

地球物理シミュレーションと 貯留層モニタリング設計

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地圏資源環境研究部門 CO₂地中貯留研究グループ
加野 友紀

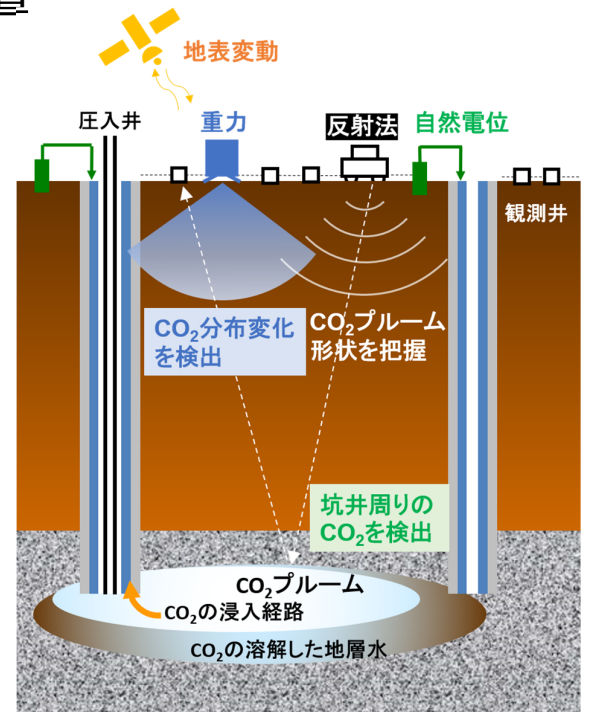
内容

- 背景と目的
- 数値モデル
- CO₂地中貯留に伴う地球物理学の応答
 - 流動シミュレーション
 - 弾性波探査
 - 重力
 - 地表変動
 - 自然電位
- CO₂ 漏洩に対する地球物理学の応答
- 貯留層モニタリング設計

背景と目的

➤地下挙動をモニタリングする地球物理学的手法

- 弾性波
 - 波速度の変化と2・3次元的位置
- 重力
 - 密度の変化と測点との距離
- 地表変動
 - 圧力変動と地層の変位
- 自然電位
 - 導体周りの酸化還元環境の変化と接触量
- 微小振動、比抵抗…



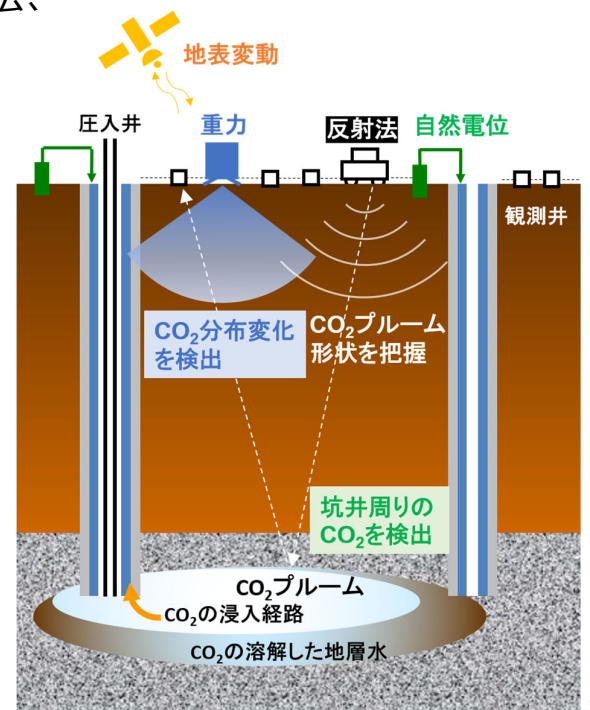
3

背景と目的

➤CO₂地中貯留における貯留層モニタリング

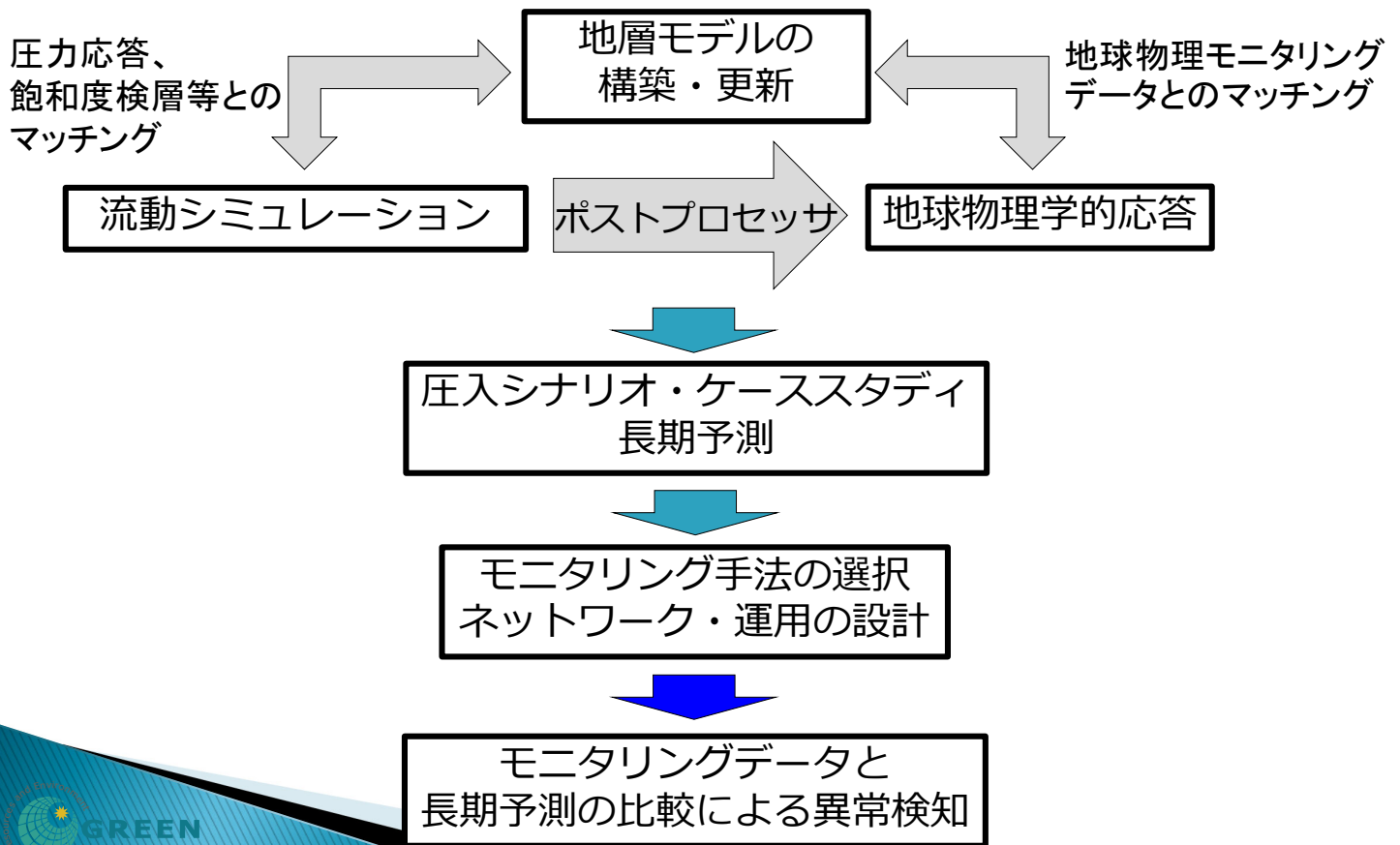
- 圧入停止後も長期モニタリングの必要性
 - 有効かつ効率的なモニタリング手法、ネットワーク設計および運用

