

ISSN 1346-7328

国総研資料 第888号
平成 28 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.888

March 2016

東京湾沿岸域の底泥の堆積速度

岡田 知也・井芹 絵理奈・秋山 吉寛

Sedimentation Rate in Coastal Regions in Tokyo bay

Tomonari OKADA, Erina ISERI, Yoshihiro B.AKIYAMA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

東京湾沿岸域の底泥の堆積速度

岡田知也*・井芹絵里奈**・秋山吉寛**

要 旨

富栄養化した海域において、底泥の堆積速度は、その水域の環境負荷を表す一つの指標である。また、底泥の堆積速度から、覆砂や生物の生息場の再生等の環境改善策の適応性（持続期間）を評価することができる。本研究では、既往の研究では実施されていない東京湾の港内や河口域等の沿岸域の堆積速度を分析し、今後の様々な検討の基礎情報として示すことを目的とする。

採泥は2014年2月に6地点、2015年1月に2地点の計8地点で実施し、50 cmの鉛直コアを潜水土によって採取した。 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、含水比、土粒子密度、粒度分布、TOC、および底泥粒子の化学組成（ SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 CuO 、 ZnO ）を2 cm間隔で分析した。

底泥の堆積速度は、隅田川河口で $0.47 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、京浜運河で $0.40 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、江戸川河口で $0.3 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ から $0.7 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、多摩川河口で $0.6 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、市原沖で $0.12 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、木更津沖で $0.25 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ であった。本研究で用いた底泥の鉛直コアは潜水土によって採泥されたものであり、採泥による攪乱を極力抑えられている。また、 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ は2 cm間隔で分析され、鉛直方向に比較的詳細な分析結果である。加えて、粒度分布、含水比、TOC、Csおよび底泥粒子の化学組成を併せて分析し、その結果を考慮した解析を行っている。本研究で得られた港内や河口域等の沿岸域の堆積速度は、これまで示されてこなかった値であり、今後の沿岸域の環境改善事業を実施する際には、有益な情報になると考えている。

キーワード：堆積速度、底泥、Pb、東京湾

* 沿岸海洋・防災研究部海洋環境研究室長

** 沿岸海洋・防災研究部海洋環境研究室研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5023 Fax：046-844-1145 e-mail: okada-t92y2@mlit.go.jp

Sedimentation Rate in Coastal Regions in Tokyo bay

Tomonari OKADA*

Erina ISERI**

Yoshihiro B. AKIYAMA**

Synopsis

In eutrophicated coastal regions, the sedimentation rate refers to the amount of organic matter and minerals deposited by the action of water over a given interval of time, and the rate is an important index of environmental load. In addition, by using the rate, we can predict the effect and durability of environment improvement measures in the coastal regions, for example sand capping and the creation of tidal flats and seaweed beds. In this study, we aimed to estimate the sedimentation rates in coastal regions in Tokyo bay.

Sediments cores, 10 cm in diameter and 50 cm of length, were collected from 6 sites in 2014 and 2 sites in 2015. $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, ^{137}Cs , ^{134}Cs , water content, grain size distribution, TOC and chemical composition (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CuO , ZnO) were analyzed at each 2 cm depth.

The sedimentation rates were 0.47 g/cm²/y at the mouth of the Sumida river, 0.40 g/cm²/y in the Keihin canal, 0.3 - 0.7 g/cm²/y at the mouth of the Edo river, 0.6 g/cm²/y at the mouth of the Tama river, 0.12 g/cm²/y off the coast of Ichihara, and 0.25 g/cm²/y off the coast of Kisarazu. Since this is the first time these sedimentation rates have been taken, they are expected to be useful information for the future environment improvement measures in the coastal regions in the bay.

Keywords: sedimentation rate, sediment, Pb, Tokyo bay

*Head of Marine Environment Division, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department

**Researcher of Marine Environment Division, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department

National Institute for Land and Infrastructure Management

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone: +81-46-844-5023 Fax : +81-46-844-1145 e-mail: okada-t92y2@mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 方法	2
2.1 採泥	2
2.2 堆積速度	2
2.3 Cs を利用した混合層の推定	3
2.4 化学組成を利用した年代の推定	3
3. 結果	3
3.1 鉛直分布の特徴	3
4. 考察	11
4.1 堆積速度の空間分布	11
4.2 ZnO を用いた堆積速度の修正	12
4.3 stn.5 における化学組成が変化する層の存在	13
5. まとめ	13
謝辞	14
参考文献	14

1. はじめに

閉鎖性内湾の水環境に対して、底泥は、富栄養化の要因となるリンや窒素の栄養塩や青潮の要因となる硫化物の溶出源として、また、底層の溶存酸素を消費して貧酸素水塊の形成要因となるなど、主要な環境因子である。加えて、底泥は、生物の生息基盤としての役割もあり、重要な環境基盤である。

底泥は、有機物や栄養塩を蓄積するため、過去の環境負荷の履歴を保持する特徴がある。したがって、底泥について考慮する際には、底泥表面だけでなく、鉛直方向についても調べることによって、現在だけでなく過去の情報を入手することが可能である。また、底泥の堆積状況を調べることによって、その場所は底泥が溜まり易いところか否かを把握することができる。

底泥の溜まり易さを示す指標として、底泥の堆積速度がある。底泥の堆積速度は、底泥を構成する有機物および砂やシルトの鉱物粒子が年間当たりどの程度堆積するかを示す指標である。有機物含有率が高くかつ堆積速度が速い水域は、底泥への汚濁負荷が高い水域と言える。一方、堆積速度が速くても、有機物含有率が小さい場合には、汚濁負荷は高いとは言わない。堆積物が砂ならば、むしろ良好な環境である。

この堆積速度を知ることによって、覆砂や生物の生息場の再生等の環境改善策（干潟造成、藻場造成）の適応性（持続期間）を推測することができる。有機物含有率が高くかつ堆積速度が速い水域では、覆砂の効果の持続時間は比較的短くなる。有機物含有率が高くても、堆積速度が遅い水域では、覆砂の効果の持続時間は比較的長くなる。一方、有機物含有率が低くかつ堆積速度が速い水域では、底質の悪化が問題となることはなく、覆砂を実施することは考えられない。

東京湾の堆積速度は、松本・斎藤（1984）によって46地点、清水ら（2005）によって8地点の測定が行われている。松本・斎藤（1984）によって、東京湾の堆積速度は、東京港沖で $0.5 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、湾央に向かって減少し、千葉県沖で $0.2 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 程度であることが示されている。清水らの結果も、ほぼその結果に近い値だった。（単位である積算重量深度： g/cm^2 については後述する。）松本・斎藤（1984）と清水ら（2005）の調査時期には20年の差があるが、この20年間による堆積速度の違いは抽出されなかった。これは、 ^{210}Pb の鉛直分布を用いて推定する手法では、抽出が困難であるためと考える。

本研究では、松本・斎藤（1984）および清水ら（2005）が実施した湾央ではなく、彼らの調査から外れている港

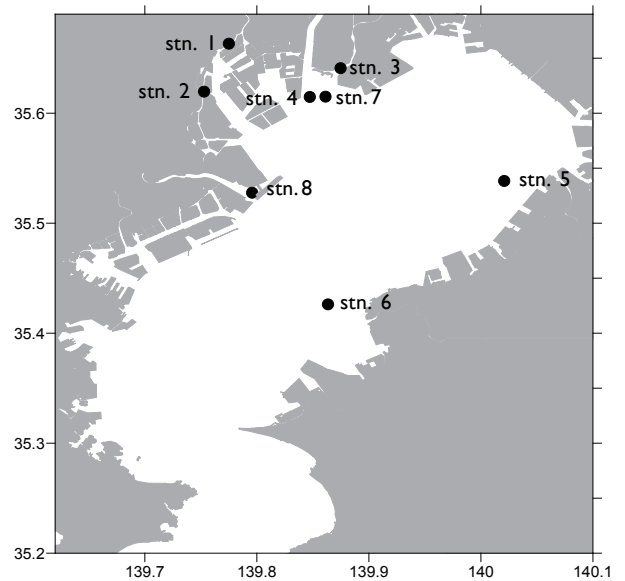


図-1 東京湾における採泥地点



写真-1 採泥した底泥コアの例

内や河口域等の沿岸域に着目した。そこで、本研究では、東京湾の港内および河口域等の沿岸域の8地点の底泥の堆積速度を分析し、底泥の堆積速度を今後の様々な検討の基礎情報として示すことを目的とする。

