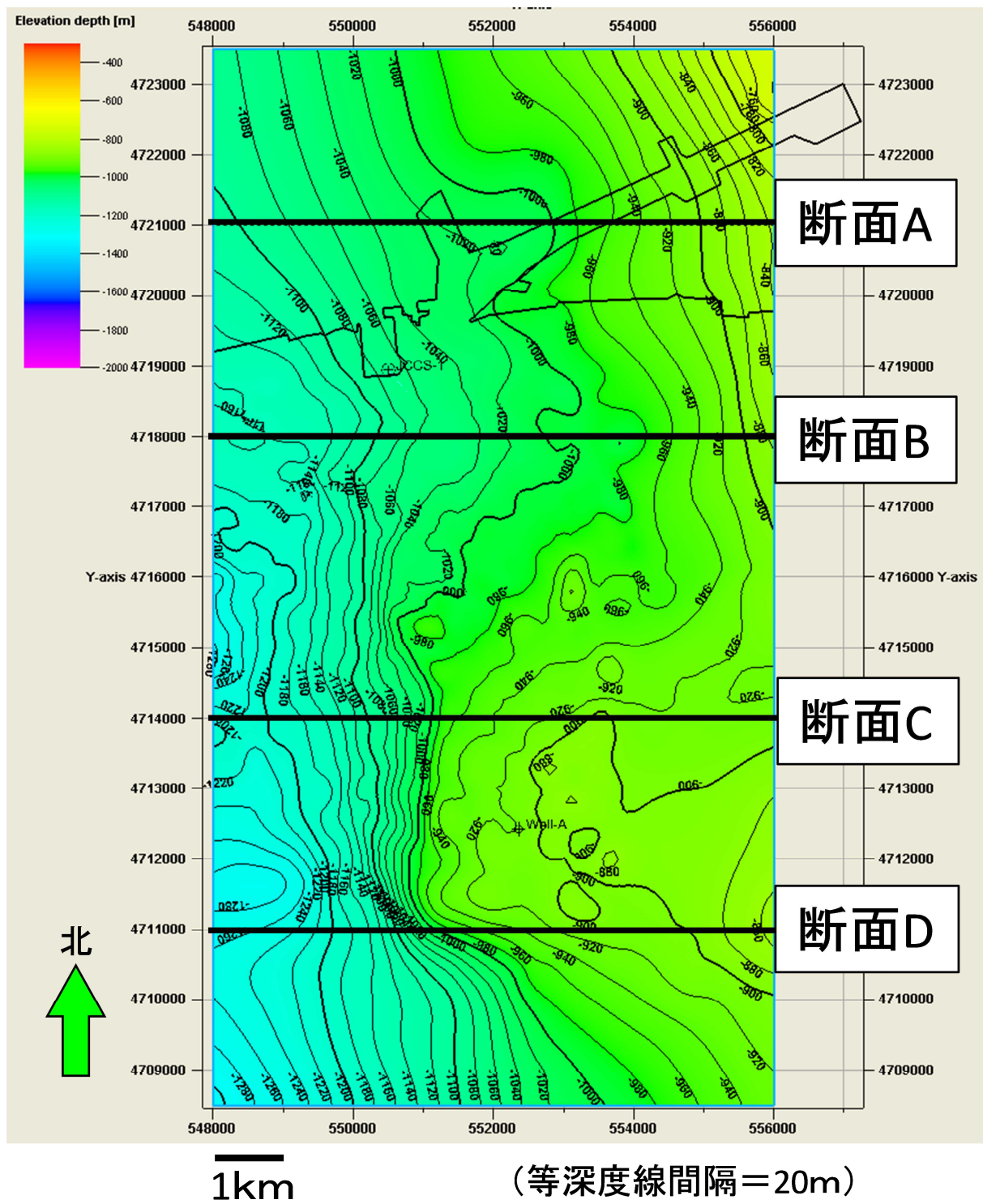
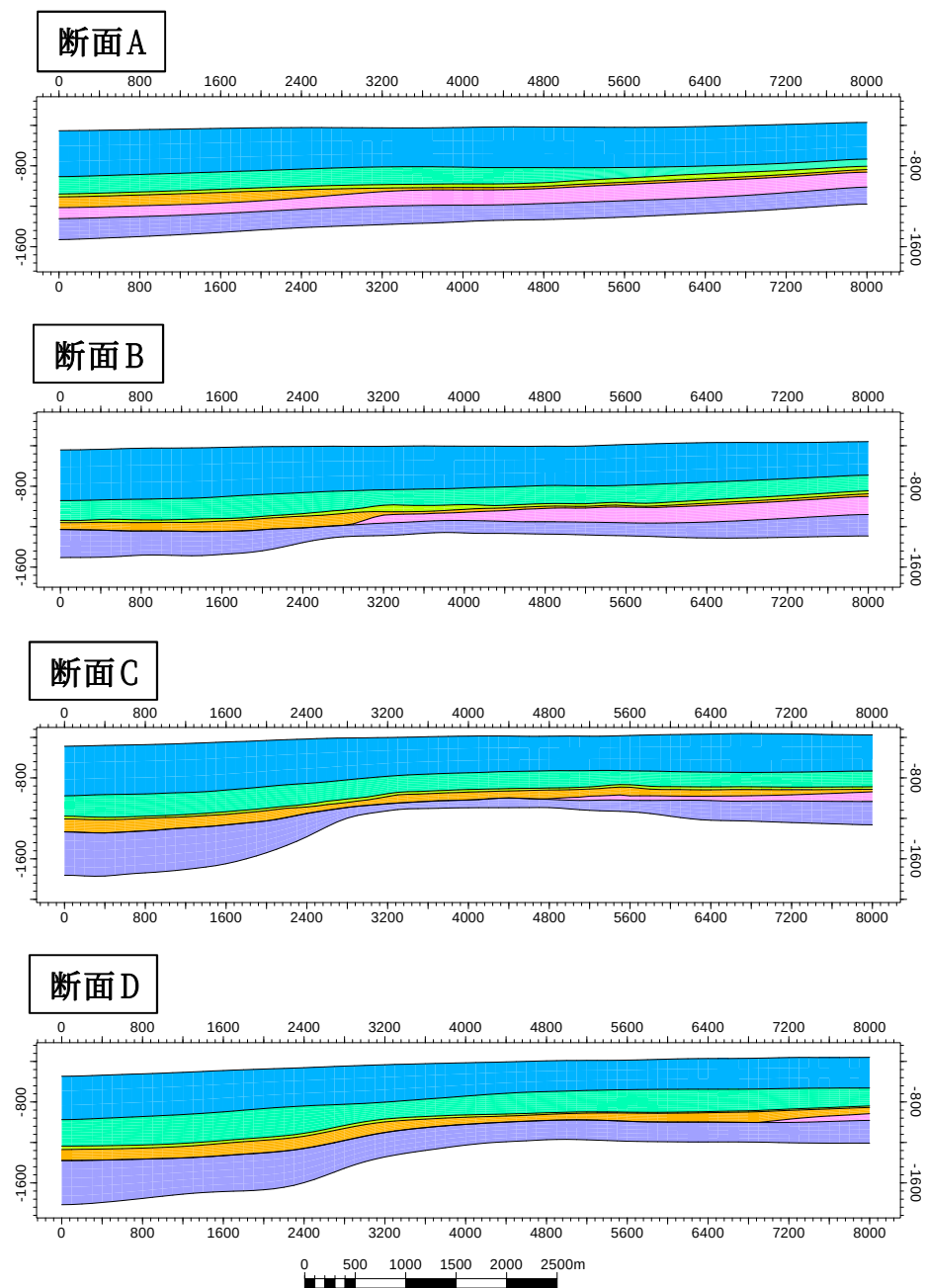




