



JAEA-Data/Code

2021-009

DOI:10.11484/jaea-data-code-2021-009

# 幌延深地層研究計画における 広域スケールを対象とした地質構造モデルの更新

Update on the Regional-scale 3D Geological Model  
in the Horonobe Underground Research Laboratory Project

酒井 利啓 石井 英一

Toshihiro SAKAI and Eiichi ISHII

核燃料・バックエンド研究開発部門

幌延深地層研究センター

深地層研究部

Horonobe Underground Research Department

Horonobe Underground Research Center

Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development

August 2021

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課  
〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Even if the results of this report (include data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

幌延深地層研究計画における広域スケールを対象とした地質構造モデルの更新

日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門  
幌延深地層研究センター 深地層研究部

酒井 利啓<sup>\*</sup>，石井 英一

(2021年6月21日受理)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構では、高レベル放射性廃棄物の地層処分のための技術基盤の整備と、深部地質環境に関する科学的知見を得ることを目的として、堆積岩を対象とした幌延深地層研究計画を北海道幌延町において進めている。

本計画において 2018 年度までに構築された広域スケールの三次元地質構造モデルとその数値データは、2019 年に JAEA-Data/Code 2019-007 として取りまとめられた。本報告書では、その後に得られた地下施設周辺の稚内層浅部に関する知見を加え、幌延深地層研究センターを含む約 6 km 四方の領域に対して地質構造モデルを更新した。

Update on the Regional-scale 3D Geological Model in the Horonobe Underground  
Research Laboratory Project

Toshihiro SAKAI<sup>※</sup> and Eiichi ISHII

Horonobe Underground Research Department  
Horonobe Underground Research Center  
Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development  
Japan Atomic Energy Agency  
Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido

(Received June 21, 2021)

Japan Atomic Energy Agency is performing the Horonobe Underground Research Laboratory Project, which includes a scientific study of the deep geological environment as a basis of research and development for the geological disposal of high level radioactive wastes, in order to establish comprehensive techniques for the investigation, analysis and assessment of the deep geological environment in the sedimentary rock.

The numerical data of 3D geological model in regional-scale was compiled in 2019 as JAEA-Data/Code 2019-007, and then this report updates a part of the numerical data of 3D geological model around the underground facilities.

Keywords: Horonobe URL Project, 3D Geologic Structure Model, 3D-PDF

---

※ Collaborating Engineer

目 次

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1. はじめに .....                | 1  |
| 2. 地質構造モデルの更新内容 .....        | 3  |
| 3. 地質構造モデルの構築・更新結果 .....     | 5  |
| 参考文献 .....                   | 8  |
| 付録 .....                     | 9  |
| 付録 1. 3D-PDF ファイル .....      | 9  |
| 付録 2. 地層・断層面の数値データファイル ..... | 13 |

Contents

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction .....                        | 1  |
| 2. Updating points of geological model ..... | 3  |
| 3. Updated geological model .....            | 5  |
| References .....                             | 8  |
| Appendix .....                               | 9  |
| Appendix 1. 3D-PDF files .....               | 9  |
| Appendix 2. Numerical data files .....       | 13 |

This is a blank page.

## 1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が北海道幌延町で実施している幌延深地層研究計画における調査研究は、地下施設の建設工程や研究開発課題の内容、実施時期の違いから「第1段階：地上からの調査研究段階」、「第2段階：坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階」、「第3段階：地下施設での調査研究段階」の3段階に分けて実施している。2020年度からは、令和2年度以降の幌延深地層研究計画として3つの課題に取り組んでいる<sup>1)</sup>。

幌延地域を含む広域スケールを対象とした三次元地質構造モデルは、第1段階の調査研究結果に基づき三次元地質構造モデルの構築ソフトウェア Vulcan™ (Maptek 社)<sup>2)</sup> を用いて構築し、その後の調査研究を踏まえて更新してきた。2018年度までに構築・更新した三次元地質構造モデルとその数値データは、2019年にデータ集として取りまとめられた<sup>3)</sup>。

第2段階以降の調査研究により、幌延深地層研究センター近傍に分布する大曲断層周辺の稚内層浅部には高透水性の割れ目が形成・発達しており<sup>4-6)</sup>、高透水領域の概念がまとめられた<sup>6-7)</sup>。広域スケールを対象とした地質構造モデルを構築する際、高透水領域である稚内層浅部はこの概念に基づいて地表からの深度により区分し、モデル化<sup>3)</sup>していたが、地下施設周辺においてその浅部と深部との境界深度の推測には不確実な点があった。このため検討を進めた結果、稚内層浅部と稚内層深部の境界から深度方向に100mほどの領域に、割れ目の水理的連結性が高い部分と低い部分が共存する遷移領域を仮定することで各種観測データを統一的に説明できることがわかった<sup>8)</sup>。

稚内層浅部に関連してこのような知見が得られたことから、本報告書では幌延深地層研究センターおよびモデル更新に用いたボーリング孔を含む約6km四方をモデル化領域とし（図1-1、図1-2）、稚内層浅部基底面モデルを更新し、稚内層深部上部に遷移領域基底面モデルを追加して2021R\_Modelを構築した。

また、2019年のデータ集<sup>3)</sup>で示した地質構造モデル（2008R\_Model、2018R\_Model）の補足資料として、地質断面図を加えた3D-PDFファイルを付録CD-ROMに添付する。

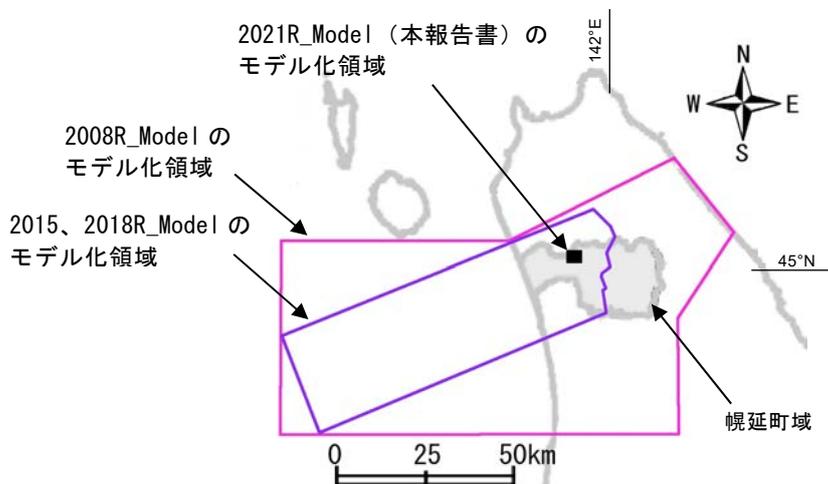


図 1-1 2019年のデータ集<sup>3)</sup>と本報告書におけるモデル化領域

(海岸線および幌延町域データは国土地理院の基盤地図情報のダウンロードデータを参考に作成)