表-1 底泥コアのスライス位置および分析項目

層 (cm)	²¹⁰ Pb _{ex} , ¹³⁴ Cs/ ¹³⁷ Cs	含水比	密度	TOC	粒度分布	化学組成
0-2	○	○	○	○	○	○*
2-4	○*	○*	○*	○*	○	○*
4-6	○	○	○	○	○	○*
6-8	○*	○*	○*	○*	○	○*
8-10	○	○	○	○	○	○*
10-12	○*	○*	○*	○*	○	○*
12-14	○	○	○	○	○	○*
14-16	○*	○*	○*	○*	○	○*
16-18	○	○	○	○	○	○*
18-20	○*	○*	○*	○*	○	○*
20-22	○	○	○	○	○	○*
22-24	○*	○*	○*	○*	○	○*
24-26	○	○	○	○	○	○*
26-28	○*	○*	○*	○*	○	○*
28-30	○*	○*	○*	○*	○	○*
30-32	○*	○*	○*	○*	○	○*
32-34	○	○	○	○	○	○*
34-36	○*	○*	○*	○*	○	○*
36-38	○*	○*	○*	○*	○	○*
38-40	○*	○*	○*	○*	○	○*
40-42	○	○	○	○	○	○*
42-44	○*	○*	○*	○*	○	○*
44-46	○*	○*	○*	○*	○	○*
46-48	○*	○*	○*	○*	○	○*
48-50	○	○	○	○	○	○*

* Stn. 7, 8 では分析を行っていない

2. 方法

2.1 採泥

採泥は2014年2月に6地点、2015年1月に2地点の計8地点で実施された(図-1)。潜水士によって、径10 cm、長さ50 cm (もしくは50 cm以上)の柱状採泥を実施した(写真-1)。

採泥後に港に戻り、陸上において速やかに、底泥コアを2 cm 間隔にスライスした。各層または2層毎に、²¹⁰Pb_{ex}, ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, 含水比, 土粒子密度, 粒度分布, TOC, および底泥粒子の化学組成(SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CuO, ZnO)を分析した(表-1)。²¹⁰Pb_{ex}, ¹³⁷Cs, ¹³⁴Csは、Ge半導体検出器(SEIKO EG&G)を用いた。化学組成分析には、波長分散型蛍光X線装置(Supermini, Rigaku製)を用いた(岡田ら, 2013)。

含水比と土粒子密度から(1)式を用いて、積算重量深度W (g/cm²)を求めた。

$$W = \int_0^z (1-\phi)\rho_s dz \quad (1)$$

ここで、z: 泥深 (cm), φ: 底泥の空隙率, ρ_s: 堆積粒子の密度 (g/cm³)である。同じ堆積量であっても、空隙率が異なることによって、堆積厚さは異なるので、堆積速度を求める際には、深さ方向の軸として積算重量深度を用いた。

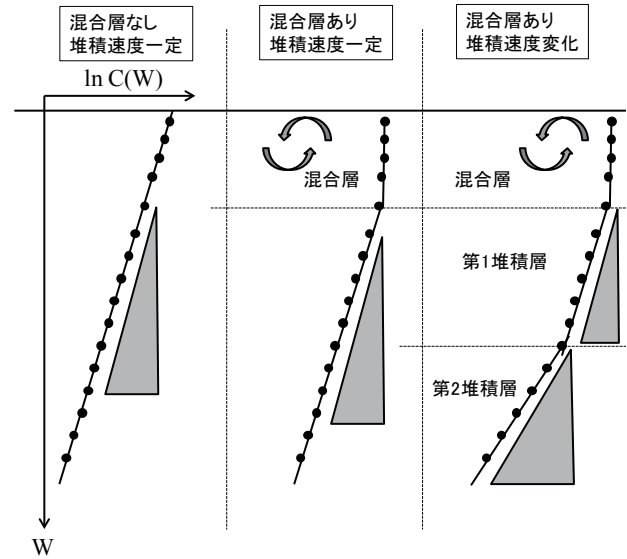


図-2 ²¹⁰Pb_{ex} の鉛直分布のイメージ図

2.2 堆積速度

²¹⁰Pbはウラン系列に属する天然放射性核種であり、ラジウム-226 (²²⁶Ra)の娘核種である放射性気体ラドン-222 (²²²Rn)は、地表面から大気中に拡散し、短半減期の子孫核種を経て大気中で²¹⁰Pbに壊変する(百島ら, 2008)。大気中の²¹⁰Pbは、乾性および湿性沈着物として水面や土壌表面に降下し、土壌表面に降下した²¹⁰Pbの一部は、河川水や地表流中の懸濁粒子とともに海域に移動して堆積する。また、水面に直接降下した²¹⁰Pbも水中の懸濁物質に捕らえられ堆積する。大気由来の²¹⁰Pbは²¹⁰Pb_{ex}と呼ばれ、一方、堆積物中の土壌鉱物などに含まれている²²⁶Raから生じる²¹⁰Pb (supported ²¹⁰Pb)とは区別される。

底泥中の²¹⁰Pb_{ex}の濃度は、時間の経過に伴い減衰し、(2)式で示すことができる。

$$\frac{C(W)}{C(0)} = \exp(-\lambda t) \quad (2)$$

ここで、C(W): 積算重量深度W (g/cm²)における²¹⁰Pb_{ex}の濃度, λ: 崩壊定数=0.693/22.3 (1/y) (Pbの半減期は22.3年), t: 時間 (y)である。(2)式中の時間t (y)を積算重量深度W (g/cm²)と堆積速度w ((g/cm²)/y)を用いて変換すると、次式で示すことができる。

$$\frac{C(W)}{C(0)} = \exp\left(-\lambda \frac{W}{w}\right) \quad (3)$$

上式を変換すると(4)式で現すことができる。

$$\ln C(W) = \ln C(0) - \frac{\lambda}{w} W \quad (4)$$

これから積算重量深度 W (g/cm^2) に対する $\ln(^{210}\text{Pb}_{\text{ex}})$ の勾配から堆積速度を推定することができる。

自然の底泥の表面は、波や流れによる物理過程による攪乱、底泥中に生息する生物による攪乱、底曳き網等による人為的攪乱等によって混合している場合が多い。この場合、 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ の鉛直分布は一樣になる (図-2)。堆積速度を精度良く推定するためには、この混合層を除いて $\ln(^{210}\text{Pb}_{\text{ex}})$ の勾配を求める必要がある。

また、数10年スケールで、ダムや堰等による陸域からの土砂流入量の変化および埋立等による海域の流れの変化等によって、堆積速度が大きく変化する場合がある。その場合、堆積速度が同じ層毎で勾配を求める必要がある。本研究では、同じ堆積速度の層を、上から第1堆積層、第2堆積層とした。