→ CO₂貯留および漏洩に伴う地球物理量の変化を事前に定量的に把握し、手法を選択・配置する必要性



4

貯留層モニタリングとシミュレーション



5

背景と目的

➤コスト面で有利な受動的物理探査手法の開発

重力、自然電位、微小地震…

➤貯留層の流体挙動およびそれに伴う地球物理学的応答に関する数値モデリング・シミュレーション技術の開発

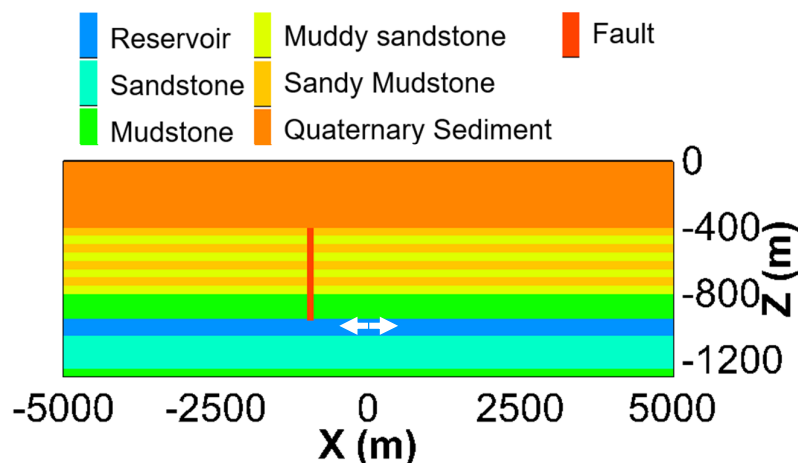
→ 仮想のCO₂地中貯留および漏洩シナリオにおける地球物理学的変化のシミュレーションと有効なモニタリング手法の検討

- ・ **流動シミュレーション：**
汎用貯留層シミュレータ “STAR”
状態方程式パッケージ “SQSCO2” (H₂O-NaCl-CO₂)
- ・ **地球物理シミュレーション：**
STARの“地球物理ポストプロセッサ”
弾性波、重力、地表変動、自然電位

6

数値モデル

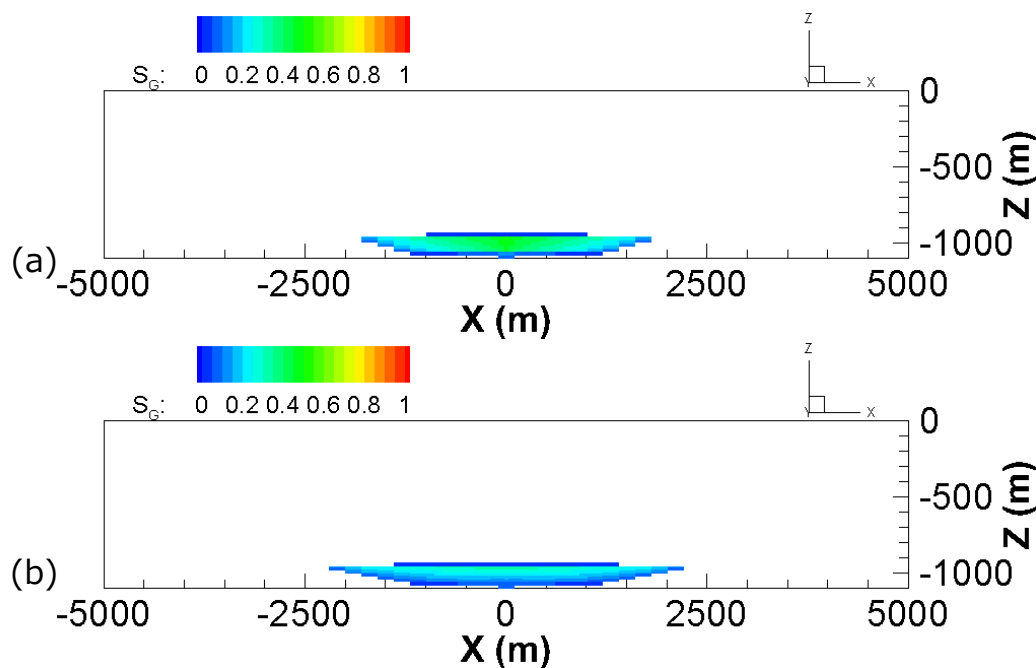
- 3次元モデル
水平：10 km × 10 km
鉛直：1.3 km
- 貯留層：地下約1,000 mの
100 m厚砂岩層
- 鉛直断層：幅50 m × 長さ1 km
- 計算期間：
圧入期間50年（100万トン／年）
+圧入停止後50年