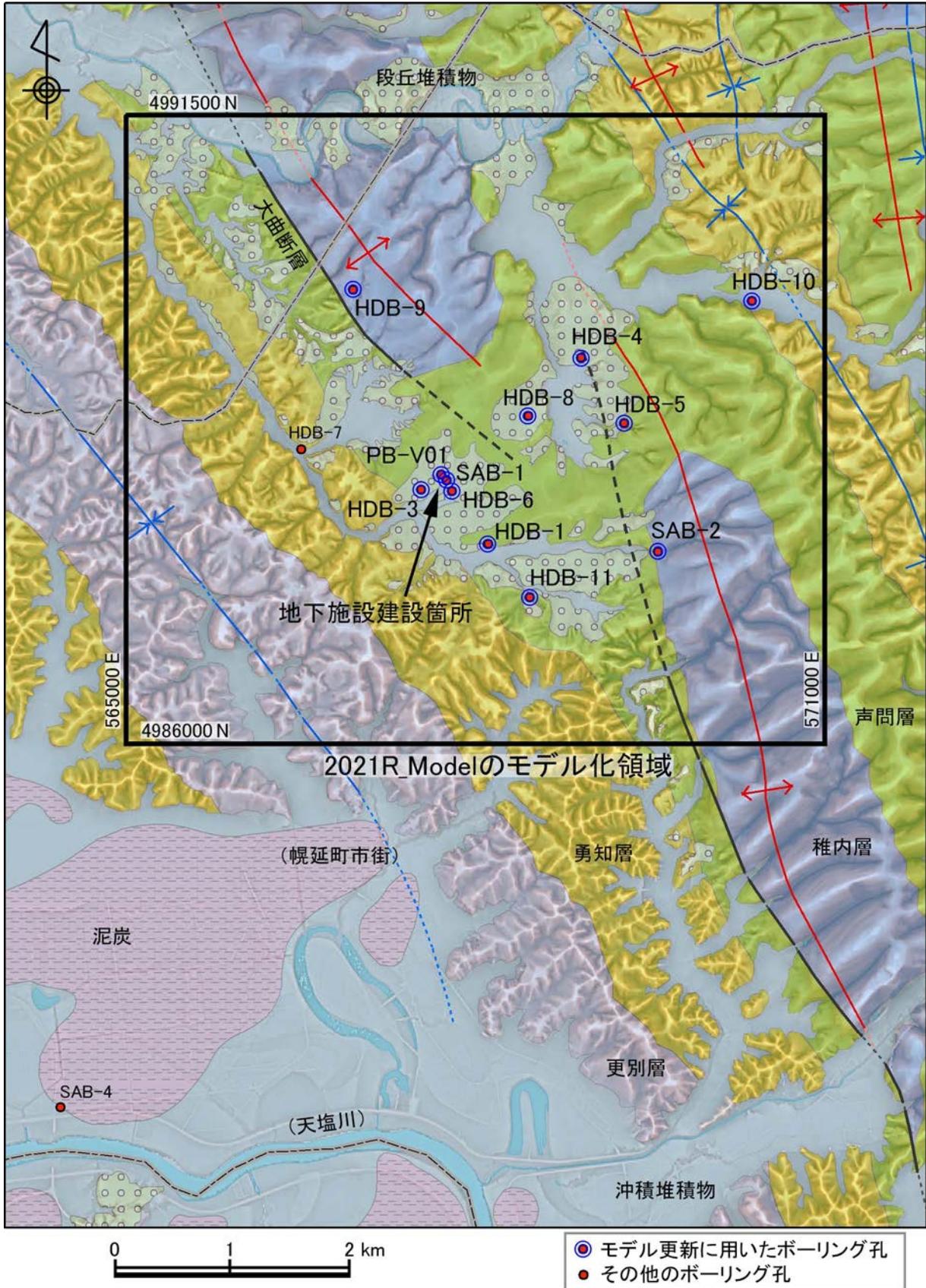


図 1-2 2021R\_model のモデル化領域とモデル更新に用いたボーリング孔の位置  
 (地形・地質図は酒井・松岡 (2015)<sup>9)</sup>、領域の数値は WGS84 UTM 座標系 54 帯北による座標値)

## 2. 地質構造モデルの更新内容

1 章で述べた稚内層浅部と深部の違いは、稚内層中の割れ目の水理的連結性について DI (Ductility index : 岩盤にかかる平均有効応力をその健岩部の引張応力で除した値) の概念と透水試験・水圧観測・水質分析結果を組み合わせ示したものである<sup>10-11)</sup>。

具体的には、広域スケールを対象とした地質構造モデル (2015R\_Model、2018R\_Model)<sup>3)</sup> を構築する際の稚内層浅部と深部の境界は、分布している稚内層の中で地表からの深度による 3 つの面で区分する概念モデル<sup>7)</sup> によった (図 2-1)。このとき、本地域内の DI=2 の深度を決定するのに応力分布を一様に扱う経験式<sup>6)</sup> を用いた。すなわち声問層と稚内層の境界面から 50 m の層準を遷移帯上部、同じく 50~200 m の層準を遷移帯下部とし、それぞれの領域内で DI=2 となる深度 (遷移帯上部は地表からの深度 564 m、遷移帯下部は地表からの深度 462 m) を求め、それを稚内層浅部の基底面とした。また、声問層と稚内層の境界面から 200 m 以上深く、地表からの深度が 385 m の面を稚内層浅部の基底面とした<sup>7)</sup>。

一方、立坑の掘削と近傍のボーリング孔での水圧応答観測結果について検討すると、この概念では十分な整合性がとれていなかった。このため既存データの見直しと解析を行った結果、稚内層浅部と稚内層深部の境界面 (DI=2 の深度) から深度方向に 100 m 程度、割れ目の水理的連結性が高い部分と低い部分が共存する遷移領域を仮定することにより、得られているデータを統一的に説明できることが分かった<sup>8)</sup> (図 2-2)。この割れ目の水理的連結性に関する検討では、本地域内の応力分布の不均質性を考慮した経験式<sup>12)</sup> を用いた<sup>10)</sup>。

