

第51回 海洋開発シンポジウム
2026年7月1日
熊本県 熊本城ホール
第1会場

底生動物と底質環境間・相互作用のモデル化 -知識DB化とRAGによる環境データ解析支援-

広島大学大学院 先進理工系科学研究科	○佐藤 駿介
国土交通省 中国地方整備局 宇野港湾事務所	笹岡 実也
国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所	安達 崇
広島大学大学院 先進理工系科学研究科 准教授	日比野 忠史

研究背景と全体像	P.3~6
調査概要	P.7
データ分析	P.8~10
分析・考察方法の外部化	P.12~18
まとめ	P.19

沿岸域の生物・環境調査の背景

目的

- ・干潟や藻場の再生，閉鎖性海域の改善
- ・人工干潟造成マニュアルの改訂 など

方法

➡水質，底質の改善効果および水産有用種の生物調査
(底生動物の種類数/個体数/湿重量調査)



課題

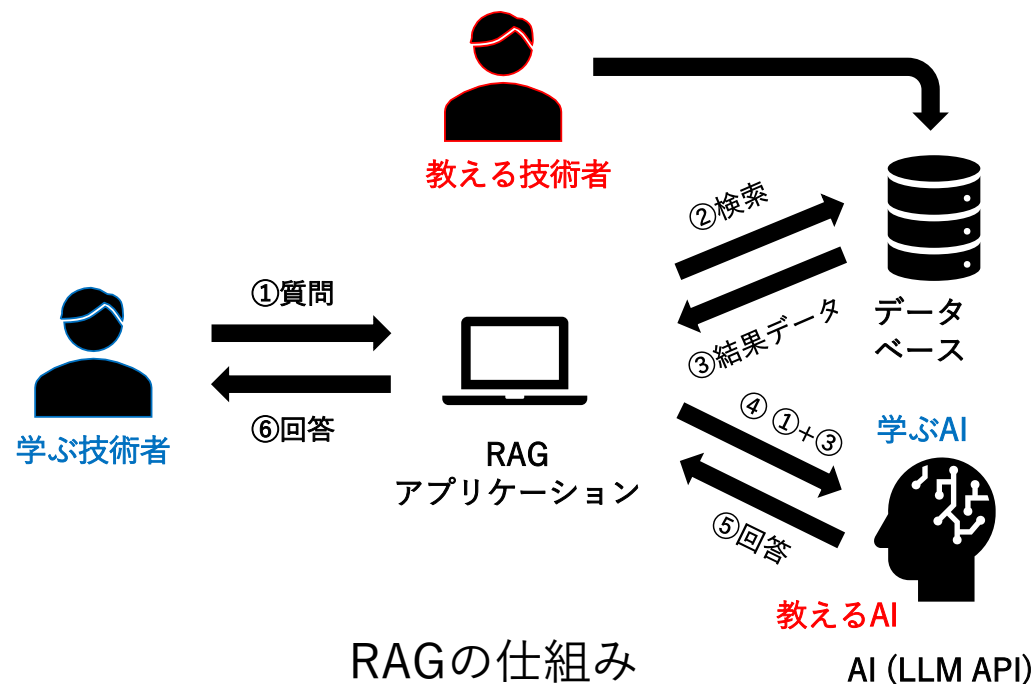
- ・生物調査回数や生物データが限定的で関係性の評価が困難
- ・調査結果の評価方法が分析者依存
➡非専門家による結果の考察が難しく，
次回調査への適正な発注に課題



干潟調査の様子

RAG (Retrieval-Augmented Generation)

- ・ 外部文書を検索し、得られた知識をLLMの生成過程に組み込むことで、LLMの内部知識に依存しない応答が可能^{3),4)}
- ・ 既往のRAGの主な利用方法は文書検索と回答生成
- ・ LLMの理解力、説明力を活かした効果的なデータの利用法となり得る