地質モデルの概念図

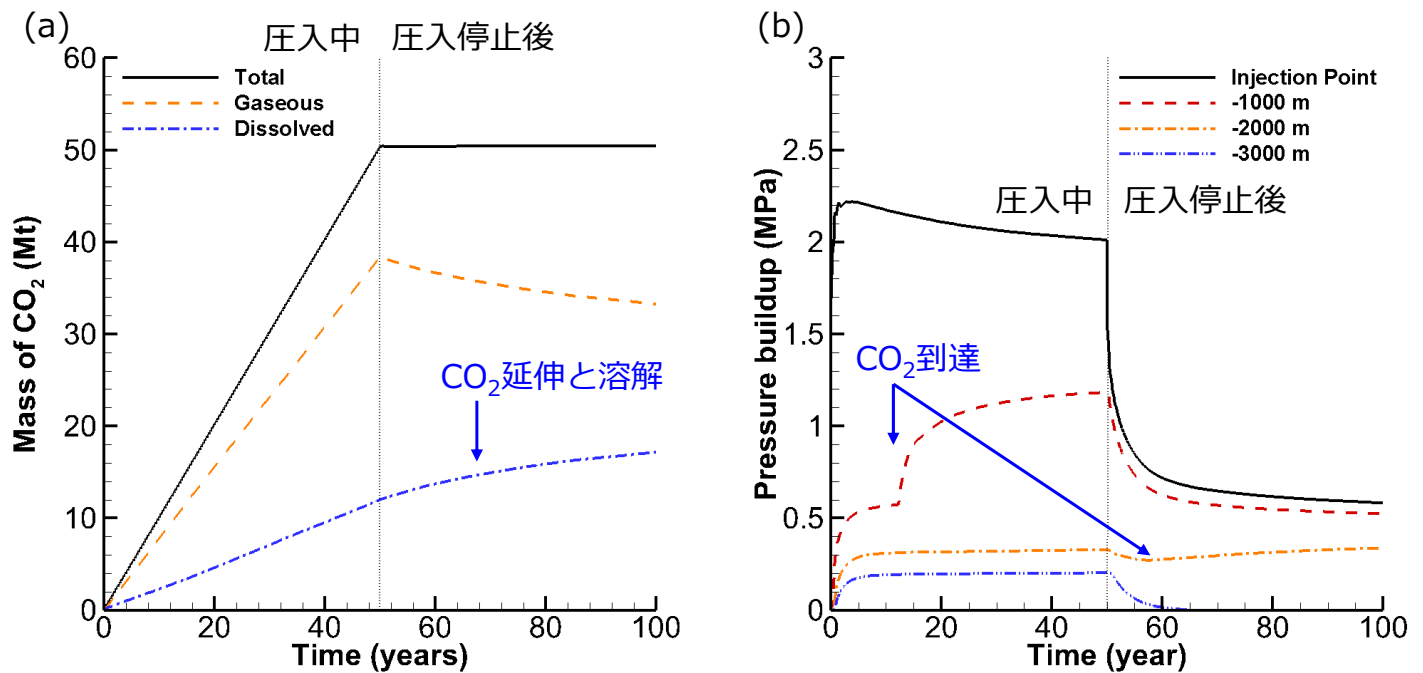
	水平、鉛直浸透率 (mD)	スレッショルド圧 (kPa)	弾性率 (GPa)	剛性率 (GPa)
Reservoir	100, 10	31.6	2.0	2.0
Sandstone	10, 1	100	3.0	3.0
Mudstone, Basement	0.01, 0.01	1,000	7.0	7.0
Muddy Sandstone	10, 1	100	3.0	3.0
Sandy Mudstone	0.1, 0.1	316	5.0	5.0
Quaternary Sediment	100, 10	31.6	2.0	2.0
Fault	200, 200	7.07	1.0	1.0

CO₂地中貯留：流動シミュレーション



無漏洩ケースの(a) 圧入停止時 ($t = 50$ 年) および
(b) $t = 100$ 年におけるCO₂プルーム分布。

CO₂地中貯留：流動シミュレーション

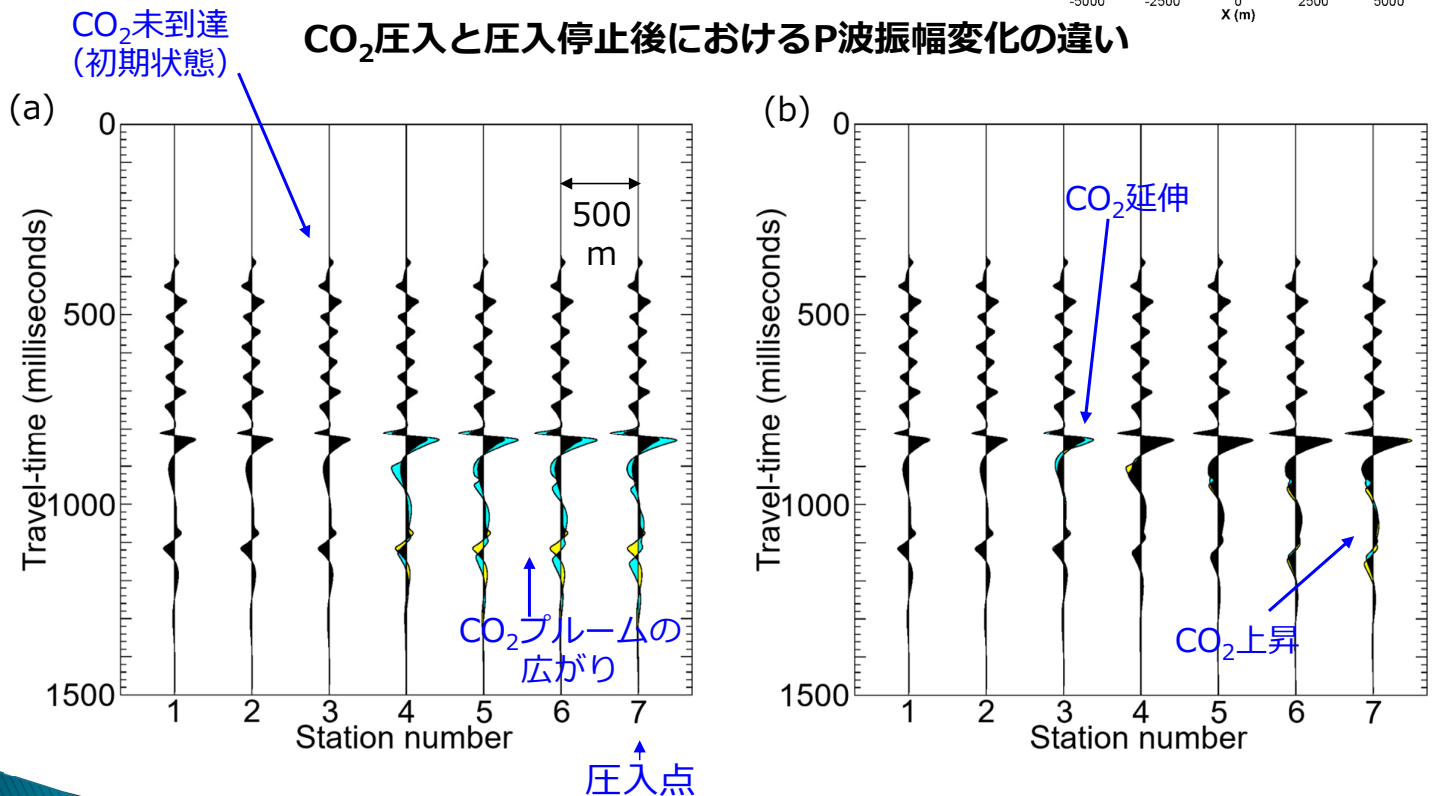
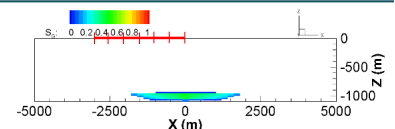