注：図中の X 軸および Y 軸は、世界測地系 WGS84 の UTM54 系の座標。

第 2.2-26 図 モデル断面位置図（構造図は萌別層砂岩層（HST）上限）



- 第四系
- 鵝川層
- 萌別層上部【遮蔽層】
- 萌別層上部TST【遮蔽層】
- 萌別層下部HST【貯留対象層】
- 萌別層下部HSTデルタ下部【貯留対象層】
- 荷菜層

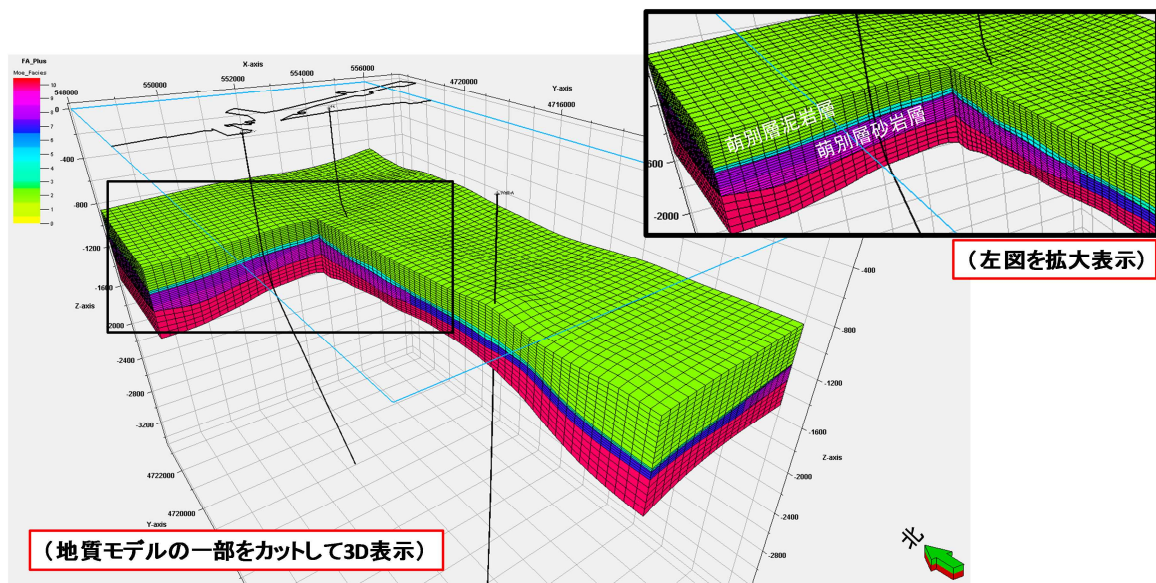
注：上から順に，断面 A～D。スケールは，m。

第 2.2-27 図 モデル断面

各層準内に第 2.2-11 表のようにグリッドセルを作成した。第 2.2-28 図に，グリッドセルの鳥瞰図を示す。

第 2.2-11 表 萌別層構造モデルのグリidding

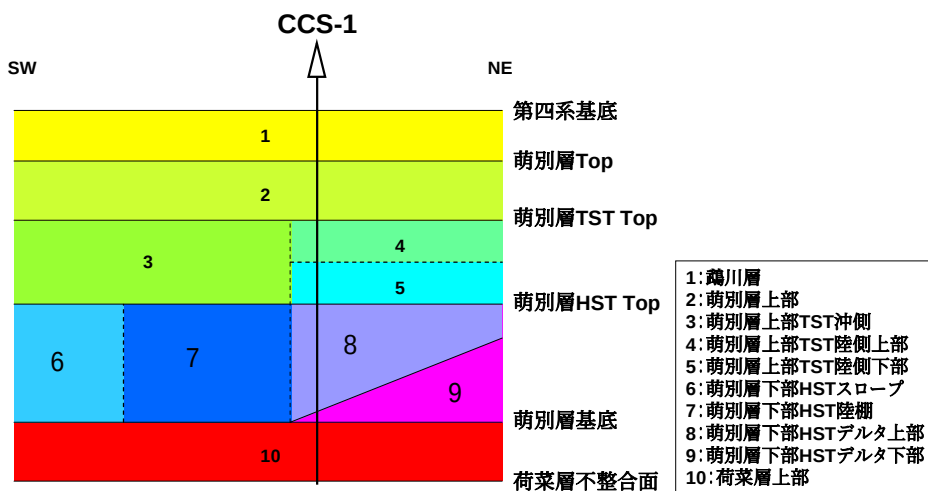
i 方向（東西方向）セル数	200m	40 セル
荷菜層上部：	3 レイヤーに分割	(k 方向セル番号：7～9)
荷菜層下部：	5 レイヤーに分割	(k 方向セル番号：10～14)
平取+軽舞層：	5 レイヤーに分割	(k 方向セル番号：15～19)
振老層：	5 レイヤーに分割	(k 方向セル番号：20～24)
滝ノ上層 T1 部層上部：	15m ごとに分割	(k 方向セル番号：25～57)
滝ノ上層 T1 部層下部：	15m ごとに分割	(k 方向セル番号：58～96)
滝ノ上層下部：	5 レイヤーに分割	(k 方向セル番号：97～101)
南長沼層	5 レイヤーに分割	(k 方向セル番号：102～106)



第 2.2-28 図 グリッドセルの鳥瞰図

c. 属性モデルの作成

構造モデルの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、第 2.2-29 図に示す。



第 2.2-29 図 堆積相区分概念図

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。また、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。

④ CO₂ 挙動予測シミュレーション

作成した地質モデルを用いて、CO₂ 挙動予測シミュレーションを実施し、CO₂ 圧入時の圧力挙動のほか、貯留層内での移動・到達範囲を推定した。CO₂ の圧入レートは 25 万トン/年で、3 年間の連続圧入 (計 75 万トン圧入) とした^{注1}。

なお、後述のイ) で示す滝ノ上層圧入井の掘削結果を踏まえた予測では、圧入レートを坑底圧の規定上限圧力で制限するため、圧入は 1,500 トン/年程度の圧入レートで開始するが、圧入開始直後に坑底圧の規定上限圧力に到達するため圧入レートを下げ、その後概ね 300 トン/年程度の圧入レートで推移する。3 年間の累計圧入量は、1,000 トン程度となる。

ア) 滝ノ上層 T1 部層における CO₂ 挙動予測 (圧入井掘削前)

a. 概要

Computer Modelling Group Ltd. 社の GEM (ver2010.12) を使用し、シミュレーションで考慮した貯留メカニズムは、以下の 3 種類である

- ・ 泥岩の毛細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 CO₂ トラッピング
- ・ CO₂ の地層水への溶解による溶解トラッピング