2.3 Cs を利用した混合層の推定

Cs の鉛直分布も、堆積速度の推定に使われることがある。 ^{137}Cs は1950年代末期から1960年にかけての世界各地での大型の大気圏内原水爆実験によって大気中に放出され、また、1986年のチェルノブイリ原発事故時には一時的に高い値が放出された (気象研究所, 2013)。この経年変化の特徴を利用して、深さ方向の ^{137}Cs の鉛直分布と照らし合わせ、年代を推定することが可能である。しかし、この方法は、前述した表層での鉛直混合の影響がある場所では、ピークが不明瞭になり、正確な推定は難しいという短所がある。

そこで本検討では、 ^{137}Cs の鉛直分布は用いず、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ の比を利用し、混合層の厚さの推定に用いることとした。2011年3月に発生した福島第一原発事故に伴って降下したCsの特徴は、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の比がほぼ1であることである (小森ら, 2013)。 ^{134}Cs の半減期は2.06年、 ^{137}Cs の半減期は30.1年であることから、2014年2月採泥 (同年8月分析) の底泥に対しては0.33、2015年2月採泥 (同年2月分析) の底泥に対しては0.28になっている場合、そのCsは2011年3月に発生した福島第一原発事故由来であると言え、底泥は2011年3月以降に堆積した底泥を含んでいると推測することができる。

2.4 化学組成を利用した年代の推定

底泥中の重金属の鉛直分布を用いて、底泥の年代を推定することができる。松本・斎藤 (1984) は、Zn お

よびCu等の重金属による汚染は1900年頃から始まり、1950年頃より急速に進み、1970年前後でピークに達し、それ以降は減少したと報告している。それに基づく、底泥中のZnやCuの鉛直分布のピークを示す層は、1970年頃に堆積した層と言える。

また、底泥の化学組成を用いて底泥の由来を推定することができる (岡田, 2013)。データが底泥中の鉛直データのみの場合、平面的な空間分布を知ることができないので由来の特定は困難であるが、過去から現在にかけて、底泥のソースが一定か、または変化したかを推測することができる。

3. 結果

3.1 鉛直分布の特徴

(1) stn. 1

$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ の勾配に加えて、含水比、中央粒径および化学組成の鉛直分布を参考にし、混合層と堆積層に区分した。また、堆積層は、堆積速度が異なる層で区分し、上から第1堆積層、その下層を第2堆積層、さらにその下層を第3堆積層とした。全ての地点に対して、同様の考え方で、層構造を区分した。

表層から $3.89 \text{ g}/\text{cm}^2$ まで混合層、 $3.89 \text{ g}/\text{cm}^2$ から $9.37 \text{ g}/\text{cm}^2$ までシルトの第1堆積層、 $9.37 \text{ g}/\text{cm}^2$ から $17.02 \text{ g}/\text{cm}^2$ まで細砂の第2堆積層、 $17.02 \text{ g}/\text{cm}^2$ から $29.68 \text{ g}/\text{cm}^2$ まで細砂の第3堆積層の4層構造とした (図-3)。

Cs は混合層の中のみで検出された。第1堆積層および第3堆積層に、CuO および ZnO のピークがあった。両者を較べると第3堆積層の方が高かった。粒度分布、CuO および ZnO は第2堆積層で不連続になっていた。stn. 1 は港湾域であることを考慮すると、この不連続は、浚渫等の人為的な攪乱に起因するものと推測される。

第1堆積層の堆積速度は $0.275 \text{ g}/\text{cm}^2/\text{y}$ 、第2堆積層の堆積速度は $0.556 \text{ g}/\text{cm}^2/\text{y}$ 、および第3堆積層の堆積速度は $0.332 \text{ g}/\text{cm}^2/\text{y}$ であった。第1堆積層の堆積速度を用いると、混合層は14.1年分に相当した。

(2) stn. 2

表層から $1.21 \text{ g}/\text{cm}^2$ まで混合層、 $1.21 \text{ g}/\text{cm}^2$ から $8.84 \text{ g}/\text{cm}^2$ までシルトの第1堆積層、 $8.84 \text{ g}/\text{cm}^2$ から $16.19 \text{ g}/\text{cm}^2$ までシルトの第2堆積層の3層構造とした (図-4)。

Cs は混合層だけでなく、第1堆積層からも検出された。第2堆積層の下層部に CuO および ZnO の高い層があっ

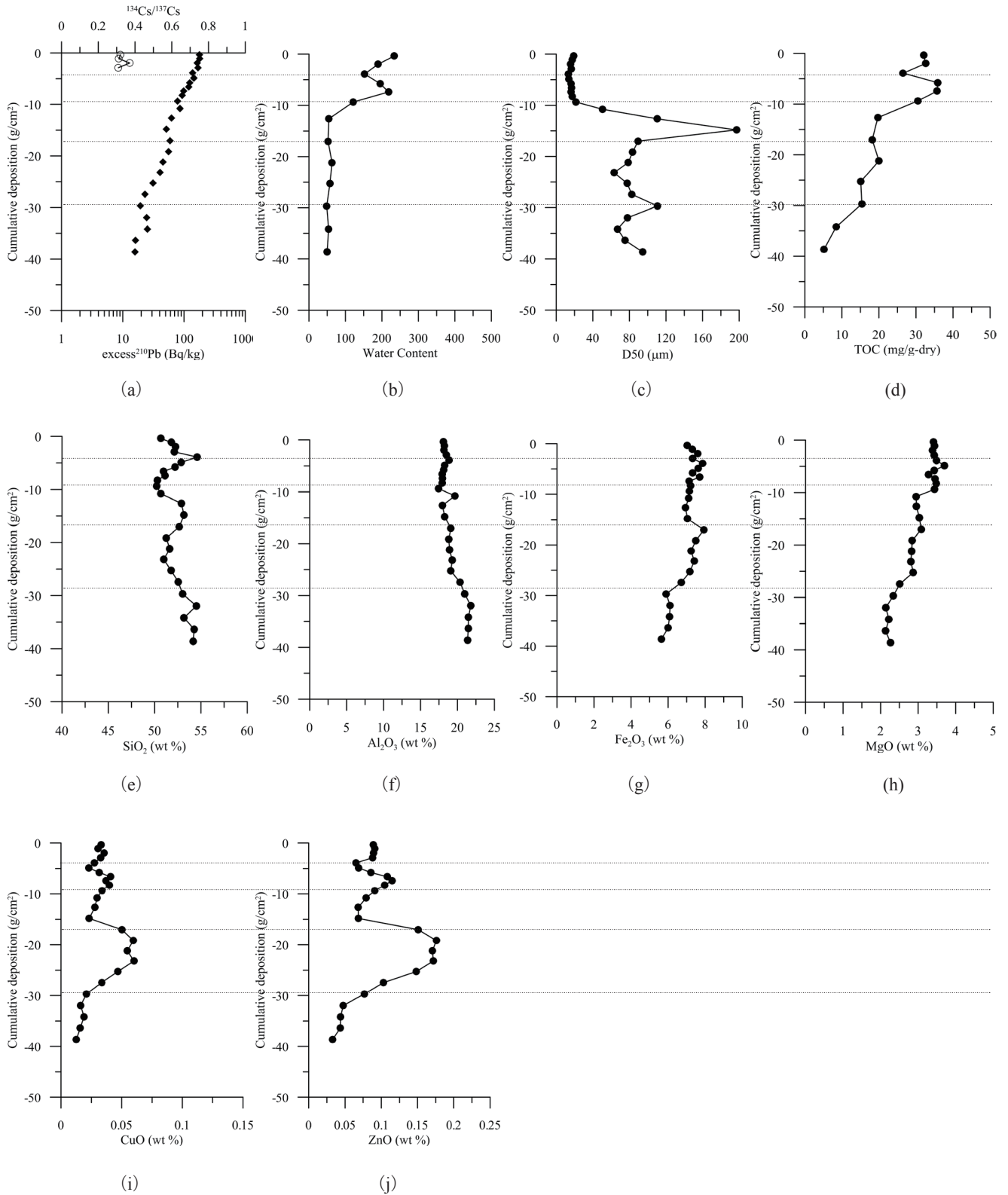


図-3 stn. 1における各指標の鉛直分布。(a) ◆： $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ および○： $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 、(b) 含水比、(c) 中央粒径、(d) TOC、(e) SiO_2 、(f) Al_2O_3 、(g) Fe_2O_3 、(h) MgO 、(i) CuO 、(j) ZnO