(a) 計算領域中のCO₂各相の質量経時変化および
(b) 貯留層最上部 (Y=0軸上) 各地点における圧力上昇の経時変化

9

弾性波探査：反射法

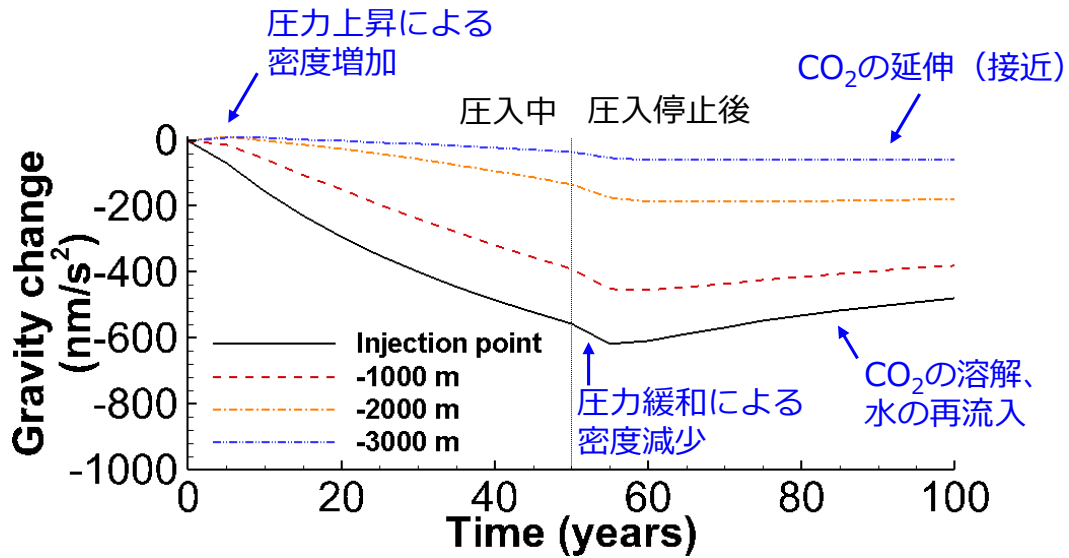
CO₂圧入と圧入停止後におけるP波振幅変化の違い



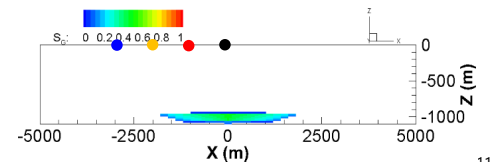
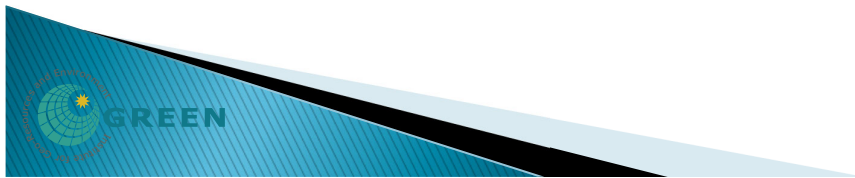
無漏洩ケースにおけるP波振幅の(a) t = 50年 (青) と初期状態 (黄) との差および
(b) t = 100年 (青) とt = 50年 (黄) との差。
測点は500 m間隔でStation 7が圧入点直上。

10

重力：超伝導重力計による定点連続観測

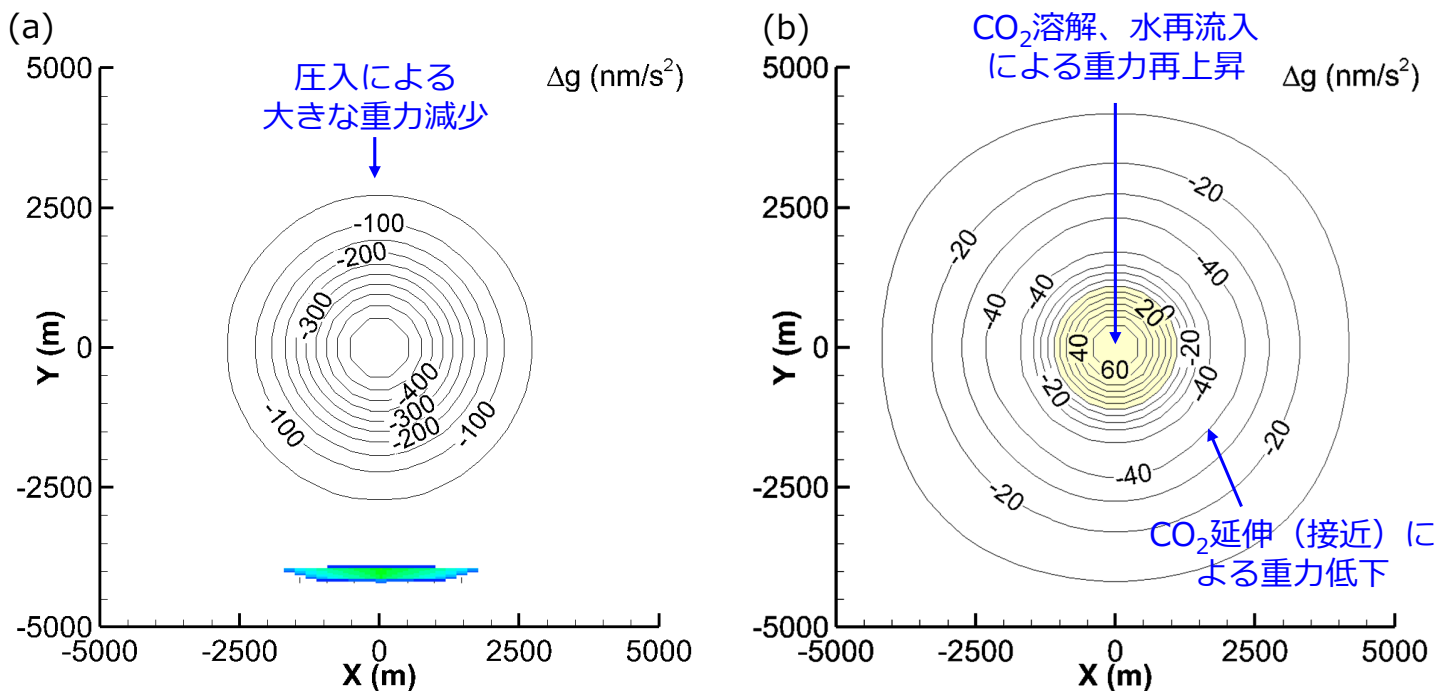


無漏洩ケースにおけるY = 0軸上のX各距離における重力の経時変化
 黒点線は圧入停止時 (t = 50年) を指す。
 (1 nm/s² = 0.1 μGal)

