2.8　萌別層解析結果

萌別層はシルト岩～泥岩からなる上部（萌別層泥岩層）と主に砂岩からなる下部（萌別層砂岩層）に分けられる。萌別層砂岩層を貯留層とし、萌別層泥岩層を遮蔽層と想定した。

2.8.1　貯留層

萌別層砂岩層は、沖合に前進しながら陸棚に堆積したファンデルタからなり、砂岩を主体とし、砂礫岩、シルト岩を伴う。緩やかな西傾斜を示し、層厚は約100mである。三次元弾性波探査では、萌別層下部に連続の良い強反射が認められることから砂礫岩層の発達が示唆される。この強反射は検討地域の北東部で顕著であり、南および西に向かって減衰するため、砂礫岩層は北東部を中心に発達していると解釈される。

本層準は比較的浅い海底で堆積した砂岩であると考えられることから、砂岩の分布範囲については注意が必要である。そこで、苫小牧ＣＣＳ－１および３Ｄデータを用いて、堆積学的検討を行った。その結果は以下の通りである。

萌別層砂岩層は、シーケンス層序学でいう高海水準期堆積体（ＨＳＴ）に相当し、ファンデルタ・陸棚（Shelf）・斜面（Slope）の３つに分類できる（図2.8-1）。このうち砂岩の発達が最も期待できるのがファンデルタで、陸棚、斜面と砂岩の割合が少なくなっていく。少なくとも５つのファンデルタが北東から南西へ向かって前進して堆積したと解釈した。ファンデルタは、堆積物供給源である北東側がより砂岩が多く、南西に向かって泥岩が多くなる傾向にあると推定した。実地調査から得られた貯留層性状の概要を表2.8-1にまとめる。

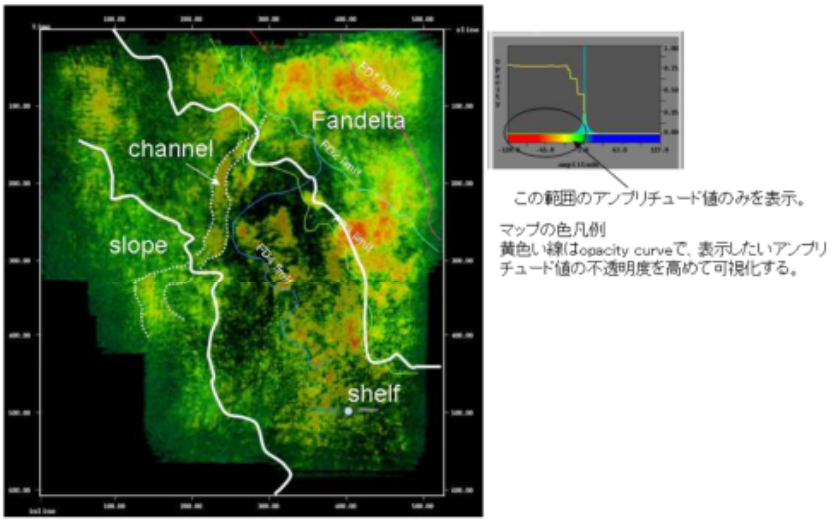

図 2.8-1　萌別層ＨＳＴ区間の堆積相解釈図（図の上部の方角は北）

（暖色系は負の高い振幅値、寒色系は負の低い振幅値を示す。正の振幅は非表示。）

表 2.8-1　萌別層砂岩層　貯留層性状一覧

項　目	
対象深度	約1,100～1,200m（垂直深度）
層厚	約100m
岩相	砂岩（礫質砂岩、シルト岩を伴うファンデルタ堆積物）
孔隙率	25～40%（苫小牧CCS-1コア試験：封圧下） 20～40%（物理検層解析結果）
浸透率	9～25mD（苫小牧CCS-1圧入テスト解析結果） 1～1,000mD（苫小牧CCS-2コア試験：封圧下、空気） 1～120mD（物理検層解析結果）
水圧入テスト （苫小牧CCS-1）	最大1,200kl/日（掘削深度1,077～1,217mのうち57.5m）

2.8.2　遮蔽層

萌別層泥岩層は、層厚約 200m のシルト岩～泥岩からなる。微化石分析による堆積環境解析により、水深数 10～数 100m の比較的浅い海底で安定的に堆積したと推定される。周辺坑井間で対比できることから、貯留対象領域を覆う領域で十分な厚さがあり（図 2.8-2）、コア試験結果からは水浸透率が 0.8×10^{-3}～1.7×10^{-3}mD、スレショルド圧力が 0.75MPa、

1.65MPa、1.67MPa の結果が得られている。

また、調査井における萌別層泥岩層下部でのリークオフテスト結果から、等価泥水比重で 1.50 の強度を確認している。

以上の調査、分析結果から、萌別層泥岩層は良好な遮蔽性能を有すると考えられる。実地調査から得られた遮蔽層性状の概要を表 2.8-2 にまとめる。

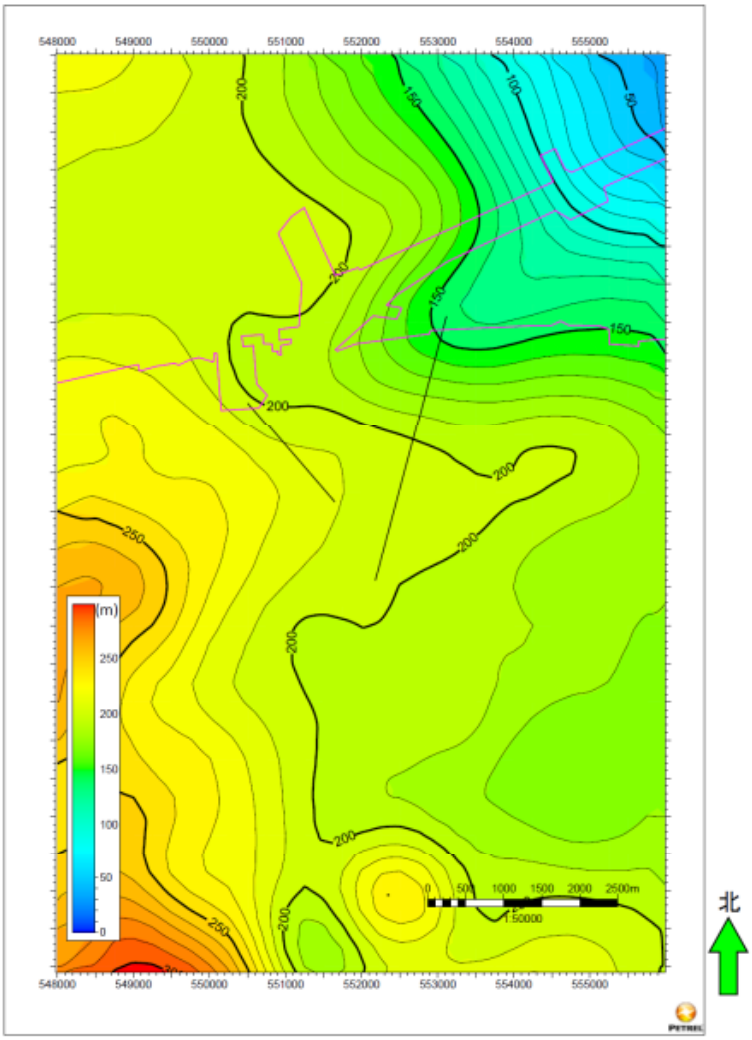

図 2.8-2　萌別層泥岩層の等層厚線図（等層厚線間隔：10m）

表 2.8-2　萌別層泥岩層　遮蔽性状一覧

項　目	
層序	萌別層泥岩層（萌別層上部）
岩相	シルト岩～泥岩
層厚	約200m
孔隙率	32.4～37.2%（苫小牧CCS－2コア試験：封圧下）
浸透率	0.80×10^{-3}～1.73×10^{-3}mD（苫小牧CCS－2コア試験：水浸透率）
スレショルド圧力	0.75, 1.65, 1.67MPa（苫小牧CCS－2コア試験：CO_2－水系段階昇圧法）
リークオフ圧力 （苫小牧CCS－2 リークオフテスト）	14.6MPa（等価泥水比重：1.50） （萌別層泥岩層（苫小牧CCS－2）991mVD（垂直深度））

2.8.3　地質モデル構築

(1) 構造モデル構築

シミュレーションを実施する際に必要な地質モデルを構築するため、苫小牧３Ｄデータで解釈された各層準の時間構造を深度構造へ変換した。

構造モデル構築には、地質構造解釈で作成されたホライゾン（上位より、鵡川層上限、萌別層上限、萌別層海進期堆積体（ＴＳＴ）上限、萌別層高海水準期堆積体（ＨＳＴ）上限、萌別層ＨＳＴデルタ上部基底、萌別層ＨＳＴ基底、荷菜層上部基底）を用いた。深度変換された萌別層砂岩層上限（萌別層ＨＳＴ上限）のモデル断面位置図を図 2.8-3、主要な層準の東西モデル断面を図 2.8-4 に各々示す。

