

西三河平野南西部堆積物を用いた CNS 元素分析 (速報) CNS elemental analyses using a sediment core obtained from the southwestern Nishimikawa Plain, central Japan

太田雄貴^{1*}・阿部朋弥¹
Yuki Ota^{1*} and Tomoya Abe¹

Abstract: Using a sediment core GS-HKN-1 collected from Aburagafuchi Lowland, southwestern part of the Nishimikawa Plain, we performed geochemical dataset of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), and total sulfur (TS) contents, C/N and C/S ratios. Based on the dataset, the observed long-term changes were divided into seven stages. TOC values were positively correlated with TN contents ($r = 0.79$) and C/N ratios ($r = 0.85$), but less correlation between TOC and TS contents was observed in a sediment core GS-HKN-1. Higher C/N and C/S ratios and TS contents were found in the Layer 3 and 6 sediments. High amplitudes of C/N (5–50) and C/S ratios (0–60) indicate the dataset of CNS element compositions of a sediment core GS-HKN-1 may provide a geological constraint on the relative sea-level changes in the Nishimikawa plain.

Keywords: Nishimikawa Plain, CNS elemental analysis, sea-level change

要 旨

西三河平野南西部に位置する愛知県碧南市の油ヶ淵低地において実施された、掘進長 80 m のオールコア試料 (GS-HKN-1) を用いて、全有機炭素 (TOC)、全窒素 (TN)、全硫黄 (TS) の含有量 (wt%) を測定した。これらの結果及び C/N、C/S 比に基づいて、堆積物コア GS-HKN-1 は主に 7 つの堆積層に分けられた。ボーリングコア GS-HKN-1 の TOC 含有量は TN 含有量 ($r = 0.79$) 及び C/N 比と強く相関していた ($r = 0.85$)。一方で、TOC 含有量と TS 含有量の間に明確な相関関係は見られなかった。また、C/N 比は 5 から 50 の間で変動しており、C/S 比も 0 から 60 の間で大きく変動していた。これらのことから、GS-HKN-1 コアの CNS 元素組成の変動は、主に淡水-海水間の堆積環境変動を反映している可能性がある。

1. はじめに

産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、平成 20 年度から、重点課題「沿岸域の地質・活断層調査」を進めており、そのうちのサブテーマである「平野域の地質調査」の一環として、平成 29 年度から伊勢湾・三河湾沿岸域を対象としたボーリング試料の収集・解析や地質調査を実施している。本報告書では、三河湾沿岸域にあたる西三河平野南西部の堆積物コアを用い