技術者の“考え方”をデータベース化



一貫した解釈方法で本人以外が
利用可能に

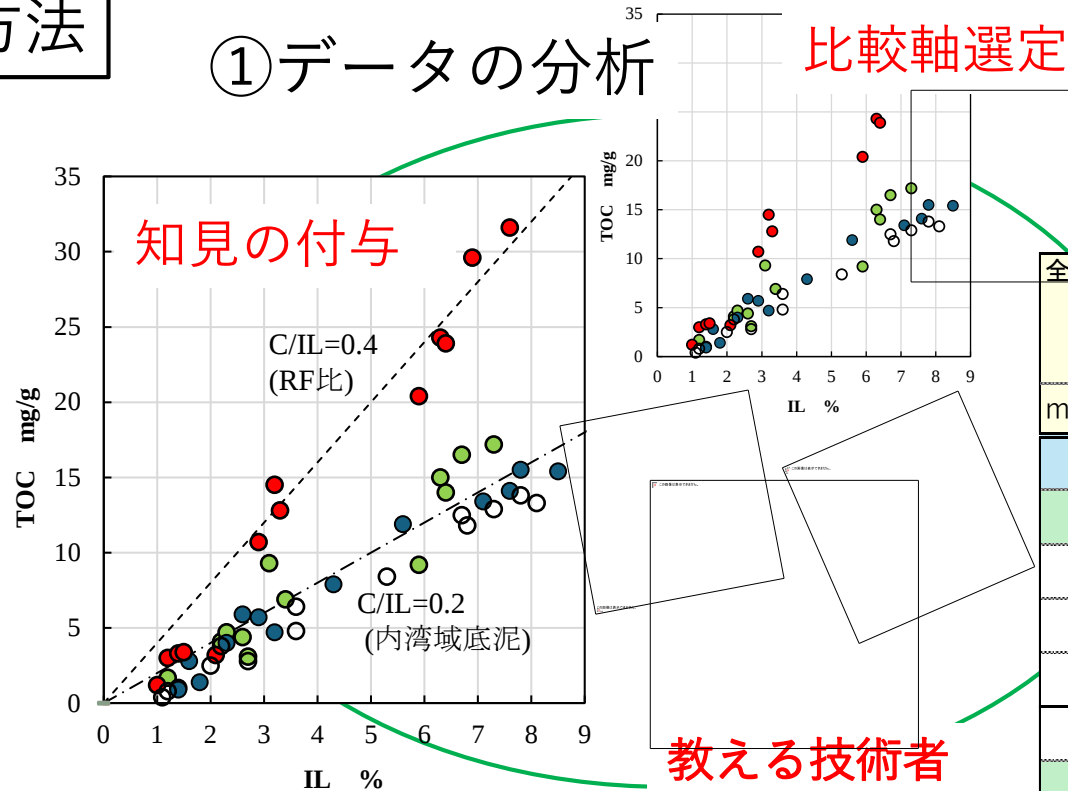
= AIを介した
技術・知見伝承の仕組みづくり

に利用可能

方法

① データの分析

比較軸選定



教える技術者

調査データ

全有機炭素 (TOC)
mg/g乾泥
1.7
6.9
4.1
15.0
16.5
1.0
9.3

学ぶ技術者

② 分析方法・考察の DB化（外部化）

③ RAG システム構築

④ 出力評価

研究目標

技術者の調査結果の分析方法をDB化（外部化）し，熟練していない技術者によるデータ分析をAIで支援するシステムづくり

DB=データベース

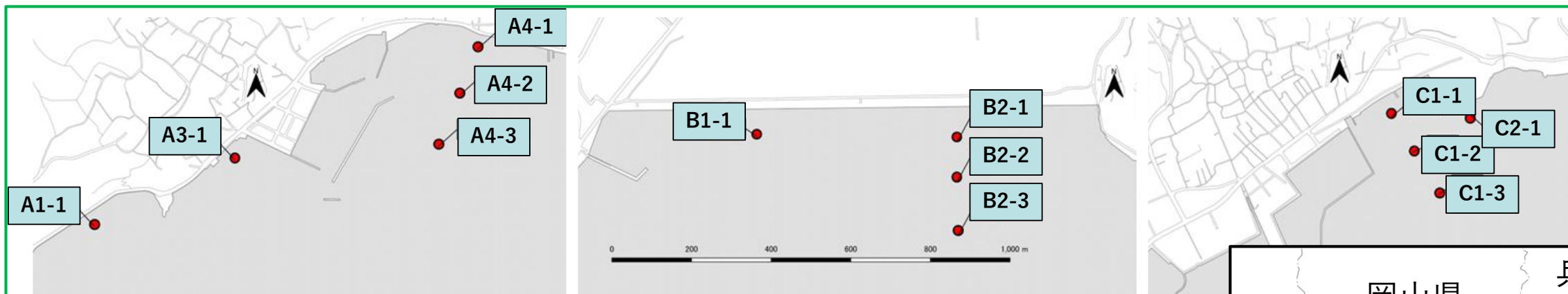
方法



研究目標

技術者の調査結果の分析方法をDB化（外部化）し，熟練していない技術者によるデータ分析をAIで支援するシステムづくり

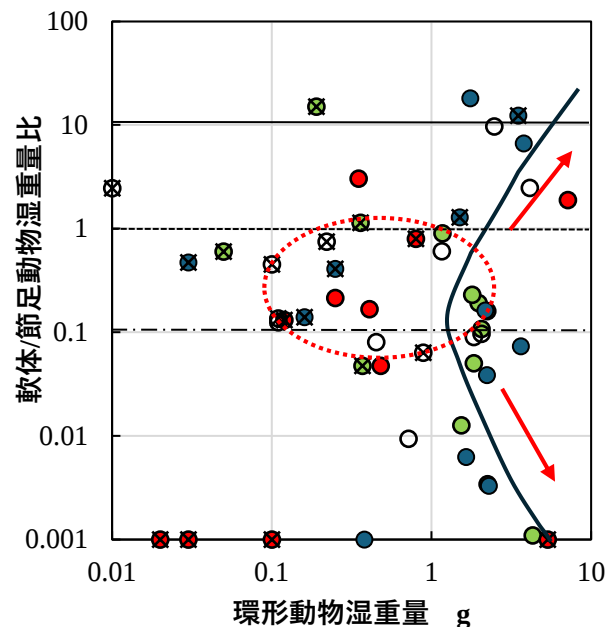
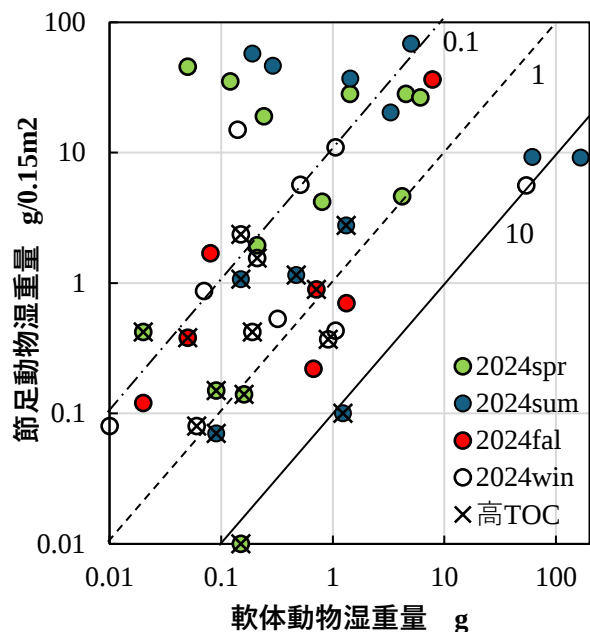
DB=データベース



- 岡山県西部沿岸域 3エリア, 13地点
- 2024年度の4季 (5月, 8月, 11月, 1月)
- ハンドマッキン型採泥器による表層泥採取
- 底質および生物分析
 - 粒度組成
 - IL (強熱減量)
 - TOC (全有機炭素)
 - 硫化物
 - COD
 - 種同定, 種別個体数, 湿重量