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。圧入井における滝ノ上層 T1 部層の全区間に対して CO₂ 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の結果から、地層破壊圧力の 90% (41,853kPa) とした^{注2}。

b. 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、物理検層測定値等) および文献値により、第 2.2-12 表に示す値を用いた。

^{注1} 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、CO₂ 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。

^{注2} 苫小牧 CCS-1 の遮蔽層におけるリークオフテストで確認したリークオフ圧力は、その深度 (垂直深度 2,352m) で、45.3MPa (461.6kg/cm²) であった。これは等価泥水比重で 1.96g/cm³ となる。この等価泥水比重から、滝ノ上層圧入井の遮蔽層深度 (垂直深度 2,418m) におけるリークオフ圧力を求め (473.9kg/cm²)、その 90% の値 (426.5kg/cm²=41,853kPa) をシミュレーション上の地層破壊圧と仮定した。

第 2.2-12 表 シミュレーションパラメーター一覧（平成 23 年度地質モデル）

モデル	滝ノ上層 T1 部層 2011 モデル		
サイズ	8km×12km×4km (ideal volume : 24km×24km×4km)		
グリッド	80×120×106 グリッド		
アクティブ・ブロック数	384,050		
基準温度	91.0°C (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	0.15
平均浸透率：mD	2.7	0.0072	0.000035
圧縮率：kPa ⁻¹	8.073×10 ⁻⁷ (測定値)		
塩分濃度：ppm (NaCl)	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 K _{rg}	Bennion (2005) ^[1]		Corey (1954) ^[2]
液相 相対浸透率 K _{rw}			van Genuchten (1980) ^[3]
臨界ガス飽和率 S _{gc}	0.04 Bennion (2005) ^[1]	0.05	
不動水飽和率 S _{wir}	0.558 Bennion (2005) ^[1]	0.8	
最大残留ガス飽和率 S _{grmax}	0.241 from default value of GEM	—	
毛細管圧力曲線	溶岩（貯留層） Bennion (2006) ^[4] , van Genuchten (1980) ^[3]	凝灰岩（貯留層）	泥岩（遮蔽層） 測定値

c. CO₂ 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。なお、実際の CO₂ 圧入の際に挙動予測シミュレーション結果から大きく外れる場合には、圧入対象層が 2 層準あるので、両層の圧入性を考慮したうえで、圧入量を振り分け、安全に圧入可能な範囲内で CO₂ を圧入する予定である。