た有機炭素、窒素、硫黄含有量の測定について、その概要を記載する。

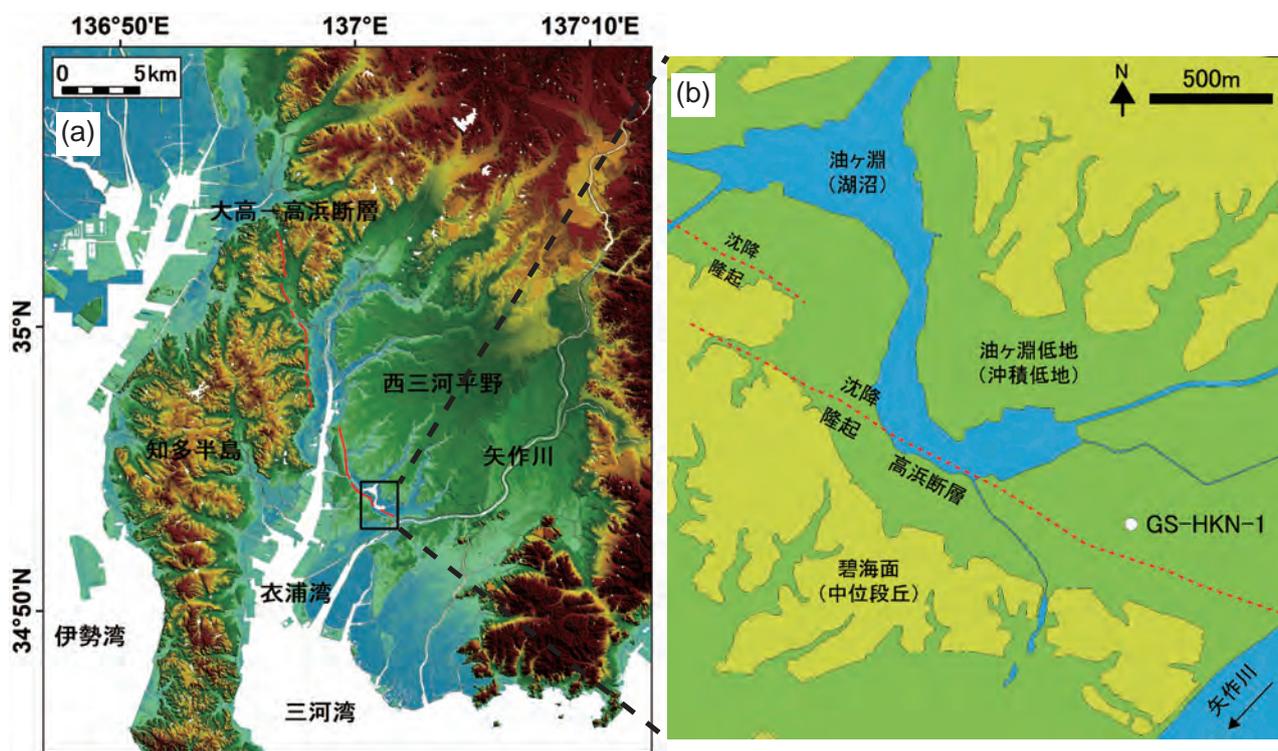
2. 対象地域の地形・地質概要

西三河平野は、東縁が矢作川水系、西縁が境川水系、南側が三河湾に面した、幅約 20 km、長さ約 40 km の北北東-南南西方向に伸びる平野である (第 1 図 a)。地形面は、大局的には北東から南西に向かって徐々に低くなる。これまで、西三河平野の地形判読や構成層の露頭調査、ボーリング資料の解析、堆積物の分析などから、平野内の地形面は 6 面に区分された (町田ほか, 1962; 森山, 1994)。地形面は、鮮新統東海層群の堆積面である藤岡面、更新統の三好層、挙母層、碧海層、越戸層の堆積面である三好面 (最高位段丘)、挙母面 (高位段丘)、碧海面 (中位段丘)、越戸面 (低位段丘) の 4 段の段丘面、及び更新世末期から完新世に形成された沖積面 (沖積低地) に区分された (町田ほか, 1962)。これらのうち、碧海面 (中位段丘) は、平野の南西部に広く分布し、緩やかに南西方向に傾き、平坦面がよく保存されている (町田, 1962; 森山, 1994)。沖積面 (沖積低地) は、段丘面の開析谷沿いに分布している。現在の矢作川の流路は、近世初頭の河道改修により矢作古川の位置を流れていたものを人工的に付け替えたものである。

森山 (1994) は、西三河平野にはデルタ性の堆積物

*Correspondence

1 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)



第1図 西三河平野の段彩標高図 (a) 及び GS-HKN-1 コアの掘削位置 (b). 阿部ほか (2019) の図に加筆して作成. 高浜断層の位置は, 今泉ほか編 (2018) に基づく.

Fig. 1 Elevation map of the Nishimikawa Plain (a) and drilling site of GS-HKN-1 core (b). These figures were made by editing the figure in Abe *et al.* (2019). Location of Takahama Fault was referred to Imaizumi *et al.* (2018).

が厚く堆積しているため、海進期や海退期の堆積物の情報から、海水準変動やそれに関連した古環境変動を考察することができると指摘している。

3. 試料と方法

ボーリングコア (GS-HKN-1) は、愛知県碧南市縄手町^{なわて}の畑地 (緯度: 34°53'27.4", 経度: 137°1'27.8", 標高: 1.38 m) で、2018年2月14日～3月19日にかけて深度 80 m まで掘削された (第1図 b)。掘削地点は、油ヶ淵低地の南東部に位置しており、西-南側には標高 7 m ~ 10 m の中位段丘面 (碧海面) が分布し、東側には矢作川が北東から南西方向に流れている。