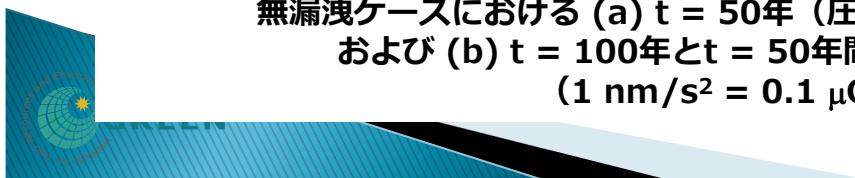


11

重力：可搬型重力計による繰り返し二次元測定

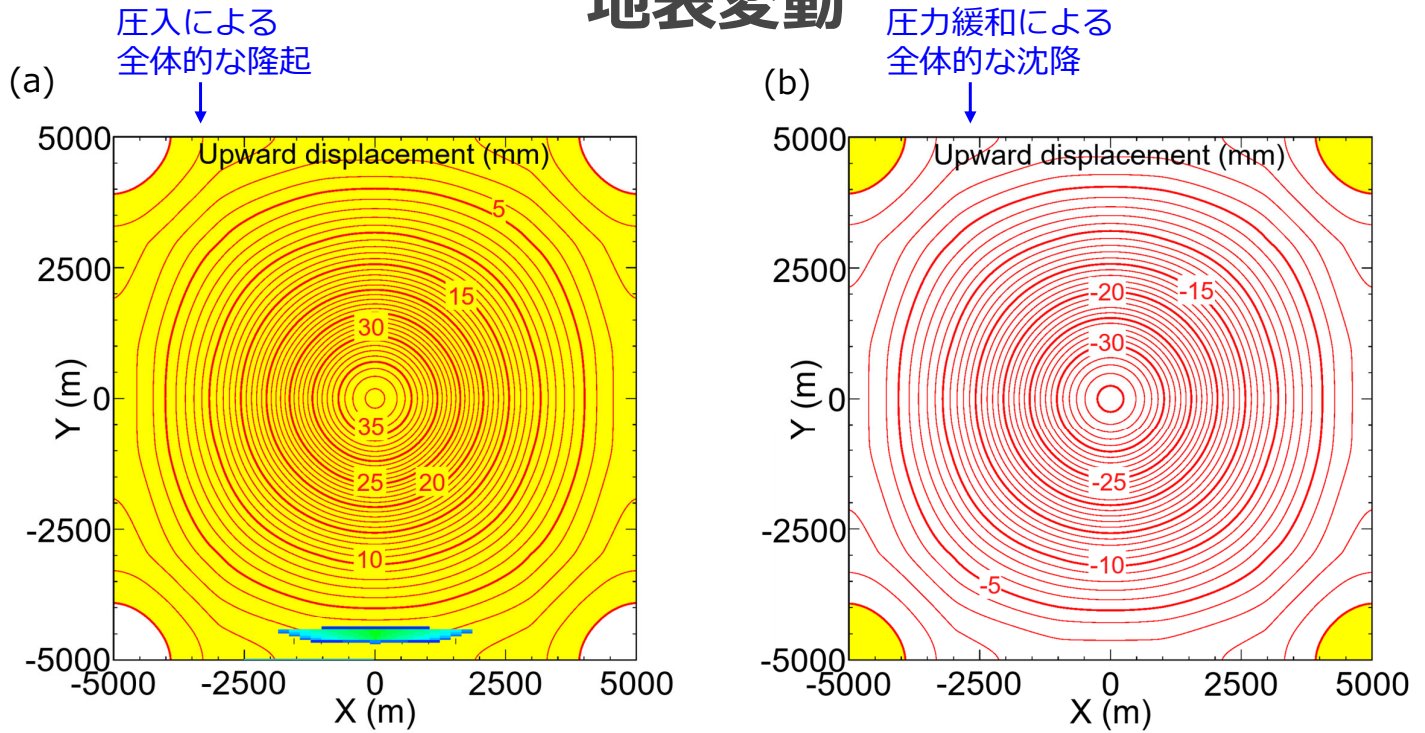


無漏洩ケースにおける (a) t = 50年 (圧入停止時) と初期状態、
 および (b) t = 100年とt = 50年間の重力変化分布。
 (1 nm/s² = 0.1 μGal)



12

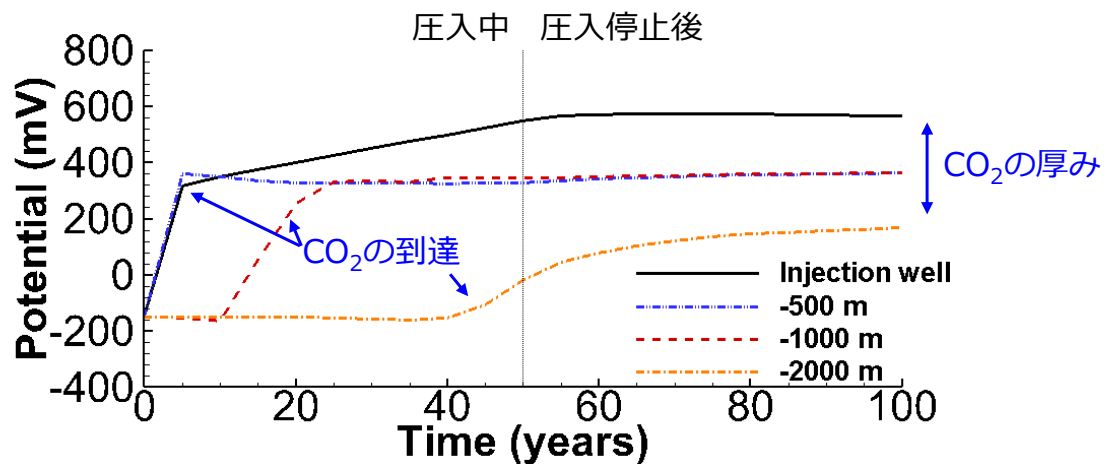
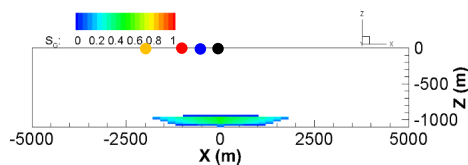
地表変動