国土地理院「地理院地図」を加工して作成

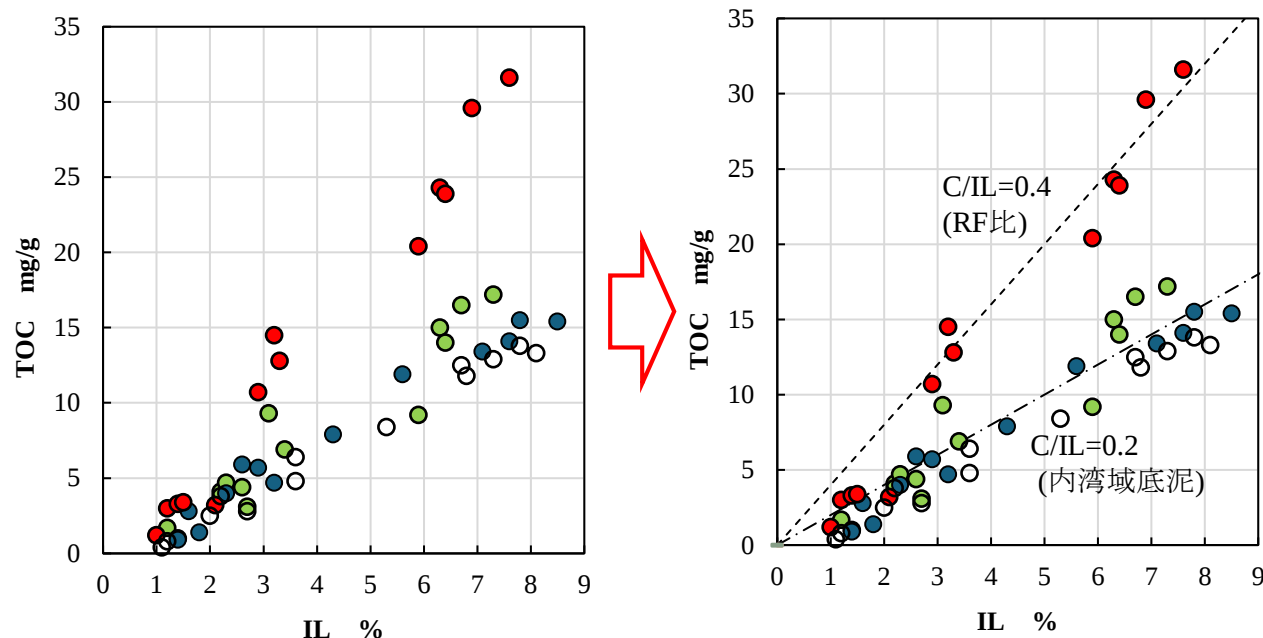


分析結果と考察

- 軟体動物が増える場で節足動物も増える傾向
- 節足動物が多い場で環形動物が増加傾向
→節足動物と環形動物の好む生息場は共通している
- 軟体/節足動物比0.1~1では環形動物は制限
- 節足動物が10gを超える場では環形動物も増加
→動物活動を活性化する餌環境では競合する動物とも増加

- 軟体動物湿重量と節足動物湿重量比較する意義,
 - 軟体/節足動物湿重量比 (M/A比) を考える意義は何か?
 - 軟体/節足動物湿重量比と環形動物湿重量を比較すると何がわかるか?
- 分かる人は分かって分析できるが、
知らない人はこの2軸をとることすらできない=分析できない

分析の意図,
考察方法を
RAGの知識として
外部化



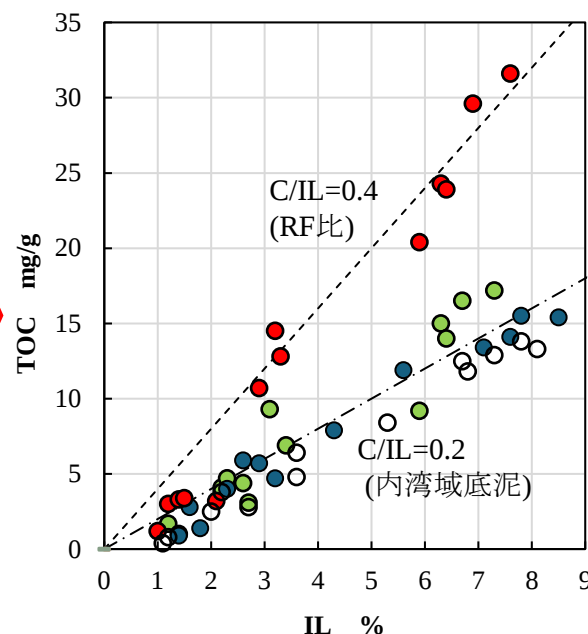
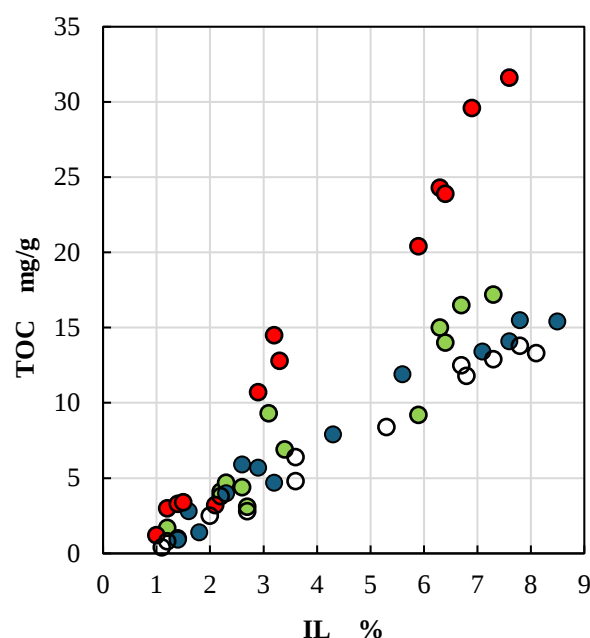
- 1つの直線に乗らない傾向は外れ値と読むか？
- 経験があれば知見に基づいた補助線を入れることができ、データを分析できる

前提知識

- 有機物はC, H, N, S, Oからなり、燃えると蒸発する
- 有機物が完全燃焼すると、 H_2O , CO_2 , NO_2 , SO_2 が蒸発してP, Fe等の金属が残る
- 燃焼減量 (IL) は蒸発元素C, H, N, S, Oの和
- レッドフィールド $((CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}(H_3PO_4))$ を仮定すれば、生物により生成されたBOM (乾燥状態) のC/IL比は約0.4 (g-C/g-IL) ⁶⁾

分析結果と考察

- 秋●にC/IL比が高く(C/IL=0.4), それ以外の季節で低い(C/IL=0.2)
- 動植物の死骸, 残差 (BOM) の堆積が夏～秋季のC含有率の高い海底泥として現れており, 動物の活動と海底泥の性状がC/IL比に表れている



前提知識

- 有機物はC, H, N, S, Oからなり, 燃えると蒸発する
- 有機物が完全燃焼すると, H_2O , CO_2 , NO_2 , SO_2 が蒸発してP, Fe等の金属が残る
- 燃焼減量 (IL) は蒸発元素C, H, N, S, Oの和
- レッドフィールド $((CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}(H_3PO_4))$ を仮定すれば, 生物により生成されたBOM (乾燥状態) のC/IL比は約0.4 (g-C/g-IL) ⁶⁾

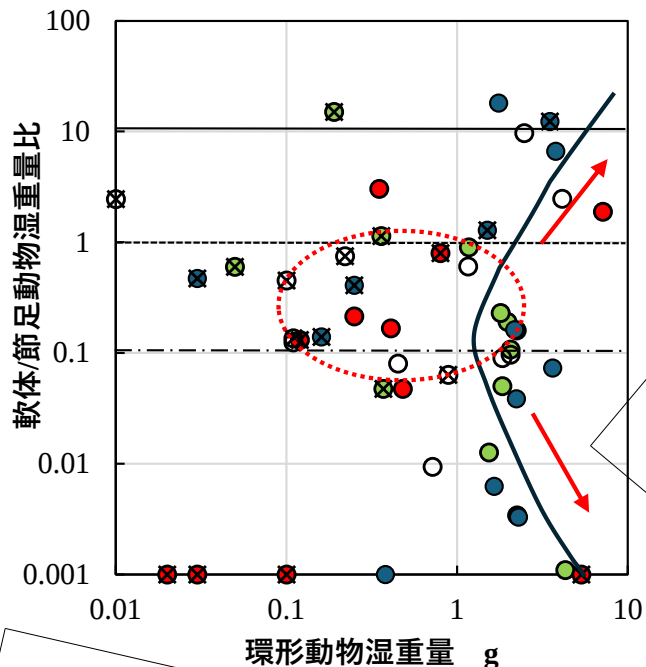
分析結果と考察

- 1つの直線に乗らない傾向は外れ値と読むか?
- 経験があれば知見に基づいた補助線を入れることができ, データを分析できる



補助線の入れ方,
考察方法を
RAGの知識として
外部化

L=0.4), それ以外の季
BOM) の堆積が夏~秋
底泥として現れており,
生状がC/IL比に表れて



M/A比と環形動物湿重量の意味づけ
(考察用)