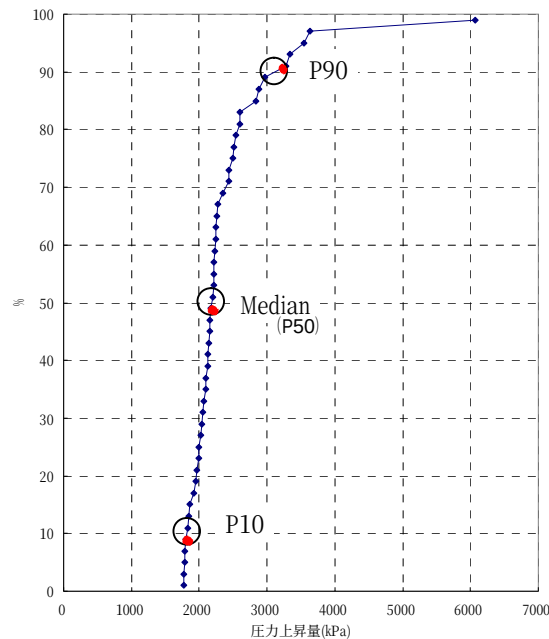
圧入終了時の坑底圧力（貯留層上限深度での坑内圧力）の圧力上昇量を序列化して、50 個のモデルの累積確率分布を作成した。圧力上昇量が当該モデル以下になる確率をそれぞれ P10, P50, P90 のパーセンタイル値として設定した（第 2.2-30 図）。

^[1] Bennion, B. 2005. Relative permeability characteristics for supercritical CO₂ displacing water in a variety of potential sequestration zones in the Western Canada Sedimentary Basin. paper SPE 95547, pp.7-9, p.12

^[2] Corey, A.T. 1954. The Interrelation between gas and oil relative permeabilities. Producers Monthly, November, pp.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, pp.892-898

^[4] Bennion, B. 2006. The impact of interfacial tension and pore-size distribution / capillary pressure character on CO₂ relative permeability at reservoir condition in CO₂-Brine systems. paper SPE 99325, p.9



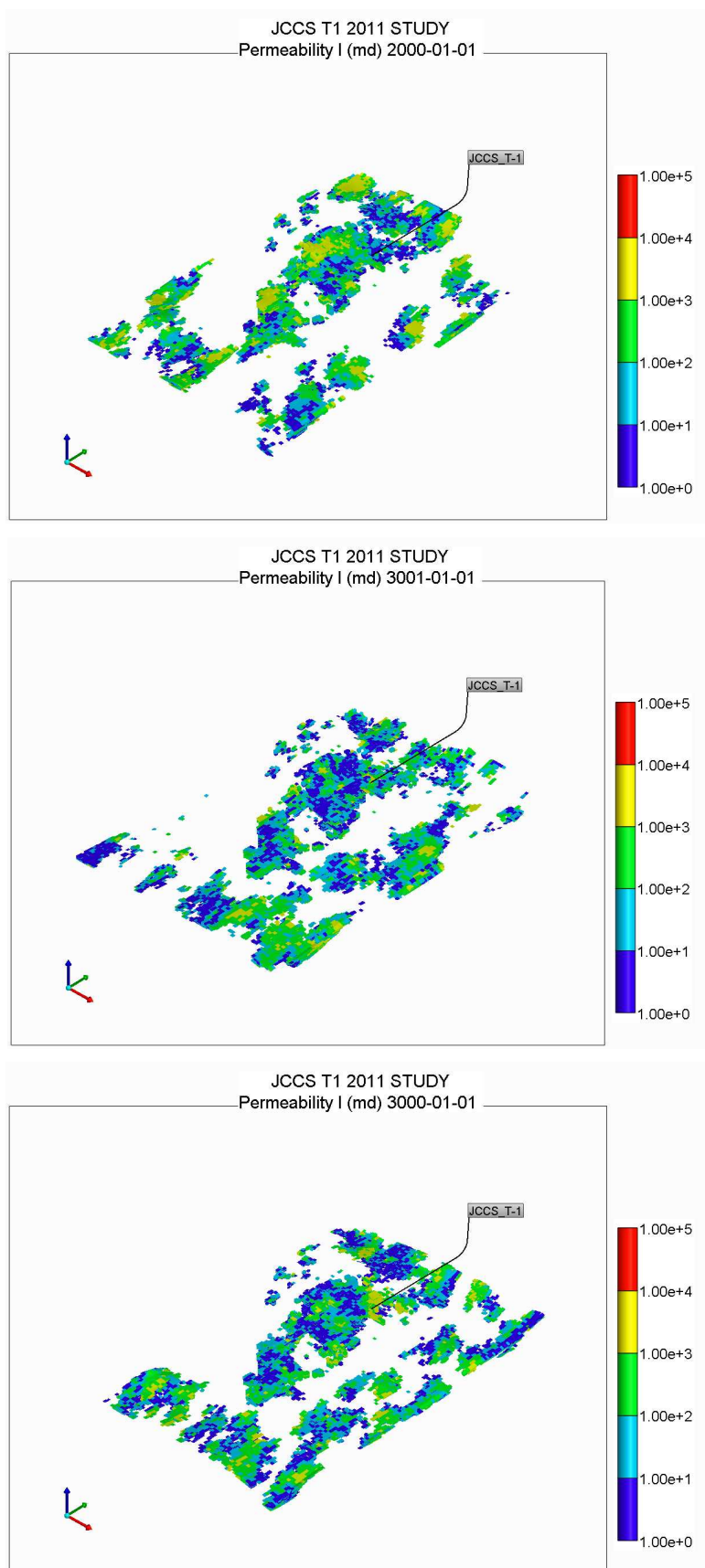
第 2.2-30 図 50 個のモデルの 3 年間の圧入による圧力上昇量の累積確率分布（平成 23 年度地質モデル）

