   |
| 1750      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | ○    |       |         | ×     | ○  | ○   |     | ×   |       | △   |     | △   |
| 1800      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | ○    |       |         | △     | ◎  | ×   |     |     |       | △   |     | △   |
| 1850      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | △    |       |         | △     | ○  | ○   | △   |     |       | △   |     | △   |
| 1900      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | △   | ○    |       |         | △     | ○  | ○   |     |     |       | △   |     | △   |
| 1950      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | △    |       |         | △     | ○  | ○   |     |     |       | △   |     | △   |
| 2000      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            |               | ○    | ○   | △    |       |         | △     | ◎  | ○   |     |     |       | △   |     |     |
| 2050      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | △    |       |         | △     | ○  | ○   |     |     |       | △   |     | ×   |
| 2100      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | ○    |       |         | △     | △  | ○   |     | ×   |       | △   |     | ×   |
| 2150      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | △    |       |         | △     | ○  | ○   |     |     |       | △   |     | ×   |
| 2200      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | △    |       |         | △     | ◎  | ○   |     |     |       | △   |     | ×   |
| 2250      | 平取+軽舞層 |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | △    |       |         | ×     | ◎  | ○   |     |     |       | △   |     | ×   |
| 2300      | 振老層    |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   | △    |       |         |       | ◎  | ○   |     |     |       | △   |     |     |
| 2350      |        |     | 泥岩            |               | ○    | ○   | △    |       |         |       | ◎  | ○   |     |     |       | △   |     |     |
| 2400      |        |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | △   |     |     |
| 2450      |        |     | 凝灰質泥岩         | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | △   |     |     |
| 2500      |        |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | △   |     |     |
| 2550      |        |     | 凝灰質泥岩         | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   | ×     | △   |     |     |
| 2600      |        |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | △   |     |     |
| 2650      |        |     | 凝灰質泥岩         | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   | ×     | △   |     |     |
| 2700      |        |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | △   |     |     |
| 2750      |        |     | 泥岩            | ×             | ○    | ○   |      |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | △   |     |     |
| 2800      |        |     | 泥岩            | ×             | △    | ○   | △    |       |         |       | ◎  | ○   |     | ×   |       | ○   |     |     |
| 2900      | 滝ノ上層   | T1  | 火山礫凝灰岩        | ×             | △    |     |      | ◎     |         |       | △  | ○   |     |     |       | ×   |     |     |
| 2950      | 滝ノ上層   | T1  | 火山礫凝灰岩        | ×             | △    |     |      | ◎     |         |       | △  | ○   |     |     |       |     |     |     |
| 3000      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | ×             | △    |     | ○    | ◎     |         |       | △  | ○   |     |     |       |     |     |     |
| 3100      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | △             | △    |     | ○    |       |         |       | ○  | ◎   |     | ×   |       |     |     |     |
| 3150      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | △             | ×    |     |      |       | △       |       | ○  | ◎   |     | ×   |       |     | △   |     |
| 3250      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | △             | △    |     | ◎    |       |         |       | △  | ◎   |     | ×   |       |     |     |     |
| 3300      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | △             | △    |     | ○    |       | ○       |       | △  | ◎   |     | ×   |       | △   |     | ×   |
| 3400      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | △             |      |     |      |       | ○       |       | ○  | ◎   |     | ×   |       |     | △   |     |
| 3450      | 滝ノ上層   | T1  | 凝灰岩           | ×             | ×    |     | ◎    |       | ○       |       | △  | ○   |     | ×   |       |     |     |     |
| 3500      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | △             |      |     |      |       | ◎       |       | ○  | ◎   |     | ×   |       |     |     |     |
| 3550      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | △             |      |     |      |       | △       |       | ○  | ◎   |     | ×   |       |     | △   |     |
| 3600      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | ○             |      |     |      |       |         |       | ○  | ◎   |     | ×   |       |     | ○   |     |
| 3650      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | ○             |      |     |      |       |         |       | ○  | ◎   |     | ×   |       |     |     |     |
| 3700      | 滝ノ上層   | T1  | 砂質凝灰岩         | △             |      | ○   |      |       | ○       |       | ○  | ◎   |     | ×   |       |     |     |     |

◎：多い    ○：中    △：少ない    ×：極めて少ない

第 3.1-3 表に示すように、砕屑岩である振老層（遮蔽層）で同定された鉱物は、滝ノ上層 T1 部層の火山岩類とは異なり、萌別層泥岩などに近い組成を示す。したがって、遮蔽層と CO<sub>2</sub> の化学的な反応は萌別層に近い反応が生じることになる。遮蔽層には CO<sub>2</sub> がほとんど浸透できないと考えられ、化学的反応は遮蔽層と CO<sub>2</sub> の接触部分でのみ生じることとなる。

## (2) 萌別層砂岩層

萌別層砂岩層の地層水は、苫小牧 OB-2（萌別層観測井）で採取した地層水を基に、第 3.1-4 表に示す地層水組成を使用した。萌別層砂岩層の鉱物組成は、苫小牧 OB-2 試料を参照し、第 3.1-5 表に示す組成を採用した。