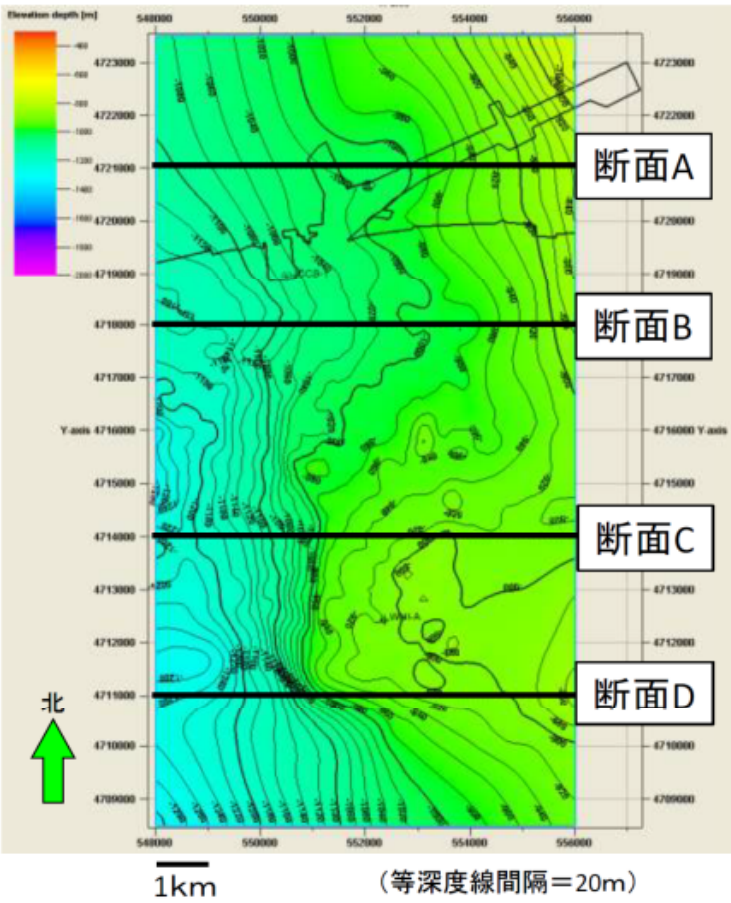

図 2.8-3　モデル断面位置図（構造図は萌別層砂岩相（ＨＳＴ）上限）

（図中の X 軸および Y 軸は世界測地系 WGS84 の UTM54 系の座標）

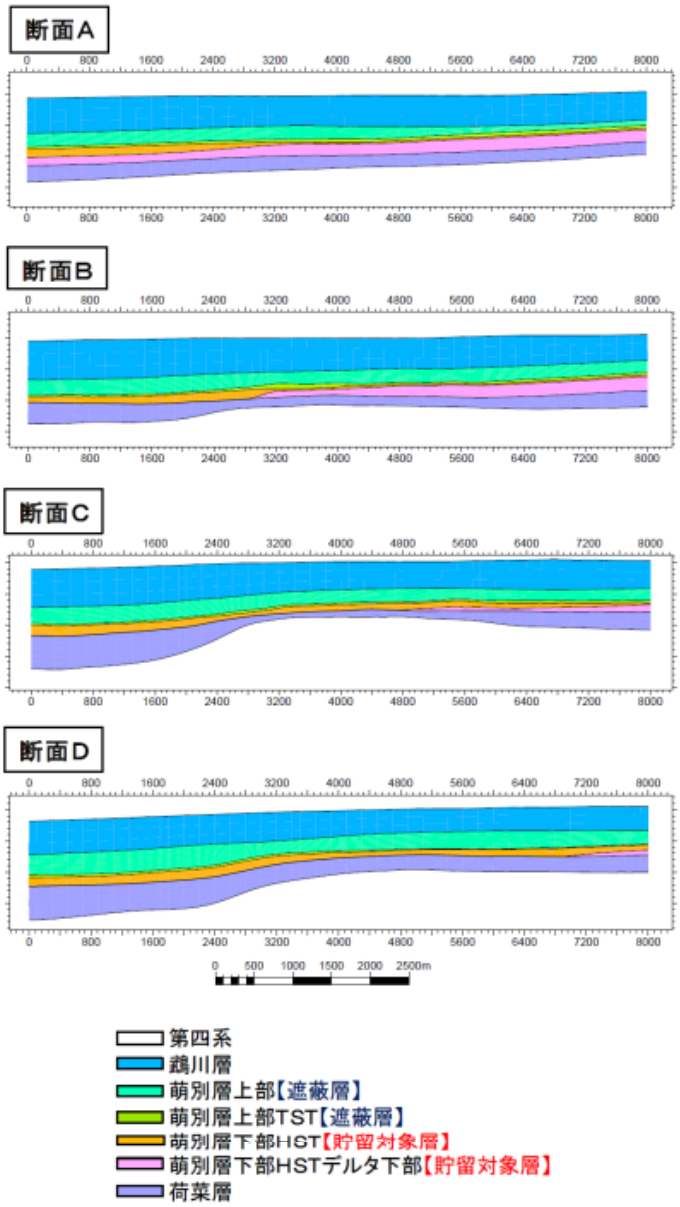

図 2.8-4　モデル断面図（上から順に断面 A～D、スケールは m）

CO_2挙動予測シミュレーションを行うため、各層準内に以下のようにグリッドセルを作成した。

・水平方向のグリッドセルサイズ

X 方向（i）およびY 方向（j）：　200m　8km×15km

（i 方向セル数：40 セル、j 方向セル数：75 セル）

・垂直（k）方向のグリッドセルサイズ

鵡川層：	3 レイヤーに分割	(k 方向セル番号：1~3)
萌別層上部：	10 レイヤーに分割	(k 方向セル番号：4～13)
萌別層ＴＳＴ：	2 レイヤーに分割	(k 方向セル番号：14～15)
萌別層ＨＳＴ上部：	15m ごとに分割	(k 方向セル番号：16～25)
萌別層ＨＳＴ下部：	15m ごとに分割	(k 方向セル番号：26～38)
荷菜層：	5 レイヤーに分割	(k 方向セル番号：39～43)

主たる遮蔽層である萌別層上部は、CO_2貯留対象領域では十分な厚さがあり良好な遮蔽性能が期待できる。ただし、北東部の陸域では遮蔽層が徐々に薄化していく傾向が確認されていることから、北東部陸域おいては薄い遮蔽層を設定した。

萌別層ＴＳＴについては便宜上遮蔽層と呼んでいるが、苫小牧ＣＣＳ－１では上部に砂岩層、下部に泥岩層が認められたため、その両層を表現するためにレイヤー数を２とした。

萌別層ＨＳＴは、CO_2圧入対象層準の萌別層砂岩相でありシミュレーションを詳細に行うため、上下の地層よりも小さめの垂直方向のセルサイズとなるようにした。なお堆積物の堆積方向を加味して、萌別層ＨＳＴ上部はFollow Base と呼ばれる手法で、萌別層ＨＳＴ下部はFollow Top と呼ばれる手法でレイヤーを作成した（図2.8-5）。

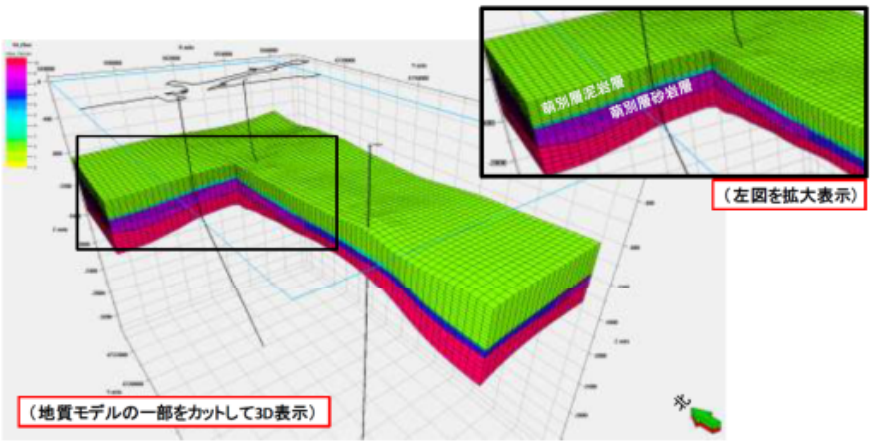

図 2.8-5　グリッドモデル概観

(2) 属性モデル構築

構築した構造モデルを基に、各セルに属性を与えた。属性は、堆積相解析で設定した堆積相区分として与えた。属性モデルに与えた堆積相区分概念を図 2.8-6 に示す。萌別層ＨＳＴは堆積環境により西よりスロープ (6) 、陸棚 (7) 、デルタ上部 (8) 、デルタ下部 (9) の 4 つに区分される。

