

理学的試験による堆積環境と地盤特性の評価法—地盤特性の解釈の精緻化—

Evaluation of Ground Property and Sedimental Environment Using Scientific Analysis

北 田 奈緒子 (きただ なおこ)

財地域地盤環境研究所 主任研究員

木 村 隆 行 (きむら たかゆき)

㈱エイトコンサルタント 地質解析・土壌汚染部門長

岩 城 啓 美 (いわき ひろみ)

財地域地盤環境研究所 研究員

磯 野 陽 子 (いその ようこ)

㈱エイトコンサルタント 地質解析・土壌汚染部門 主任

1. はじめに

地盤特性を解釈するためには、その地盤がどのような環境で堆積したのかを知ることが重要である。これは、堆積環境が分かればその地層の構成粒子の大きさや、特徴などをおおむね類推することができるためである。また、堆積物の堆積年代も重要な情報である。堆積年代が古ければ一般に地層は圧密が進行し、堆積年代が地層の上下で大きく異なれば、堆積が断続的であったことがわかる。よって理学的試験において検討する項目は「堆積環境の把握」と「堆積年代の把握」が中心となる。

本論文では、このような理学的試験方法の紹介とその検討事例を報告し、地盤特性の評価に必要な堆積環境に関する事項などについて述べる。

2. 堆積環境調査法について

堆積環境調査方法については、地盤調査法 (2000)¹⁾ にもいくつか挙げられているが、一般的には微化石総合分析および珪藻分析が地質学的な手法として主に用いられており、かつ簡便である。また、堆積年代を明らかにするためには、各種年代測定や火山灰分析 (特に広域火山灰層の認定) が用いられる。以下に主な堆積環境を明らかにする方法と堆積年代を求める方法について記す。

2.1 微化石総合分析

ボーリングにより採取された少量の試料を短時間で処理し、含有微化石群の相対的産出量や微化石以外の火山ガラス、有機物片、軽石や雲母、角閃石、黄鉄鉱などの鉱物の有無を参考にして、堆積環境の概要 (海成層か非海成層の区分) を把握する方法である²⁾。分析は、試料を洗篩 (目開き 75 μm) して乾燥させた残渣試料を、双眼実体顕微鏡で検鏡して行う。観察時には、化石などの検鏡項目が残渣試料にどれだけ含まれるのかを準定量的な産出頻度によって判断する。陸成、海成などコントラストの大きい場合は有効であるが、潮間帯など内湾の環境などの場合は、珪藻分析などと組み合わせて実施することが多い。

2.2 珪藻分析

珪藻は数 10～数 100 μm の単細胞の藻類で、河川・湖沼などの淡水域から海岸・大洋などの海水域にまで広く生息している。珪藻類の構成種は、水温・塩分濃度・酸

性度・各種無機塩類、水流などの違いで種が異なることから、量的・質的把握および種の同定により古環境の推定が可能である。特に塩分濃度による棲み分けが行われているため、内湾や海岸における海水準変動による環境の変遷や変化を検討することができ、微化石総合分析と同様によく用いられる。種の同定には透過型生物顕微鏡を用いる場合が多いが、詳細な種の特定には電子顕微鏡が必要となる場合もある。

2.3 CNS 元素分析

CNS 元素分析は、元素分析装置や原子吸光法などにより、試料中の炭素 (C)・窒素 (N)・硫黄 (S) の含有量を測定する分析である。一般に有機炭素や窒素量は陸成起源植物、硫黄量は黄鉄鉱に由来すると考えられている。試料中の炭素・窒素・硫黄の含有量変化には、いくつかの要因が考えられるが、有機炭素量 (TOC) および全窒素量 (TN) は、基本的に陸性起源の有機物量を反映するので、これらの元素が多い堆積物は淡水成層と判断でき、硫黄含有量 (TS) が多い場合は海成層と判断できる。

2.4 年代測定

放射性同位体核種などの放射壊変などから求める放射年代や、一定の割合で進行する化学反応を利用する年代値は、数値年代として有効な情報である。年代測定にはいくつかの手法があるが、地表付近の比較的新しい堆積物の年代を測定するには、一般的に炭素年代測定法が用いられる。炭素は動植物に含まれるので、地層中の材・炭化物や貝化石などを用いて堆積年代を決定する。測定には、従来のガス比例計数管および液体比例計数管を用いた β 線法に加え、より微量の炭化物を用いても測定可能な加速器質量分析計を用いた AMS 法がある。