以上を総合し、新たに仮定した遷移領域を 2019 年度にとりまとめた地質構造モデルに加え

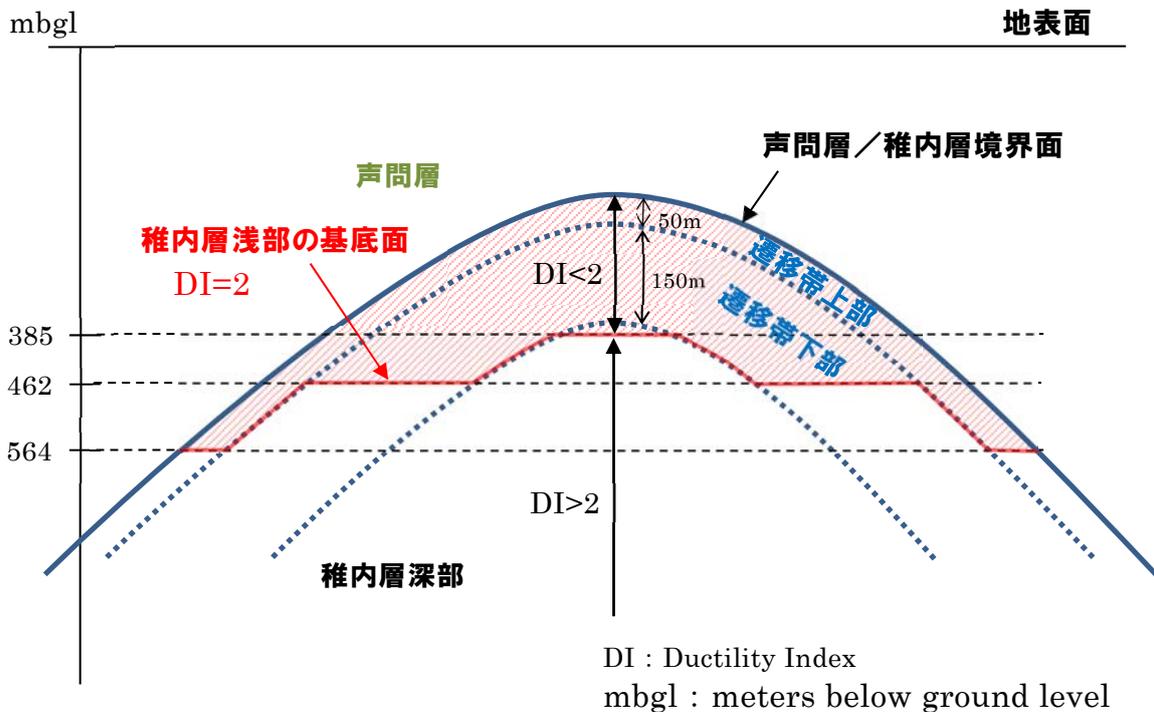


図 2-1 既往の稚内層浅部 (高透水領域)・遷移帯の概念<sup>7)</sup>

るとともに、DI=2 の深度面についても本地域内の応力分布の不均質性を考慮した経験式<sup>12)</sup>を用いて更新する必要がある。このため、同経験式に基づき、表 2-1 に示すようにボーリング孔を4つのグループに分類し、グループごとのエリアで稚内層浅部の基底面深度を設定した(図 2-2 の A~C 面深度)<sup>10)</sup>。

2021R\_Model の構築にあたっては、幌延深地層研究センターを含む約 6 km 四方の領域における稚内層に対して、最初に4つのエリアごとに DI=2 となる深度に稚内層浅部基底面を求めた。次にそれぞれのエリアの間は、大曲断層をまたぐ場合は断層部で落差があるままとし、それ以外では急激な落差とならないように接合することで、ひとつの稚内層浅部基底面モデルとした。

さらに、遷移領域基底面はこの稚内層浅部基底面から深度方向に 100 m 下方に推定された<sup>8)</sup>ことから、新たに遷移領域基底面モデルとして加えた。

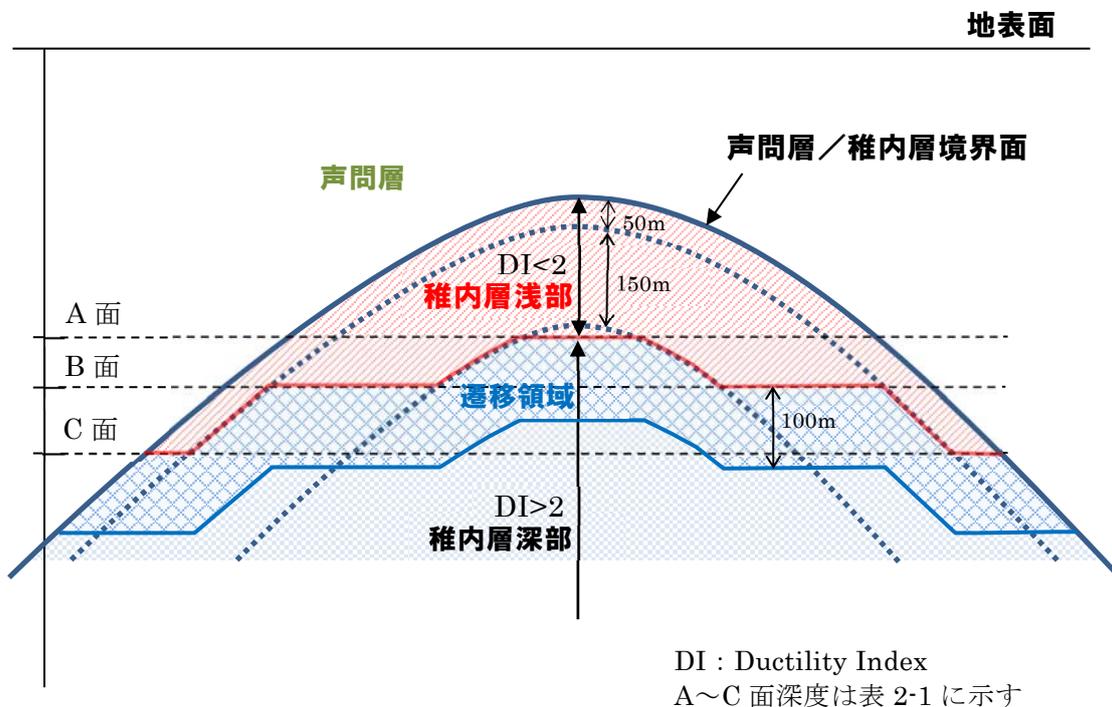


図 2-2 再検討された稚内層浅部（高透水領域）・遷移領域の概念<sup>8)</sup>

表 2-1 稚内層浅部の基底面深度 (mbgl)<sup>10)</sup>

| グループ                                  | A 面 | B 面 | C 面 |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|
| HDB-1, HDB-3, HDB-6,<br>PB-V01, SAB-1 | 316 | 379 | 463 |
| HDB-4, HDB-5, HDB-8,<br>HDB-10, SAB-2 | 411 | 493 | 603 |
| HDB-9                                 | 323 | 387 | 473 |
| HDB-11                                | 545 | 655 | 800 |

mbgl : meters below ground level

### 3. 地質構造モデルの構築・更新結果

更新した 2021R\_Model の全体図を、南東上空から見た鳥瞰図として図 3-1 に示す。この図では断面がわかるよう、南東角部分を削除している。更新の対象は、稚内層浅部基底面と遷移領域基底面である。2021R\_Model の 3D-PDF ファイル『geomodel2021.pdf』を付録 1 に、この領域内の全地層基底面と断層面の数値データをテキストファイルで付録 2 に添付する。

更新した状況を比較して見るため、更新前の 2018R\_Model と更新した 2021R\_Model の稚内層浅部基底面の分布を図 3-2 に、さらに同様に地下施設付近を拡大したものを図 3-3 に示す。大曲断層より西側で HDB-1 孔より北側は、2021R\_Model では稚内層浅部基底面は浅くなり、HDB-11 孔付近は深くなっている。大曲断層より東側は、HDB-9 孔付近は浅くなり、それ以外は若干深くなっている。

なお、付録 1 に示すように三次元の可視化ファイルである 3D-PDF ファイルで閲覧すると図 3-2、図 3-3 は違いが一目瞭然となるので、紙面と見比べてご参照いただきたい。