無漏洩ケースにおける(a) $t = 50$ 年（圧入停止時）と初期状態および
(b) $t = 100$ 年と $t = 50$ 年間の地表変動分布。

13

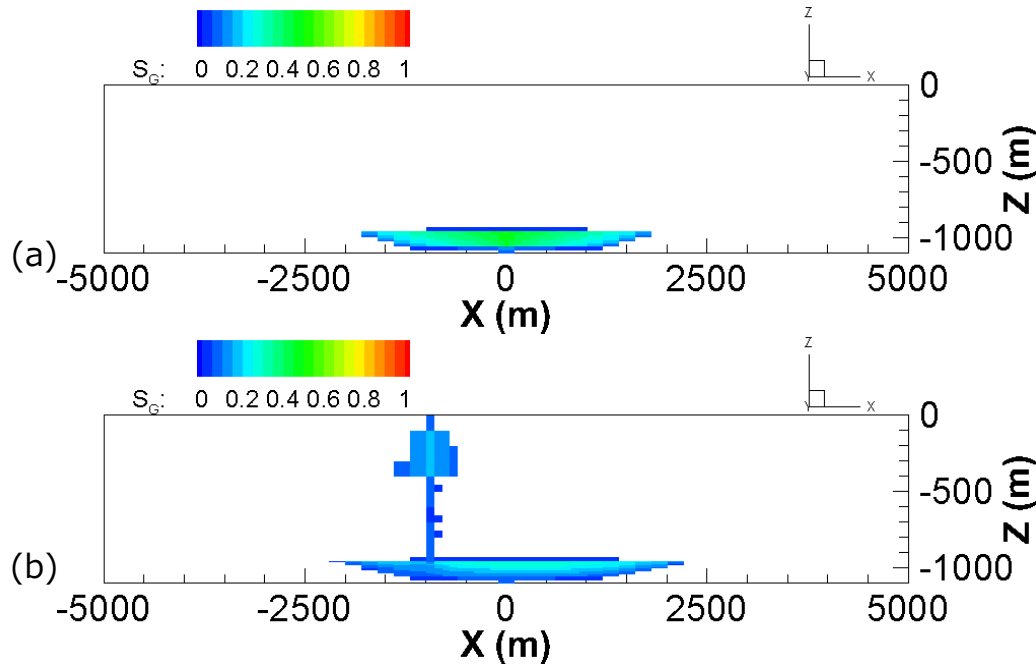
自然電位：坑井電位



圧入井（黒実線、 $X = 0$ ）および
観測井（青破線：-0.5 km、赤一点鎖線：-1 km、橙二点鎖線：-2 km）
における無漏洩ケースの坑井電位経時変化
黒点線は圧入停止時（ $t = 50$ 年）を指す。

14

断層を通じた漏洩：流動シミュレーション

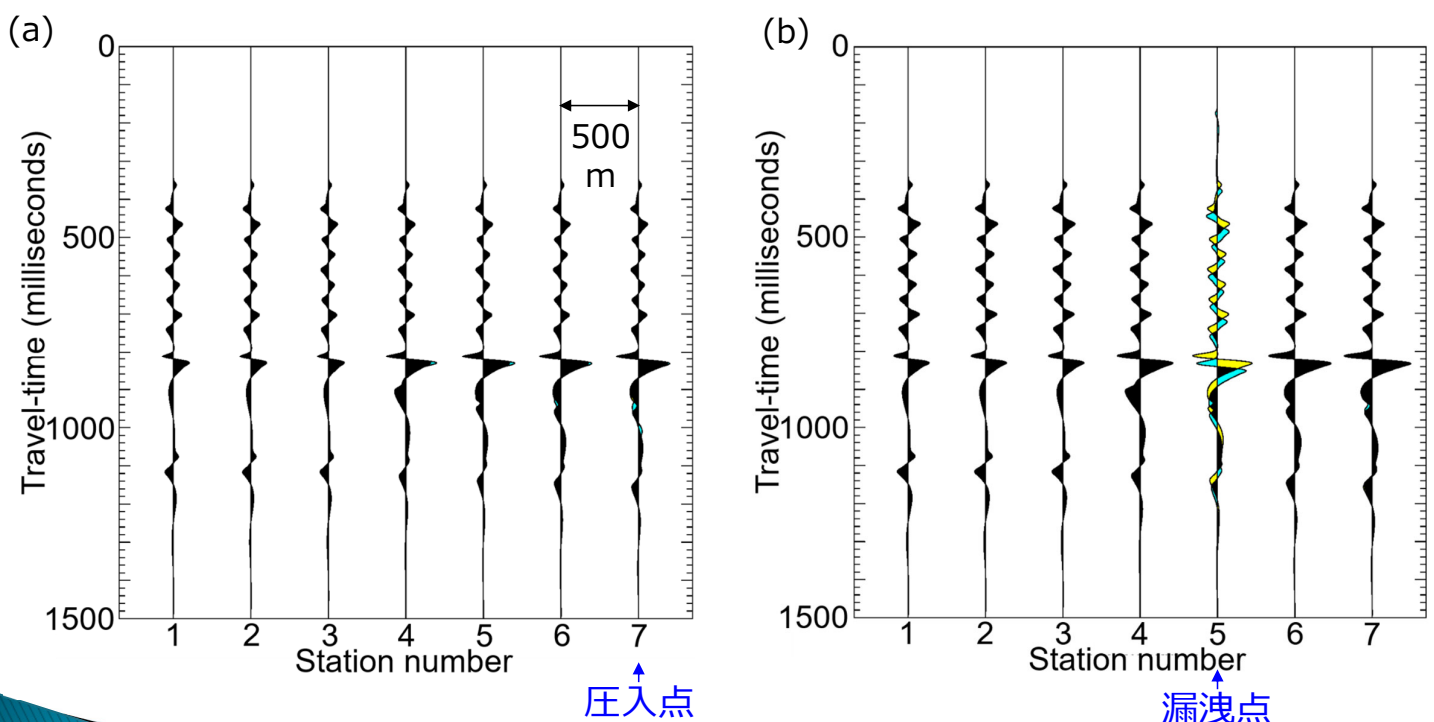


漏洩ケースの(a) 圧入停止／断層開口時 ($t = 50$ 年) および
(b) $t = 100$ 年における CO_2 プルーム分布.

