

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05396

研究課題名（和文）露頭画像の深層学習による二酸化炭素貯留層の地質不均質性の再現と数値化

研究課題名（英文）Geological modeling of CO2 reservoir heterogeneity based on Deep Learning Networks

研究代表者

千代延 俊（Chiyonobu, Shun）

秋田大学・国際資源学研究科・教授

研究者番号：40526430

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では陸上に露出する露頭をアナログモデルとして深層学習（Deep Learning）に基づく意味的分類（セマンティックセグメンテーション）を用いた地層分類およびモデル構築を目的とした。研究においては、大規模露出露頭にて岩石物性値の地質評価を行った。また、同露頭で得た画像に対して、ランダムサンプリングを用いたオリジナルデータセット用い、代表的なセマンティックセグメンテーションを実施した。さらに、地質解釈の精度向上へ向けてGANに基づく生成モデルのひとつであるOASISを用いた画像生成でデータセットを拡張した。その結果、セマンティックセグメンテーションによる地質の自動分類が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地質が複雑な堆積盆を対象としたCCSのモデル構築へ向けて、実際の露頭から得られた地質学的情報を、セマンティックセグメンテーション技術を用いて数値化することができた。これは、今後本格化するCCS事業において、CO2貯留量の算定や、地下挙動予測計算において精度向上となることが確実である。また、事業化に向けた地下地質の不均質性に依存した地質リスクの顕在化にも寄与することになる。これらCCSにおける貯留層の基礎的データの公表は、事業が本格化しつつある現在には社会的意義が大きいと言える。

研究成果の概要（英文）：Carbon capture and storage (CCS) is an epoch-making approach to reduce greenhouse gases in the atmosphere. This study specifically examines outcrops because geological layer measurements can lead to production of a highly accurate geological model for feasible CCS inspections. Using a digital monocular RGB camera, we obtained outcrop images annotated with four classes along with strata. Subsequently, we compared segmentation accuracies with changing input image sizes of three types and semantic segmentation methods of four backbones. Experimentally obtained results demonstrated that data expansion with random sampling improved the accuracy. Regarding evaluation metrics, global accuracy and local accuracy are higher than the mean intersection over union (mIoU) for our outcrop image dataset with unequal numbers of pixels in the respective classes. These experimentally obtained results revealed that resizing for input images is unnecessary for our method.

研究分野：地球資源工学

キーワード：CCS 二酸化炭素地下貯留 地質不均質性 セマンティックセグメンテーション 深層学習

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国のCO₂の総排出量に火力発電所が占める割合は、2010年度には約30%であったが、2011年の東日本大震災による原子力発電の停止に伴い、2014年度には約40%に増大している。このような状況の中、我が国では新潟県長岡市や北海道苫小牧市においてCCS実証試験が実施され、国外では欧州や北米で実用規模の地中貯留が開始している。一方で、水やガスの地下への圧入では、微小地震や漏洩の可能性が指摘されており、貯留層の地質不均質性や遮蔽層の構造といった地質リスクを正確に把握する必要がある。しかしながら、実際のサイトでは、資金面や石油探鉱対象外などの制約から試掘井や物理探査情報が少ないため、貯留層の地質不均質性を知ることは難しく、統計手法による地質学的妥当性の低いモデルの利用が問題点としてある。

2. 研究の目的

本研究では、大規模な露頭から地層の枠組み（空間分布）を把握して、そこから得られる地質学的アナログ情報の堆積盆規模での数値モデル化を目的とする。具体的には、CO₂貯留対象となる大規模に露出した砂岩泥岩互層の露頭を対象に、ドローンでの地形判読による空間分布の把握、画像自動解析による露頭全体の岩石物性の再現、堆積盆規模での砂岩泥岩互層の地質モデル（数値モデル）化の手法を確立し、CCSにおけるCO₂の長期安定性の確保に寄与することを研究目的とする。

3. 研究の方法

(1) CCS 対象層の地質情報の拡充

地表踏査；地表調査では、各層準ごとに岩相変化を詳細に記載した実測柱状図を作成した。その際、特徴的な堆積構造や単層の側方変化などはスケッチをとり、写真を撮影した。粒度分析；試料採取については、堆積物の色や場所、堆積相に着目し、スコップを用いて各試料10g～15g程度採取した。水分の多く含む試料については、乾燥機で40℃以下12時間以上乾燥させ保存した。分析に於いては公益財団法人地球環境産業技術研究機構が所有するレーザー回折式粒子径分布測定装置SALD-3100を用いて行った。薄片観察；砂岩の粒子配列や孔隙率を測定する目的で各層準の薄片観察を実施した。薄片作成用の試料採取については堆積物の堆積構造や粒子配列を壊さないように、スコップやねじり鎌を用いて10cm～30cm四方のブロックで採取した。