また、鉱物の熱力学データは、公開データベースである Thermoddem<sup>[1]</sup>を参照した。

第 3.1-4 表 地化学反応シミュレーションで使用した萌別層砂岩層の地層水組成

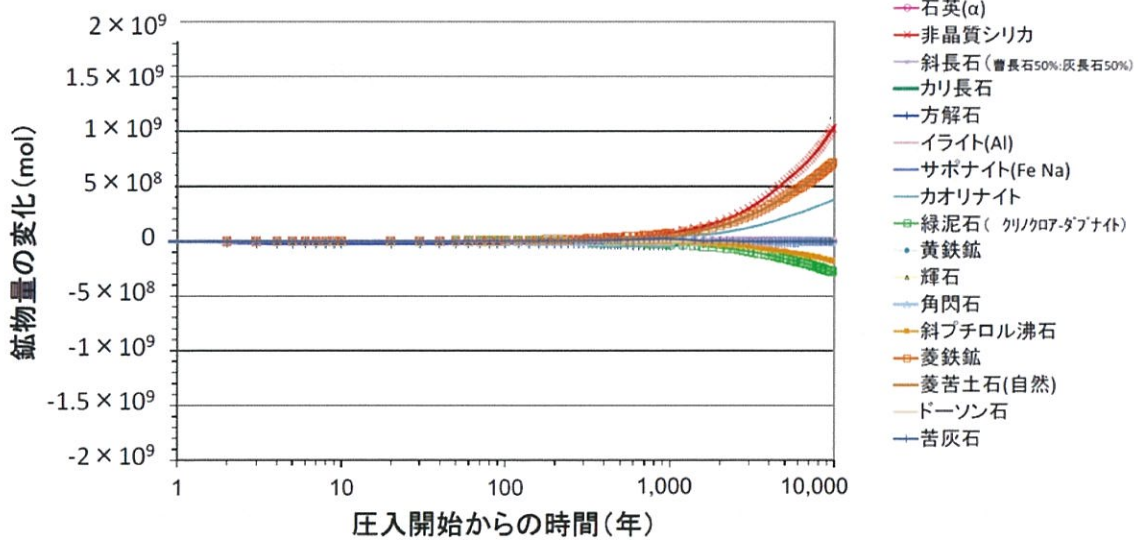
|                               | 萌別層砂岩層<br>地層水組成                                                                                                            |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 貯留層温度 (°C)                    | 40                                                                                                                         |
| pH                            | 7.17                                                                                                                       |
|                               |                                                                                                                            |
| 組成                            | 濃度 (mg/kg)                                                                                                                 |
| Cl <sup>-</sup>               | 1,864.10                                                                                                                   |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 9.17                                                                                                                       |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 541.40                                                                                                                     |
| HS <sup>-</sup>               | 7.28E-05                                                                                                                   |
| SiO <sub>2</sub> (aq)         | 156.00                                                                                                                     |
| Al <sup>3+</sup>              | 1.35E-04                                                                                                                   |
| Ca <sup>2+</sup>              | 45.91                                                                                                                      |
| Mg <sup>2+</sup>              | 8.04                                                                                                                       |
| Fe <sup>2+</sup>              | 0.45                                                                                                                       |
| K <sup>+</sup>                | 11.02                                                                                                                      |
| Na <sup>+</sup>               | 1,321.74                                                                                                                   |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 2.69                                                                                                                       |
| 備考                            | 黄鉄鉱, 非晶質シリカ, クリノプチロライト (Na), カオリナイト, 菱鉄鉱, 方解石, サポナイト (Fe, Ca), 菱苦土石, イライト (Al) と化学平衡になるように地層水組成を熱力学的に再構成 (Thermoddem を使用)。 |