ボーリングコアは、ロータリー式ボーリング工法と打ち込みサンプラーで掘削され、コアの採取と収納はスリーブ内蔵二重管サンプラー (ダブルコアチューブ) と一重管サンプラーを用いた。採取コア径は 65 mm である。採取したコア試料は、実験室でワイヤーまたはコアカッターを用いて半割し、半割面の詳細な層相記載と写真撮影を行った。コア記載の詳細は阿部ほか (2019) に記す。

GS-HKN-1 コアから砂質堆積物を除いてサンプリングした計 43 試料について、全有機炭素 (TOC)、全窒素 (TN)、全硫黄 (TS) の含有量 (wt%) を測定した。

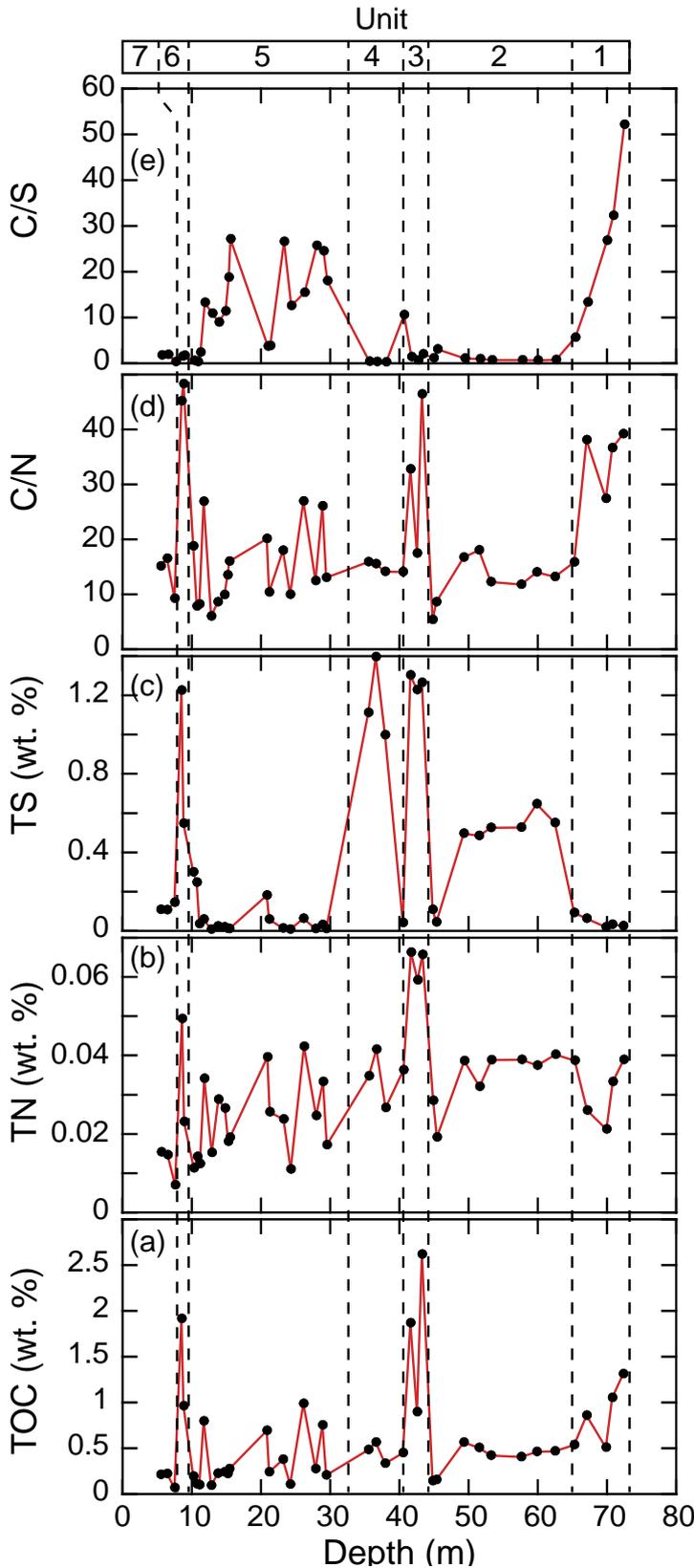
分取した試料は凍結乾燥機で 48 時間以上乾燥させた後、メノウ乳鉢で十分粉碎し均質化した。その後、Ag 製コンテナに粉末試料を約 20 mg 秤量し、1 mol/L 塩酸を数滴加え、65°C で乾燥させた。塩酸処理は試料の発泡が止まるまで繰り返した。その後、Sn 製コンテナに包んだ。TOC、TN、TS 含有量の測定には、地質調査総合センター所有の Thermo Scientific 社製 CHNS 元素分析装置 Flash 2000 を使用した。5 回の繰り返し測定に基づいて算出された標準偏差 (1σ) を測定誤差とした。TOC、TN、TS の測定誤差は 1% 未満であった。