位置づけ

～略～

考察の基本構造

～略～

図で読む位置関係

～略～

図化時に保持すべき要素

～略～

注意点

～略～

計算値算出方法の
プログラム記述
(Python形式)

軟体動物湿重量 ÷ 節足動物湿重量
＝ 軟体動物湿重量 / 節足動物湿重量比

考察のデータベース化
(Markdown形式)

MDid	MD名
MD1	M/A比（軟体/節足）による 優占構造
MD2	TOCとlog(M/A)に基づく 競合勾配
MD3	細粒分・D50と有機物蓄積
MD4	土粒子密度から読む有機物混 入・難分解化の知識
MD5	D50・IL・土粒子密度の 統合解釈
MD6	C/IL比による有機物分解状態
MD7	TOC(砂)によるOSS量評価

軟体>節足軟体<節足									
	水深TP	中央粒径"水深	中央粒径	中央粒径	軟体/節足	環形動物	環形動物	環形動物	環形動物
024spr				1.5	0.666667				
B1-1	-0.4	0.20724	-1	-1	0.5181	0.190931	1.97		
B1-2	-2.3	0.24058	-1	-1	0.1046	0.00342	2.25		
B1-3	-2	0.2448	-1	-1	0.1224	0.050372	1.84		
A4-2	-3	0.0291	0.0291	-1	0.0097	0.047619	0.37		
A4-3	-3.3	0.02904	0.02904	-1	-1	1.142857	0.36		
B1-1	-1.2	0.39576	-1	-1	-1	0.900648	1.17		
B2-1	-2.9	0.4466	-1	-1	0.154	0.160354	2.24		
B2-2	-1.1	0.01639	0.01639	-1	0.0149	0.107692	2.06		
B2-3	-3.3	0.02944	0.02944	0.0092	-1	15	0.19		
C1-1	-1.6	0.04976	0.04976	-1	0.0311	0.001094	4.31		
C1-2	-1.4	0.0322	0.0322	-1	0.023	0.012645	1.54		
C1-3	-2.2	0.01958	0.01958	-1	0.0089	0.6	0.05		
C2-1	-2.4	0.27312	-1	-1	0.1138	0.230159	1.8		

```
{
  "column mapping": {
    "全有機炭素 (TOC)": "TOC",
    "強熱減量": "IL",
    "TOC/IL": "C/IL",
    "season": "季節",
    "軟体動物": "軟体動物",
    "節足動物門": "節足動物",
    "環形動物": "環形動物",
    "細粒分": "細粒分",
    "土粒子の密度": "土粒子密度",
    "中央粒径": "D50"
  }
}
```

● M/A比による競合状態評価

必要: 軟体動物, 節足動物, 環形動物

○ C/IL比による有機物状態判定

必要: TOC, IL

①正規化
&計算

環境調査結果.xlsx

変数名や構造に揺らぎあり

変数名読み替え方針



分析対象データ(JSON)

変数名や構造に揺らぎなし

(A)計測①

分析可能項目

Userの
選択

計算結果

python計算実行

③考察の可視化

python計算実行

(A)計測③

考察可視化
スクリプト

(C)評価

方針



②RAG

(B)コサイン類似度

考察文



考察知識MD

格納

検索



考察知識

計算結果

分析方針

知識DB

処理フローの概要と検証項目

以下の結果は、有効プロット数50点 (valid_plot_count) における「M/A比 (軟体動物湿重量÷節足動物湿重量)」と「環形動物湿重量」の関係を、提示いただいた参考情報に沿って整理したものです。

1. データ概要

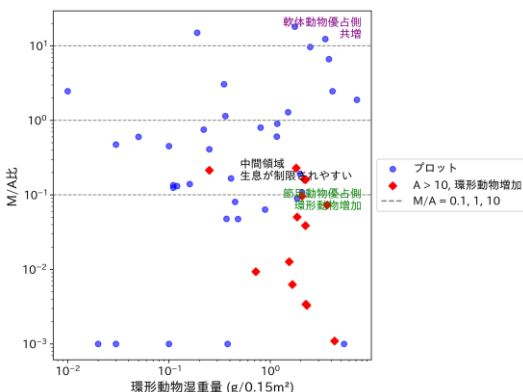
- 有効プロット数: 50
- M/A比の平均値: 約1.56
- 環形動物湿重量の平均値: 約1.40 g/0.15 m²

2. M/A比の区分とプロット数

- M/A < 0.1 (節足動物優占領域): 18点 (約36%)
- 0.1 ≤ M/A ≤ 1 (中間領域): 22点 (約44%)
- M/A > 1 (軟体動物優占領域): 10点 (約20%)

```
import matplotlib.pyplot as plt
import japanize_matplotlib
```

```
# 計算
m = pd.to_numeric(df["軟体動物"],
errors="coerce")
```



```
{  
  "column_mapping": {  
    "全有機炭素 (TOC)": "TOC",  
    "強熱減量": "IL",  
    "TOC/IL": "C/IL",  
    "season": "季節",  
    "軟体動物": "軟体動物",  
    "節足動物門": "節足動物",  
    "環形動物": "環形動物",  
    "細粒分": "細粒分",  
    "土粒子の密度": "土粒子密度",  
    "中央粒径": "D50"  
  }  
}
```

(A) 要求フォーマット適合率試験

(A) 計測①

(B) コサイン類似度

(B) 考察の一貫性試験

(A) 計測③

(C) 考察反映グラフの
妥当性評価

(C) 評価

```
import matplotlib.pyplot as plt  
import japanize_matplotlib
```

```
# 計算  
m = pd.to_numeric(df["軟体動物"],  
errors="coerce")
```