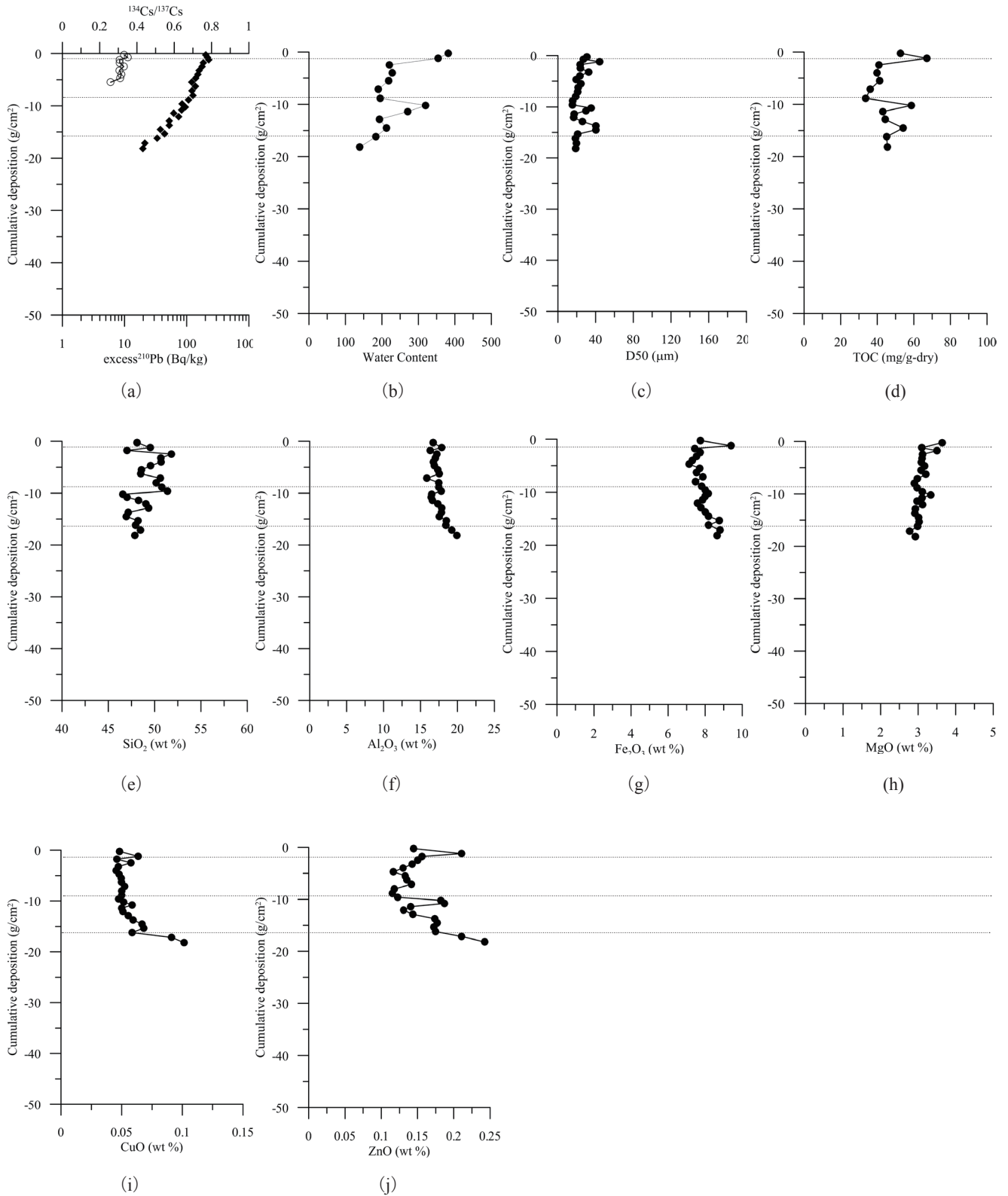


図-4 stn. 2における各指標の鉛直分布. (a) ◆： $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ および○： $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, (b) 含水比, (c) 中央粒径, (d) TOC, (e) SiO_2 , (f) Al_2O_3 , (g) Fe_2O_3 , (h) MgO , (i) CuO , (j) ZnO