これらの 3 つのモデルについて CO₂ 挙動予測シミュレーションを行った。

- a) P10 モデル：圧力上昇量が当該モデル以下になる確率が 10%
- b) P50 モデル：圧力上昇量が当該モデル以下になる確率が 50%
- c) P90 モデル：圧力上昇量が当該モデル以下になる確率が 90%

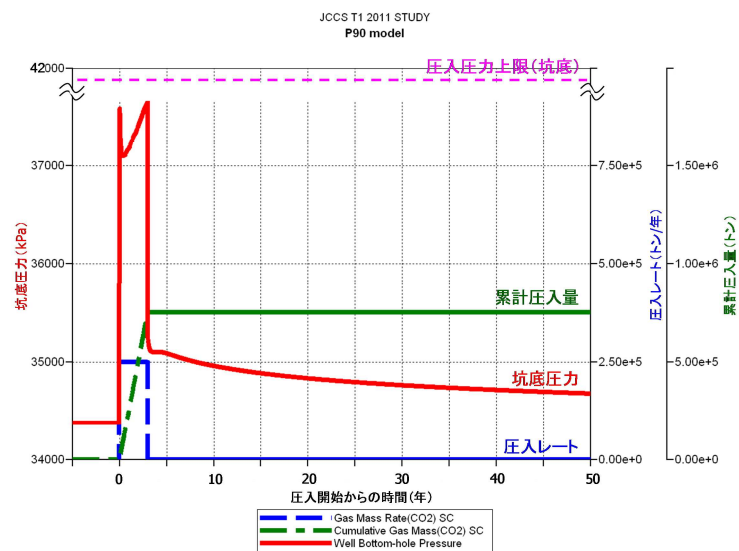
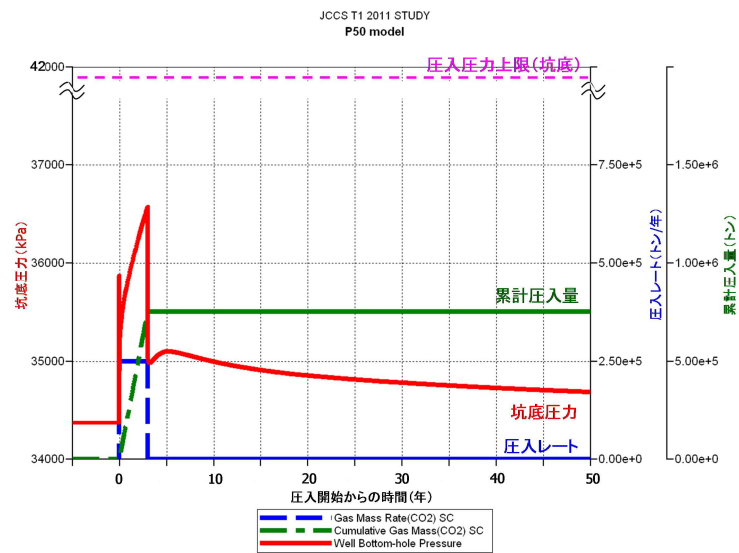
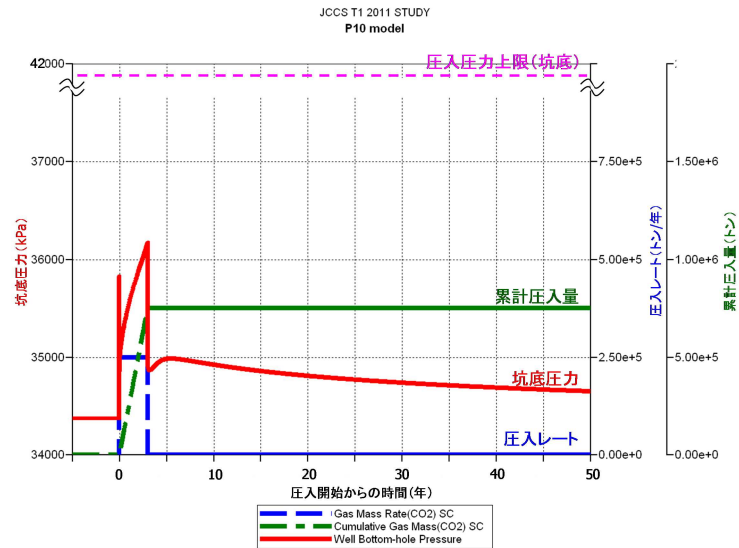
3 つのモデルに与えられた浸透率分布の例を、第 2.2-31 図に示す。また、3 つの貯留層モデル（P10 モデル、P50 モデル、P90 モデル）における圧入期間（3 年間）の CO₂ 圧入に伴う坑底圧力、圧入レート、累計圧入量および坑口圧力の経時変化を、第 2.2-32 図に示す。