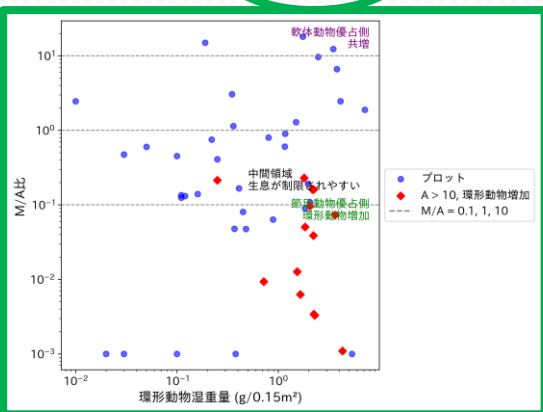
以下の結果は、有効プロット数50点 (valid_plot_count) における「M/A比 (軟体動物湿重量 ÷ 節足動物湿重量)」と「環形動物湿重量」の関係を、提示いただいた参考情報に沿って整理したものです。

1. データ概要

- 有効プロット数: 50
- M/A比の平均値: 約1.56
- 環形動物湿重量の平均値: 約1.40 g/0.15 m²

2. M/A比の区分とプロット数

- M/A < 0.1 (節足動物優占領域): 18点 (約36%)
- 0.1 ≤ M/A ≤ 1 (中間領域): 22点 (約44%)
- M/A > 1 (軟体動物優占領域): 10点 (約20%)



- (A)中間生成物の要求フォーマット適合性, (B)同一入力に対する考察文の再現性, (C)考察を反映したグラフの妥当性の3観点から評価
- 評価対象はcase1(MD6), 2(MD5)とし, 各 case につき10回ずつ試行

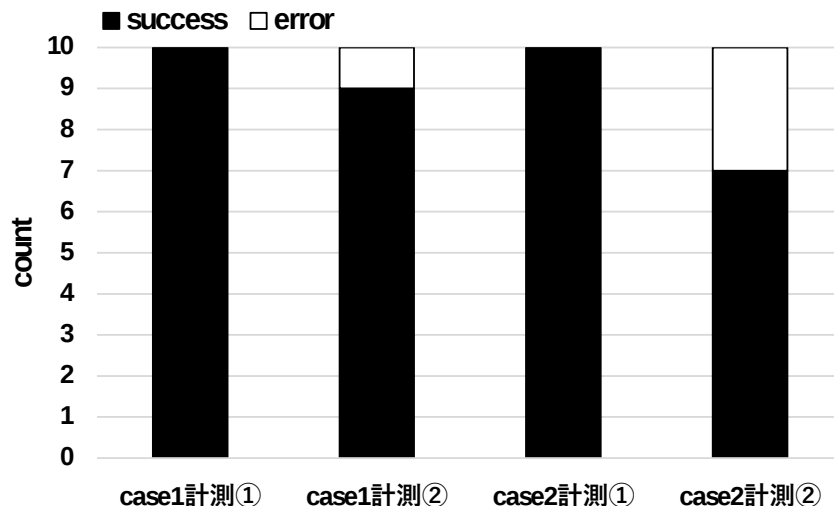
(A)要求フォーマット適合率試験 ...AIの生成物の要求フォーマット適合率を計測。
適合しない場合, システムはエラーとなり再実行が必要となる

(B)考察の一貫性試験 ...考察文をコサイン類似度により一貫性の評価。

(C)考察反映グラフの妥当性評価 ...考察反映グラフの体裁, 閾値補助線, 注釈正確性の3指標 (下表) で評価

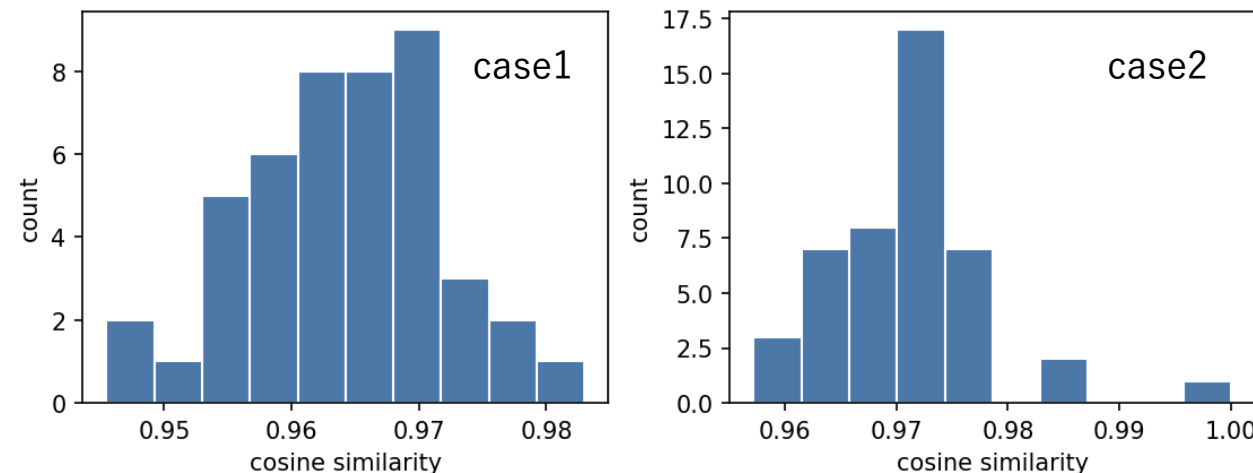
	0	1	2
体裁	体裁が崩壊している	軽微な体裁の崩れがあるが, 判読可能	文字やプロット, 線の被りや崩壊が全くなく, 読みやすい
閾値補助線	明らかな間違いが含まれる	軽微な乱れがあるが, 解釈を損ねない	考察に基づく閾値によって色分け・閾値線や補助線が正確に描かれている
注釈正確性	明らかな間違いが含まれる	軽微な乱れがあるが, 解釈を損ねない	考察に基づく注釈が正確に掲載されている