2.5 火山灰分析

試料中に含まれる火山灰層あるいは火山灰濃集層を特定し、その中の火山ガラス片や鉱物の屈折率を用いて広域火山灰との同定作業を行う。広域火山灰層は噴出年代が特定されているので、試料中の火山灰層の堆積年代を決定することができる。また、広域火山灰層でない場合でも、その特徴から周辺の地層中の火山灰との対比が可能である。分析では、微化石総合分析の試料を生物顕微鏡 (偏光付) で検鏡し、産出頻度によって判断する。

2.6 その他の分析調査法

その他、ナンノ化石分析、年代測定には ESR 年代測定など多くの手法があるが、試料の特徴などを考え、適切に組み合わせて使用する場合が多い。

3. 堆積環境調査結果および評価の事例

茨城の試験フィールドで行った一斉調査のボーリング試料を用いて、肉眼観察、珪藻分析、炭素年代測定、植物片含有量調査、CNS 元素分析などを行った結果と評価を、以下に述べる。

図-1 に柱状図および各種分析結果を示す。肉眼観察によると、GL0～-8 m, -14～-23 m は粘土層で、その間には砂からなる粗粒層(一部細粒砂混じりの砕礫層)が挟在する。GL0～-7 m は有機質であり、特に GL-2～-3 m, GL-6～-7 m は草本科の植物を多く含む未分解の有機質粘土である。

珪藻分析の結果、GL-6～-10 m, GL-14～-18 m で海生種が産出する。下部粘土層と上部粘土層部にはそれぞれ各層の下部に淡水成～海成への一連の変化が読み取られ、気候変動による海進と考えられる。

火山灰分析では、GL-4 m, -14 m, -18 m に火山ガラスが多く含まれる層準が確認されたが、屈折率分析の結果、単独の火山灰層準ではなく、複数の広域火山灰が混合して再堆積したものであることがわかった。また、GL-4 m の試料には広域火山灰層であるアカホヤ火山灰が混入することから、GL-4 m 以浅は少なくとも約 7000 年前よりも新しい堆積物であり、GL-14 m 以深は

これよりも古い堆積物であると考えられる。

炭素年代測定はいずれの試料も植物組織を用いて測定し、GL-6.8 m で約 5 600 yBP, GL-8.6 m で約 6 700 yBP, GL-17.0 m で約 37 800 yBP の年代値が得られた。

CNS 元素分析の結果、全硫黄量 TS=0.2～0.5% 以上を海成層として判断すると、GL-6～-10 m, GL-14～-18 m が海成層である。この範囲は前述の珪藻分析結果ともほぼ一致するが、珪藻分析の生物指標で得られる海生種の出現範囲よりも狭く、なおかつ最大海進時期と思われる海生種の最も多い時期と TS が最大になる層準が異なることに留意する必要がある。これは、堆積物に含まれる TS の増加時期と最大海進時期との間に時間的誤差が生じている可能性もあるので、今後の検討が必要である。GL-10 m 付近では TS が 0.2% 程度で、陸成に近い値となっている。これは砂層であるため、分析値が低くなっていると考えられる。

海成層をさらに汽水成層と海水成層に区分するため TOC-TS 相関図を用いて検討した。区分の方法はいくつか存在するが^{3),4)}など、海水成層は TOC/TS=2.8、汽水成層は TOC/TS=0.86 程度である⁵⁾。TS で判断した海成層は、この汽水～海水成層の範囲に分布し、両環境が混在する河口部に近い堆積物と判断できる。ただ、他の陸成と考えられる領域で、TOC/TS が同じような汽水～海水領域に分布しているものは、砂層のデータであるものや、洪積層で有機物の分解が進行しているものなどの影響を受けていると考えられ、吟味が必要と判断される。