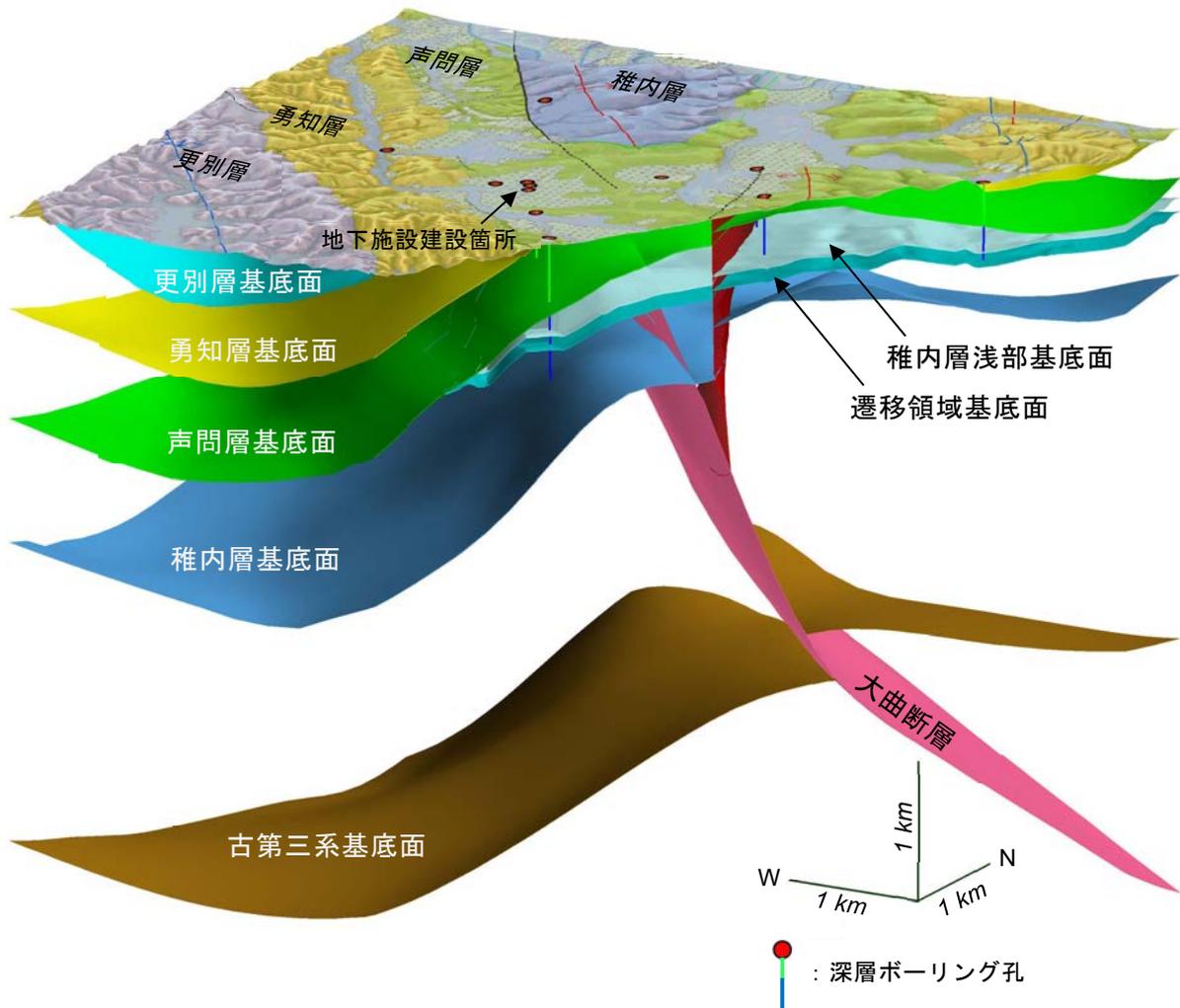
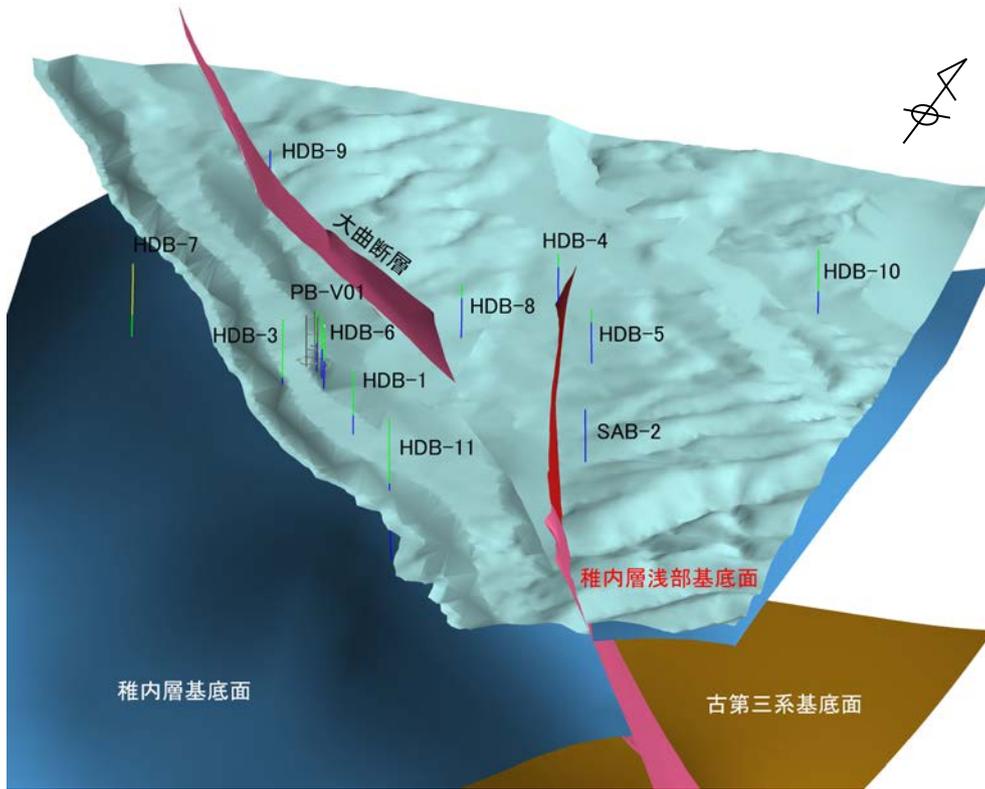
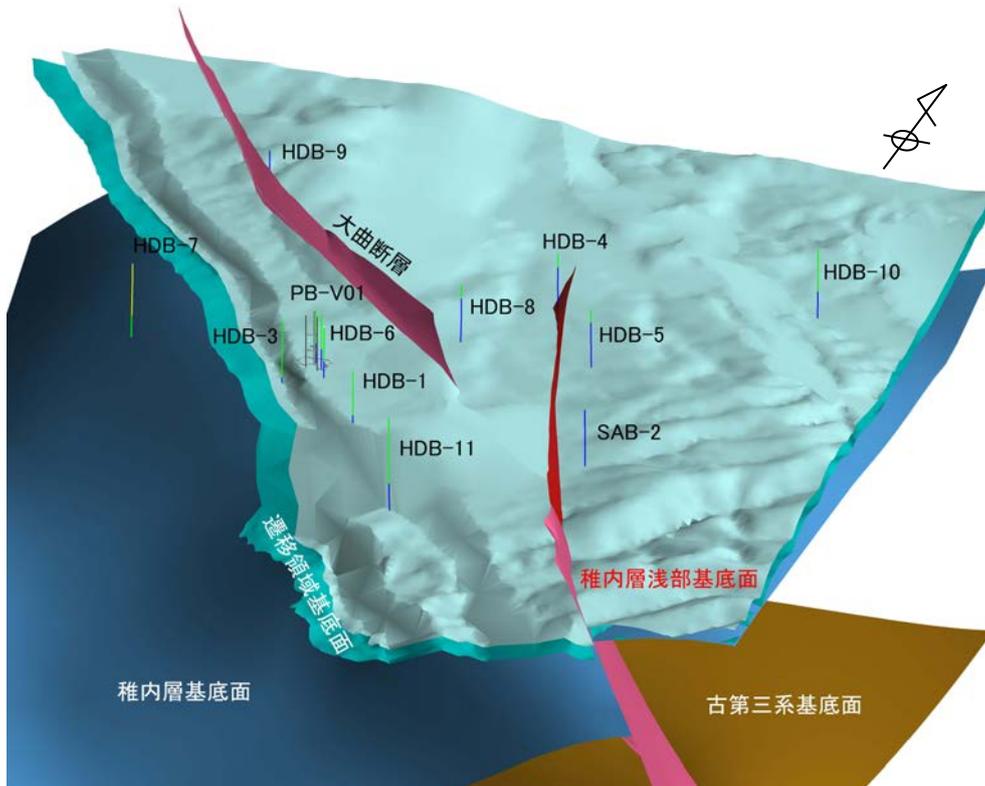