(A) 要求フォーマット適合率試験



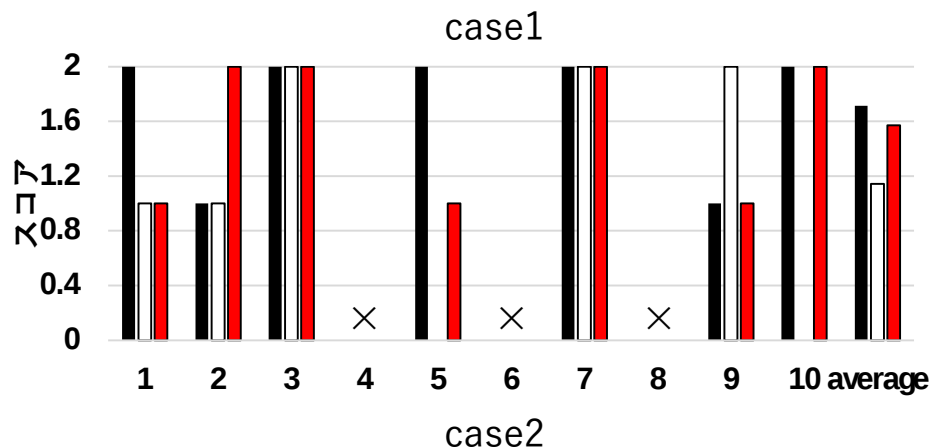
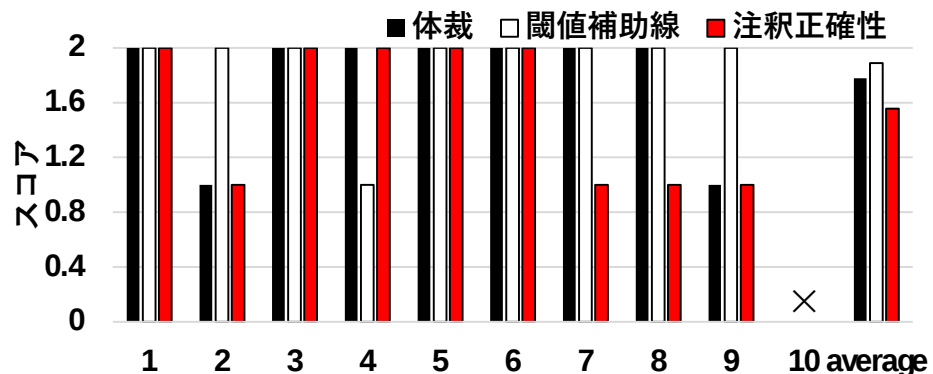
- Excelからの列名正規化, 分析可能項目推定, 分析用JSON抽出までは両 case とも安定して実行できた.
- 失敗は主として考察可視化グラフのPythonスクリプト生成段階で生じた.
- 特に case2 では可視化条件が複雑になるため成功率が低下しており, 可視化段階ではプロンプトの自由度を下げることで, 処理の一部のプログラムベースへの置換を検討する必要がある.

(B) 考察の一貫性試験



- case1のコサイン類似度はおおむね0.95~0.98の範囲に分布し, 0.96~0.97付近に集中
- case2ではおおむね0.96~1.00の範囲に分布, 0.97付近に最も集中.
- いずれも高い類似度を示しており, 同一の入力条件に対し, 表現上の揺らぎは残るが, 知識DBに基づく解釈の骨格は安定して再現されていることがわかる.

(C) 考察反映グラフの妥当性評価

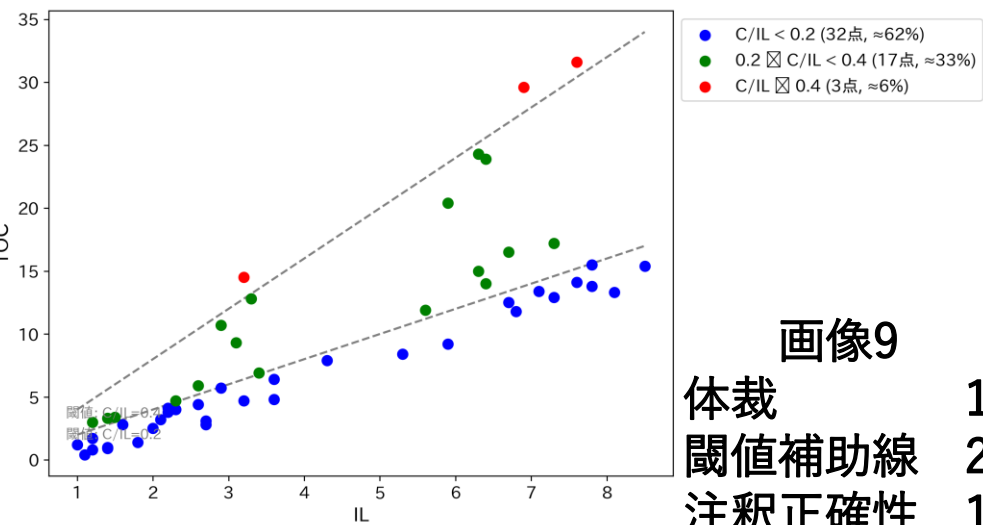
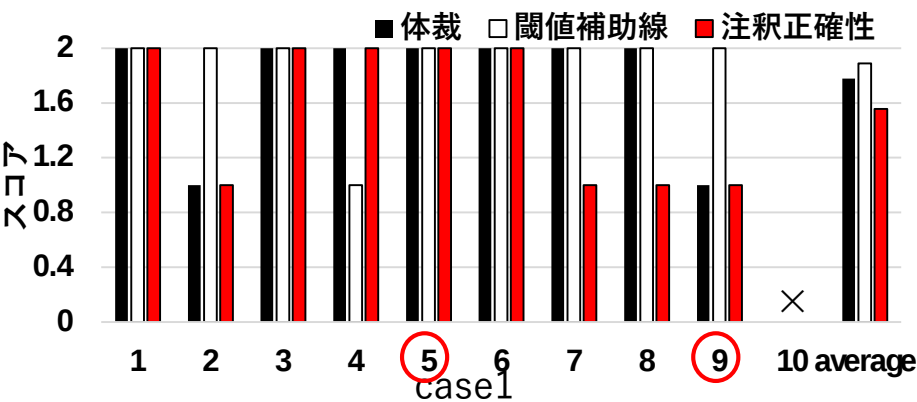


考察可視化グラフの評価指標

	0	1	2
体裁	体裁が崩壊している	軽微な体裁の崩れがあるが、判読可能	文字やプロット、線の被りや崩壊が全くなく、読みやすい
閾値補助線	明らかな間違いが含まれる	軽微な乱れがあるが、解釈を損ねない	考察に基づく閾値によって色分け・閾値線や補助線が正確に描かれている
注釈正確性	明らかな間違いが含まれる	軽微な乱れがあるが、解釈を損ねない	考察に基づく注釈が正確に掲載されている

- case1では、体裁が平均1.78点、閾値補助線が平均1.89点、注釈正確性が平均1.56点であった。
- 特に閾値補助線については、成功した9例中8例が2点であり、**知識DBに記載した閾値や補助線が高い確率で図中へ正しく反映された。**
- case2では、体裁が平均1.71点、閾値補助線が平均1.14点、注釈正確性が平均1.57点であった。
- 体裁および注釈正確性は case1 と同程度であったが、閾値補助線は7例中2例で0点となり、**知識DBの図中反映にばらつきが残った。**