(2) 露頭アナログを用いた深層学習

本研究では、精度比較のベースラインとして最新手法であり、分類性能、計算効率の観点から定評の高い手法であるK-Net[1]とSegFormer[2]を使用する。K-Netは汎用性が高く、Kernel Update Headを追加するだけでどのような手法にも適用できる。Kernel Update Headの処理を繰り返すことで、ノイズが軽減されカーネルとマスクの予測値が徐々に洗練される。SegFormerはViT(Vision Transformer)ベースの手法である。エンコーダ部分に階層型Transformer、デコーダ部分にAll-MLPを採用することで高解像度の細かい特徴と低解像度の粗い特徴の情報を集約し、豊富な特徴量を得る。また、画像生成にGAN (Generative Adversarial Network) に基づく生成モデルであるOASIS (Only Adversarial Supervision for Semantic Image Synthesis) を用いる。この手法は、クラスバランシングを組み込んでいるため、クラスの不均衡による精度低下を軽減できる。セマンティックセグメンテーションの評価指標には、mIoU(mean Intersection over Union)を使用する。IoUは、予測領域と正解領域とが重なる程度の交差度を表し、mIoUはすべてのクラスの平均IoUを示す。

4. 研究成果

(1) CCS 対象層の地質情報の拡充

堆積相解析の結果から、天徳寺層柱根相は、Walker (1978) の海底扇状地におけるMain Channelの端やDistributary Channelに堆積する非常に高密度な堆積物重力流、生鼻崎地域に分布する北浦層は

Distributary Channel ~ Proximal Lobeに堆積する高密度堆積物重力流、男鹿半島北岸の北浦層はDistal LobeやLower Fanに堆積する低密度堆積物重力流、脇本層は外側陸棚の堆積物であると考えられる。砂の淘汰度の良さと砂岩貯留岩性状には密接な関連があり（西澤ほか，2009），不淘汰な砂は貯留岩性状下げる要因であると考えられる。本研究における粒度分析結果を基にした分級度より，重力流堆積物では生鼻崎地域に分布する北浦層の塊状砂岩部が，最も良好な貯留岩性状であった。さらにこれらの塊状砂岩単層内には主に，赤褐色・赤褐色を除く褐色系・灰色系の3つに分けられ，これらの色と貯留岩性状に関連があることが明らかになった（図1）。

(2) 深層学習を用いた地質把握

オリジナルデータセットにおける代表的な手法の精度比較を行った(図2)。手法としてはCNNベースのものとして

DeepLabv3+，K-Net +

DeepLabv3，OCR(object-contextual

representation)Net，U-Netを使用した。また，ViTベースの手法として

K-Net + Swin Transformer，

SegFormer，SEgmentation

TRansformer (SETR)を使用した。

そして，CNNとViTを組み合わせた手法としてTwinsを使用した。

図1に結果を示す。結果は，CNN

がViTに対して優位性を示した。

図1に結果を示す。結果は，CNN

がViTに対して優位性を示した。

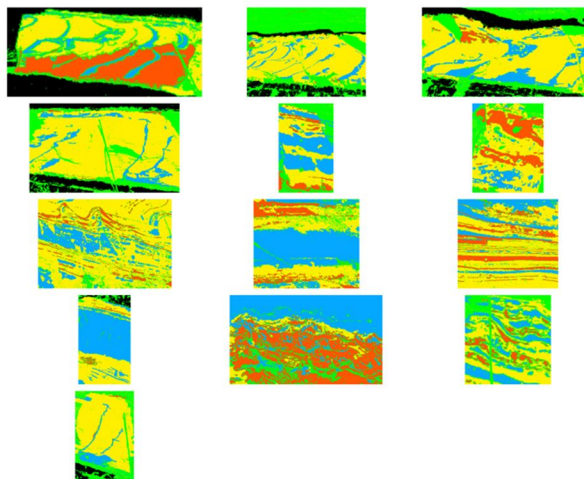
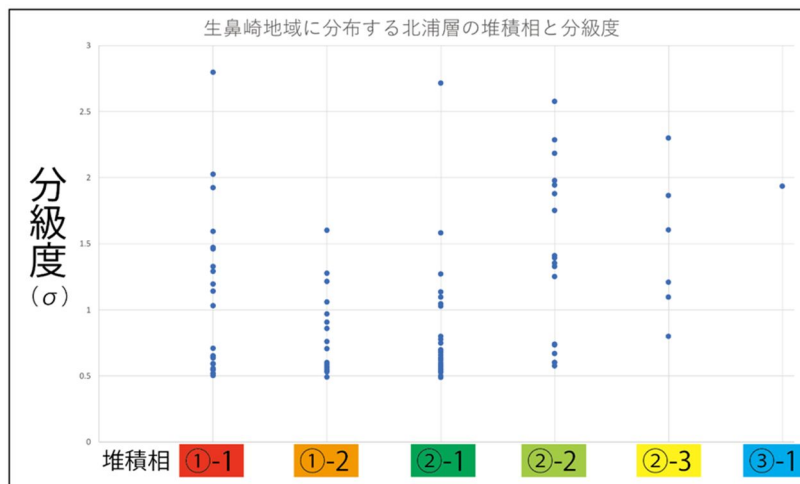
また，K-Net (DLabv3)とSegFormerのmIoUはそれぞれ93.18%，93.06%と特に高い精度を示した。