萌別層ＴＳＴは、沖側（3：泥岩層）、陸側上部（4：砂岩層）ならびに陸側下部（5：泥岩層）に区分した。

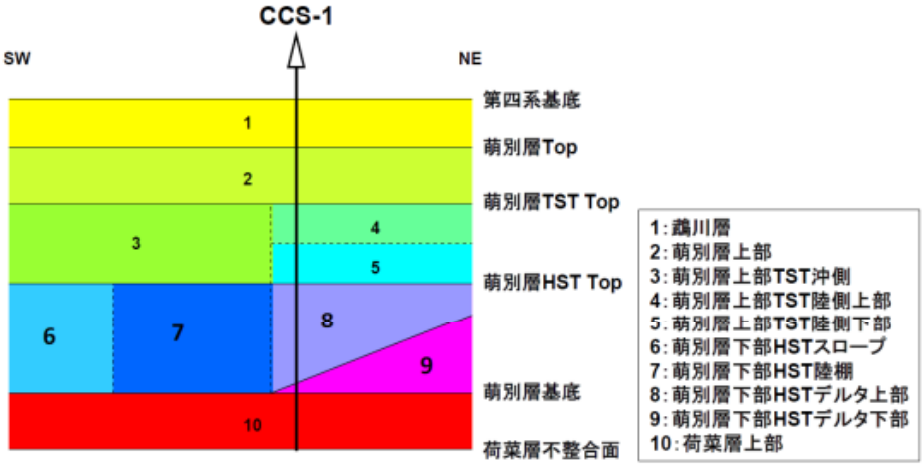

図 2.8-6　堆積相区分概念図

2.8.4　CO_2挙動予測シミュレーション

構築した貯留層モデルを用いて、CO_2挙動予測シミュレーションを行い、貯留層および遮蔽層の性能評価を実施した。シミュレーションでは、CO_2を25万トン/年×3年を目途に圧入し、圧入期間中およびその後の長期間にわたって貯留CO_2の挙動予測等を行っている。CO_2挙動予測シミュレーションの結果および評価については、第3章で示す。

2.8.5　弾性波探査シミュレーション

滝ノ上層T1部層と同様に、CO_2挙動予測シミュレーションで得られたCO_2の拡がりの予測結果から、弾性波探査によるCO_2賦存範囲の検出可能性等を検討することを目的として、弾性波探査シミュレーションを行った。

萌別層砂岩層ではCO_2累積圧入量12.5万トンの時点で、CO_2の拡がりは明確に検知できることがわかった（図2.8-7）。このため萌別層砂岩層においては、累積CO_2圧入量10万トン、12.5万トン、15万トンというCO_2圧入過程で弾性探査を繰り返し実施することにより、CO_2挙動（拡がっていく様子）が検知可能と判断した。CO_2累積圧入量25万トン時点の結果を図2.8-8に示す。

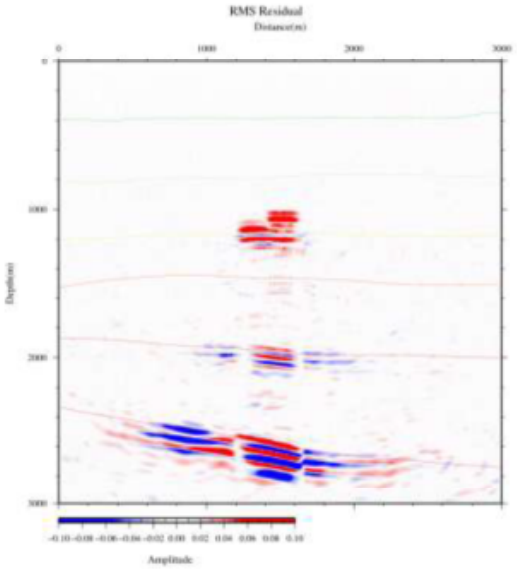

図2.8-7　差分（深度断面、萌別層砂岩層、CO_2圧入12.5万トン圧入後）

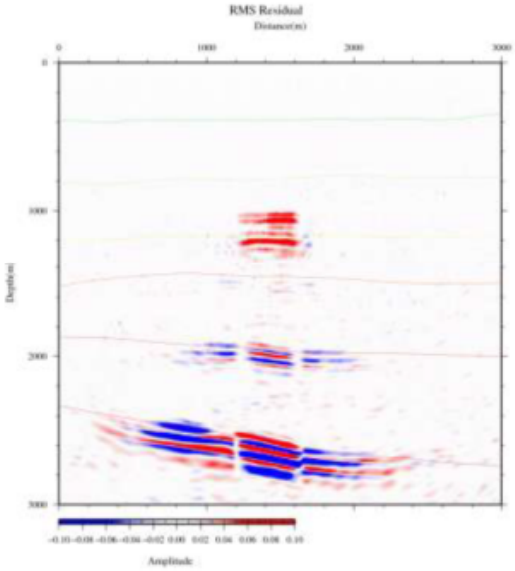

図 2.8-8　差分（深度断面、萌別層砂岩層、CO_2圧入 25 万トン圧入後）

第３章　貯留層総合評価

3.1　貯留層の総合評価

貯留層総合評価においては、第２章で構築した貯留層モデルを用いてCO_2挙動予測シミュレーションを実施し、その結果を基に計画通りのCO_2圧入が可能か、貯留層からのCO_2の漏出は生じていないか、長期間にわたって計画通りの範囲にとどまっているかを評価した。以下、滝ノ上層および萌別層の評価結果について示す。

3.1.1　滝ノ上層評価結果

(1) 貯留層評価

2.7.1 で記載の通り、滝ノ上層は火山性砕屑物を含む火山岩層であり、上部の火山岩・凝灰岩からなる滝ノ上層Ｔ１部層と下部の泥岩層からなる。滝ノ上層Ｔ１部層（層厚が約 600m）は、さらに上部の凝灰岩卓越層と下部の火山岩卓越層に分けられる。

溶岩～凝灰角礫岩相では良好な圧入性状が期待できることから全体が圧入対象となり、凝灰岩相は部分的に高い孔隙率を有する領域が存在し、一部が圧入対象となり得ると考えられる。

(2) 遮蔽層評価

2.7.2 で記載の通り、遮蔽対象層となる振老層および平取+軽舞層は、約 1,100m の層厚を有する。苫小牧ＣＣＳ－１におけるリークオフテスト結果から、振老層下部でリークオフ圧力が等価泥水比重 1.96 の強度を持つことを確認した。

苫小牧沖構造の西翼には断層が存在するものの、振老層および平取+軽舞層は主に泥岩からなることと、周辺坑井データを用いた地層水塩分濃度分布と地層圧力分布から、遮蔽層を超えた垂直方向の地層水の移動はないものと考えられる。

振老層で採取したコア試料では、水浸透率が 8.2×10^{-6}～36.7×10^{-6} mD、スレショルド圧力が 1.29MPa～12.3MPa 以上の実測データが得られている。後者については、1.29MPa といった比較的低い分析値が得られているものの、CO_2－水系の条件で分析した場合には、11.72MPa 以上の値が得られている。

以上の条件・データから、振老層および平取+軽舞層は、良好な遮蔽性能を有する地層であると考えられる。

(3) シミュレーション概要

① 概要

構築した貯留層モデルを用いて、CO_2挙動予測シミュレーションを実施した。シミュレータは、Computer Modelling Group Ltd. 社のＧＥＭ（ver2010.12）を使用した。シミュレーションで考慮した貯留メカニズムは、泥岩の毛管圧力と低浸透性による物理的トラッピング、残留ガス飽和率とガス相対浸透率のヒステリシスによる残留CO_2トラッピング、CO_2の地層水への溶解による溶解トラッピングである。

圧入位置については、陸上から掘削可能な圧入井の仕様に応じて設定した。すなわち、CO_2圧入井は陸上から南西方向に掘削すると仮定し、圧入井における滝ノ上層Ｔ１部層の全区間に対してCO_2を圧入した。最終坑径を 8.5 インチ（半径 0.10795m）、チュービング径を 3.5 インチ（内半径 0.038m）とした。

圧入時に許容される最大坑底圧力については、苫小牧ＣＣＳ－１の振老層下部でのリークオフ圧力が等価泥水比重で 1.96 であるので、貯留層上限深度での地層破壊圧力を計算し、その 90%を圧入圧力上限とした。すなわち、CO_2圧入井において、グリッドモデルでの貯留層最上位での垂直深度 2,419.4m から地層破壊圧力を求め、この 90%（41,853kPa）をCO_2圧入時に許容される最大坑底圧力（貯留層上限深度での坑内圧力）とした。

CO_2の圧入目標量は 25 万トン/年×3 年として、第２章で述べた 50 個のモデルに対してシミュレーションを実施した。

② パラメータ

シミュレーションパラメータは、苫小牧ＣＣＳ－１のデータ（圧入テスト、コア分析値、物理検層測定値など）および文献値により、表 3.1-1 に示す値を用いた。

表 3.1-1　シミュレーションパラメーター覧

モデル	滝ノ上層Ｔ１部層 2011 モデル		
サイズ	8km×12km×4,000m (ideal volume 24km×24km×4,000m)		
グリッド	80×120×106 Grid		
アクティブ・ブロック数	384,050		
基準温度	91.0℃ (2,419.4m)		
基準圧力	34,370kPa (2,419.4m)		
CO_2圧入レート、圧入期間	250,000 トン/年×3 年		
圧入圧力上限	41,853kPa		
岩石性状	**溶岩（貯留層）**	**凝灰岩（貯留層）**	**泥岩（遮蔽層）**
平均孔隙率	0.125 Bennion(2005)[1]	0.127	0.150
平均浸透率 (mD)	2.7	0.0072	0.000035
圧縮率(kPa^{-1}) 塩分濃度 (ppm NaCl)	8.073×10^{-7} 測定値 35,100 ([Cl^-]=21,300ppm)		
相対浸透率	**溶岩（貯留層）**	**凝灰岩（貯留層）**	**泥岩（遮蔽層）**
気相 相対浸透率 Krg	Bennion(2005)[1]		Corey (1954)[2]
液相 相対浸透率 Krw			van Genuchten(1980)[3]
臨界ガス飽和率 Sgc	0.04 Bennion(2005)[1]		0.05
不動水飽和率 Swir	0.558 Bennion(2005)[1]		0.8
最大残留ガス飽和率 Sgrmax	0.241 from default value of GEM		―
毛管圧力曲線	**溶岩（貯留層）**	**凝灰岩（貯留層）**	**泥岩（遮蔽層）**
	Bennion(2006)[4] , van Genuchten(1980)[3]		測定値
Pc (kPa)	28.8	428.1	469

【参考文献】
1) Bennion, B., 2005, Relative permeability characteristics for supercritical CO_2 displacing water in a variety of potential sequestration zones in the Western Canada Sedimentary Basin: *paper SPE 95547*.
2) Corey, A. T., 1954, The Interrelation between gas and oil relative permeabilities: *Producers Monthly, November, 38-41*.
3) van Genuchten, M. Th., 1980 A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of undersaturated soils: *Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 892-898*.
4) Bennion, B., 2006 The impact of interfacial tension and pore-size distribution / capillary pressure character on CO_2 relative permeability at reservoir condition in CO_2-Brine systems: *paper SPE 99325*.