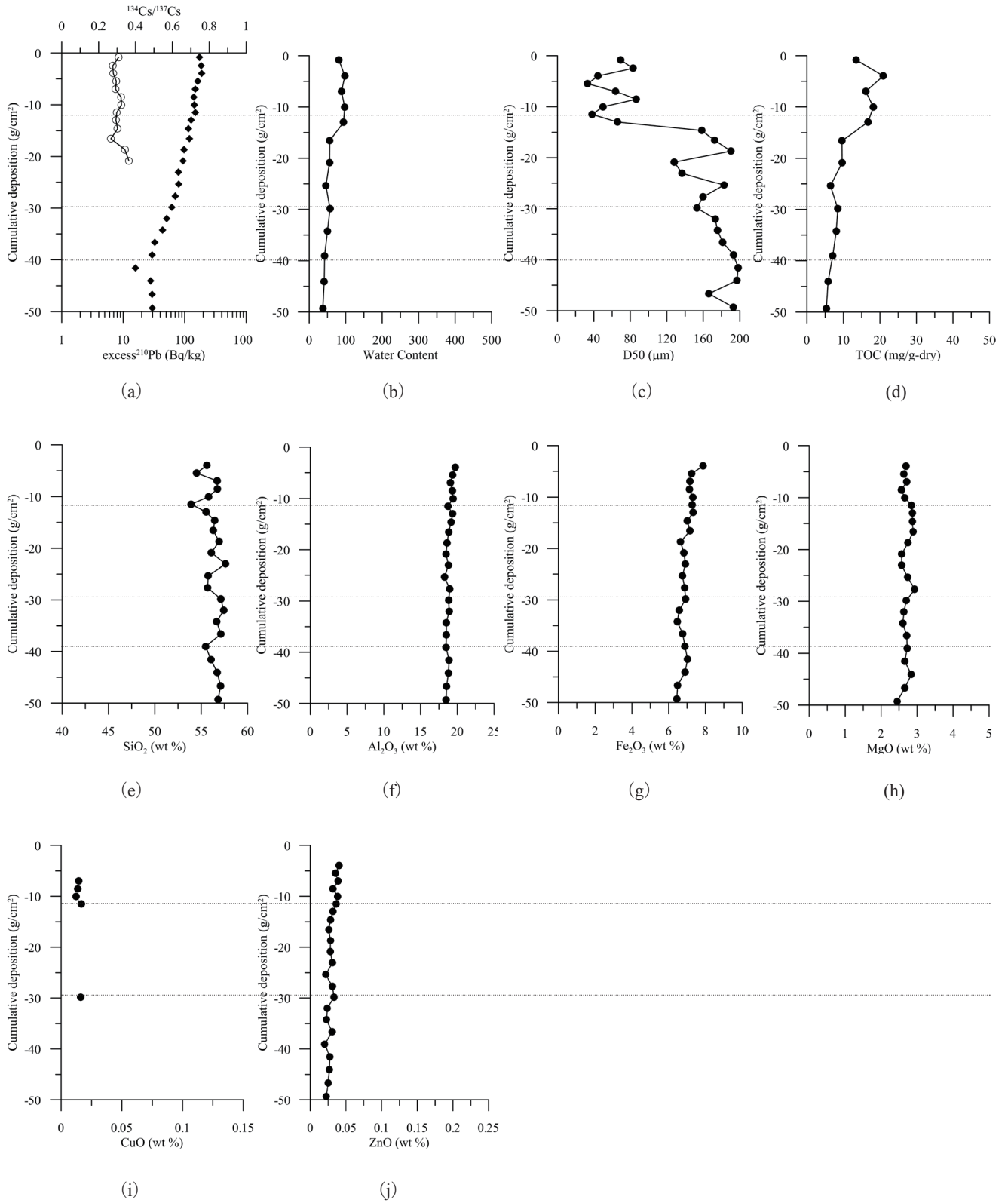


図-5 stn. 3における各指標の鉛直分布。(a) ◆： $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ および○： $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 、(b) 含水比、(c) 中央粒径、(d) TOC、(e) SiO_2 、(f) Al_2O_3 、(g) Fe_2O_3 、(h) MgO 、(i) CuO 、(j) ZnO

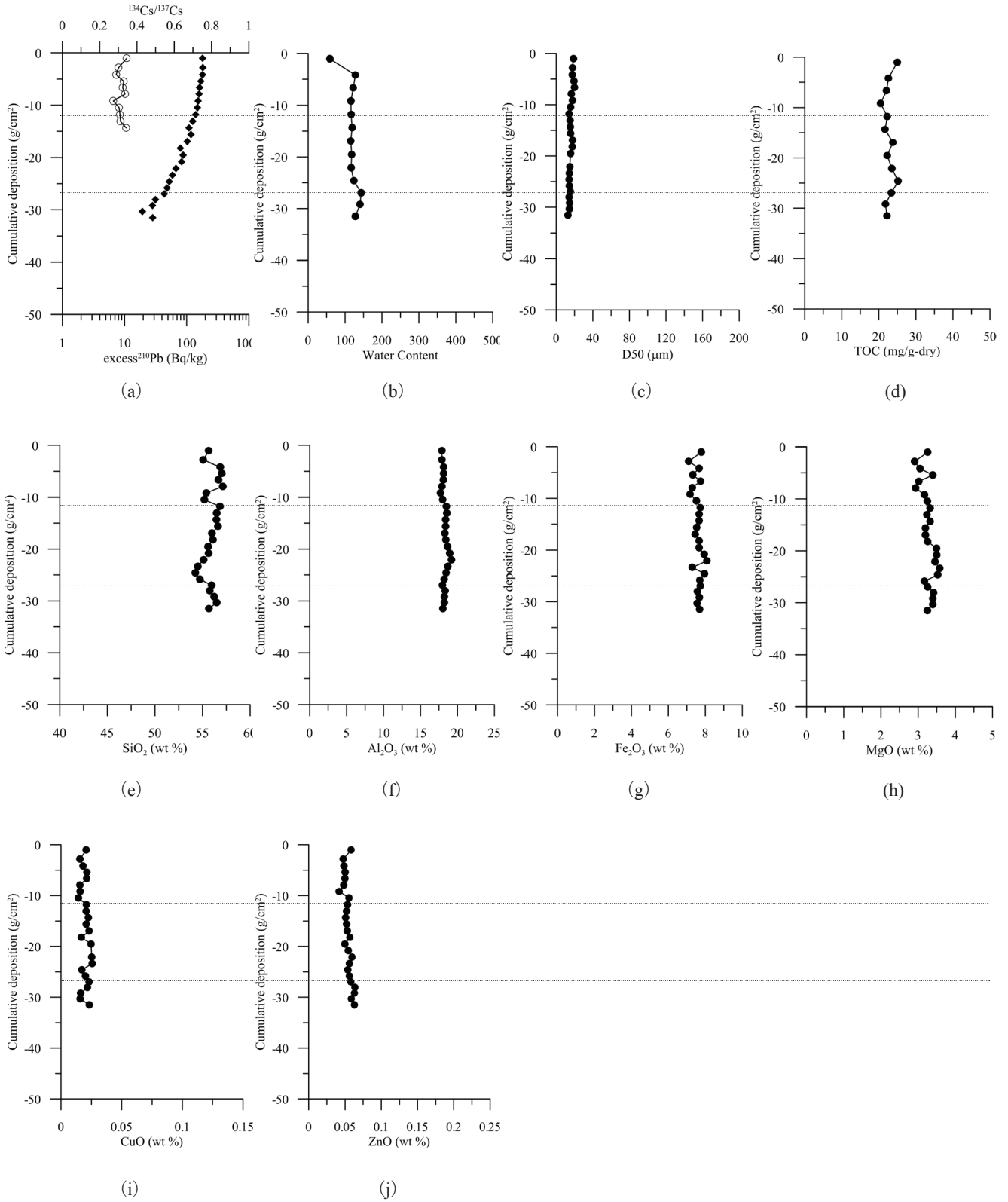


図-6 stn. 4における各指標の鉛直分布. (a) ◆ : $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ および○ : $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, (b) 含水比, (c) 中央粒径, (d) TOC, (e) SiO_2 , (f) Al_2O_3 , (g) Fe_2O_3 , (h) MgO , (i) CuO , (j) ZnO