(C)考察反映グラフの妥当性評価



画像9

体裁

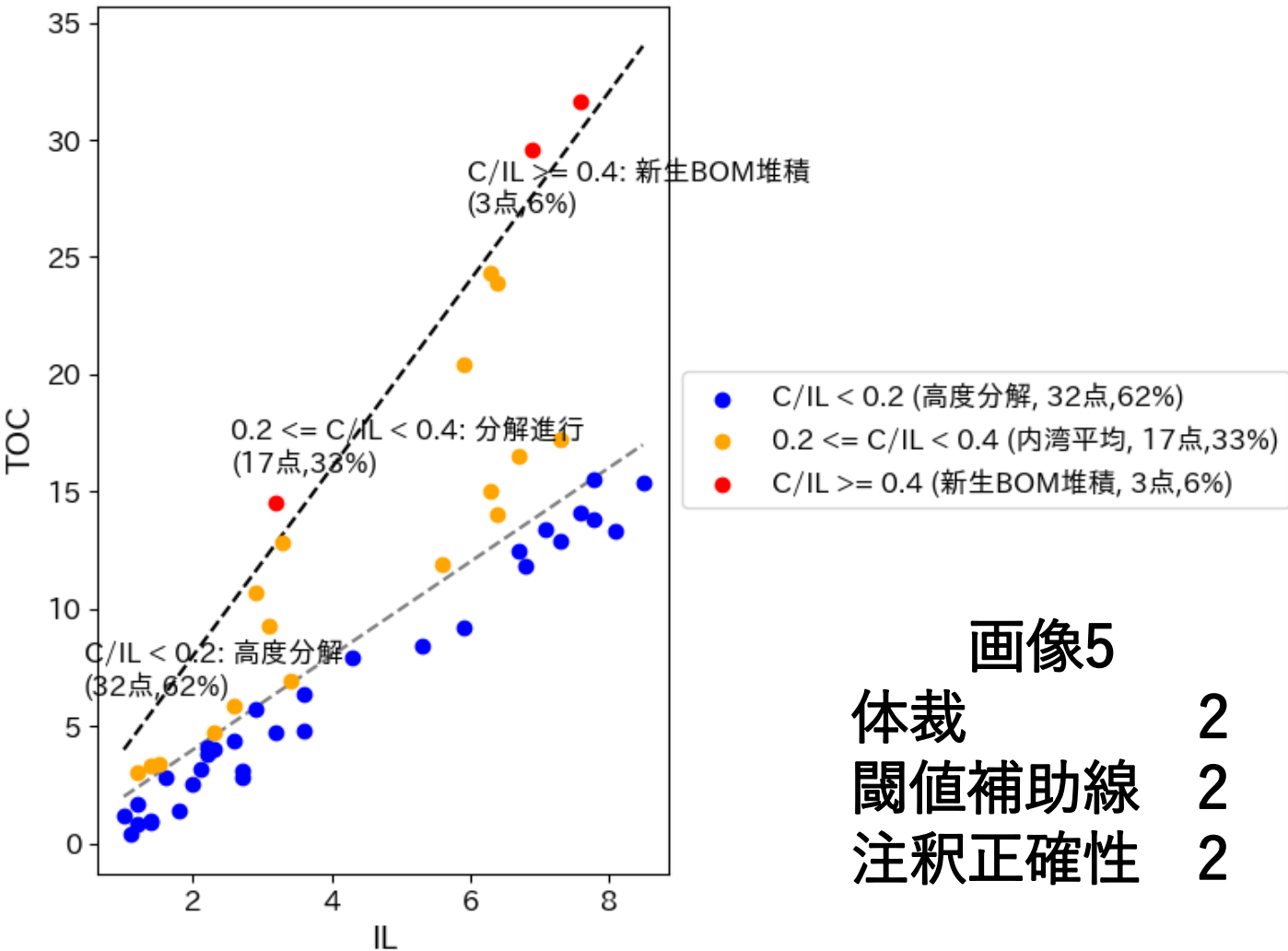
閾値補助線

注釈正確性

1

2

1



画像5

体裁

閾値補助線

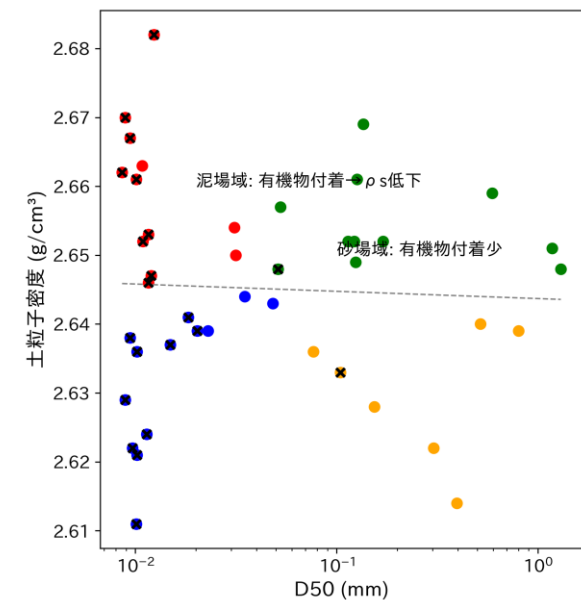
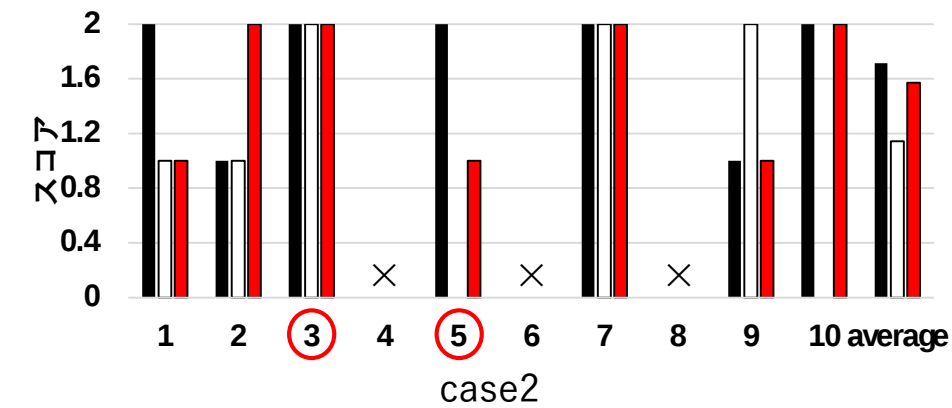
注釈正確性