第 3.1-5 表 地化学反応シミュレーションで使用した萌別層砂岩層の鉱物組成

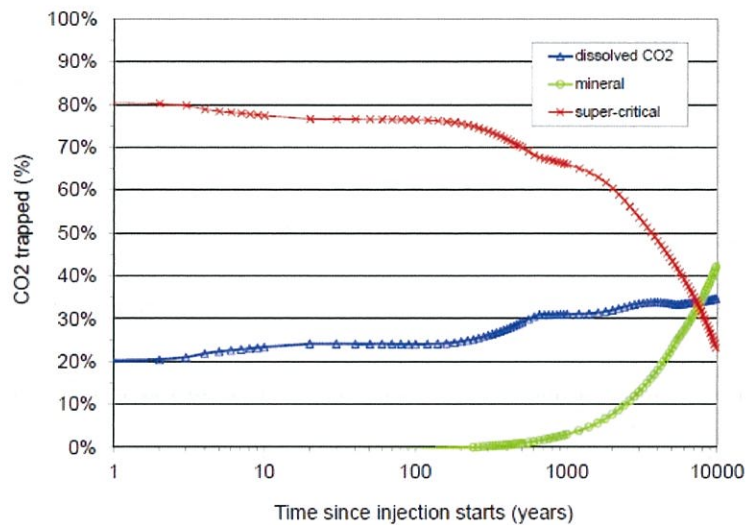
| Class | 和名      | Name                  | Abbreviation     | 鉱物組成 (vol%) |
|-------|---------|-----------------------|------------------|-------------|
| シリカ鉱物 | 石英      | quartz                | quartz, alpha    | 22.34       |
| シリカ鉱物 | 非晶質シリカ  | amorphous silica      | amorphous silica | 0.00        |
| 長石    | 斜長石     | albite/anorthite      | ab0.5an0.5       | 11.06       |
| 長石    | カリ長石    | K-feldspar            | microcline       | 9.75        |
| 炭酸塩鉱物 | 方解石     | calcite               | calcite          | 0.49        |
| 粘土鉱物  | 伊利石     | illite                | illite(Al)       | 9.40        |
| 粘土鉱物  | サポナイト   | saponite              | saponite(FeCa)   | 3.50        |
| 粘土鉱物  | カオリン石   | kaolinite             | kaolinite        | 1.71        |
| 粘土鉱物  | 緑泥石     | clinochlore/daphnite  | clcl2.5dap2.5    | 8.65        |
| 粘土鉱物  | 黄鉄鉱     | pyrite                | pyrite           | 1.13        |
| 輝石    | 輝石      | diopside/hedenbergite | diop0.8hed0.2    | 0.61        |
| 角閃石   | 角閃石     | tremolite/actinolite  | trem3act2        | 4.83        |
| 沸石    | 斜プチロル沸石 | Na-clinoptilolite     | clinoptiloliteNa | 19.03       |
| 炭酸塩鉱物 | 菱鉄鉱     | siderite              | siderite         | 0.00        |
| 炭酸塩鉱物 | 菱苦土鉱    | magnesite             | magnesite(Natur) | 0.00        |
| 炭酸塩鉱物 | ドーソン石   | dawsonite             | dawsonite        | 0.00        |
| 炭酸塩鉱物 | 苦灰石     | dolomite              | dolomite         | 0.00        |

[1] Thermoddem (BRGM, the French Geological Survey : <http://thermoddem.brgm.fr/>, 2015 年 2 月 5 日アクセス)

シミュレーションの結果を、第 3. 1-3 図および第 3. 1-4 図に示す。



第 3. 1-3 図 萌別層砂岩層に CO<sub>2</sub> を圧入した際の鉱物量変化量の推定



第 3. 1-4 図 萌別層砂岩層に CO<sub>2</sub> を圧入した際の鉱物固定化量の推定

CO<sub>2</sub> 圧入終了から 100 年程度は、ほとんど反応が起こらない。1,000 年程度以降から、非晶質シリカ、菱鉄鉱、カオリナイトが析出し、緑泥石や斜ブチロル沸石が溶解すると推定された。溶解した鉱物も含め化学反応が進行し、400～500 年ごろから CO<sub>2</sub> が鉱物として固定化される量が増加する。

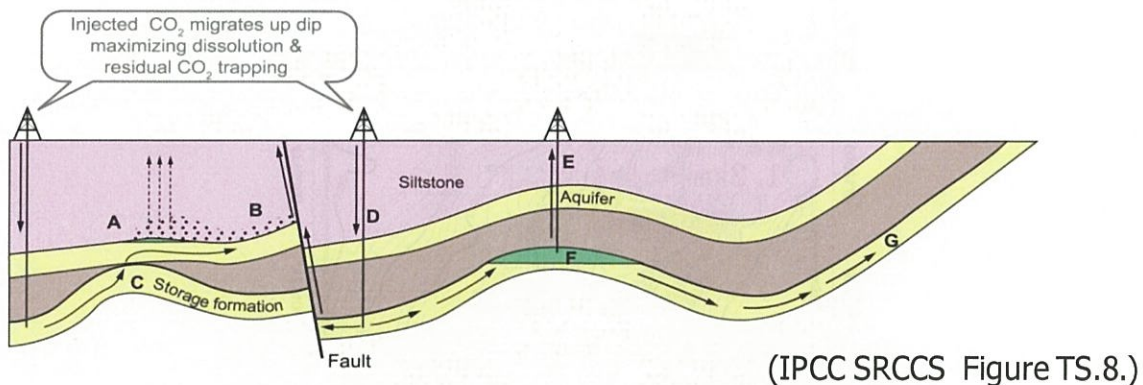
萌別層砂岩および萌別層泥岩の堆積物の主な供給源は共通していると考えられ、鉱物組成も類似している（第 3. 1-3 表）。1,000 年以降に溶解量が増加する角閃石や斜ブチロル沸石の存在量も同程度であることから、CO<sub>2</sub> への化学的な反応は類似したものになるが、遮蔽層には CO<sub>2</sub> がほとんど浸透できないと考えられ、化学的反応は遮蔽層と CO<sub>2</sub> の接触部分でのみ生じることとなる。

### 3.2 CO<sub>2</sub> 漏出の可能性検討

#### (1) CO<sub>2</sub> 漏出要因の洗い出し

貯留層から CO<sub>2</sub> が漏出する要因として、IPCC 特別報告書<sup>[1]</sup>において示されている潜在的な漏洩経路は、下記のとおり分類されている（第 3.2-1 図参照）。