4. 分析結果

GS-HKN-1 コアを C/N、TS 含有量及び C/N、C/S 比に基づいて、下位から、ユニット 1 ~ 7 に区分した (第2図)。結果の詳細は第1表にまとめた。以下に、各ユニットの分析結果を示す。

4.1 ユニット 1 (深度: 65.2 m ~ 72.4 m)

TOC 含有量は 0.5 ~ 1.3 wt.% (ave. = 0.8 wt.%, σ = 0.4 wt.%) を示した。TN 含有量は 0.02 ~ 0.04 wt.% (ave. = 0.03 wt.%, σ = 0.008 wt.%) を示した。TS 含有量は 0.02 ~ 0.09



第2図 堆積物コア GS-HKN-1 の有機元素 (TOC (a), TN (b), TS (c)) 含有量及び C/N 比 (d), C/S 比 (e) の深度プロファイル。

Fig. 2 Depth series profiles of organic elements (C/N, TS), C/N and C/S in core GS-HKN-1. (a) TOC, (b) TN, (c) TS, (d) C/N, (e) C/S. TOC: total organic carbon, TN: total nitrogen, TS: total sulfur, C/N: C/N ratio, C/S: C/S ratio.

wt.% (ave. = 0.04 wt.%, σ = 0.03 wt.%) と低い値を示し、上方に増加する傾向を示した。C/N 比は 15.8 ~ 39.2 (ave. = 29.8, σ = 10.6) であり、C/S 比は 5.7 ~ 52.2 (ave. = 29.2, σ = 19.1) と高い値を示した。2つの比はそれぞれ上方に減少する傾向を示した。

4.2 ユニット 2 (深度 : 44.8 m ~ 62.5 m)

TOC 含有量は 0.1 ~ 0.6 wt.% (ave. = 0.3 wt.%, σ = 0.2 wt.%) と低い値を示した。TN, TS 含有量は 0.02 ~ 0.04 wt.% (ave. = 0.03 wt.%, σ = 0.01 wt.%) と 0.55 ~ 9.04 wt.% (ave. = 0.37 wt.%, σ = 0.23 wt.%) を示し、上方に減少する傾向を示した。C/N 比は低い値を示し、5.3 から 16.7 の間で変動した (ave. = 11.3, σ = 3.9)。C/S 比もまた低い値を示し、0.7 から 3.1 の間で変動した (ave. = 1.3, σ = 0.93)。

4.3 ユニット 3 (深度 : 41.6 m ~ 42.6 m)

TOC 含有量 (ave. = 1.8 wt.%, σ = 0.9 wt.%) と C/N 比 (ave. = 32.2, σ = 14.5) はそれぞれ高い値を示した。TN 含有量 (ave. = 0.06 wt.%, σ = 0.01 wt.%) と TS 含有量 (ave. = 1.26 wt.%, σ = 0.04 wt.%) もまた高い値を示した。C/S 比はユニット 2 とほぼ同じような値を示した (ave. = 1.4, σ = 0.7)。

4.4 ユニット 4 (深度 : 35.5 m ~ 40.6 m)

TOC と TN 含有量の比較的安定した変動が見られ、TOC 含有量は 0.3 ~ 0.5 wt.% (ave. = 0.4 wt.%, σ = 0.1 wt.%) を示し、TN 含有量は 0.02 ~ 0.04 wt.% (ave. = 0.03 wt.%, σ = 0.01 wt.%) を示した。一方で TS 含有量の変動幅は大きく、0.04 ~ 1.40 wt.% (ave. = 0.89 wt.%, σ = 0.59 wt.%) を示した。C/N 比 (ave. = 14.9, σ = 0.9) 及び C/S 比 (ave. = 2.9, σ = 5.1) はそれぞれ低い値を示した。