(4) シミュレーションによるＣＯ$_2$の圧入挙動

① ＣＯ$_2$圧入時の挙動

50 個のモデルに対して、25 万トン/年×3 年間の挙動予測シミュレーションを行ったところ、全てのモデルにおいて 25 万トン/年×3 年間の圧入が可能であった。

そこで、このシミュレーションの結果において圧入終了時における坑底圧力（貯留層上限深度での坑内圧力）の圧力上昇量で序列をつけ、50 個のモデルの累積確率分布を作成し、圧力上昇量が当該モデル以下になる確率をそれぞれ P10、P50、P90 のパーセンタイル値として設定した（図 3.1-1）。これらの 3 つのモデルについてＣＯ$_2$挙動予測シミュレーションを行った。

1）P10 モデル：圧力上昇量が当該モデル以下になる確率が 10%

2）P50 モデル：圧力上昇量が当該モデル以下になる確率が 50%

3）P90 モデル：圧力上昇量が当該モデル以下になる確率が 90%

これらのモデルに与えられた浸透率は図 3.1-2 のようになっている。

図 3.1-3～図 3.1-5 に 3 つの貯留層モデル（P10 モデル、P50 モデル、P90 モデル）における圧入期間（3 年間）のＣＯ$_2$圧入に伴う坑底圧力、圧入レートおよび累計圧入量の時間的変化を示す。なお、3 年間のＣＯ$_2$飽和率分布および溶解ＣＯ$_2$分布については、3.1.1 (5) において述べる。

3 つのシミュレーションモデルにおける、圧入終了直前の坑底圧力は P10 モデルで 36,180kPa（ΔP＝1,800kPa）、P50 モデルで 36,580kPa（ΔP＝2,200kPa）、P90 モデルで 37,660kPa（ΔP＝3,290kPa）であり、いずれのモデルにおいても設定した圧入圧力上限（41,853kPa）を大きく下回って、25 万トン/年×3 年間のＣＯ$_2$を全量圧入が可能である。また、いずれのモデルにおいても貯留層圧力は圧入終了後に速やかに低下し、圧入終了 5 年後にはほぼ初期貯留層圧力に近い約 35,000kPa（ΔP＝700kPa）まで低下している。

なお、2.7.3 で述べた通り、滝ノ上層Ｔ１部層は堆積岩と比較して不均質性・異方性が

高く、掘削後の解析結果から、苫小牧ＣＣＳ－１を掘削した領域は、滝ノ上層Ｔ１部層の高ＡＩ（低孔隙率、低浸透率）領域であることが判った。今後、滝ノ上層Ｔ１部層の低ＡＩ（高孔隙率、高浸透率）領域に掘削すれば、十分な圧入性能を確認できると考えられる。

② 貯留層圧力分布

３年間のCO_2圧入終了時点における帯水層圧力の変化（圧入前の初期圧力からの変化量）を図 3.1-6～図 3.1-8 に示す。いずれのモデルにおいても圧力の拡がりは圧入井を中心にほぼ南北に長軸をもつ楕円状となる。