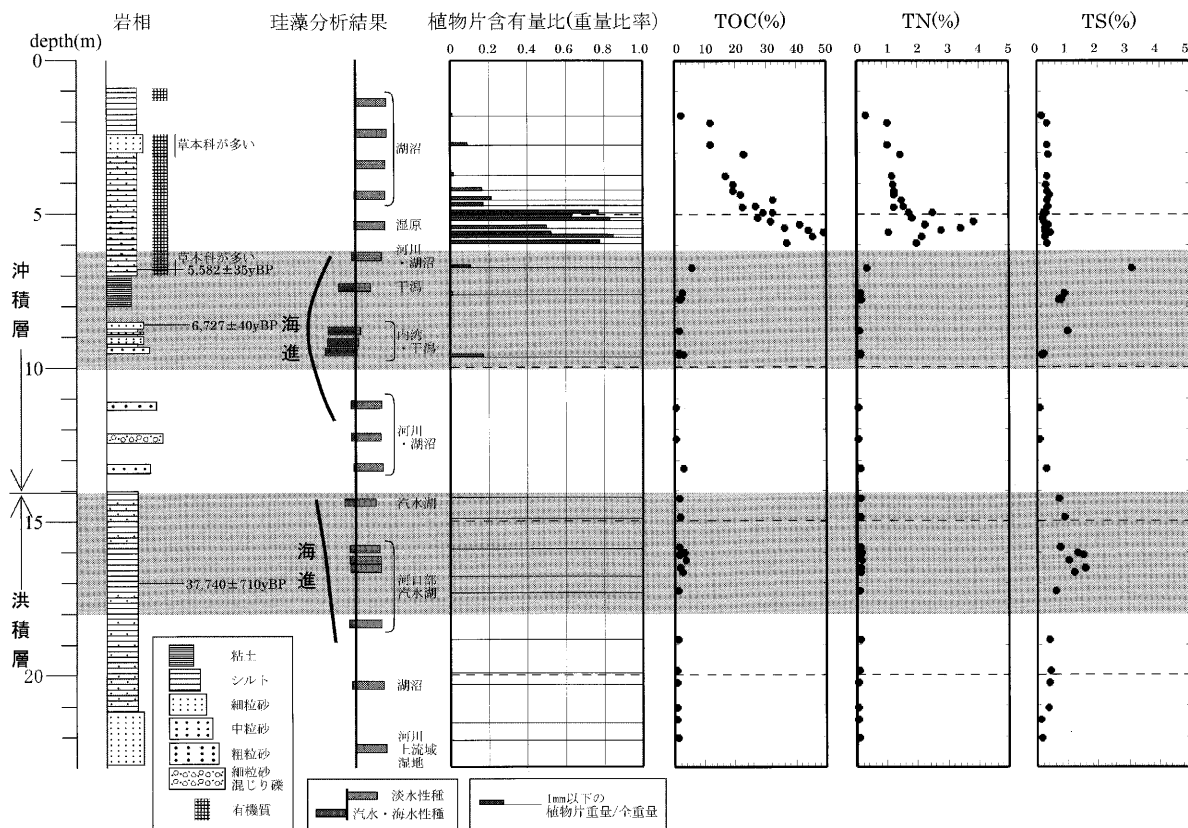


図-1 各種堆積環境調査の結果

論文

以上の結果を総合して茨城コアの堆積環境について検討を行う。上部の細粒層と下部の細粒層の間に砂礫層が堆積することから両細粒層の堆積時期にある程度の時間間隙が存在すると思われる。珪藻分析結果によれば、海進と思われる環境の変化が GL-18～-14 m に見られ、さらに海進と海退の変化が上部細粒層を含んで GL-12～-7 m 付近に見られる。年代測定の結果などを考慮すると、下部細粒層は洪積層（更新統）の堆積物で、その上部は GL-13 m 以浅に分布する粗粒層によって削割されたものと考えられる。一方、GL-1～-14 m は年代測定値から沖積層（完新統）の堆積物と考えられ、この海進（GL-12～-7 m）は「縄文の海進（約6000年前をピークとする海水面の上昇）」に相当すると思われる。