15

弾性波探査：反射法

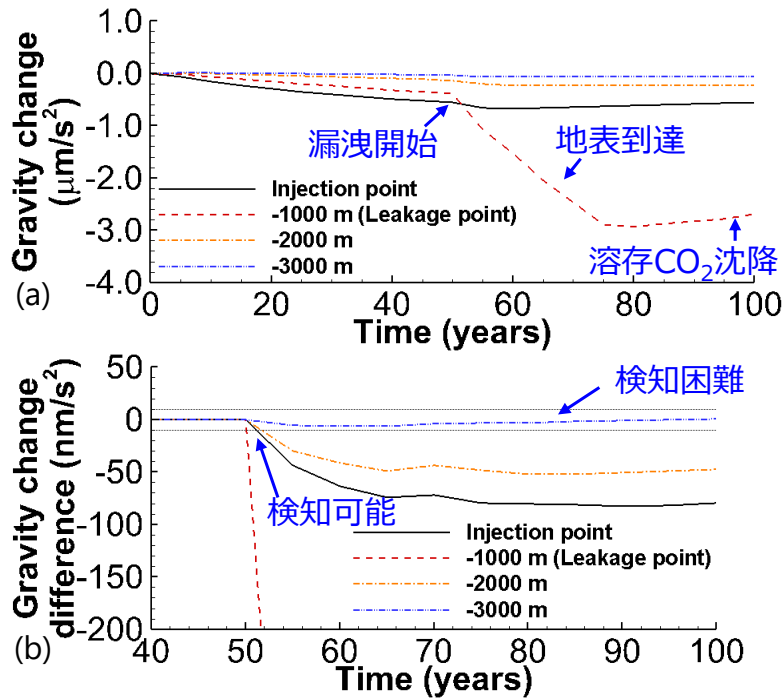
断層開口時とその1年後および5年後におけるP波振幅の違い



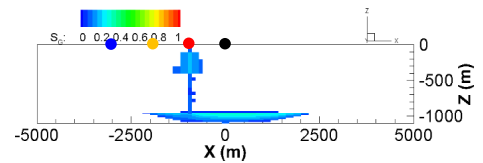
漏洩ケースの (a) $t = 51$ 年および (b) $t = 55$ 年 (青) における
P波振幅の $t = 50$ 年 (黄) との差. 測点は500 m間隔でStation 5が漏洩点直上.

16

重力：超伝導重力計による定点連続観測



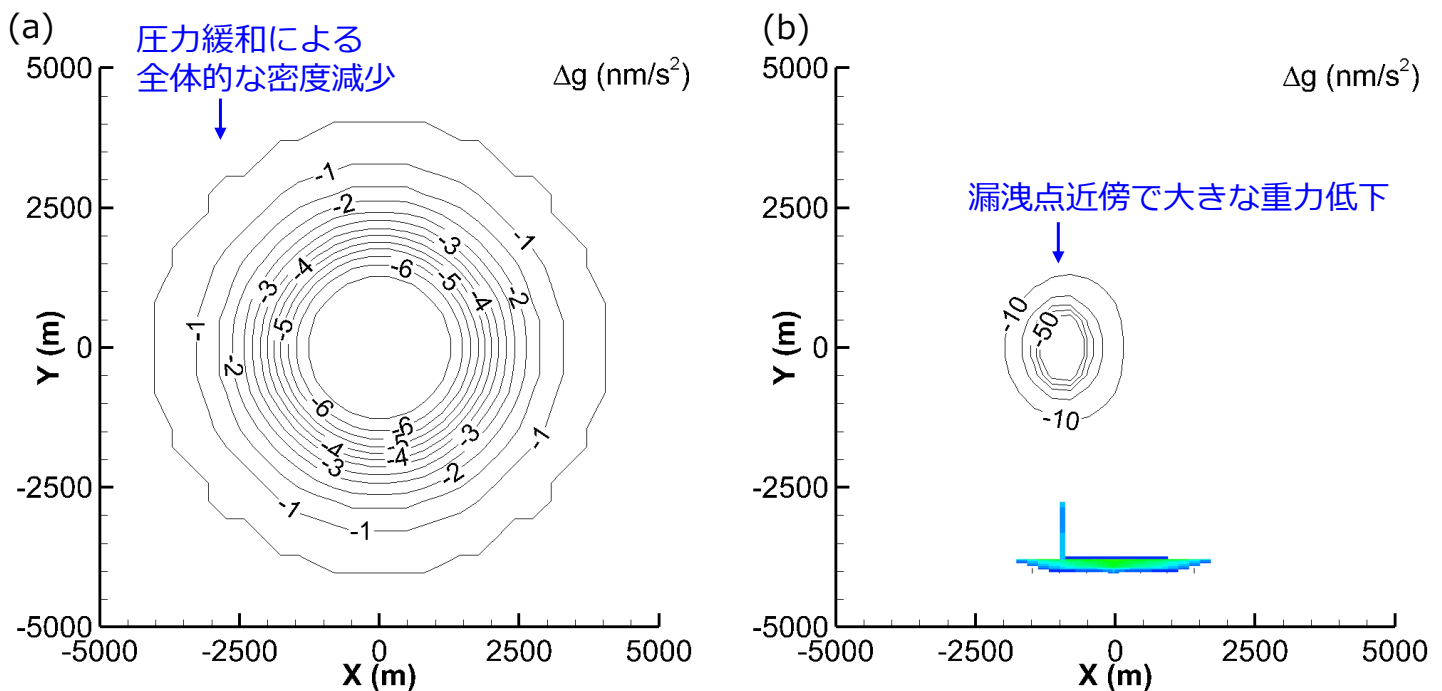
- 漏洩点直上は直ちに、1 km離れた先でも数年以内に異常が検知可能。特に圧入点は変化が大きい。
- 2 km遠では差が小さく検知は難しい。