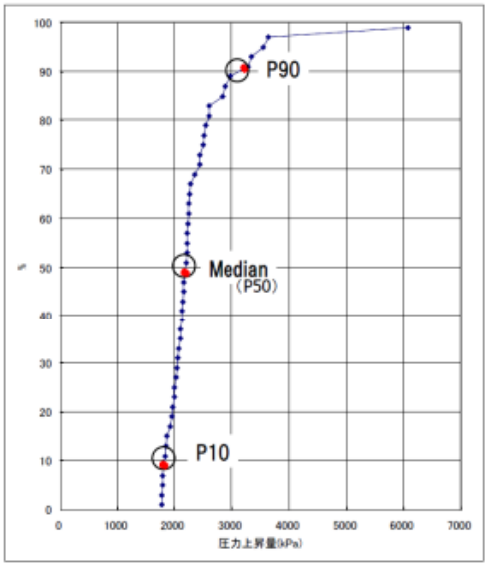

図 3.1-1　50 個のモデルの 3 年間の圧入による圧力上昇量の累積確率分布

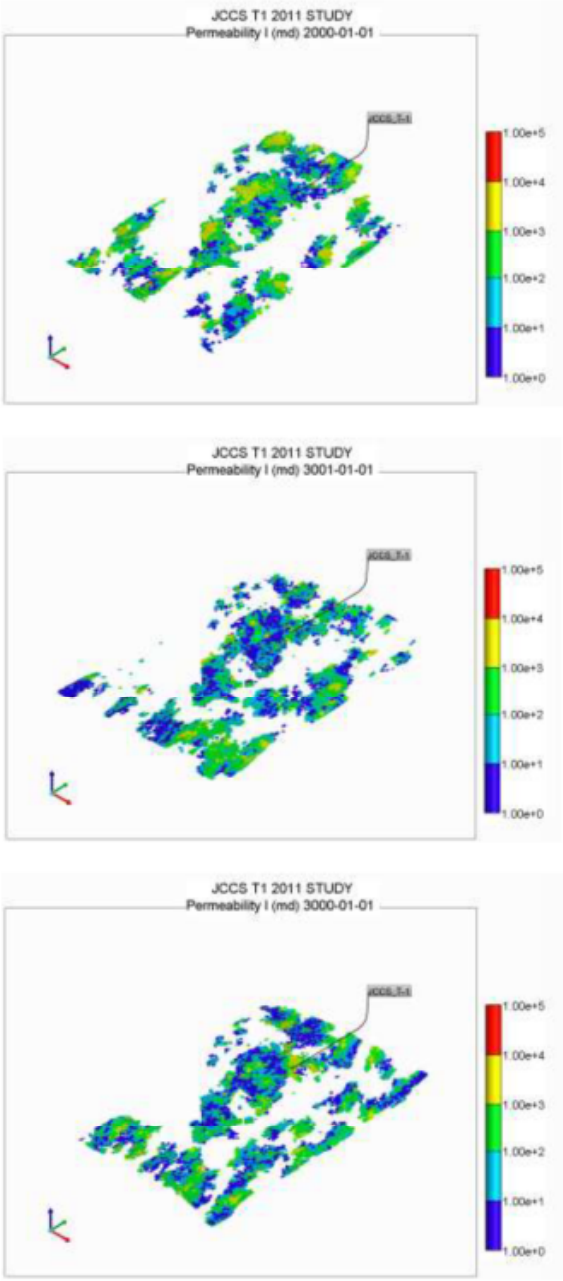

図 3.1-2　浸透率(単位：mD)分布（P10 モデル、P50 モデル、P90 モデル）

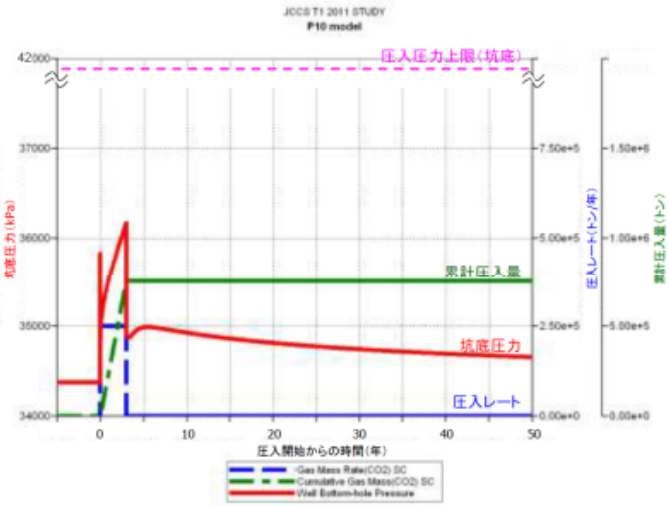

図 3.1-3　P10 モデルにおける坑底圧力の時間（年）的変化

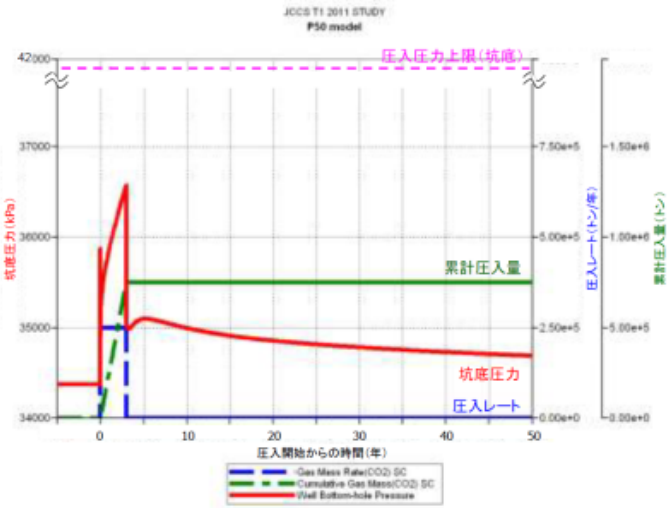

図 3.1-4　P50 モデルにおける坑底圧力の時間（年）的変化

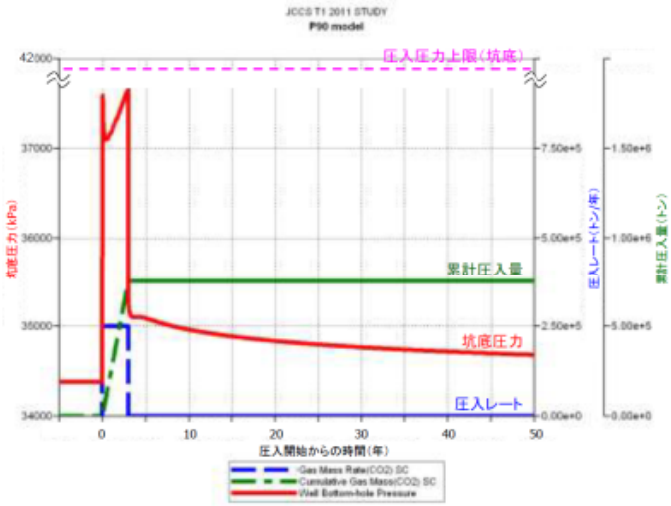

図 3.1-5　P90 モデルにおける坑底圧力の時間（年）的変化

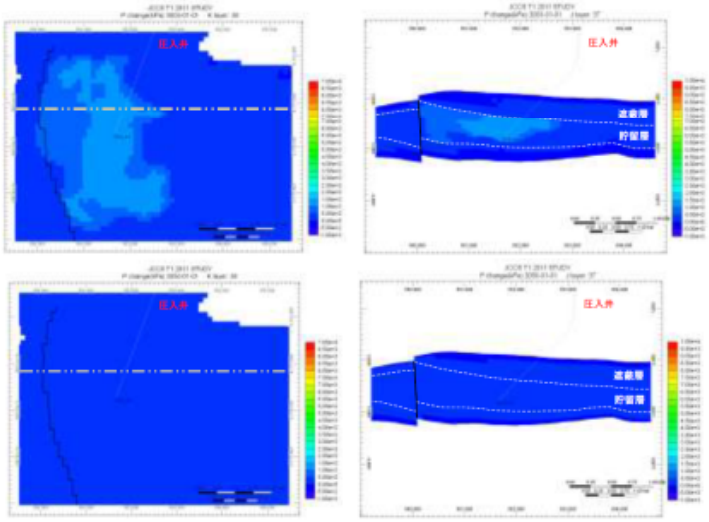

図 3.1-6　CO_2圧入前からの圧力変化量（単位：kPa）の推移（P10 モデル）

（上：圧入終了時（3 年後）　下：50 年後）

（左：平面分布（k 方向セル 38）　右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））

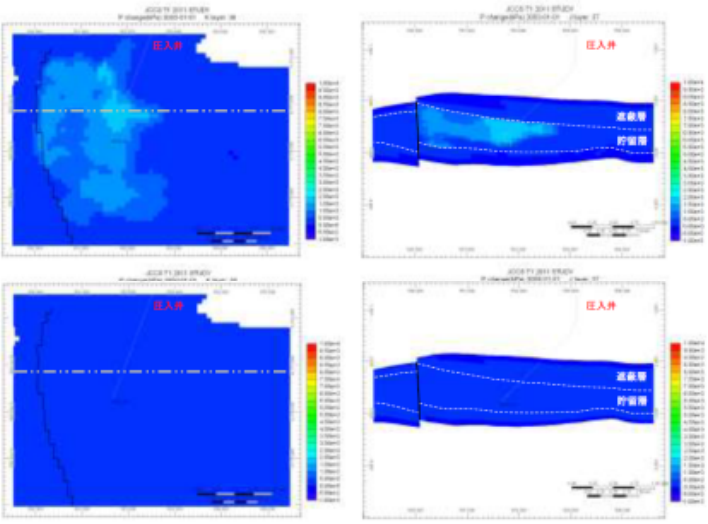

図 3.1-7　CO_2圧入前からの圧力変化量（単位：kPa）の推移（P50 モデル）

（上：圧入終了時（3 年後）　下：50 年後）

（左：平面分布（k 方向セル 38）　右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））

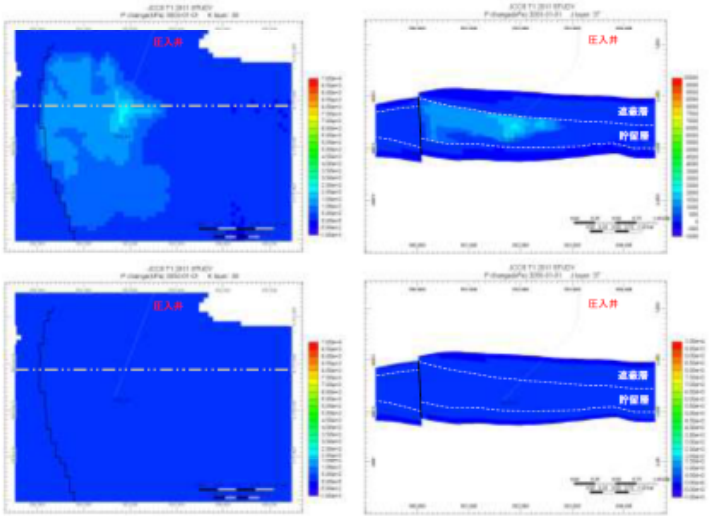

図 3.1-8　CO_2圧入前からの圧力変化量（単位：kPa）の推移

（P90 モデル）（上：圧入終了時（3 年後）　下：50 年後）

（左：平面分布（k 方向セル 38）　右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））

(5) シミュレーションによる貯留CO_2の長期挙動予測

3つの貯留層モデル(P10モデル、P50モデル、P90モデル)について、圧入開始から1,000年間(圧入3年間、圧入終了後997年間)のCO_2の挙動予測シミュレーションを実施した。以下に長期的な挙動に関する各モデルの比較を示す。

① 圧入に伴う貯留層内のCO_2分布予測

圧入終了時点(圧入開始から3年後)、圧入開始から200年後および1,000年後におけるCO_2飽和率分布を図3.1-9～図3.1-11に示す。また、CO_2が地層水に溶解した状態の溶解CO_2濃度の分布を図3.1-12～図3.1-14に示す。

1) P10モデル

CO_2は、高浸透率な滝ノ上層T1部層上部に選択的に圧入される。圧入されたCO_2は西方向に伸長して拡がり、圧入終了時点で気相[注]CO_2は圧入井から水平的に約600m先まで、溶解CO_2は約800m先まで拡がる。圧入終了後は、気相CO_2はほとんど移動せず溶解によりCO_2飽和率が減少する。溶解CO_2は、CO_2の溶解により地層水の密度が増加するため、やや下方へ移動する。遮蔽層(振老層、平取+軽舞層)へはCO_2は拡がらない。

注)CO_2は、温度圧力条件により液体と気体の性状を合わせ持った状態となるが、シミュレータの中では「気相」とて取り扱われることから、本書では「気相」と称する。

2) P50モデル

CO_2は、比較的高浸透率な滝ノ上層T1部層上部に大部分が圧入されるものの、滝ノ上層T1部層下部にもある程度は圧入される。P10モデル同様、圧入されたCO_2は西方向に伸長して拡がり、圧入終了時点で気相CO_2は圧入井から水平的に約450m先まで、溶解CO_2は約700m先まで拡がる。圧入終了後は、気相CO_2は殆ど移動せず、溶解によりCO_2飽和率が減少する。溶解CO_2は、CO_2の溶解により地層水の密度が増加するため、やや下方へ移動する。遮蔽層(振老層、平取+軽舞層)へはCO_2は拡がらない。

3) P90モデル

CO_2は貯留層の比較的高浸透率な滝ノ上層T1部層上部に大部分が圧入されるものの、滝ノ上層T1部層下部にもある程度は圧入される。P10モデル、P50モデル同様、圧入されたCO_2は坑井を中心として拡がり、圧入終了時点で気相CO_2は圧入井から水平的に約400m先まで、溶解CO_2は約500m先まで拡がる。圧入終了後は、気相CO_2はほとんど移動せず、溶解によりCO_2飽和率が減少する。溶解