いずれのモデルにおいても設定した圧入圧力上限（41,853kPa）には達せずに、25 万トン/年×3 年間の CO₂ 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（ $\Delta P = 700\text{kPa}$ ）まで低下している。



注: 上から順に P10 モデル, P50 モデル, P90 モデル。単位は, mD。

第 2.2-31 図 浸透率分布 (平成 23 年度地質モデル)

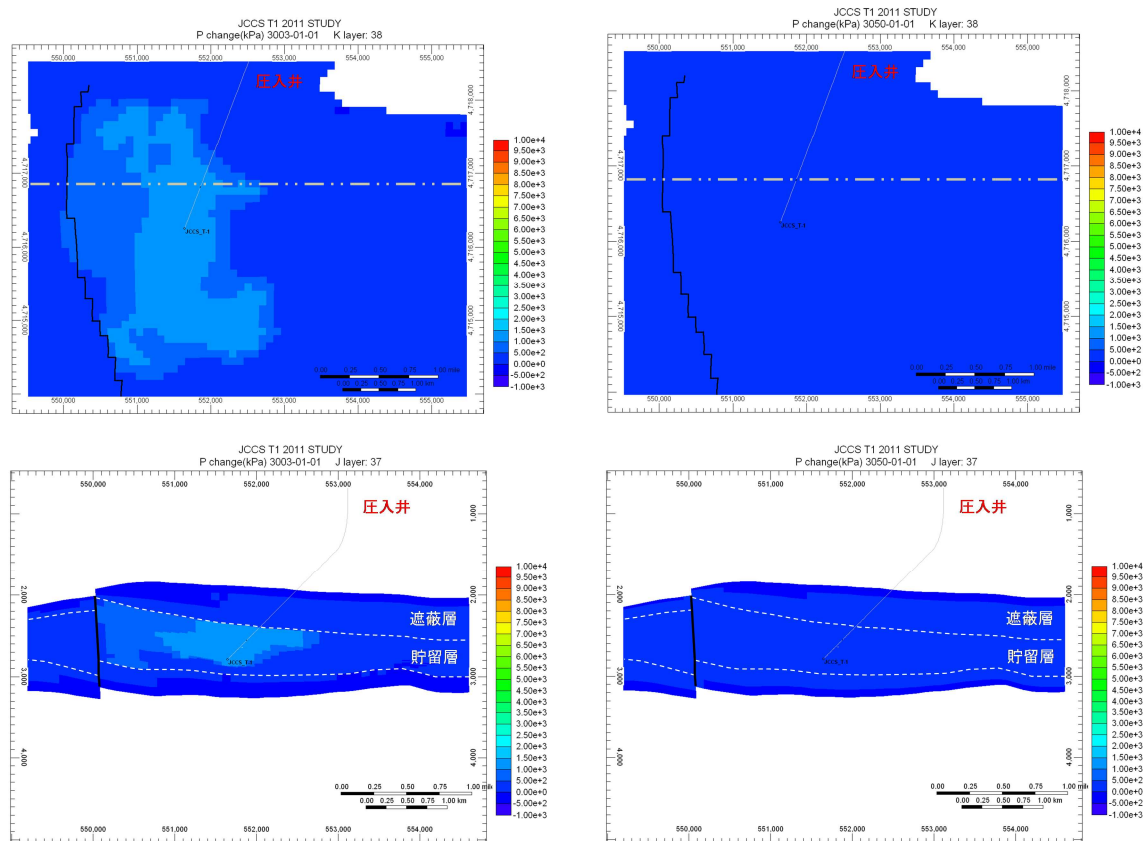


注: 上から順に P10 モデル, P50 モデル, P90 モデル。