次に13枚の各画像に対して推論を行った(画像別実験)。サンプリング数は256枚とし，推論対象の画像をテストデータ，残りの12枚の画像を学習データとした。手法は，K-Net (DLabv3)

とSegFormerを使用した。全画像の平均mIoUは，K-Netで42.66%，SegFormerで50.84%を示した。

このことから，データが少ない場合，ViTに優位性が見られると考えられる。また，クラスの偏りが精度に影響を与えることを明らかにした。

データセットを拡張するためにOASISを使用し，画像生成を行った。実験には，サンプリング数256枚のデータセットを使用した。出力結果を図2に示す。学習回数が20000回の際にFIDの値は363.34を示し，最も低い値を示した。また，生成した画像を用いてデータセットを拡張し，評価実験を行った。データセットはサンプリング数256枚の画像にOASISで生成した333枚



の画像を加えた計3661枚の画像を使用した。手法は、K-Net (DLabv3)とSegFormerを使用した。K-Net とSegFormerのmIoUはそれぞれ95.02%と95.51%であり、データセット拡張前と比べて、それぞれ2.33%、1.96%上昇していた。したがって、OASISによるデータセット拡張が精度向上に寄与すると考えられる。

引用文献

西澤修・中島善人・高橋美紀・北村圭吾(2009): 岩石の微細構造と物性：砂岩浸透率の封圧変化。地質ニュース, 655, 29-38.

Walker R.G. (1978): Deep water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps. AAPG Bull, 62, 932-966.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 千代延俊・北村重弘・竹内傳・Martizzi P.・阿部史孝・有馬雄太郎	4. 巻 86
2. 論文標題 秋田県男鹿半島における女川層の岩相と水圧破碎実験の関連性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 石油技術協会誌	6. 最初と最後の頁 483, 491
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Martizzi Paolo, Chiyonobu Shun, Arato Hiroyuki	4. 巻 86
2. 論文標題 The hydrocarbon potential of the Miocene siliceous formations in Tsugaru Basin, northern Japan, based on the geochemical analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology	6. 最初と最後の頁 205, 212
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Sato Kodai, Madokoro Hirokazu, Nagayoshi Takeshi, Chiyonobu Shun, Martizzi Paolo, Nix Stephanie, Woo Hanwool, Saito Takashi K., Sato Kazuhito	4. 巻 21546712
2. 論文標題 Semantic Segmentation of Outcrop Images using Deep Learning Networks Toward Realization of Carbon Capture and Storage	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 21st International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23919/ICCAS52745.2021.9649777	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Madokoro Hirokazu, Kiguchi Osamu, Nagayoshi Takeshi, Chiba Takashi, Inoue Makoto, Chiyonobu Shun, Nix Stephanie, Woo Hanwool, Sato Kazuhito	4. 巻 21
2. 論文標題 Development of Drone-Mounted Multiple Sensing System with Advanced Mobility for In Situ Atmospheric Measurement: A Case Study Focusing on PM2.5 Local Distribution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4881 ~ 4881
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s21144881	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Martizzi P., Chiyonobu S., Hibi Y., Yamato H., Arato H.	4. 巻 128
2. 論文標題 Middle?late Miocene paleoenvironment of the Japan sea inferred by sedimentological and geochemical characterization of coeval sedimentary rocks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine and Petroleum Geology	6. 最初と最後の頁 105059 ~ 105059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpetgeo.2021.105059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 佐藤宏大・間所洋和・千代延俊・永吉武志・Nix Stephanie・佐藤和人
2. 発表標題 CCSのための露頭画像セグメンテーション
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 千代延俊・阿部史孝・佐藤宏大・間所洋和
2. 発表標題 秋田県男鹿半島に分布する砂岩シルト岩互層の不均質性評価
3. 学会等名 石油技術協会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	間所 洋和 (Hirokazu Madokoro) (10373218)	岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・准教授 (21201)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	永吉 武志 (Nagayoshi Takeshi)	秋田県立大学	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
カナダ	University of Calgary			