CO_2は、CO_2の溶解により地層水の密度が増加するため、やや下方へ移動する。
遮蔽層（振老層、平取+軽舞層）へはCO_2は拡がらない。

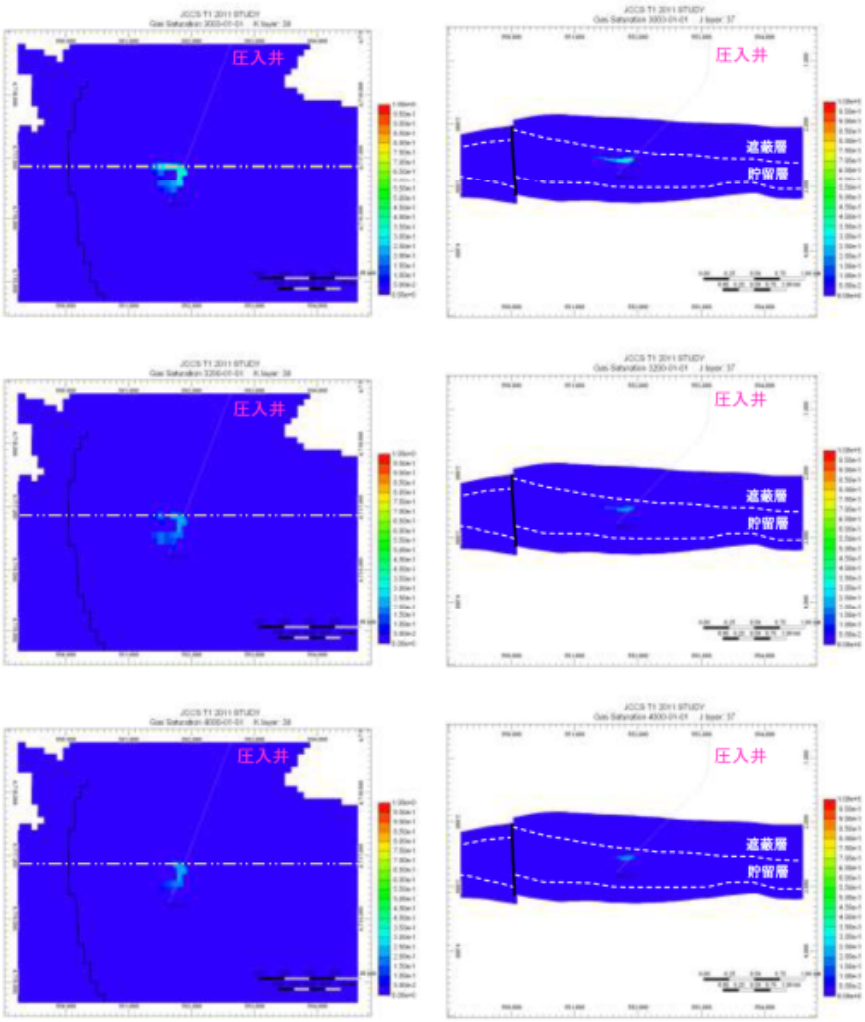

図 3.1-9　P10 モデルにおけるCO_2飽和率の推移
（上：圧入終了時（3 年後）　中：200 年後　下：1,000 年後）
（左：平面分布（k 方向セル 38）　右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））