漏洩ケースにおけるY = 0軸上各距離の
(a) 重力経時変化および(b) 無漏洩時との。
縦軸・横軸共にスケールが違うことに留意。

17

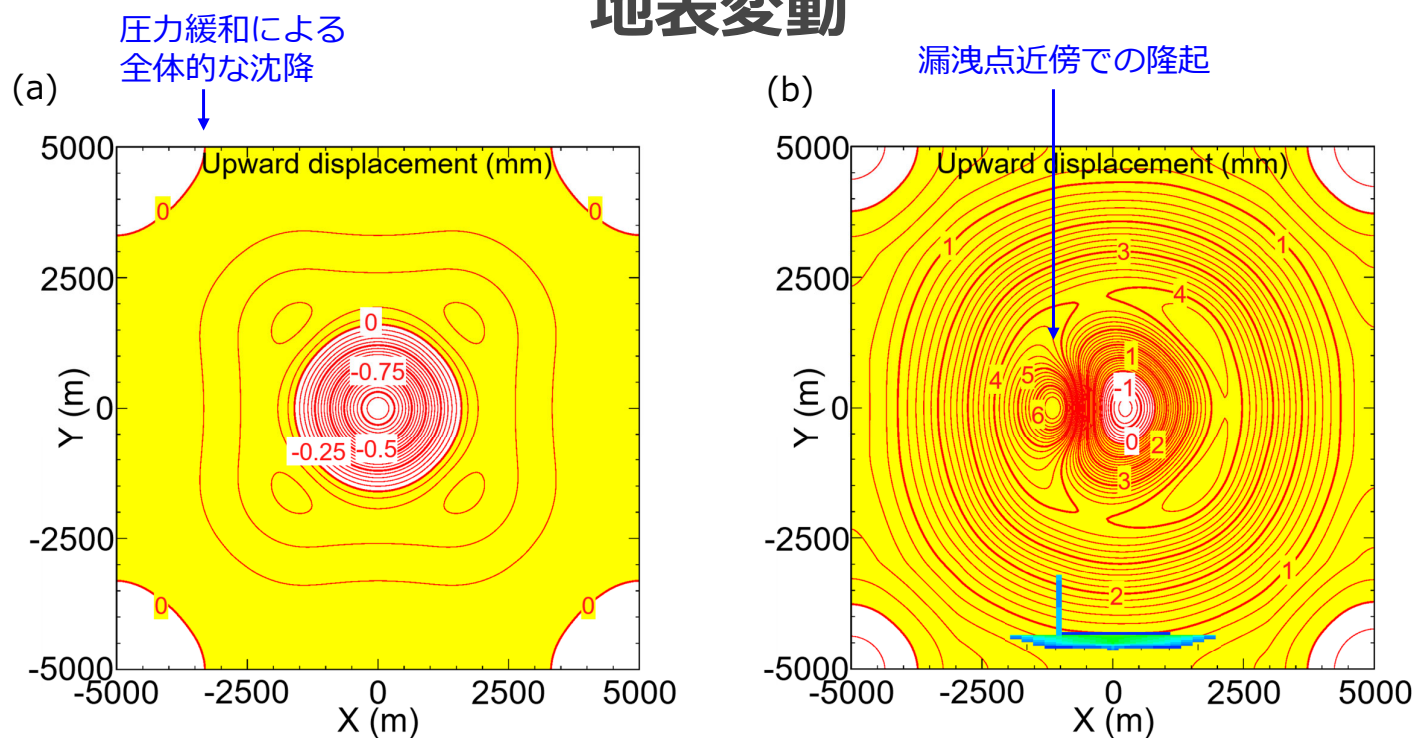
重力：可搬型重力計による繰り返し二次元測定



(a) 無漏洩ケースおよび (b) 漏洩ケースにおける
t = 50年とt = 51年間の二次元重力変化分布。

18

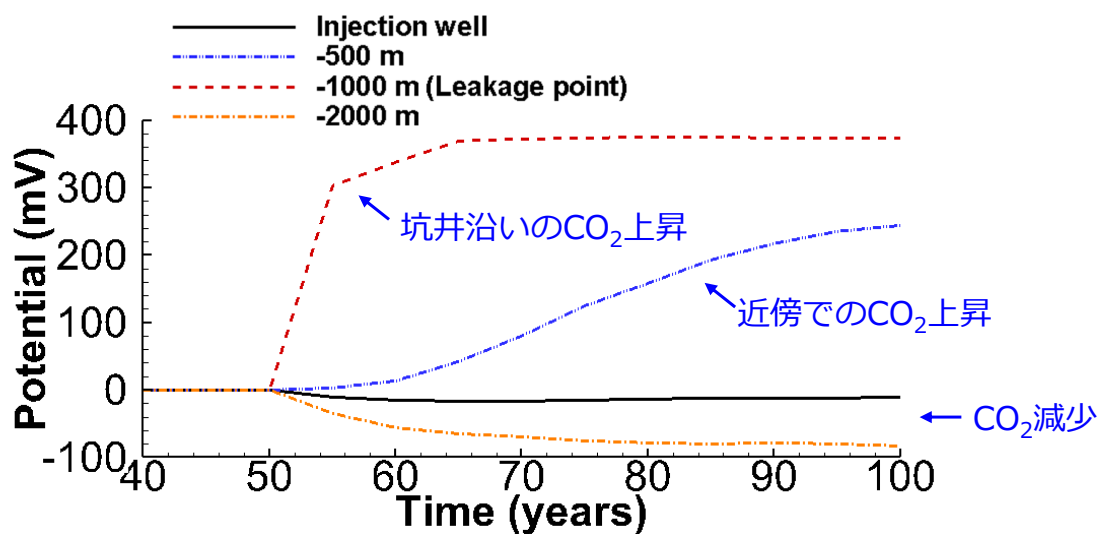
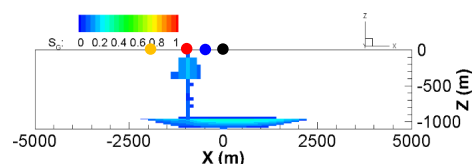
地表変動



(a) 無漏洩ケースおよび (b) 漏洩ケースにおける
t = 50年とt = 51年間の地表変動分布。

19

自然電位：坑井電位



圧入井（黒実線、X = 0）および
観測井（青破線：-0.5 km、赤一点鎖線：-1 km、橙二点鎖線：-2 km）
における無漏洩ケースと漏洩ケースの坑井電位経時変化の差

20

貯留層モニタリング設計

- 圧入停止後のCO₂は異常が発生しなければ、移動やそれに伴う地球物理学的応答の変化は限定的.
- 弾性波探査は2・3次元的にブルーム形状を把握でき、また多様なサイト条件に適用可能.
- 定点重力や坑井電位の連続観測は配置に制限がある一方、一定範囲での漏洩の可能性を非常に早期に検知できる.
- 連続観測による漏洩可能性を検知した場合、二次元の重力や地表変動計測は漏洩箇所を早期に特定できる可能性がある.
- サイト・圧入条件に合わせ、低コストな連続観測手法と異常を検知した時の詳細なモニタリングのプランニングが重要.