図 3-1 更新した地質構造モデル (2021R\_Model) (地質図は酒井・松岡 (2015) <sup>9)</sup> (S29°W 方向から俯角 17°で見下ろした鳥瞰図)

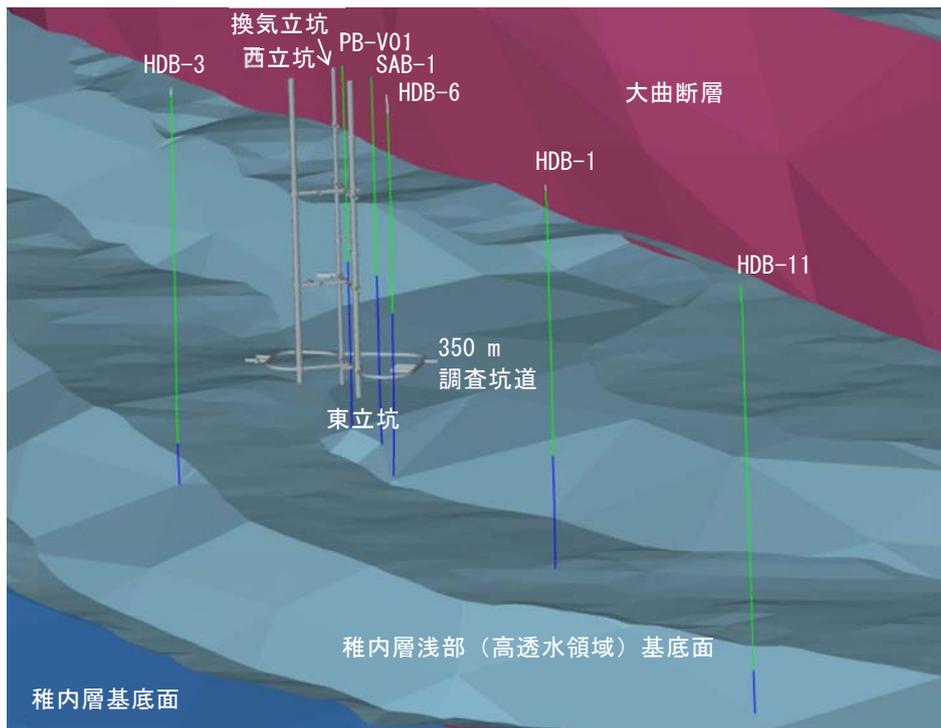


2018R\_Model (『geomodel2021.pdf』ファイルの“稚内層浅部 2018R\_Model”ビュー参照)

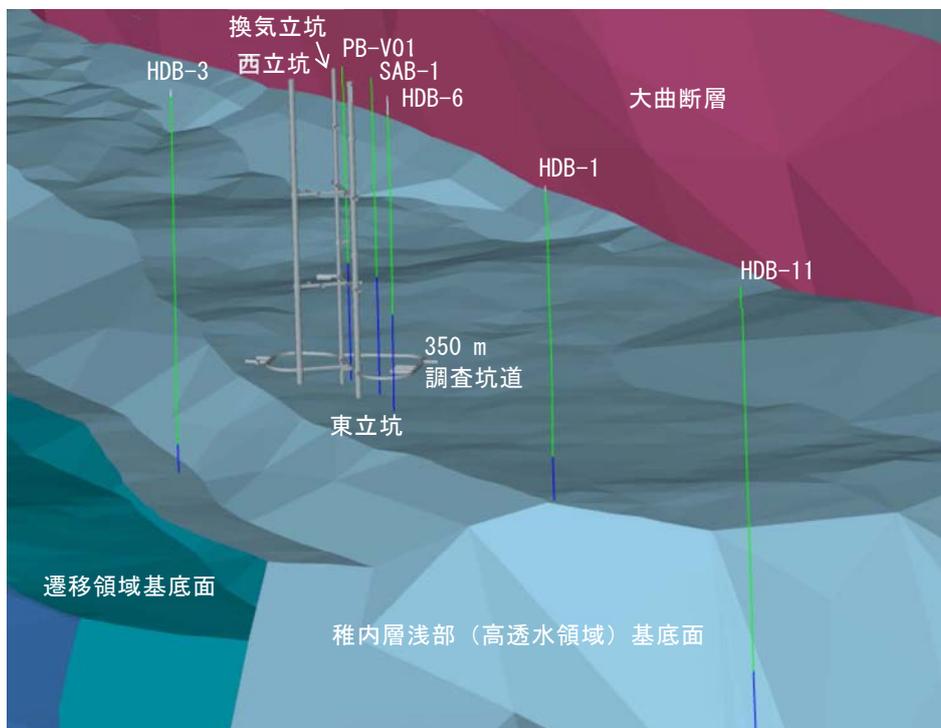


2021R\_Model (『geomodel2021.pdf』ファイルの“稚内層浅部 2021R\_Model”ビュー参照)  
2018R\_Modelにはなかった遷移領域基底面モデルが加わっている

図 3-2 稚内層浅部基底面の分布  
(S16°W 方向から俯角 32°で見下ろした鳥瞰図)



2018R\_Model (『geomodel2021.pdf』ファイルの“地下施設 2018R\_Model”ビュー参照)



2021R\_Model (『geomodel2021.pdf』ファイルの“地下施設 2021R\_Model”ビュー参照)

2018R\_Model にはなかった遷移領域基底面モデルが加わっている

図 3-3 地下施設近傍の稚内層浅部基底面の分布  
(S15°W 方向から俯角 13°で見下ろした鳥瞰図)