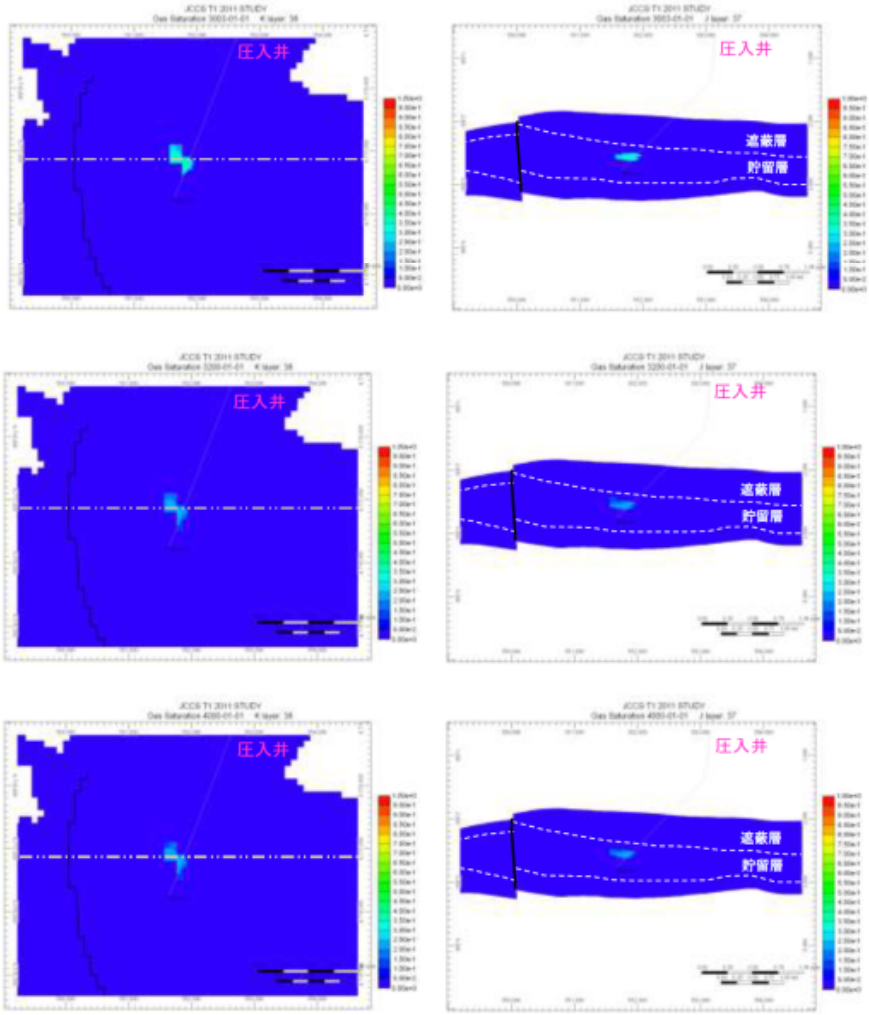

図 3.1-10　P50 モデルにおけるCO_2飽和率の推移

（上：圧入終了時（3 年後）　中：200 年後　下：1,000 年後）

（左：平面分布（k 方向セル 38）　右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））

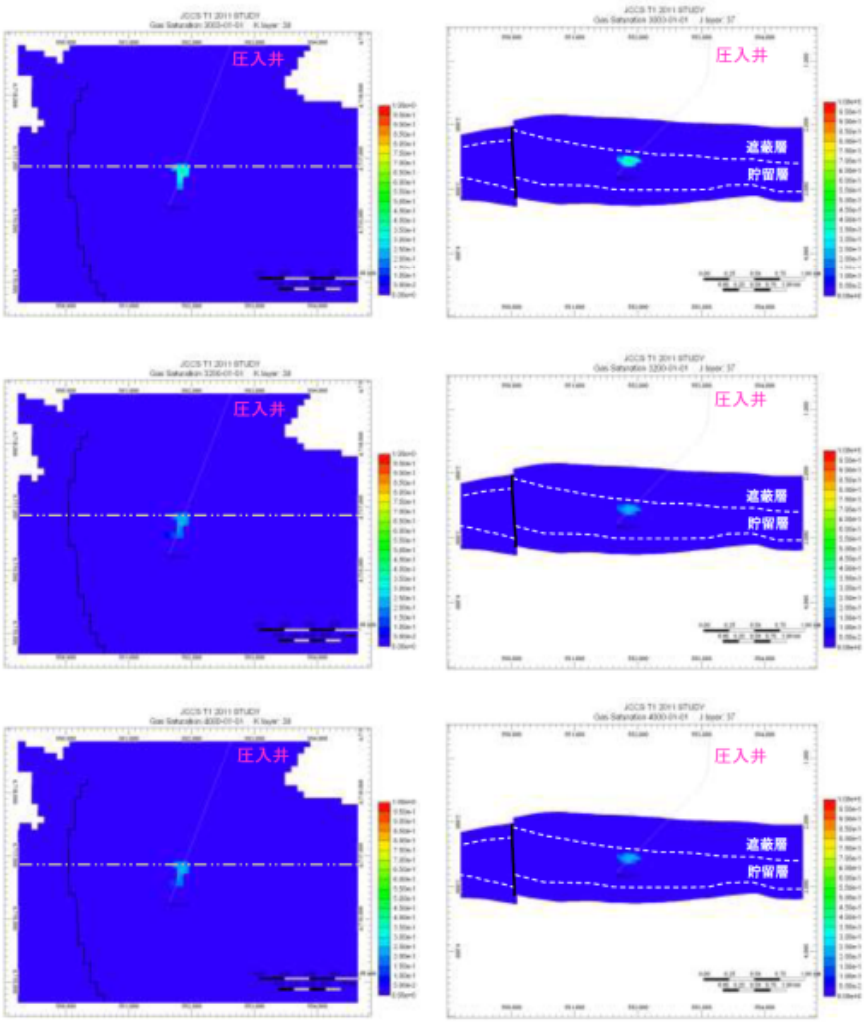

図 3.1-11　P90 モデルにおけるCO_2飽和率の推移

（上：圧入終了時（3 年後）　中：200 年後　下：1,000 年後）

（左：平面分布（k 方向セル 38）　右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））

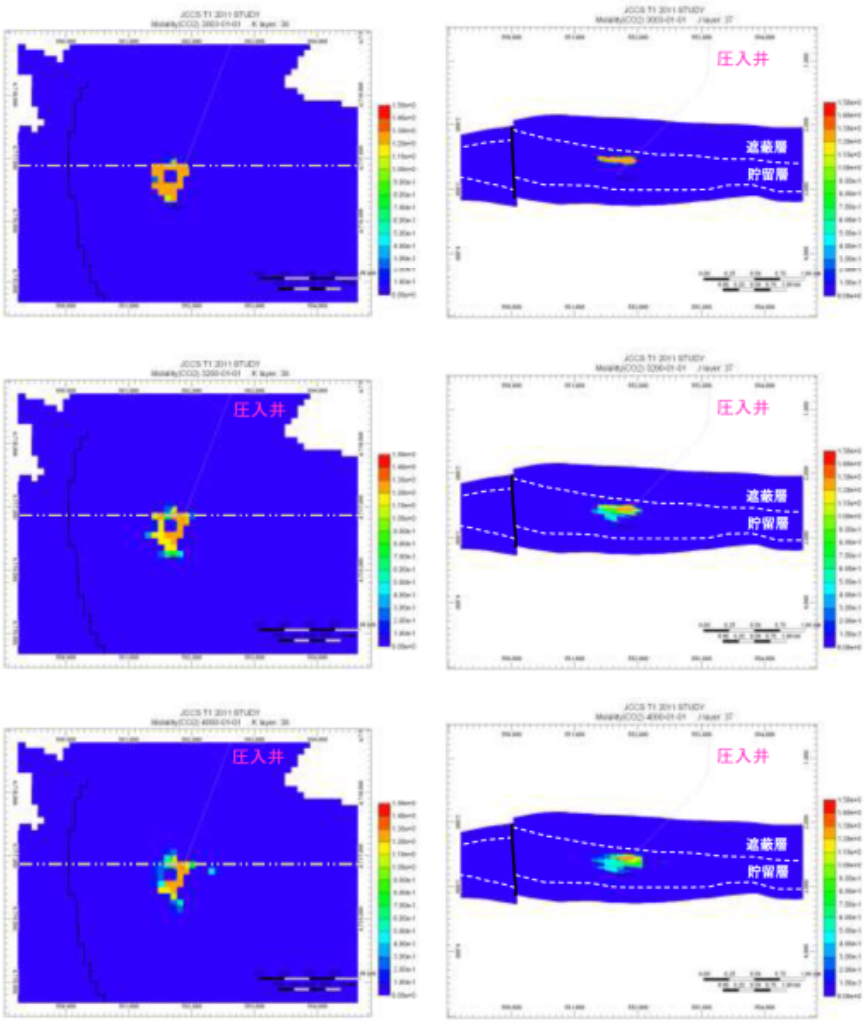

図 3.1-12　P10 モデルにおける溶解ＣＯ$_2$濃度（単位：mol/kg）の推移

（上：圧入終了時（3 年後）　中：200 年後　下：1,000 年後）

（左：平面分布（k 方向セル 38）　右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））

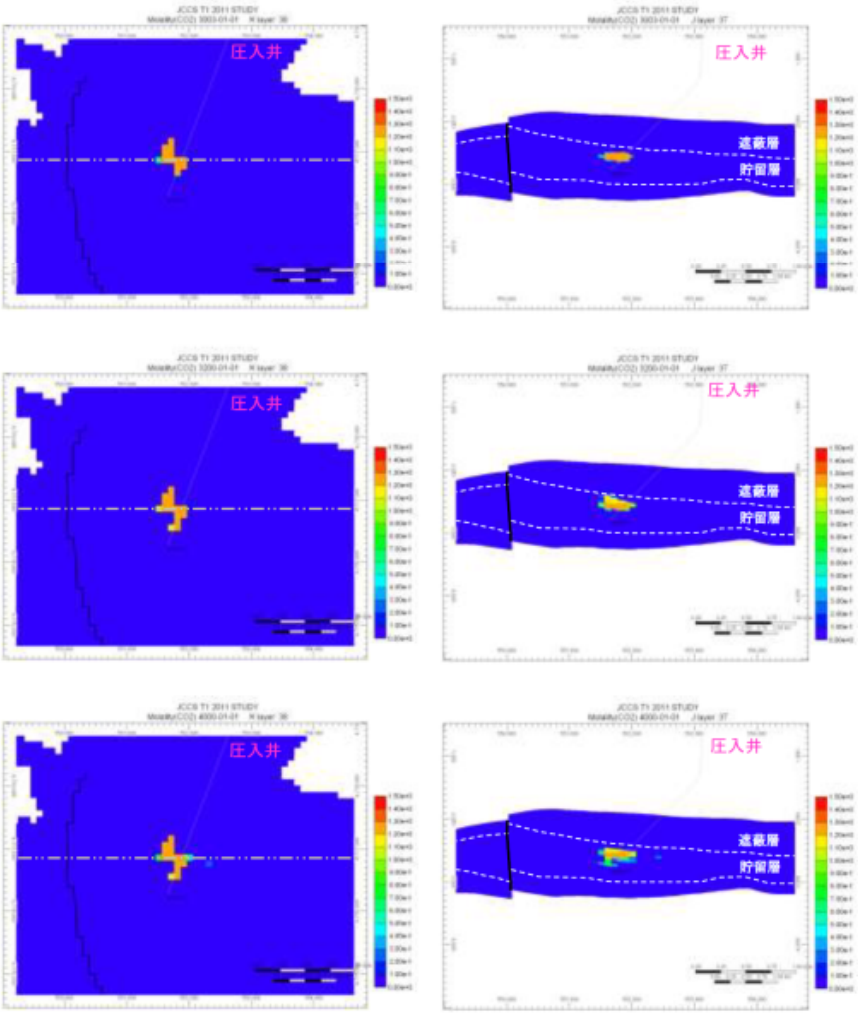

図 3.1-13　P50 モデルにおける溶解ＣＯ$_2$濃度（単位：mol/kg）の推移

（上：圧入終了時（3 年後）　中：200 年後　下：1,000 年後）

（左：平面分布（k 方向セル 38）　右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））

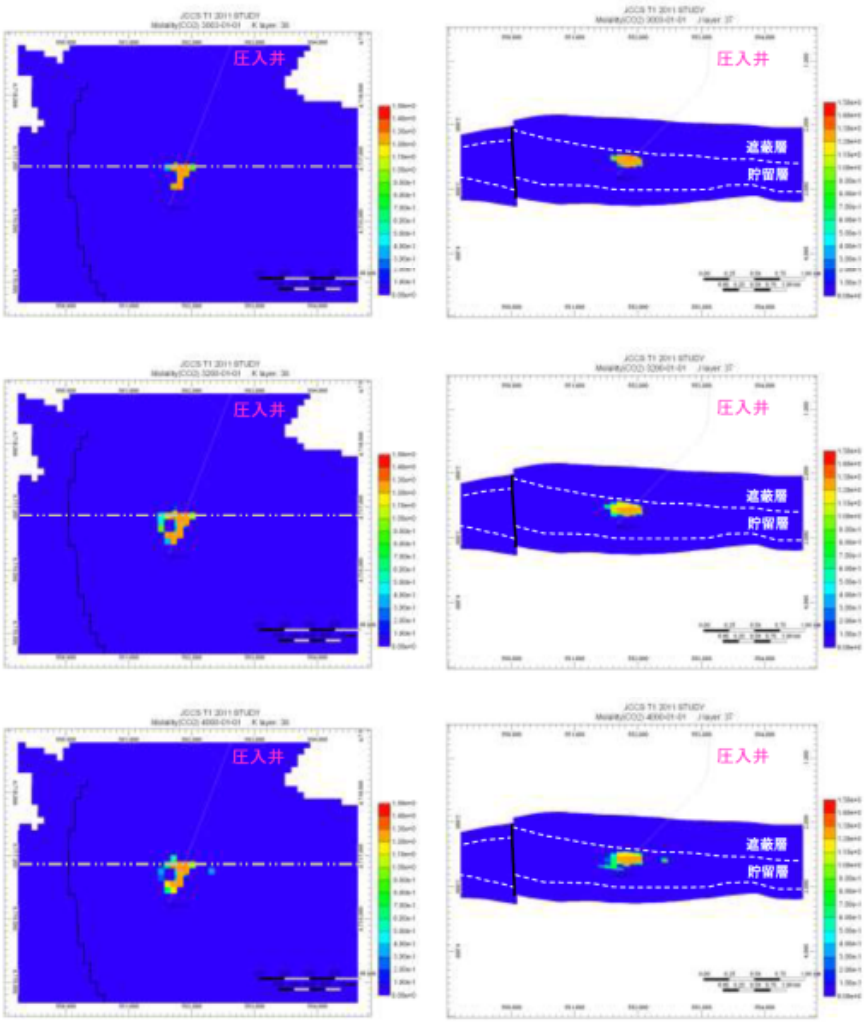

図 3.1-14　P90 モデルにおける溶解ＣＯ$_2$濃度（単位：mol/kg）の推移

（上：圧入終了時（3 年後）　中：200 年後　下：1,000 年後）

（左：平面分布（k 方向セル 38）　右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））

② CO_2の貯留形態ごとの割合

貯留CO_2の３つの貯留形態をMovable（移動する可能性がある気相CO_2）、Dissolved（溶解CO_2）およびTrapped（孔隙などにトラップされ動かない気相CO_2）で表現し、各モデルにおける３種類の貯留形態のCO_2圧入量に対する割合について、その経時変化を図3.1-15～図3.1-17に示す。いずれのモデルにおいても圧入終了後すぐにMovableCO_2量は減少し、約200年でその割合は殆ど0となる。その後、残留ガス飽和率によりトラップされたCO_2が地層水に溶解することで、Trapped CO_2とDissolved CO_2の割合が変化していく。その割合については、1,000年後にはP10モデルにおいてはDissolved CO_2量が約70 %に達するのに対して、P90モデルにおいては約45 %となる。この差については、圧入終了までのCO_2の拡がり方による地層水との接触面積の違い、CO_2が溶解し密度が大きくなった地層水の貯留層内での移動のしやすさ、貯留層内の圧力状態が原因であると考えられる。