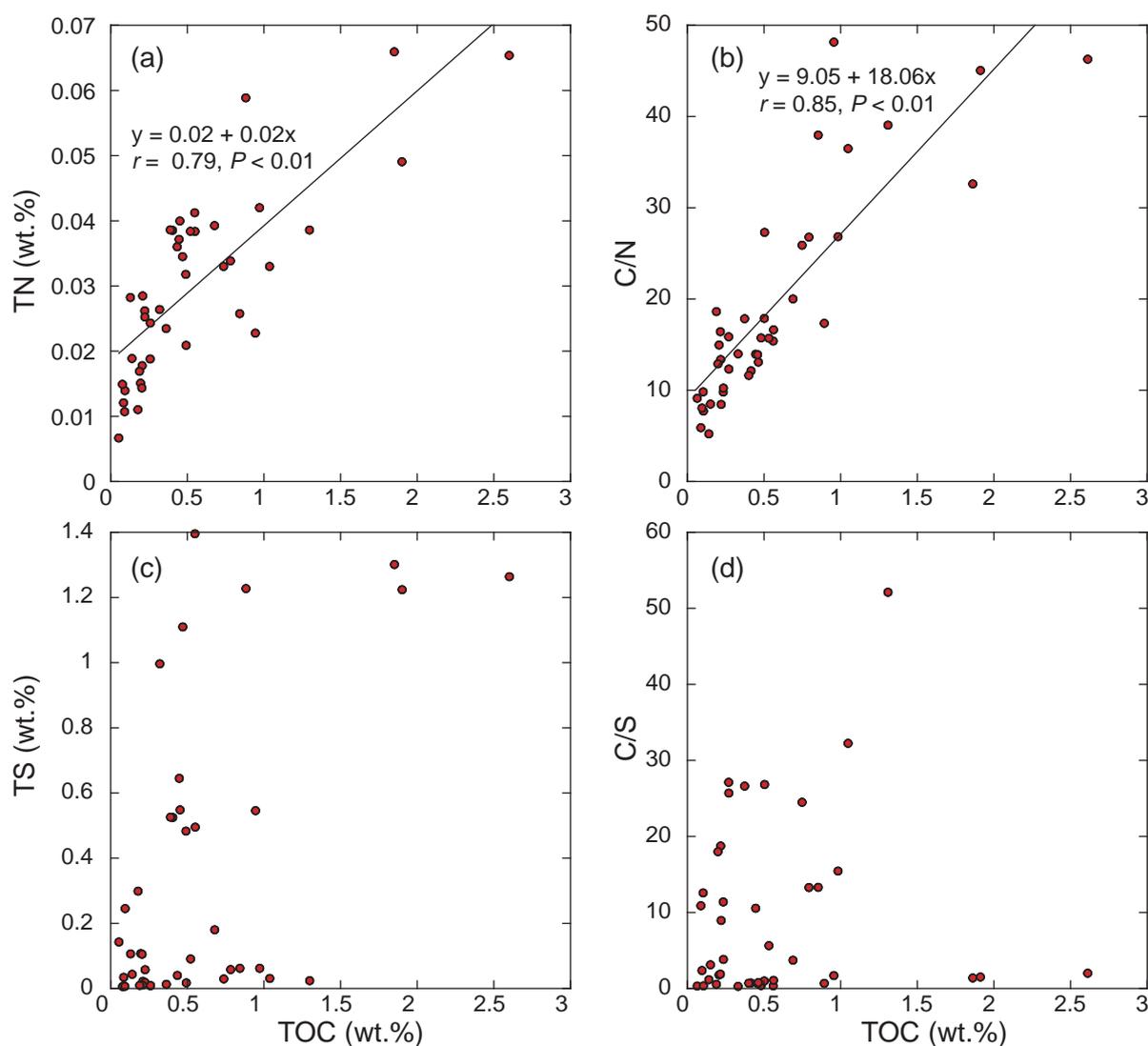
4.5 ユニット 5 (深度 : 10.2 m ~ 29.5 m)

比較的高い変動幅の TOC 含有量 (ave. = 0.3 wt.%, σ = 0.3 wt.%) と TN 含有量 (ave. = 0.03 wt.%, σ = 0.01 wt.%) を示した。また低い TS 含有量 (ave. = 0.04 wt.%, σ = 0.09 wt.%) が観測された。C/N 比 (ave. = 15.5, σ = 7.0) 及び C/S 比 (ave. = 15.8, σ = 9.2) はそれぞれ高い値を示し、また変動幅も大きかった。

第1表 西三河平野堆積物コア GS-HKN-1 の CNS 分析結果.