## 参考文献

- 1) 中山 雅, 雑賀 敦 (編) : “幌延深地層研究計画 令和 2 年度調査研究計画”, JAEA-Review 2020-022, 2020, 34p.
- 2) Maptek : “Maptek Vulcan™”, <https://www.maptek.com/products/vulcan/>, (参照 2021 年 6 月 4 日) .
- 3) 酒井利啓, 松岡稔幸 : “幌延深地層研究計画における広域スケールを対象とした地質構造モデルの構築データ集”, JAEA-Data/Code 2019-007, 2019, 29p.
- 4) Ishii, E., Funaki, H., Tokiwa, T. and Ota, K. : “Relationship between fault growth mechanism and permeability variations with depth of siliceous mudstones in northern Hokkaido, Japan” , Journal of Structural Geology, 32 (11), 2010, pp.1792-1805, doi:10.1016/j.jsg.2009.10.012.
- 5) Ishii, E., Sanada, H., Funaki, H., Sugita, Y. and Kurikami, H. : “The relationships among brittleness, deformation behavior, and transport properties in mudstones: An example from the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan” , Journal of Geophysical Research, 116 (B9), 2011, pp.B09206\_1-B09206\_15, doi:10.1029/2011JB008279.
- 6) Ishii, E. : “Predictions of the highest potential transmissivity of fractures in fault zones from rock rheology : Preliminary results” , Journal of Geophysical Research, 120 (4), 2015, pp.2220-2241, doi:10.1002/2014JB011756.
- 7) 日本原子力研究開発機構 : “平成 27 年度地層処分技術調査等事業地質環境長期安定性評価 確証技術開発報告書”, 2016, pp.47-67, [https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/rw/library/2015/27fy\\_tyoukianteisei-1.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/2015/27fy_tyoukianteisei-1.pdf), (参照 2021 年 6 月 4 日) .
- 8) 中山 雅 (編) : “幌延深地層研究計画 令和 3 年度調査研究計画”, JAEA-Review 2021-009, 2021, 54p.
- 9) 酒井利啓, 松岡稔幸 : “幌延地域を対象とした地表踏査および地形データにもとづく地質分布の推定”, JAEA-Research 2015-004, 2015, 109p.
- 10) Ishii, E. : “Assessment of hydraulic connectivity of fractures in mudstones by single-borehole investigations” , Water Resources Research, 54 (5), 2018, pp.3335-3356, doi:10.1029/2018WR022556.
- 11) 雑賀 敦 (編) : “幌延深地層研究計画 平成 30 年度調査研究成果報告”, JAEA-Review 2019-018, 2020, 122p.
- 12) Ishii, E. : “Estimation of the highest potential transmissivity of discrete shear fractures using the ductility index” , International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 100, 2017, pp.10-22, doi:10.1016/j.ijrmms.2017.10.017.

付録

付録 1. 3D-PDF ファイル

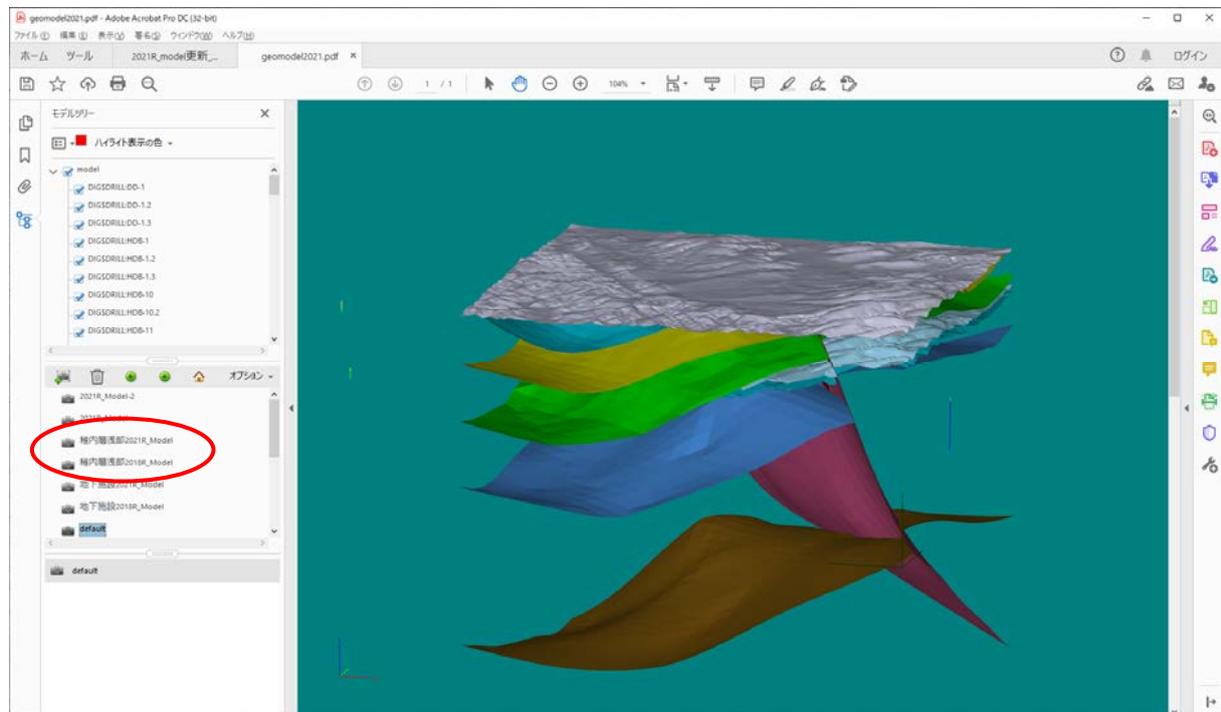
本文に鳥瞰図で示した地質構造モデルを、3D-PDF ファイルとして付録 CD-ROM に添付する。添付するファイルリストを付表 1 に示す。

『geomodel2021.pdf』には 2021R\_Model と、比較できるように 2018R\_Model の稚内層浅部基底面を格納している（付図 1）。左中段欄カメラアイコン（ビュー：付図 1 ○ 箇所）の“稚内層浅部 2021R\_Model”と“稚内層浅部 2018R\_Model”をクリックして切り替えると、その違いがわかりやすい。