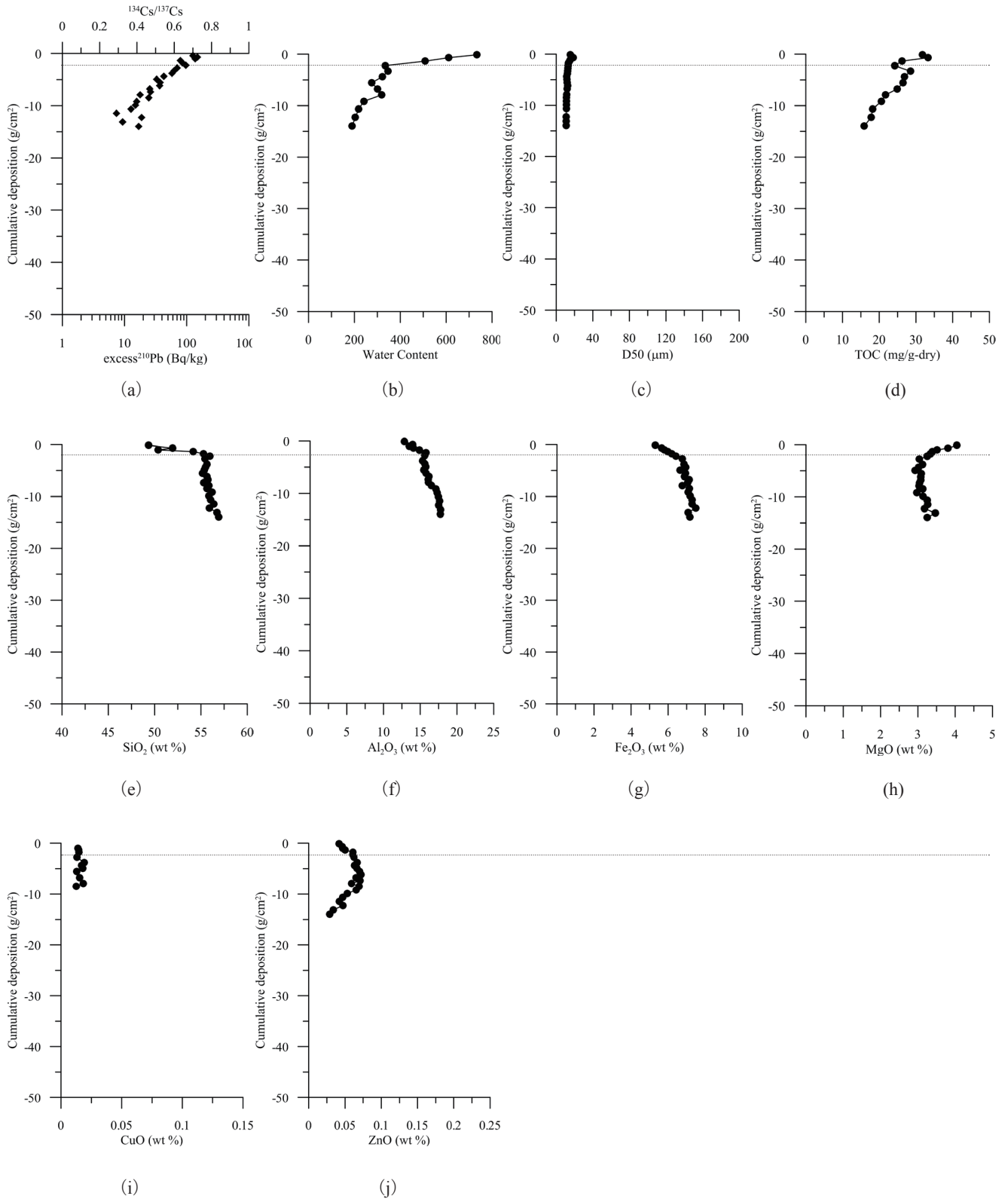


図-7 stn. 5 における各指標の鉛直分布. (a) ◆ : $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ および○ : $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, (b) 含水比, (c) 中央粒径, (d) TOC, (e) SiO_2 , (f) Al_2O_3 , (g) Fe_2O_3 , (h) MgO , (i) CuO , (j) ZnO

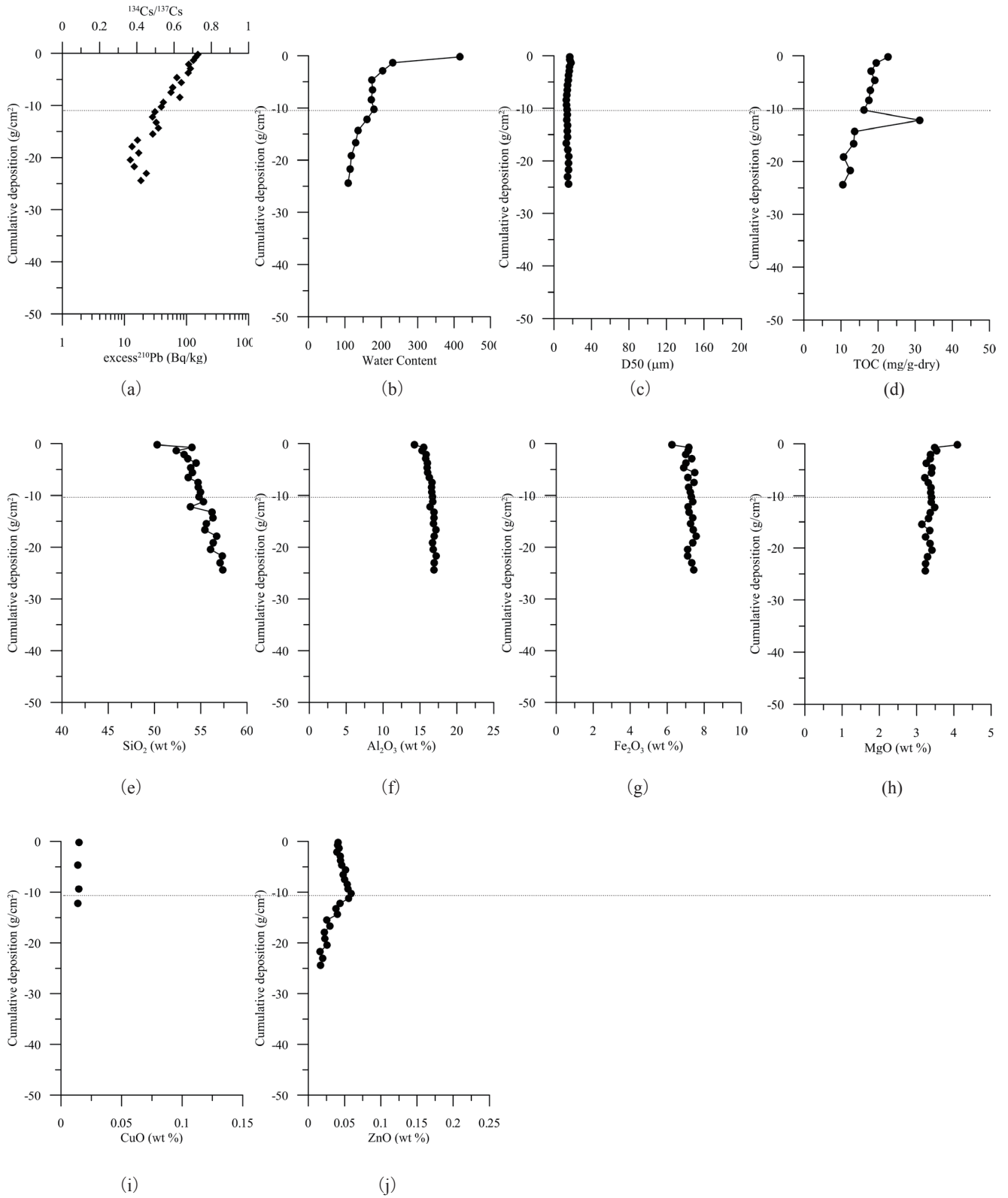


図-8 stn. 6における各指標の鉛直分布. (a) ◆： $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ および○： $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, (b) 含水比, (c) 中央粒径, (d) TOC, (e) SiO_2 , (f) Al_2O_3 , (g) Fe_2O_3 , (h) MgO , (i) CuO , (j) ZnO

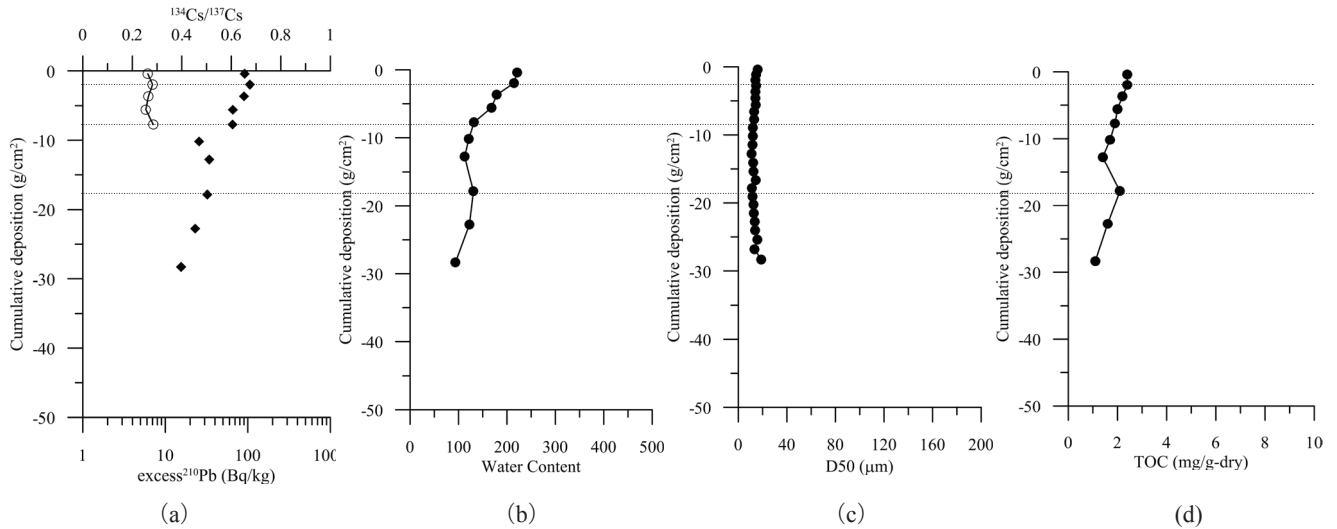


図-9 stn. 7における各指標の鉛直分布. (a) ◆ : $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ および○ : $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, (b) 含水比, (c) 中央粒径, (d) TOC