Table 1 CNS elemental analysis results for sediment core GS-HKN-1 collected from Nishimikawa Plain.

Core depth (m)	TN (wt.%)	TS (wt.%)	TOC (wt.%)	TOC/TN	TOC/TS
5.5	0.02	0.11	0.20	12.9	1.8
6.4	0.01	0.11	0.20	14.2	1.9
7.5	0.01	0.14	0.05	7.9	0.4
8.5	0.05	1.22	1.90	45.2	1.6
8.8	0.02	0.55	0.95	41.3	1.7
10.2	0.01	0.30	0.18	18.7	0.6
10.7	0.01	0.25	0.09	7.8	0.4
11.1	0.01	0.04	0.08	8.2	2.4
11.7	0.03	0.06	0.78	26.9	13.3
12.8	0.02	0.01	0.08	5.2	10.9
13.75	0.03	0.02	0.21	8.6	9.0
14.72	0.03	0.02	0.22	9.9	11.4
15.15	0.02	0.01	0.21	13.5	18.8
15.4	0.02	0.01	0.26	16.0	27.2
20.82	0.04	0.18	0.68	20.1	3.7
21.15	0.03	0.06	0.22	10.4	3.9
23.17	0.02	0.01	0.36	18.0	26.6
24.2	0.01	0.01	0.09	9.9	12.6
26.11	0.04	0.06	0.97	27.0	15.5
27.87	0.02	0.01	0.26	12.4	25.7
28.87	0.03	0.03	0.74	26.0	24.5
29.4	0.02	0.01	0.19	13.0	18.0
35.5	0.03	1.11	0.47	15.9	0.4
36.57	0.04	1.40	0.55	15.5	0.4
37.9	0.03	1.00	0.32	14.1	0.3
40.5	0.04	0.04	0.44	14.1	10.6
41.6	0.07	1.30	1.85	32.7	1.4
42.55	0.06	1.23	0.88	17.5	0.7
43.25	0.07	1.26	2.60	46.4	2.1
44.8	0.03	0.11	0.13	5.3	1.2
45.35	0.02	0.04	0.14	8.6	3.1
49.3	0.04	0.50	0.55	16.7	1.1
51.48	0.03	0.48	0.49	15.4	1.0
53.2	0.04	0.53	0.41	12.2	0.8
57.57	0.04	0.53	0.39	11.8	0.7
59.85	0.04	0.65	0.45	12.0	0.7
62.45	0.04	0.55	0.45	13.2	0.8
65.25	0.04	0.09	0.52	15.8	5.7
67.05	0.03	0.06	0.84	32.6	13.3
69.85	0.02	0.02	0.49	27.4	26.9
70.75	0.03	0.03	1.04	36.6	32.3
72.33	0.04	0.02	1.30	39.2	52.2



第3図 堆積物コア GS-HKN-1 の TOC 含有量と TN 含有量 (a), C/N 比 (b), TS 含有量 (c), 及び C/S 比 (d) の関係図。

Fig. 3 Cross plots of TOC and TN contents (a), TOC contents and C/N ratios (b), TOC and TS contents (c), and TOC contents and C/S ratios (d) of core GS-HKN-1. r = Pearson's correlation coefficient and P = p-value.

4.6 ユニット6 (深度: 8.5 m ~ 10.2 m)

TOC含有量とTN含有量はそれぞれ上方に向かって増加しており, TOC含有量は0.9~1.9 wt.% (ave. = 1.4 wt.%, σ = 0.7 wt.%) を示し, TN含有量は0.02~0.05 wt.% (ave. = 0.04 wt.%, σ = 0.01 wt.%) を示した. TS含有量もまた上方に向かって増加する傾向を示し, 0.54~1.22 wt.% (ave. = 0.89 wt.%, σ = 0.48 wt.%) を示した. C/N比は高い値 (ave. = 43.3, σ = 2.7) を示したが, C/S比は低い値 (ave. = 1.64, σ = 0.13) を示した.