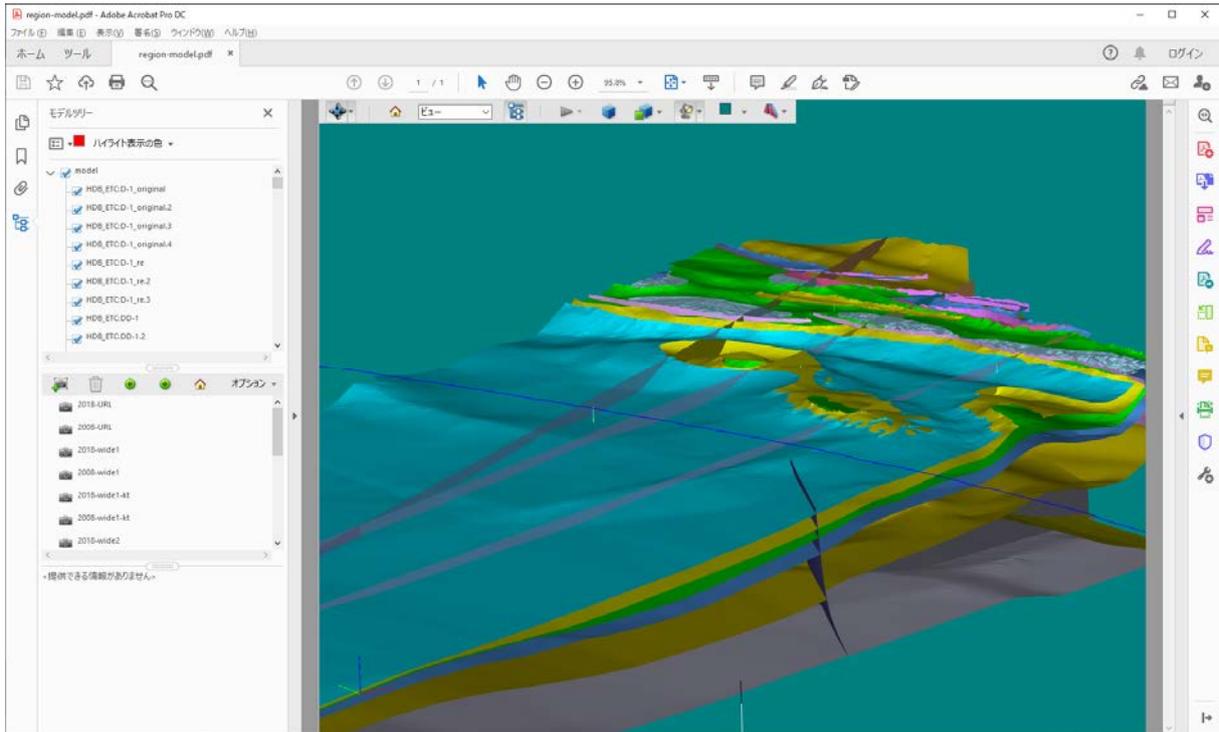
『region-model.pdf』には 2019 年のデータ集<sup>3)</sup>で示した広域スケールの 2008R\_Model と 2018R\_Model を格納し、さらに 3 つの測線における地質断面図を追加した（付図 2）。3D-PDF ファイルには断面表示機能があり、3 つの測線に沿った断面表示ビューを設定した。その中で、“2018\_M 測線断面”ビューにより表示した例を付図 3 に示す。

付表 1 3D-PDF ファイルリスト

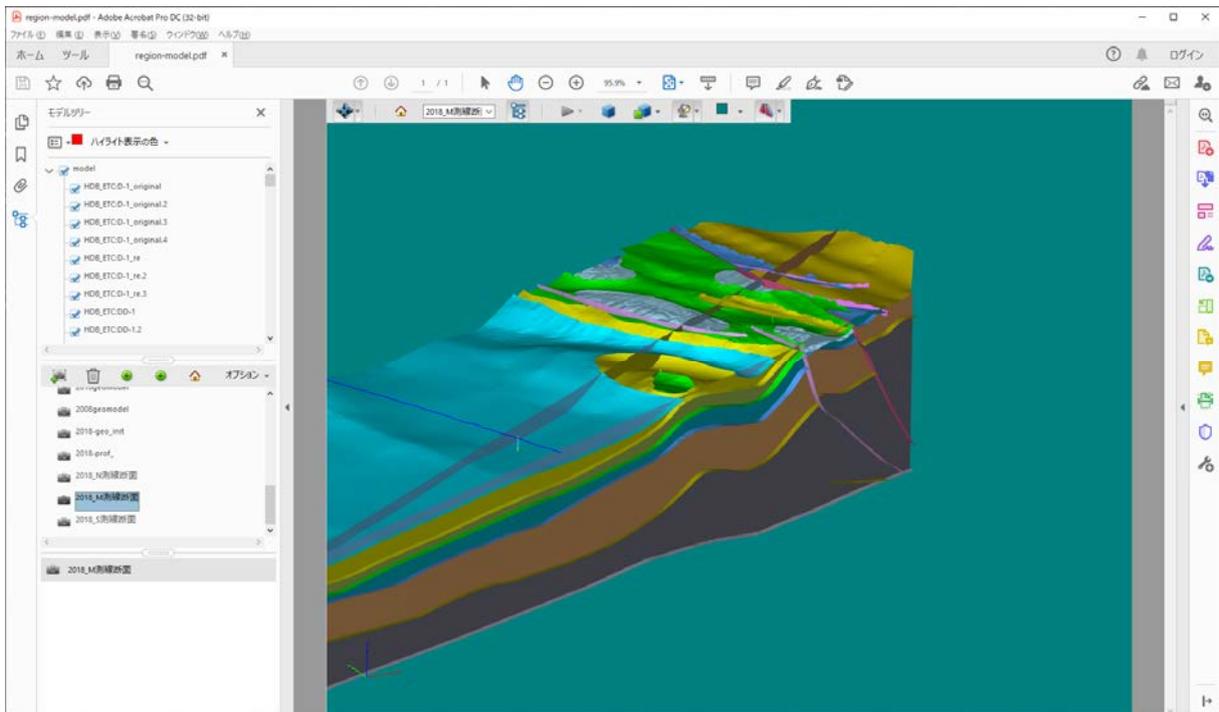
| ファイル名            | ファイル内容                  | 備考           |
|------------------|-------------------------|--------------|
| geomodel2021.pdf | 2021R_Model/2018R_Model | 図 3-1～図 3-3  |
| region-model.pdf | 2018R_Model/2008R_Model | 広域スケール、断面図入り |



付図 1 geomodel2021.pdf ファイルの初期表示



付図2 region-model.pdf ファイルの初期表示



付図3 region-model.pdf ファイルの“2018\_M 測線断面”ビュー

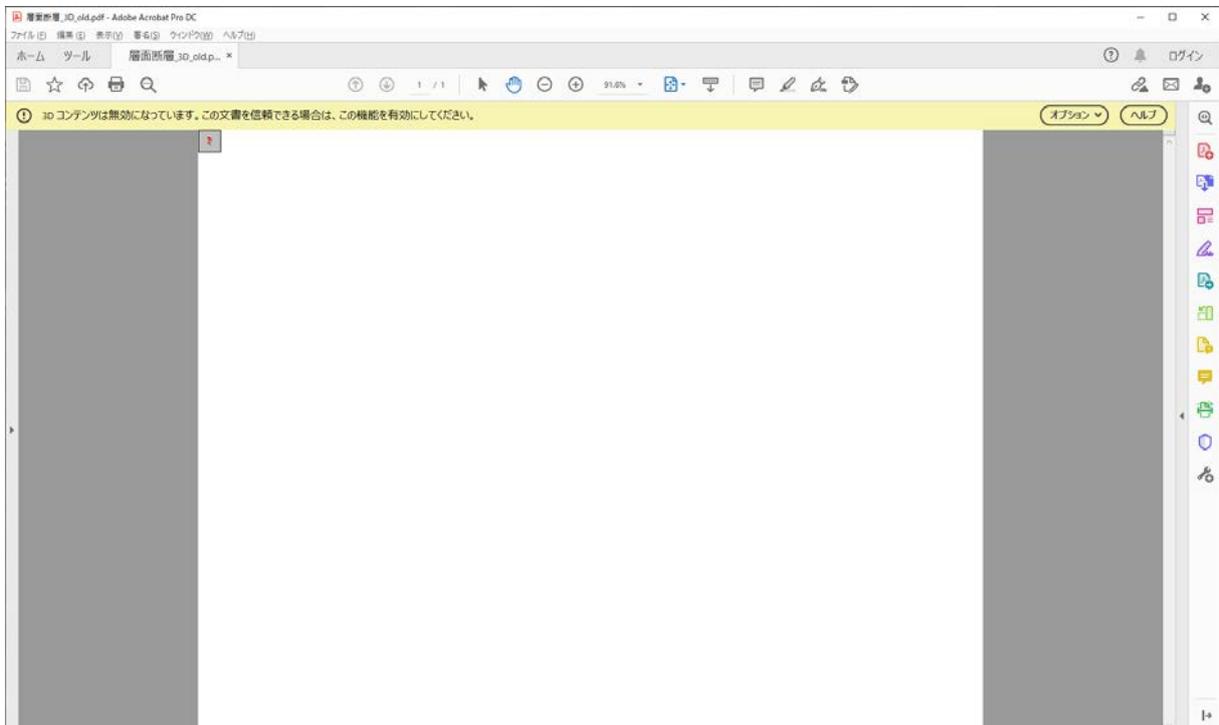
3D-PDF ファイルは、一般的な PDF 閲覧ソフトで閲覧することができる。以下、Adobe® Acrobat®で閲覧する例を示す。