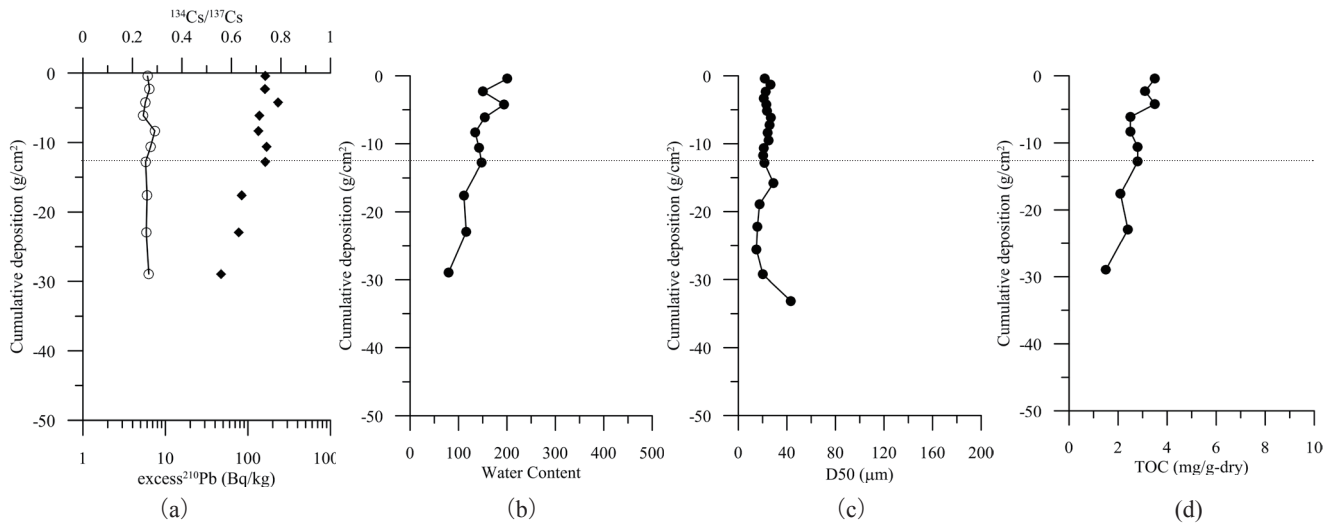


図-10 stn. 8における各指標の鉛直分布. (a) ◆ : $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ および○ : $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, (b) 含水比, (c) 中央粒径, (d) TOC

た.

第1堆積層の堆積速度は $0.384 \text{ g/cm}^2/\text{y}$, 第2堆積層の堆積速度は $0.203 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ であった. 第1堆積層の堆積速度を用いると, 混合層は3.2年分に相当した.

混合層の層の薄さが第1堆積層にCsが存在している要因と考えられる.

(3) stn. 3

表層から 11.49 g/cm^2 まで混合層, 11.49 g/cm^2 から 29.86 g/cm^2 まで細砂の第1堆積層, 29.86 g/cm^2 から 39.04 g/cm^2 まで細砂の第2堆積層の3層構造とした(図-5).

Csは混合層だけでなく, 第1堆積層からも検出された. CuOおよびZnOの高い層はなかった.

第1堆積層の堆積速度は $0.708 \text{ g/cm}^2/\text{y}$, 第2堆積層の堆積速度は $0.370 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ であった. 第1堆積層の堆積速度を用いると, 混合層は16.2年分に相当した.

stn. 2と異なり十分な混合層厚があるにもかかわらず, Csは第1堆積層に存在していた. 第1堆積層の粒径が混合層と比べて大きいことを考慮すると, 混合層の細かい粒子が間隙に混入した可能性が考えられる. 添盛ら(2013)は東京湾湾奥の美浜沖での調査結果から 15 cm 以深でCsを検出し, 間隙水を通じたCsを吸着した微細粒子の移動の可能性を指摘している.

(4) stn. 4

表層から 11.78 g/cm^2 まで混合層, 11.78 g/cm^2 から 26.96 g/cm^2 までシルトの第1堆積層の2層構造とした

(図-6).

Csは混合層だけでなく、第1堆積層からも検出された。CuOおよびZnOの高い層はなかった。

第1堆積層の堆積速度は $0.413 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ であった。第1堆積層の堆積速度を用いると、混合層は28.5年分に相当した。

混合層と第1堆積層間で含水比および中央粒径に不連続性がないので、第1堆積層にも混合の影響が及んでいる可能性は高く、この混合層と堆積層の境界は不明瞭だと考えられる。

(5) stn. 5

明確な混合層はなく、表層から 2.24 g/cm^2 までシルトの第1堆積層、 2.24 g/cm^2 から 13.97 g/cm^2 までシルトの第2堆積層の2層構造とした(図-7)。

表層の含水比およびTOCが、それぞれ734と 32 mg/g-dry と非常に高かった。

Csは検出されなかった。ZnOのピークが第2堆積層にあったが、CuOのピークはなかった。第1堆積層と第2堆積層で、化学組成が異なった。第1堆積層の方が、 SiO_2 、 Al_2O_3 および Fe_2O_3 が低く、MgOが高かった。

第1堆積層の堆積速度は $0.115 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、第2堆積層の堆積速度は $0.132 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ であった。

(6) stn. 6

明確な混合層はなく、表層から 10.29 g/cm^2 までシルトの第1堆積層、 10.29 g/cm^2 から 24.40 g/cm^2 までシルトの第2堆積層の2層構造とした(図-8)。第2堆積層の $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ の分布は直線的ではなく、擾乱があったと考えられる。

ZnOのピークが第1堆積層にあったが、CuOのピークはなかった。

第1堆積層の堆積速度は $0.249 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、第2堆積層の堆積速度は $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ の鉛直分布は直線的でなく、擾乱が考えられたため算出しなかった。

(7) stn. 7

表層から 1.96 g/cm^2 まで混合層、 1.96 g/cm^2 から 7.73 g/cm^2 までシルトの第1堆積層、 7.74 g/cm^2 から 17.85 g/cm^2 までシルトの第2堆積層、 17.85 g/cm^2 から 28.31 g/cm^2 までシルトの第3堆積層の4層構造とした(図-9)。第2堆積層では、 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ が鉛直方向に比較的に一様で、弱い混合があったことが推測される。

Csは第1堆積層までであった。

第1堆積層の堆積速度は $0.341 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ であった。第1

堆積層の堆積速度を用いると、混合層は5.7年分に相当した。

stn. 2と同様に混合層の層の薄さが第1堆積層にCsが存在している要因と考えられる。

(8) stn. 8

表層から 12.80 g/cm^2 まで混合層、 12.80 g/cm^2 から 28.93 g/cm^2 までシルトの第1堆積層の2層構造とした(図-10)。

Csは最下層までであった。

第1堆積層の堆積速度は $0.600 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ であった。第1堆積層の堆積速度を用いると、混合層は21.3年分に相当した。それにも拘わらず、Csが最下層まで達していた。この要因は不明である。