4.7 ユニット7 (深度: 5.5 m ~ 8.5 m)

低い TOC, TN 含有量が見られ, TOC 含有量は 0.1 ~ 0.2 wt.% (ave. = 0.2 wt.%, σ = 0.08 wt.%) であり, TN 含有量は 0.01 ~ 0.02 wt.% (ave. = 0.01 wt.%, σ = 0.004 wt.%) であった. TS 含有量は 0.10 ~ 0.14 wt.% (ave. = 0.12

wt.%, σ = 0.02 wt.%) という低い値を示した. C/N 比は 7.9 ~ 14.2 (ave. = 11.7, σ = 3.3) を示した. C/S 比はかなり低い値 (ave. = 1.37, σ = 0.87) を示した.

5. 西三河平野における海水準変動の復元に対する CNS 元素組成の有用性

堆積物中の TOC 含有量は, 堆積場所における当時の生物生産や異地性の有機物の流入量によって変化する (Lamb *et al.*, 2006). 植物プランクトンや陸生高等植物由来の有機物は異なる炭素:窒素比を有するため, 堆積物の C/N 比は異なる有機物起源の相対的な寄与の評価に使用されてきた. 一般的に, 陸生高等植物由来の有機物は, リグニンやセルロースに由来する高い炭素含有量と低い窒素含有量という特徴から, 12 以上の C/

N比を示す (Lamb *et al.*, 2006). C3 維管束植物は 12 程度の値を示すが, C4 草本植物は 30 を超える高い値を示す. 一方で, 海洋藻類やバクテリアはタンパク質に由来する高い窒素含有量を有する. そのため, 藻類及びバクテリアの C/N 比は 10 以下の低い値を示す (Lamb *et al.*, 2006). これらの特徴的な C/N 比に基づいて, いくつかの先行研究では堆積物中の C/N 比を用いて海水準変動に伴う海洋植物プランクトンと陸生植物の相対的な寄与の変動を議論している (Mackie *et al.*, 2005; Lamb *et al.*, 2006; Zhan *et al.*, 2012).

間隙水中での硫酸還元は堆積物-水境界面で起こる酸化還元反応として知られている (Bernier and Raiswell, 1984). 硫酸還元は堆積物中の有機炭素の分解を引き起こし, 結果として溶存 H₂S を形成する (Bernier, 1984). 形成された H₂S は間隙水中の鉄と反応することで, 主にパイライト (FeS₂) などの鉄硫化物を形成する.

沿岸域など陸域からの鉄の供給が豊富な場所では, 堆積物中の FeS₂ の形成は有機炭素の供給量もしくは間隙水中の硫酸イオン濃度に制限される (Bernier, 1984). 結果として, TS 含有量及び C/S 比は堆積物中のパイライト形成の有無及びその原因となった堆積環境の推定のため, 沿岸域や淡水湖, 貧酸素な海盆などで幅広く使用されてきた (e.g., Bernier and Raiswell, 1984; Sampei *et al.*, 1997; Rosenbauer *et al.*, 2009; Ratnayake *et al.*, 2017). パイライトの形成を制限する環境要因から, いくつかの研究では C/S 比を堆積環境における大まかな塩分変動に使用されてきた (Rosenbauer *et al.*, 2009; Ratnayake *et al.*, 2017). 淡水環境では, 間隙水中の硫酸イオンが低いため, パイライトはほとんど形成されない. 結果として, 堆積物中では低い TS 含有量及び高い C/S 比を示す (Bernier, 1984). 海水環境では, 間隙水中に多量の硫酸イオンが供給されるため, パイライトの形成は堆積物中の有機炭素によって制限される. 硫酸還元時は有機炭素の分解が起こるため, 結果的に海水性の堆積物は高い TS 含有量及び低い C/S 比を有する (Bernier, 1984).

GS-HKN-1 コアの TOC 含有量は TN 含有量 ($r = 0.79$) 及び C/N 比と強く相関していた ($r = 0.85$) (第 3 図 a, b). このことから, TOC 含有量の変動は主に陸生高等植物由来の有機物供給量変動を反映していると思われる. C/N 比は 5 から 50 の間で変動していることから, 淡水供給量の急激な変動を有するような堆積環境変動を反映している可能性がある. また, TOC 含有量と TS 含有量及び C/S 比の間に明確な相関関係は見られなかった (第 3 図 c, d). また, C/S 比も 0 から 60 の間で大きく変動していることから, GS-HKN-1 コアの CNS 元素組成の変動は, 主に淡水-海水間の堆積環境変動を反映している可能性がある. 今後, 層相や微化石群集,

堆積年代などと比較することで, 西三河平野における海水準変動の復元に役立つと思われる.