- (A) CO<sub>2</sub> のガス圧が遮蔽層の毛細管圧を超えて移動
- (B) 断層を通じて CO<sub>2</sub> が移動
- (C) キャップロックの局所的な不連続部分を通じた移動
- (D) CO<sub>2</sub> 貯留層圧の増加および断層の浸透率の増加によって生じる移動
- (E) プラグの状態が完全でない廃坑井を通じた移動
- (F) 地下水に溶解した CO<sub>2</sub> が貯留層の外に移動
- (G) 地下水に溶解した CO<sub>2</sub> が傾斜した地層を通じて地表に移動



第 3.2-1 図 IPCC 特別報告書<sup>[1]</sup>による潜在的な漏洩経路

苫小牧地点における貯留層総合評価の検討結果<sup>[2]</sup>により、貯留後の CO<sub>2</sub> が貯留対象層から漏出する要因の可能性として、以下の漏出経路が想定される。

- 1) 遮蔽層の毛細管圧を超えて移動
- 2) 断層を通じた移動
- 3) 廃坑井を通じた移動
- 4) 圧入井等の設置予定の構造物に沿った移動

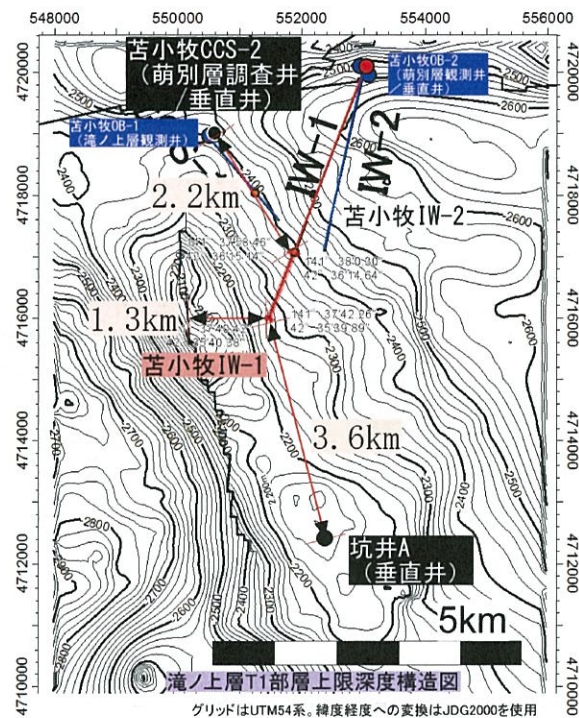
1)については、CO<sub>2</sub> 挙動予測シミュレーションにより漏出経路とはならないとする結果を得ている。

<sup>[1]</sup> Benson, S., Cook, P., Anderson, J., Bachu, S., Nimir, H.B., Basu, B., Bradshaw, J., Deguchi, G., Gale, J., von Goerne, G., Heidug, W., Holloway, S., Kamal, R., Keith, D., Lloyd, P., Rocha, P., Senior, B., Thomson, J., Torp, T., Wildenborg, T., Wilson, M., Zarlenga, F., and Zhou, D. 2005. Underground geological storage. In: Metz, B. et al. (Eds), IPCC Special Report on carbon dioxide capture and storage. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp.195-276

<sup>[2]</sup> 経済産業省. 2011. CCS 実証試験実施に向けた専門検討会-とりまとめ, 苫小牧地点における貯留層総合評価, 平成 23 年 10 月 26 日, pp. 第 3 章 59-60  
([http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sangi/ccs/report\\_001\\_s01.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sangi/ccs/report_001_s01.pdf), 2015/1/28 アクセス)

2)および3)に関しては、次の理由により漏出経路とはならない。

- ・ 滝ノ上層圧入井周辺には、滝ノ上層を切る断層が解釈されている。CO<sub>2</sub> プルーフから断層までの距離は、1.3km となる。また、周辺に存在が知られる廃坑井は、苦小牧 CCS-2 と坑井 A の 2 坑井があり、CO<sub>2</sub> プルーフからの距離は、それぞれ 2.2km, 3.6km の距離が確保されている（第 3.2-2 図）。
- ・ 萌別層圧入井周辺には、萌別層を切る断層は解釈されていない。また、廃坑井である苦小牧 CCS-2 および坑井 A それぞれとの CO<sub>2</sub> プルーフからの距離は、1.3km, 4.3km の距離が確保されている（第 3.2-3 図）



第 3.2-2 図 滝ノ上層圧入井周辺の圧入した CO<sub>2</sub> の分布予測範囲と、周辺の断層および廃坑井との位置関係



第 3. 2-3 図 萌別層圧入井周辺の圧入した CO<sub>2</sub> の分布予測範囲と、周辺の廃坑井との位置関係

4) に関しては、圧入した CO<sub>2</sub> が移動する可能性がある区間には、耐 CO<sub>2</sub> 素材のケーシングを用いている。また、ケーシングと地層との間を、耐 CO<sub>2</sub> セメントを用いて遮水（セメンチング）している。よって、圧入井の外側からの漏洩の危険はないと考えられる。

## (2) CO<sub>2</sub> 漏出要因に関する検討のまとめ

上記の想定される漏出経路 1)～4) について検討した結果のまとめは、以下のとおりである。

### 1) 遮蔽層の毛細管圧を超えて移動

滝ノ上層 T1 部層および萌別層砂岩層の圧入圧力は、それらの遮蔽層のスレシヨルド圧力（毛細管圧）を超えることはなく、CO<sub>2</sub> は遮蔽層には浸透しない。