4. 堆積環境調査結果と地盤特性の評価について

4.1 堆積環境の把握の有効性

前述のように堆積環境と合わせて地盤特性を検討すると、海成堆積物は細粒の土粒子からなり、一般的に物理特性は安定した高い値が得られる傾向がある。このため、堆積環境を明らかにすることで、物理特性を予測することが可能になる。諏訪・松井（1995）⁶⁾でも述べられているように、ナンノ化石分析や珪藻分析など海成堆積物を示す指標と物理特性には相関があり、堆積当時の塩分濃度を知るうえでも有効であると考えられる。しかし、本調査の試料のように、海成の指標は得られるが有機物も多く、潮間帯～河口部のような弱い海成の堆積環境では、ナンノ化石は産出しないため、適切な検討方法を模索する必要がある。このような場合、CNS 元素分析は地質情報を数値化して示すことができ、かつ本検討では各堆積環境分析の結果とも相関が良かったことから、今後堆積環境の検討に利用することが可能であると考えられる。ただし、珪藻分析や CNS 元素分析、微化石総合分析、ナンノ分析などから得られる海成の領域は、分析指標により微妙に異なる。特に内湾の潮間帯～河口部の環境の判断の指標は分析によって異なるので、留意が必要である。

4.2 物理特性の把握に有効と思われる理学情報

図-2 に GL-4～-6 m の物理特性と有機質粘土中の植物片含有量比を示す。この部分の有機物は未分解の植物片も多いことから、試料に含まれる 1 mm 以上の植物片を試験的にふるい分けし、重量比率で示した。GL-5～-6 m では特に植物片が多く、含水比が高くなる傾向が見られる。また、GL-5.4～-5.6 m 付近では炭化植物片が多く見られ、一部粉碎して含有量比が上下の地層よりもやや低くなっている。TOC では未分解の植物片と分解の進んだ有機質分とは区別できないので密度変化はほとんどないが、植物片含有量比の情報は物理特性と相関があることがわかった。

また、CNS 元素分析結果も地質情報が分析数値として得られるため、各物理特性などと比較検討することが

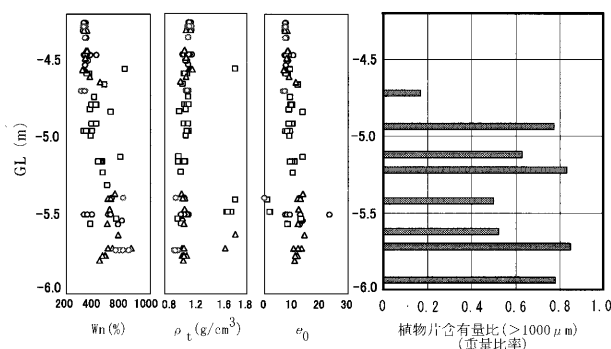


図-2 自然含水比，密度，間隙比と植物片含有量比

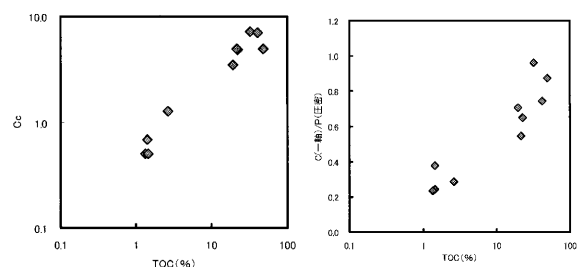


図-3 TOC-Cc 相関図（左），および TOC-C/P 相関図（右）

できる。図-3 に TOC と Cc および C/P の関係図を示す。TOC が多いほど Cc および C/P が大きくなる正の相関が認められた。このように CNS 元素分析では、土質試験結果との比較および相関についての検討も可能である。

5. まとめ

理学的試験を用いた堆積環境の情報は、物理特性などを把握する上で有効な情報であると考えられる。特に海成の堆積物の特定や植物片含有量比などは物理特性や各種土質試験結果とも相関がある可能性がみられる。今後は、これらの分析例を増やして傾向と特性について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，第2編，2003。
- 2) 中世古幸次郎・西村明子・山内守明・菅野耕三・竹村厚司：微化石総合調査，災害科学研究所報告，関西国際空港地盤地質調査，pp. 7～12，1984。
- 3) Berner, R. A. and Raiswell, R.: Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, Vol. 47, pp. 855～862, 1983。
- 4) Berner, R. A.: Sedimentary, pyrite formation: An update, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, Vol. 48, pp. 605～615, 1984。
- 5) 亀井健史・石原廣和・近藤英昭：全硫黄，全窒素，全有機炭素からみた高岡平野完新世堆積物の堆積環境評価，*応用地質*，Vol. 43, No. 1, pp. 35～42，2002。
- 6) 諏訪靖二・松井 保：大阪盆地における堆積環境と土質特性，*土と基礎*，Vol. 43, No. 10, pp. 41～44，1995。

(原稿受理 2006.4.4)