6. まとめ

本調査では, 愛知県西三河平野南西部で掘削されたボーリングコア (GS-HKN-1) について CNS 元素分析を実施した. その結果, 西三河平野における過去の海水準変動の推定に関する, 堆積物中の CNS 元素組成のポテンシャルが示された. 今後, 本コアの堆積年代が明らかにされ, 堆積や微化石群集などに基づく堆積環境の推定結果と比較することで, 本地域における詳細な堆積環境の変遷を復元し, 詳細な海水準変動や地殻変動を復元できる可能性がある.

謝辞: ボーリング調査に際して, 土地所有者や耕作者, 鷺塚町内会, 碧南市経済環境部農業水産課に多大な便宜を図って頂いた. ボーリング作業は, 中央開発株式会社によって実施された. ボーリングコアの CNS 分析については, 地質情報研究部門の中島 礼博士, 鈴木淳博士, 吉永弓子氏, 國本節子氏をはじめ, 多くの方からのご協力をいただいた. 以上の方々に深く感謝申し上げます.

文 献

- 阿部朋弥・中島 礼 (2018) 西三河平野南西部における高浜断層沿いの地下地質 (予報). 平成 29 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no. 76, 29-44.
- 阿部朋弥・中島 礼・納谷友規 (2019) 西三河平野南西部, 油ヶ淵低地におけるボーリング調査. 平成 30 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no. 79, 71-86.
- Berner, R. A. (1984) Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochimica Cosmochimica Acta*, **48**, 605-615.
- Berner, R. A., Raiswell, R. (1984) C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. *Geology*, **12**, 365-368.
- 今泉俊文・宮内崇裕・堤 浩之・中田 高 (2018) 活断層詳細デジタルマップ 新編. 東京大学出版会, 154p.
- Lamb, A. L., Wilson, G. P., Leng, M. J. (2006) A review of coastal palaeo-climate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}C$ and C/N ratios in organic material. *Earth-Science Reviews*, **75**, 29-57.

- 町田 貞・太田陽子・田中真吾・白井哲之 (1962) 矢作川下流域の地形発達史. 地理学評論, **35**, 505-524.
- Mackie, E. A. V., Leng, M. J., Lloyd, J. M., *et al* (2005) Bulk organic $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios as palaeosalinity indicators within a Scottish isolation basin. *J. Quat. Sci.*, **20**, 303-312.
- 牧野内猛・加藤麻衣・大石康雄・塚本将康・武邑圭司・大島 武・杉浦 武 (2011) 愛知県安城市の地下地質. 地質学雑誌, **117**, 79-94.
- 森山昭雄 (1994) 西三河平野, 碧海層の堆積構造と海水準変動. 地理学評論, **67A**, 723-744.
- Ratnayake, A.S., Sampei, Y., Ratnayake, N.P., Roser, B.P. (2017) Middle to late Holocene environmental changes in the depositional system of the tropical brackish Bolgoda Lake, coastal southwest Sri Lanka. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, **465**, 122-137.
- Rosenbauer, R. J., Swarzenski, P.W., Kendall, C., Orem, W.H., Hostettler, F. D., Rollog, M. E. (2009) A carbon, nitrogen, and sulfur elemental and isotopic study in dated sediment cores from the Louisiana Shelf. *Geo. Mar. lett.*, **29**, 415-429.
- Sampei, Y., Matsumoto, E., Kamei, T., Tokuoka, T. (1997) Sulfur and organic carbon relationship in sediments from coastal brackish lakes in the Shimane peninsula district, southwest Japan. *Geochem J.*, **31**, 245-262.
- Zhan, Q., Wang, Z., Xie, Y., Xie, J., He, Z. (2012) Assessing C/N and $\delta^{13}\text{C}$ as indicators of Holocene sea level and freshwater discharge changes in the subaqueous Yangtze delta, China. *Holocene*, **22**, 697-704.