### 2) 断層を通じた移動

シミュレーションによる CO<sub>2</sub> 長期挙動予測の結果、圧入後 200 年程度で CO<sub>2</sub> の広がりに変化は見られなくなり、1,000 年を経ても CO<sub>2</sub> は断層に到達しないことから、断層は CO<sub>2</sub> の漏出要因にならないと考える。

### 3) 廃坑井を通じた移動

シミュレーションによる CO<sub>2</sub> 長期挙動予測の結果、圧入後 200 年程度で CO<sub>2</sub> の広がりに変化は見られなくなり、1,000 年を経ても CO<sub>2</sub> は廃坑井に到達しないことから、廃坑井は CO<sub>2</sub> の漏出要因にならないと考える。

### 4) 圧入井等の設置予定の構造物に沿った移動

圧入井等の構造物の設計・建設では、CO<sub>2</sub> が接触する鋼材やセメント等を耐 CO<sub>2</sub> 仕様にし、これら構造物に起因した CO<sub>2</sub> の漏洩は防止される。

以上から，圧入井等の構造物を耐 CO<sub>2</sub> 仕様により，基本的には，CO<sub>2</sub> の漏出は生じないものとする。

## 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

### 4.1 海底下投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

特定二酸化炭素ガスの地層内の広がりについては、平成 24 年度ならびに平成 27 年度 CO<sub>2</sub> 挙動予測シミュレーションに基づいて検討した。

#### (1) 滝ノ上層 T1 部層中での空間的な広がり

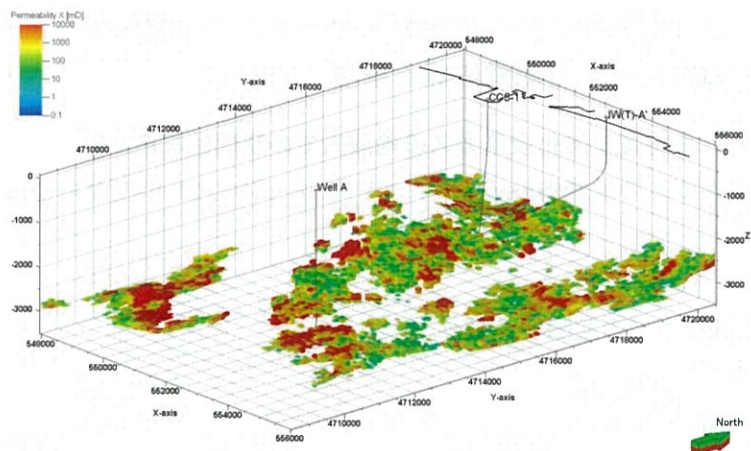
##### ① 地質モデル

滝ノ上層 T1 部層への滝ノ上層圧入井の圧入（廃棄）位置を選定するあたり、三次元弾性波探査データおよび、苫小牧 CCS-1（調査井）、坑井 A（既存民間井）のデータを地質統計学的に解析し、100 通りの不均質な物性を有する地質モデル（平成 24 年度地質モデル）を作成した。地層境界深度や入力した物性値については平成 23 年度シミュレーション（第 2.2 節）と同様の値を使用している。作成した地質モデルを用い、CO<sub>2</sub> を 20 万トン/年のレートで 3 年間圧入するシミュレーションを実施した<sup>注1</sup>。圧入終了時の貯留層上限における地層圧の上昇量を序列化し、100 個のモデルの累積確率分布を作成した。平成 23 年度シミュレーションと同様に、P10、P50、P90 を設定した。

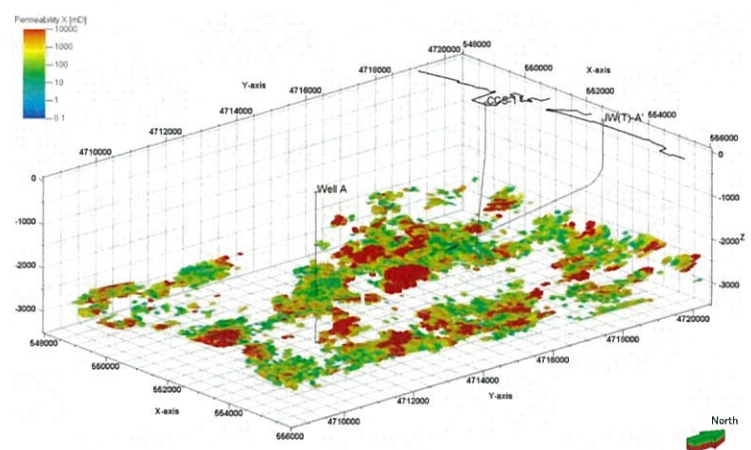
また、平成 24 年度地質モデルは、時間ドメインである弾性波探査記録に基づく地質構造解釈により作成したことから、深度ドメインの地質モデルに変換する必要がある。平成 24 年度シミュレーションでは当該地域で見込まれる±88m の深度変換誤差を考慮した地質モデルを作成した。ベースとなる深度モデルを Base 深度モデルとし、誤差の振れ幅から Deep 深度モデルと Shallow 深度モデルを設定し、そのそれぞれの P10、P50、P90 のケースに対しシミュレーションを実施している。