第 2.2-32 図 各モデルにおける圧入時の挙動（平成 23 年度シミュレーション結果）

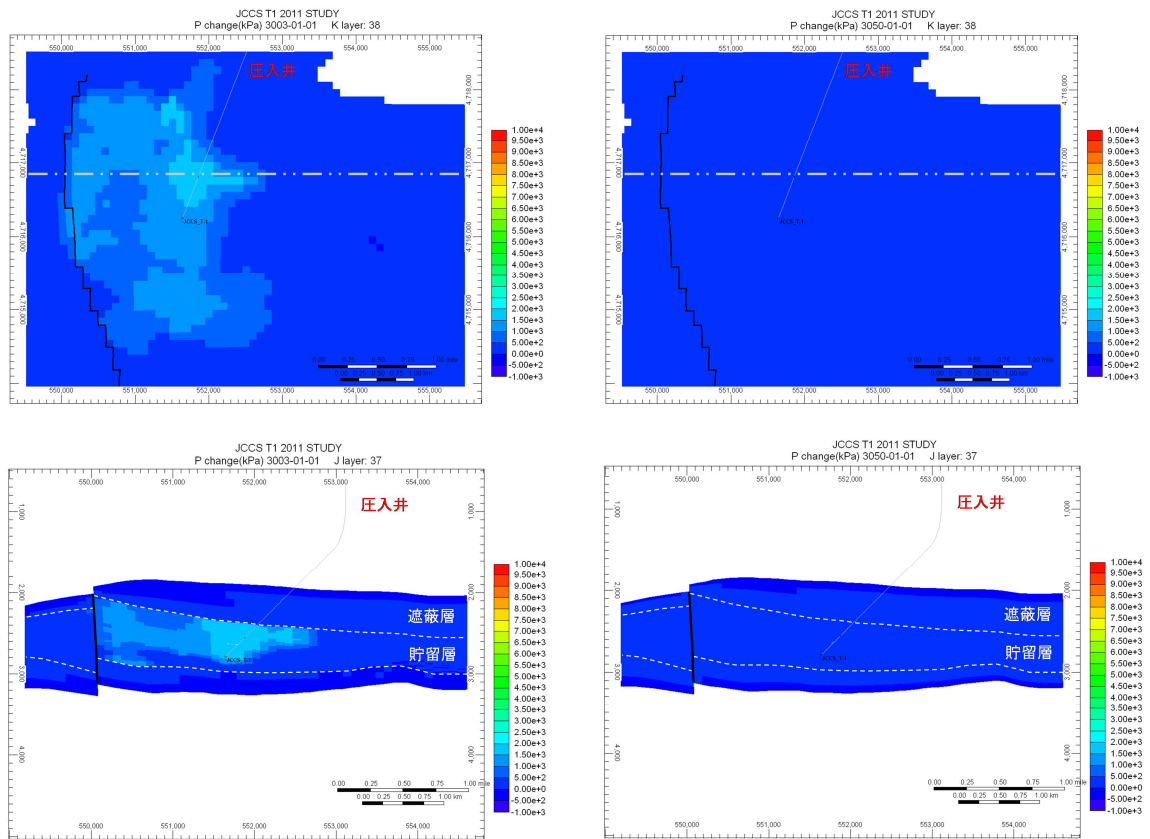
d. 貯留層圧力分布

3年間のCO₂圧入終了時点における深部塩水層圧力の変化（圧入前の初期圧力からの変化量）を、第2.2-33図～第2.2-35図に示す。いずれのモデルにおいても圧力の広がりについては圧入井を中心にほぼ南北に長軸をもつ楕円状に広がる。



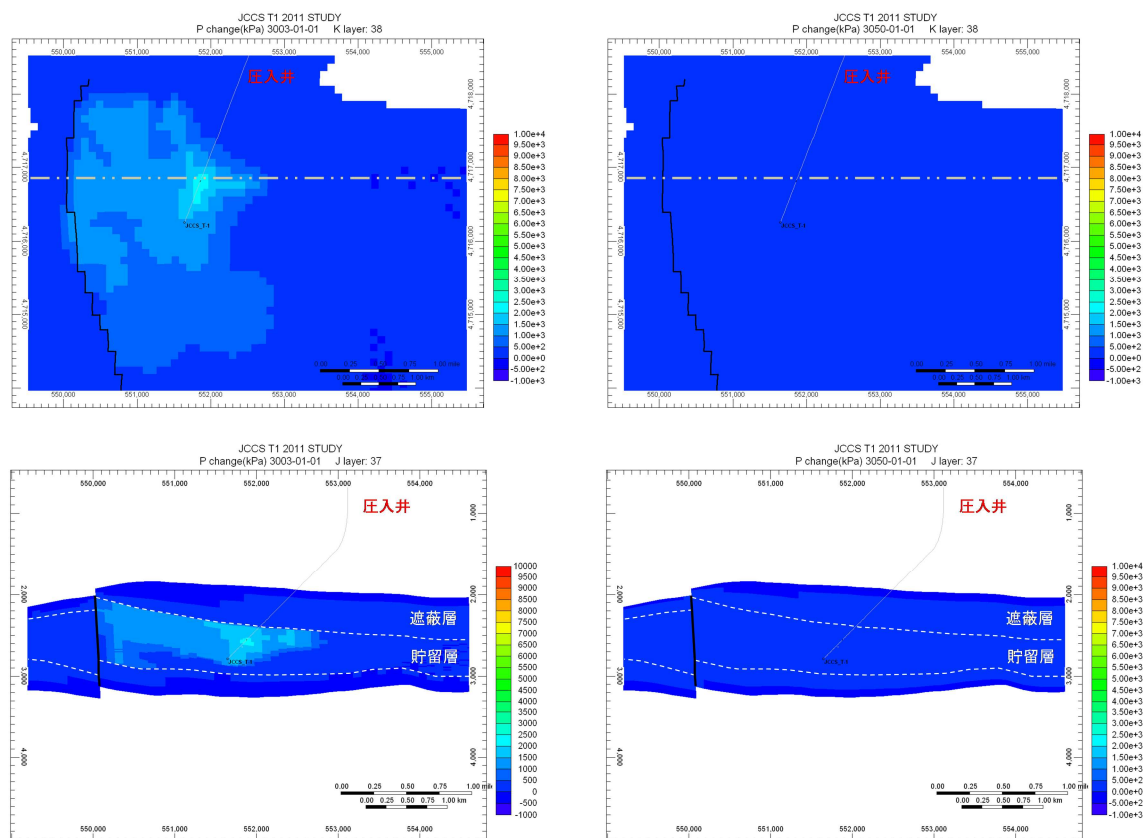
注：左側：圧入終了時（3年後），右側：50年後。上段：平面分布（k方向セル38），下段：東西断面（位置は平面分布の点線の位置）。単位は，kPa。