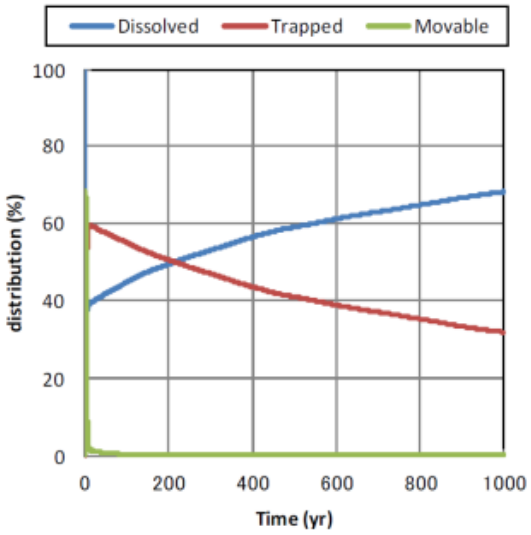

図3.1-15　CO_2の貯留フォーム（割合）の変化（P10モデル）

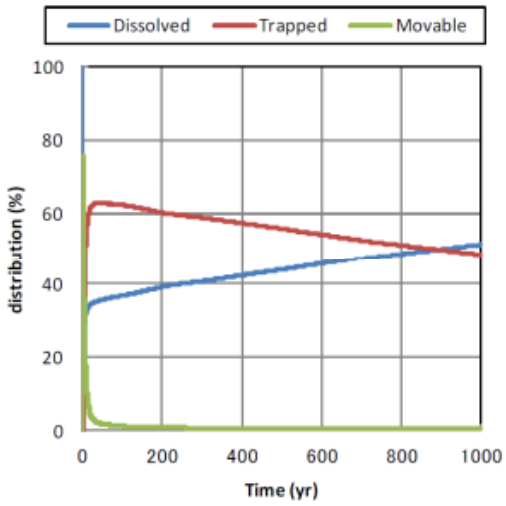

図 3. 1-16　CO_2の貯留フォーム（割合）の変化（P50 モデル）

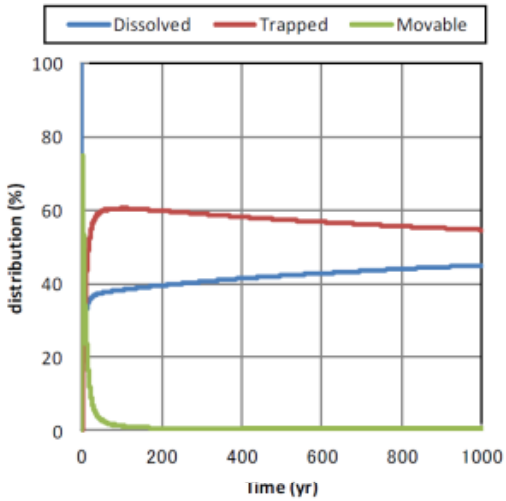

図 3. 1-17　CO_2の貯留フォーム（割合）の変化（P90 モデル）

(6) 総合評価

① 滝ノ上層評価のまとめ

滝ノ上層について行った貯留層および遮蔽層の評価ならびにＣＯ$_2$挙動予測シミュレーションの結果を以下の記述および表 3.1-2 にまとめる。

1) 滝ノ上層は、上部の火山岩・凝灰岩からなる滝ノ上層Ｔ１部層と下部の泥岩層からなる。本層の圧入対象層は、溶岩～凝灰角礫岩相と凝灰岩相とに大別され、凝灰岩相では、貯留層としてそれほど良好な性状は期待できないが、溶岩～凝灰角礫岩相では良好な性状が期待できる。

2) 滝ノ上層Ｔ１部層の上位には、主に泥岩からなる層厚約 1,100m の振老層および平取+軽舞層が分布する。調査データから、苫小牧沖構造の西翼を通る断層が存在するものの、振老層および平取+軽舞層は良好な遮蔽性能を有する地層であると期待できる。

3) 貯留層の性能、遮蔽層の健全性を評価するため、25 万トン/年×3 年間のＣＯ$_2$を圧入し、圧入終了後 997 年間（圧入開始から 1,000 年間）のＣＯ$_2$挙動を予測するシミュレーション実施した。シミュレーションの結果をまとめると、以下の通りである。

- 作成した 50 個の貯留層モデルの全てにおいて 25 万トン/年×3 年間の圧入は可能であった。
- 気相ＣＯ$_2$の拡がりは圧入終了時点で、圧入井から水平に P10 モデルで約 600m 程度、P50 モデルで 450m 程度、P90 モデルで約 400m 程度であった。
- 溶解ＣＯ$_2$の拡がりは圧入終了時点で、P10 モデルで約 800m 程度、P50 モデルで 700m 程度、P90 モデルで約 500m 程度であった。
- 3 つのモデルでは遮蔽層（振老層、平取+軽舞層）へのＣＯ$_2$の到達は、圧入開始から 1,000 年後においても確認されなかった。

4) 滝ノ上層は堆積岩と比較して不均質性・異方性が高く、掘削後の解析結果から苫小牧ＣＣＳ－１を掘削した領域は滝ノ上層の高ＡＩ（低孔隙率、低浸透率）領域であることが判った。今後、滝ノ上層の低ＡＩ（高孔隙率、高浸透率）領域に掘削すれば、十分な圧入性能を確認できると考えられる。

② 総合評価

滝ノ上層への 25 万トン/年×3 年間のＣＯ$_2$圧入を行った場合、滝ノ上層へのＣＯ$_2$の圧入は可能であり、遮蔽層（振老層、平取+軽舞層）へのＣＯ$_2$の拡がりはないと評価する。

表3.1-2　滝ノ上層Ｔ１部層貯留層総合評価のまとめ

項 目		
構造		●北北西-南南東に延びる背斜構造（苫小牧沖構造）の北東翼部。 ●圧入想定ポイントから2km程度西側に滝ノ上層下位から荷菜層に達する断層の存在が推定される。
貯留層	対象深度・層厚	●垂直深度：約2,400～3,000m　●層厚：約600m
	岩相	●溶岩～凝灰角礫岩、凝灰岩
	物性	圧入対象岩相は滝ノ上層T1部層下部の溶岩～凝灰角礫岩相で孔隙率・浸透率が高いことが期待される岩相。 ●孔隙率：5～18%（苫小牧CCS－1コア試験：封圧下）、孔隙率：3～19%（周辺坑井のコア試験：封圧下） ●浸透率：0.68～1.15mD（苫小牧CCS－1圧入テスト解析結果） ●浸透率：0.001～0.01mD（苫小牧CCS－1コア試験：封圧下、空気） ●浸透率：0.002～7mD（周辺坑井のコア試験：封圧下） ●浸透率：0.01mD～2.6D（坑井Aでの物理検層解析結果）
	圧入・貯留性能	●【貯留層評価】3Dデータなどの解析で良好と想定している岩相を調査井（苫小牧CCS－1）では未確認。 ●【シミュレーション】貯留性能が良好な岩相に圧入することで、25万トン/年×3年圧入可能。
遮蔽層	岩相	●泥岩（振老層～平取+荻舞層）
	層厚	●層厚：約1,100m
	物性	●孔隙率：12.4～18.0%（苫小牧CCS-1コア試験：封圧下） ●浸透率：8.2×10^{-6}～36.7×10^{-5}mD（苫小牧CCS-1コア試験：水浸透率） ●スレショルド圧力：1.29～12.3※MPa以上（苫小牧CCS-1コア試験：N_2-水系残差圧力法） ●スレショルド圧力：11.72MPa※以上（苫小牧CCS-1コア試験：CO_2-水系毛細管圧法） ※ブレークスルーしなかった。 ●リークオフ圧力：45.3MPa（等価泥水比重：1.96）（振老層（苫小牧CCS-1）2,352m）
	遮蔽性能	●【シミュレーション】遮蔽層へのCO_2の到達は確認されなかった。
坑井掘削難易度		●大深度の高傾斜井となる。
圧入後CO_2の挙動（シミュレーション結果）		●（3年圧入後）気相CO_2の拡がりは400m×600m程度。溶解CO_2は550m×700m程度（P50モデル）。 ●圧入終了後は地層水への溶解等による下方への移動が認められる。 ●200年程度で、気相CO_2の拡がりに変化は見られなくなる。

参考資料-1