それぞれの深度モデルで作成した P10、P50、P90 ケースに対する不均質モデル（浸透率）を例として、第 4.1-1 図～第 4.1-3 図に示す。

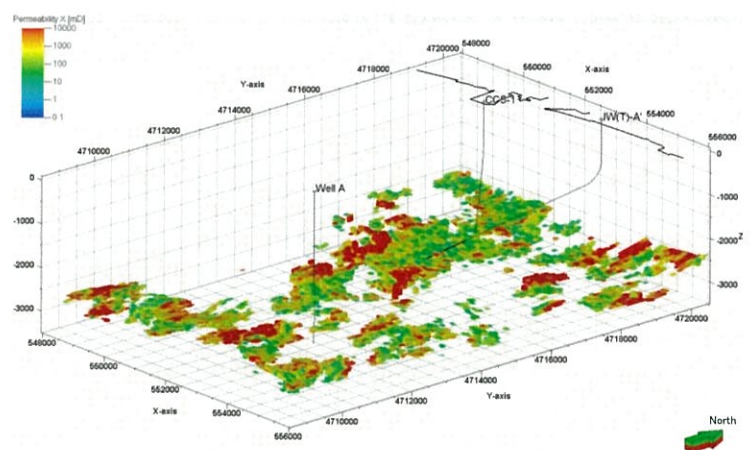
<sup>注1</sup> 平成 23 年度シミュレーションは 25 万トン/年の圧入レート、平成 24 年度シミュレーションは 20 万トン/年の圧入レートであるのは、CO<sub>2</sub> の供給量の見直しにより計画変更したことによる。また、保守・点検の都合、モニタリング計画との関連、貯留層の状況等により、一時的に、あるいは長期的に一方の貯留層だけに圧入するケースも想定されることから、それぞれに圧入する最大値として、圧入レートを設定している。