Acrobat®でファイルを開いた場合、最初は付図 4 に示すように画面上部に注意喚起バーが表示されるので、右側の『オプション』ボタンから『この文書を信頼する』をクリックする。次に左上の赤色『?』ボタンをクリックすると、3D 画像が表示される。いずれもクリックしてから表示ソフトウェアが反応するのに若干時間がかかる場合がある。

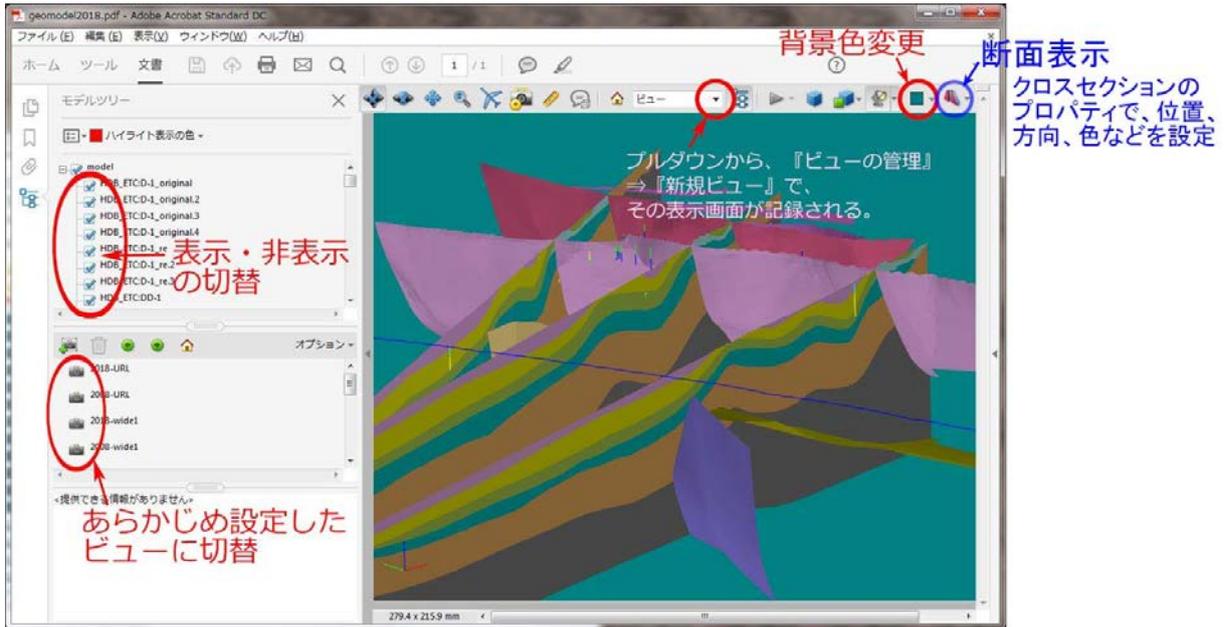
表示された 3D 画像は、マウスにより回転・拡大・縮小・移動などができる。基本的な使用法は以下となる。

- ・回転：画面内任意の場所でマウス左クリックしてドラッグ
- ・拡大・縮小：マウス中ホイールを回転
- ・移動：Ctrl キー + 左クリックしてドラッグ
- ・左上段欄チェックボックス：パーツの表示／非表示切り替え（付図 5）
- ・左中段欄カメラアイコン（ビュー）：設定している視点・パーツの切り替え（付図 5）

断面表示をする場合は、付図 5 に示す断面表示（クロスセクション）ボタンをクリックする。測線の位置・方向などは、クロスセクションのプロパティで設定する（付図 6）。その他、画面の背景色は自由に変更される（付図 5）。また、画面の任意の箇所を右クリックすると様々なオプションが表示され、例えば『画面右クリック ⇒ ツール ⇒ 3D ものさし』で長さ、角度の計測ができる。



付図 4 3D-PDF ファイルを最初に開いたときの画面表示（Adobe® Acrobat®の例）



付図5 3D-PDF ファイルの使用方法



付図6 クロスセクションのプロパティ

付録 2. 地層・断層面の数値データファイル

2021R\_Model の全地層基底面と断層面の数値データを、テキストファイルで付録 CD-ROM に添付する。三次元地質構造モデルの構築に用いた Vulcan™ の面モデルは TIN（不規則三角網）により作られており、それをテキスト変換した。テキストファイルの記述は、TIN の頂点の座標と、その頂点を示す番号の組合せからなる。添付するファイルリストを付表 2 に示す。座標値は、WGS84 UTM 座標系 54 帯北による。

付表 2 地層面ファイルリスト (2021R\_Model)

| 区分<br>(基底面等)  | ファイル名<br>(拡張子 .asc) | 備 考                     |
|---------------|---------------------|-------------------------|
| 古第三系          | 2021_palaeo-w       | 大曲断層西側                  |
|               | 2021_palaeo-m       | 大曲断層東側                  |
| 稚内層           | 2021_wk-w           | 大曲断層西側                  |
|               | 2021_wk-m1          | 大曲断層東側                  |
|               | 2021_wk-m2          |                         |
| 稚内層深部<br>遷移領域 | 2021_wkt_w          | 大曲断層西側                  |
|               | 2021_wkt_m          | 大曲断層東側                  |
| 稚内層浅部         | 2021_wku_w          | 大曲断層西側                  |
|               | 2021_wku_m          | 大曲断層東側                  |
| 声間層           | 2021_kt-w           | 大曲断層西側                  |
|               | 2021_kt-m1          | 大曲断層東側                  |
|               | 2021_kt-m2          |                         |
| 勇知層           | 2021_yt-w           | 大曲断層西側                  |
|               | 2021_yt-m           | 大曲断層東側                  |
| 更別層           | 2021_sb-w           | 大曲断層西側                  |
| 大曲断層          | 2021_ft_om-a        |                         |
|               | 2021_ft_om-b        |                         |
| その他断層         | 2021_ft_dt          | デタッチメント断層               |
|               | 2021_ft_fb1         | ブランチスラスト（大曲背斜を形成する断層）   |
|               | 2021_ft_sb          | ブランチスラスト（サロベツ背斜を形成する断層） |
| 地形            | 2021_topo           |                         |

This is a blank page.