2

2

2

(C)考察反映グラフの妥当性評価



画像5

体裁

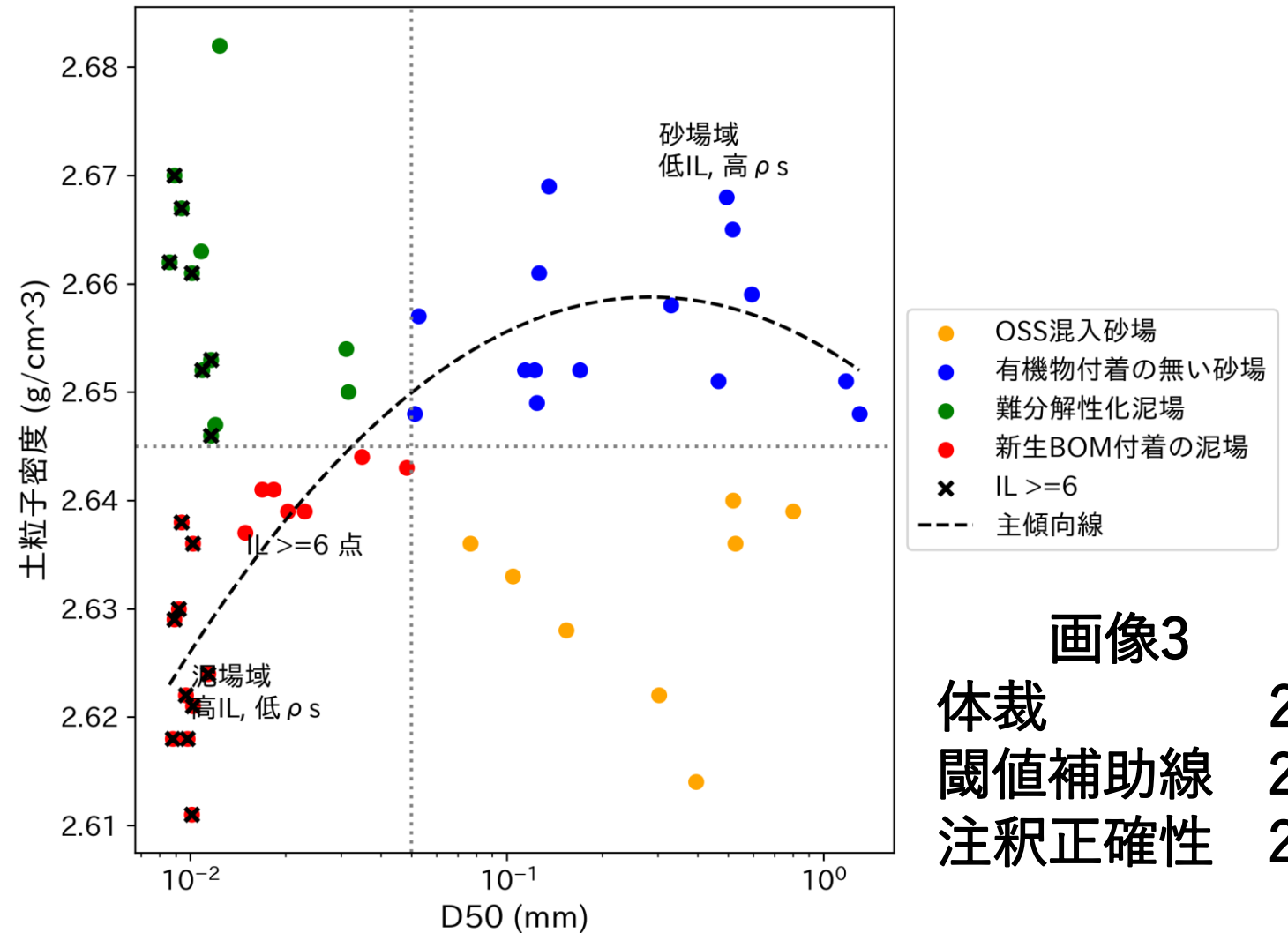
2

閾値補助線

0

注釈正確性

1



画像3

体裁

2

閾値補助線

2

注釈正確性

2

沿岸域での調査結果を技術者の知識としてDB化し，RAGによる検索と考察生成により，熟練していない技術者のデータ分析をAIで支援する枠組みが検討された。

1. 底生動物の生息と底質環境の関係は一義的ではなく，分析には観測データだけでなく，**技術者の判断過程や解釈知識の明示化が必要**である。
2. 調査知見をMD形式で整理して**知識DB化**し，RAGによる知識検索と数値計算処理による確定的計算を組み合わせることで，揺らぎを含む環境調査データに対して**一貫した解析・考察を行える枠組み**を構築した。
3. 沿岸環境のデータ解析におけるAI活用・支援，また**熟練技術者の知見の継承方法**の一つとして，有効性が示唆された。

1. Hyland, J., Balthis, L., Karakassis, I., Magni, P., Petrov, A., Shine, J., Vestergaard, O. and Warwick, R. M.: Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 295, pp. 91-103, 2005.
2. Degraer, S., Verfaillie, E., Willems, W., Adriaens, E., Vincx, M. and Van Lancker, V.: Habitat suitability modelling as a mapping tool for macrobenthic communities: An example from the Belgian part of the North Sea, *Continental Shelf Research*, Vol. 28, No. 3, pp. 369-379, 2008.
3. Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W., Rocktäschel, T., Riedel, S. and Kiela, D.: Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 33, pp. 9459-9474, 2020.
4. Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., Guo, Q., Wang, M. and Wang, H.: Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey, *arXiv:2312.10997*, 2023.
5. 鈴木 脩大, 笹岡 実也, 首藤 啓, 岡田 知也, 日比野 忠史: 生物生息活性場で形成される底質環境 – 環形動物の生息状況から底質環境を考える –, *土木学会論文集*, Vol. 81, No. 18, 論文ID 25-18141, 2025. [Suzuki, S., Sasaoka, N., Shuto, K., Okada, T. and Hibino, T.: Sediment environment formed in biologically active habitats - Discussion of sediment environment based on annelid habitat conditions -, *Journal of JSCE*, Vol. 81, No. 18, Paper ID 25-18141, 2025.]
6. 田口 哲: レッドフィールド比: 研究の歴史と現状, 今後の展望, *海の研究*, Vol. 25, No. 4, pp. 123-132, 2016. [Taguchi, A.: Redfield ratio: History and current situation of research and future outlook, *Oceanography in Japan*, Vol. 25, No. 4, pp. 123-132, 2016.]
7. 佐藤 駿介, Ilwon JEONG, 岡田 知也, 日比野 忠史: 有機物の難分解性化がつくる生物生息場, *土木学会論文集*, Vol. 81, No. 18, 論文ID 25-18121, 2025. [Sato, S., Jeong, I., Okada, T. and Hibino, T.: Benthic habitat formed by recalcitrantization of organic matter, *Journal of JSCE*, Vol. 81, No. 18, Paper ID 25-18121, 2025.]

沿岸域での調査結果を技術者の知識としてDB化し，RAGによる検索と考察生成により，熟練していない技術者のデータ分析をAIで支援する枠組みが検討された。

1. 底生動物の生息と底質環境の関係は一義的ではなく，分析には観測データだけでなく，**技術者の判断過程や解釈知識の明示化が必要**である。
2. 調査知見をMD形式で整理して**知識DB化**し，RAGによる知識検索と数値計算処理による確定的計算を組み合わせることで，揺らぎを含む環境調査データに対して**一貫した解析・考察を行える枠組み**を構築した。
3. 沿岸環境のデータ解析におけるAI活用・支援，また**熟練技術者の知見の継承方法**の一つとして，有効性が示唆された。

ご清聴ありがとうございました。