Base深度モデル/P10ケース地質モデル（浸透率,  $k > 10\text{mD}$ でフィルタリング）

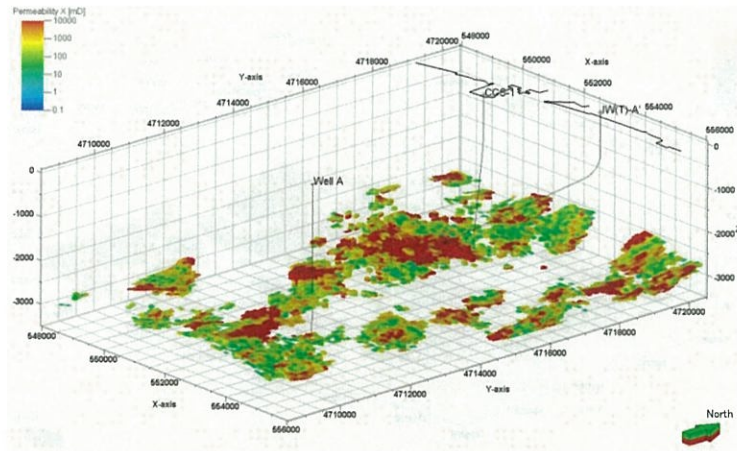


Base深度モデル/P50ケース地質モデル（浸透率,  $k > 10\text{mD}$ でフィルタリング）

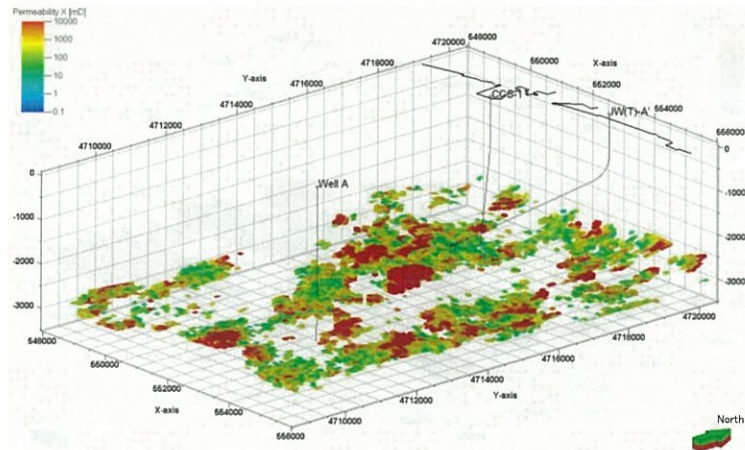


Base深度モデル/P90ケース地質モデル（浸透率,  $k > 10\text{mD}$ でフィルタリング）

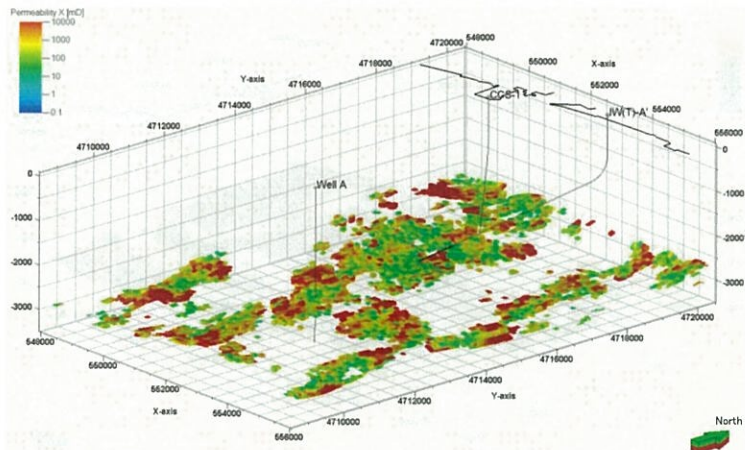
第 4. 1-1 図 滝ノ上層 T1 部層の不均質モデルの浸透率分布：Base 深度モデル/P10, P50, P90 ケース（平成 24 年度地質モデル）



Deep深度モデル/P10ケース地質モデル（浸透率， $k > 10\text{mD}$ でフィルタリング）

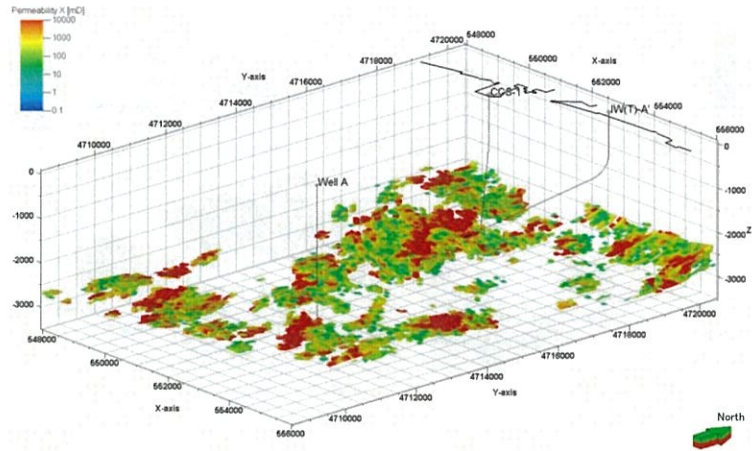


Deep深度モデル/P50ケース地質モデル（浸透率， $k > 10\text{mD}$ でフィルタリング）

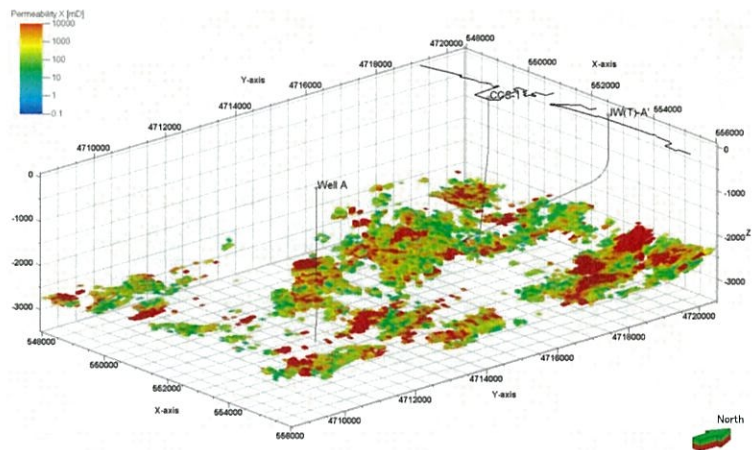


Deep深度モデル/P90ケース地質モデル（浸透率， $k > 10\text{mD}$ でフィルタリング）

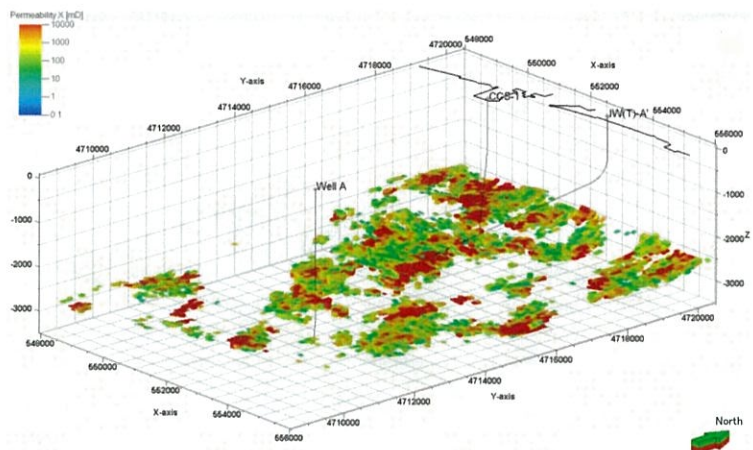
第 4.1-2 図 滝ノ上層 T1 部層の不均質モデルの浸透率分布：Deep 深度モデル/P10, P50, P90 ケース（平成 24 年度地質モデル）