第2.2-33図 CO₂圧入前からの圧力変化量の推移（P10モデル）（平成23年度シミュレーション結果）



注：左側：圧入終了時（3年後），右側：50年後。上段：平面分布（k 方向セル 38），下段：東西断面（位置は平面分布の点線の位置）。単位は，kPa。

第 2.2-34 図 CO₂ 圧入前からの圧力変化量の推移（P50 モデル）（平成 23 年度シミュレーション結果）



注：左側：圧入終了時（3年後），右側：50年後。上段：平面分布（k 方向セル 38），下段：東西断面（位置は平面分布の点線の位置）。単位は，kPa。

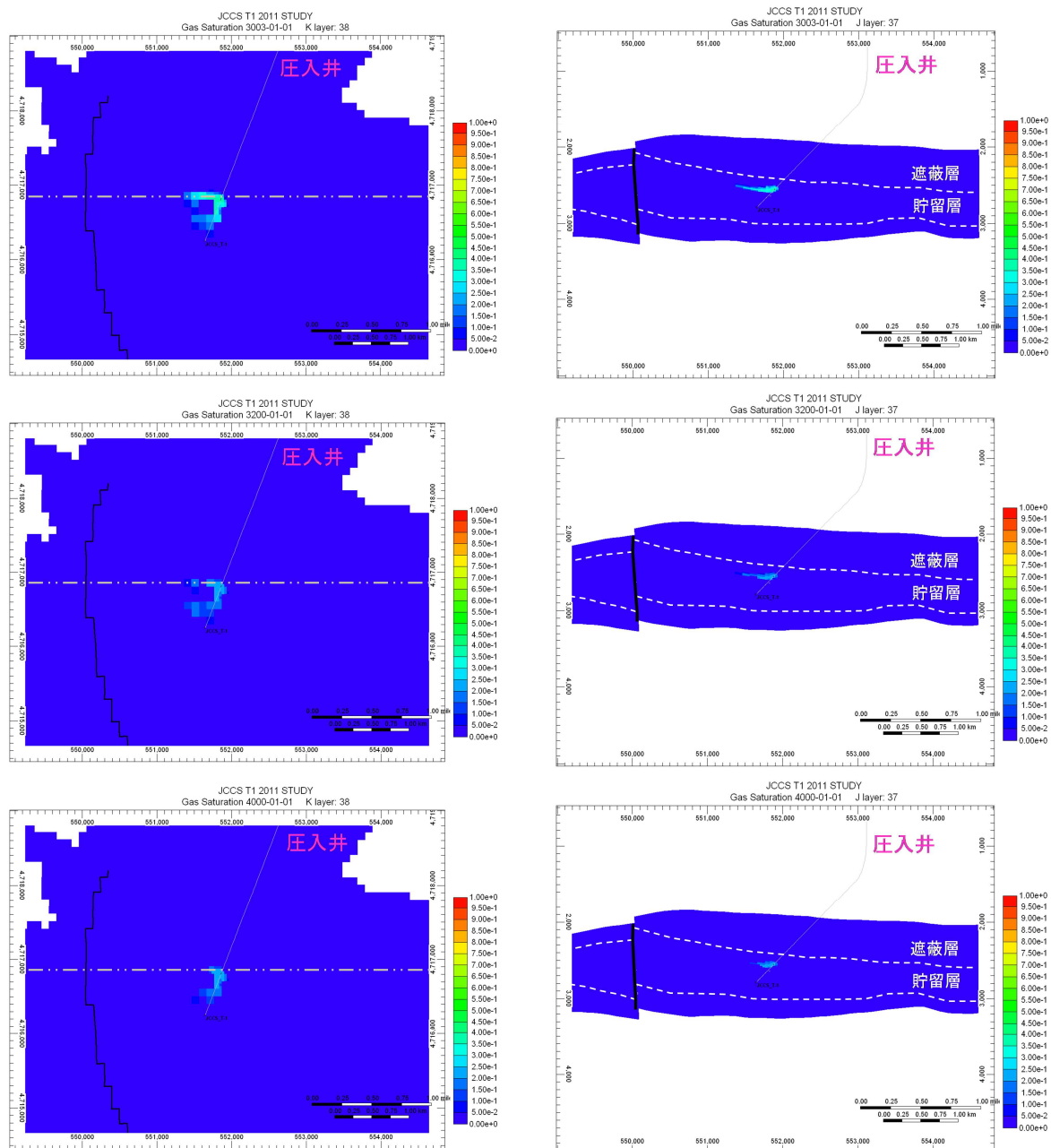
第 2.2-35 図 CO₂ 圧入前からの圧力変化量の推移（P90 モデル）（平成 23 年度シミュレーション結果）

e. シミュレーションによる貯留 CO₂ 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 CO₂ の挙動予測シミュレーションを実施した。以下にモデルごとの結果の比較を示す。

f. 圧入に伴う貯留層内の CO₂ 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 CO₂ 飽和度の推移を，第 2.2-36 図～第 2.2-38 図に示す。また，CO₂ が地層水に溶解した状態の溶解 CO₂ 量の推移を，第 2.2-39 図～第 2.2-41 図に示す。なお，いずれのケースにおいても，遮蔽層（振老層，平取+軽舞層）へは CO₂ は広がらない。



注：上段：圧入終了時（3年後），中段：200年後，下段：1,000年後。上段：平面分布（k方向セル38），下段：東西断面（位置は平面分布の点線的位置）。

第 2.2-36 図 P10 モデルにおける CO₂ 飽和度の推移（平成 23 年度シミュレーション結果）