Shallow深度モデル/P10ケース地質モデル（浸透率,  $k > 10\text{mD}$ でフィルタリング）



Shallow深度モデル/P50ケース地質モデル（浸透率,  $k > 10\text{mD}$ でフィルタリング）



Shallow深度モデル/P90ケース地質モデル（浸透率,  $k > 10\text{mD}$ でフィルタリング）

第 4. 1-3 図 滝ノ上層 T1 部層の不均質モデルの浸透率分布：Shallow 深度モデル/P10, P50, P90 ケース（平成 24 年度地質モデル）

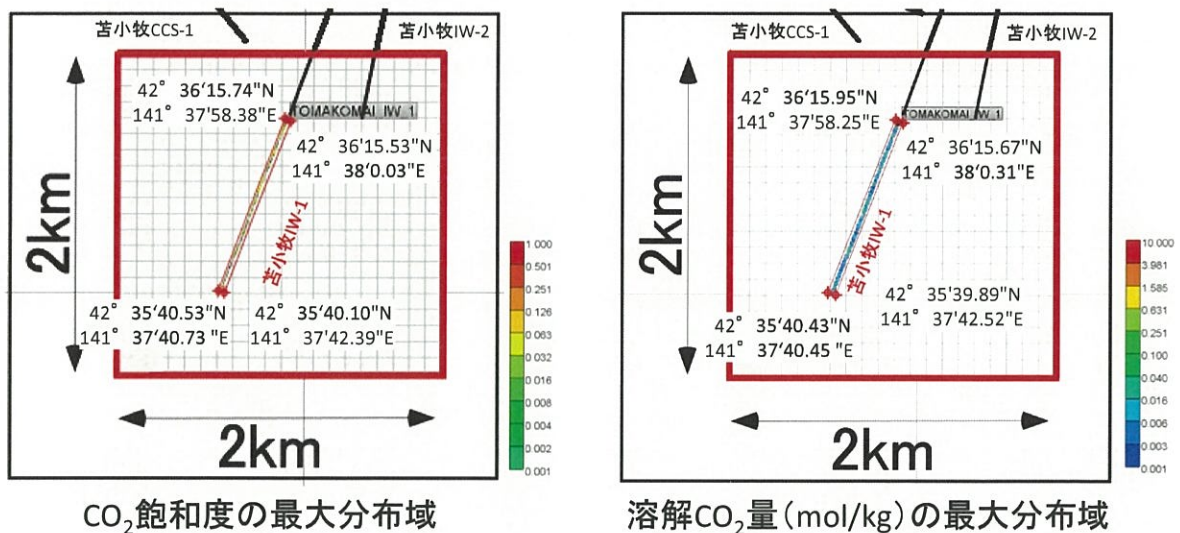
上記平成 24 年度地質モデルを、滝ノ上層圧入井の掘削実績に合わせて修正した。

その修正した地質モデルを用いて、平成 27 年度に CO<sub>2</sub> 圧入シミュレーションを実施した。その際、圧入井掘削時に得た遮蔽層の破壊圧に係るデータを参照して、坑底圧力の上限により圧入レートを変化させて、CO<sub>2</sub> を 3 年間圧入するシミュレーションを実施した。なお、圧入井掘削の結果から、圧入井の極近傍以外で岩相や属性を地球統計学的推定することは困難と判断し、P50 モデルの 1 ケースのみを修正した属性モデルによりシミュレーションを実施した。

しかしながら、圧入井の掘削データだけで貯留層全体を正確に評価するには限界がある。圧入井の掘削結果を新たに既存の評価データに加えることで、より現実に近い貯留層の評価が可能となると考えられるが、厳密な意味での正確な貯留層評価は容易ではない。実際に CO<sub>2</sub> を圧入する際にも、適宜圧力挙動の観測やフォールオフテストを実施して貯留層に係るデータを増やし、より正確な貯留層性状を把握する。

## ② CO<sub>2</sub> の平面的な分布範囲

圧入開始から 1,000 年後までの CO<sub>2</sub> 飽和度および溶解 CO<sub>2</sub> 量の分布範囲を考慮し、圧入した CO<sub>2</sub> の平面的な分布範囲を推定した（第 4.1-4 図）。



- 注：1. 図中の滝ノ上層圧入井、萌別層圧入井および苦小牧 CCS-1 は、坑井の坑跡を上面に投影したもの。
2. 滝ノ上層圧入井の仕上げ区間全体から、CO<sub>2</sub> が滝ノ上層中に圧入される。圧入に際し予想される CO<sub>2</sub> 飽和度および溶解 CO<sub>2</sub> 量の分布を、階調をつけて色表示した。
3. 図中の座標は、シミュレーションにより予想される、CO<sub>2</sub> 飽和度および溶解 CO<sub>2</sub> 量の分布域を考慮して想定した圧入した CO<sub>2</sub> の分布範囲を平面に投影したもの。シミュレーションは三次元的にグリッド化した地質モデルを用いて実施したため、分布自体もグリッドを反映した形（四角）となる。
4. 圧入した CO<sub>2</sub> の分布範囲は限定的となるため、圧入井の圧入区間から、CO<sub>2</sub> 飽和度では 20m、溶解 CO<sub>2</sub> 量では 25m までの範囲とした。

第 4.1-4 図 CO<sub>2</sub> の平面的な分布範囲（平成 27 年度シミュレーション結果）