4. 考察

4.1 堆積速度の空間分布

第1堆積層の堆積速度を表-2および図-11にまとめて示す。第1堆積層の堆積速度は $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ の鉛直分布から求めることができる現時点に最も近い時代の値である。混合が無い地点では、第1堆積層の堆積速度は、近年の値として考えることができる。しかし、混合層が厚い場合は、第1堆積層と言っても混合層の下層であり、第1堆積層の堆積速度は数十年前の値となる。例えば、stn. 4の堆積層は28.5年分に相当するため、第1堆積層で求めた堆積速度は少なくとも28.5年以前の堆積速度となる。

江戸川河口のstn.3で $0.71 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、多摩川河口のstn. 8で $0.60 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ であった。東京港内の隅田川河口のstn. 1で $0.28 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、京浜運河内のstn. 2で $0.34 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ であった。荒川河口・江戸川河口沖では、 $0.41 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ と $0.34 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ だった。千葉側では、市原沖でstn. 5の $0.12 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 、木更津沖でstn. 6の $0.25 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ だった。

松本ら(1984)の1981年採泥の結果と比較すると、堆積速度は、東京港沖の $0.5 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ から千葉県側に向けて減少し、千葉県沖では $0.2 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ になる傾向は一致していた。

江戸川河口および多摩川河口では、 $0.5 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ よりも大きく、それぞれ $0.7 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ と $0.6 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ であった。また、東京港内および隅田川河口は $0.3 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ 程度で、 $0.5 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ よりも小さかった。

堆積速度を、泥深に換算した結果を表-3および図-12に示す。式(1)に示すように泥深と積算重量深度

表-2 積算重量深度 (g/cm^2) で表した堆積速度, 混合層の厚さおよび混合層の堆積年

stn	堆積速度 ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{y}$)	混合層の厚さ (g/cm^2)	混合層の厚さの堆積年
1	0.275	3.89	14.1
2	0.384	1.21	3.2
3	0.708	11.49	16.2
4	0.413	11.78	28.5
5	0.115	-	-
6	0.249	-	-
7	0.341	1.96	5.7
8	0.600	12.8	21.3

表-3 泥深 (cm) で表した堆積速度および混合層の厚さ

stn	堆積速度 (cm/y)	混合層の厚さ (cm)
1	0.602	9
2	1.001	5
3	0.694	15
4	0.652	17
5	0.655	-
6	0.598	-
7	0.708	5
8	0.890	25

の換算には空隙率が関係する。水中では、空隙率は含水比に関連する。含水比は海域で一様でないため、積算重量深度は含水比の分布に依存し、泥深で表現する堆積速度は、積算重量深度で表現した堆積速度の空間分布とは異なる。

東京港内の京浜運河で $1.0 \text{ cm}/\text{y}$ 、隅田川河口で $0.6 \text{ cm}/\text{y}$ だった。江戸川河口および多摩川河口は、それぞれ $0.7 \text{ cm}/\text{y}$ と $0.9 \text{ cm}/\text{y}$ だった。千葉側では、市原沖で $0.7 \text{ cm}/\text{y}$ 、木更津沖で $0.6 \text{ cm}/\text{y}$ だった。泥深で表すと、東京港内の京浜運河が最も大きな値だった。

4.2 ZnO を用いた堆積速度の修正

stn. 1, 2, 5, 6 の ZnO の鉛直分布でピークが存在した。 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ で推測した堆積速度から ZnO のピークが現れる層の年代を推定したところ、それぞれ、60 年前 (1954 年)、69 年前 (1945 年)、49 年前 (1965 年)、41 年前 (1973 年) となった (表-4, 図-13)。

東京港内の 2 地点 (stn. 1, 2) では、想定よりも 20 年程度古く推定された。この両者の差異は、浚渫等の人為的な攪乱に起因した影響と考えられ、堆積速度が小さく見積もられている可能性がある。また、stn. 1, 2 の $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ で推定した堆積速度は、松本・斎藤 (1984) らの東京港沖 ($0.5 \text{ g}/\text{cm}^2/\text{y}$) よりも小さいことから、小さ

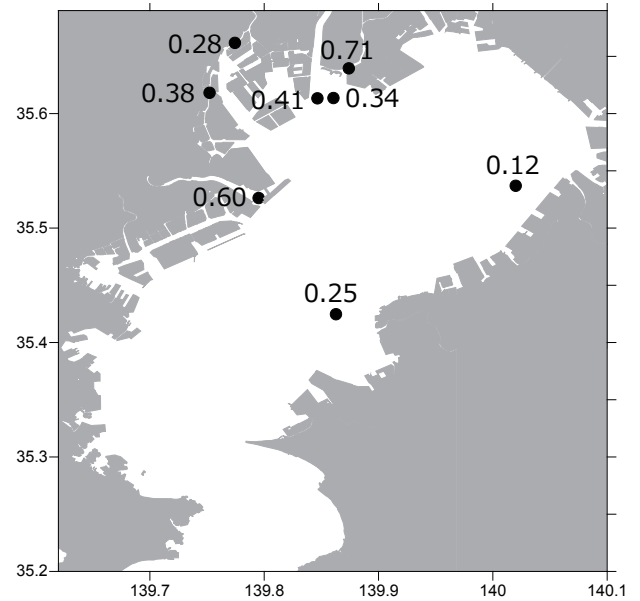


図-11 堆積速度 ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{y}$) の空間分布

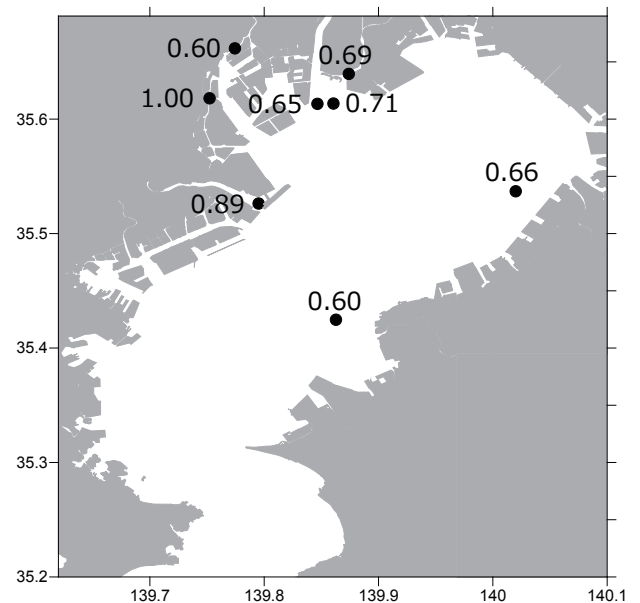


図-12 堆積速度 (cm/y) の空間分布

く見積もられていると考えられる。

そこで、ZnO のピークの現れる層を 1970 年として、堆積速度を求めた。stn.1 の堆積速度は $0.47 \text{ g}/\text{cm}^2/\text{y}$ 、stn.2 の堆積速度は $0.40 \text{ g}/\text{cm}^2/\text{y}$ となった (図-14)。また、泥深に換算すると、それぞれ $0.73 \text{ cm}/\text{y}$ 、 $1.08 \text{ cm}/\text{y}$ であった (図-15)。なお、積算重量深度と泥深の換算には、表層から ZnO のピークが現れる層までの平均の値を用いた。

表-4 ZnO のピーク層の深さ (g/cm²) およびその層が堆積した年代

stn	ピーク層 (g/cm ²)	年代
1	21.19	1954
2	18.18	1945
3	-	-
4	-	-
5	6.17	1965
6	10.29	1973
7	-	-
8	-	-

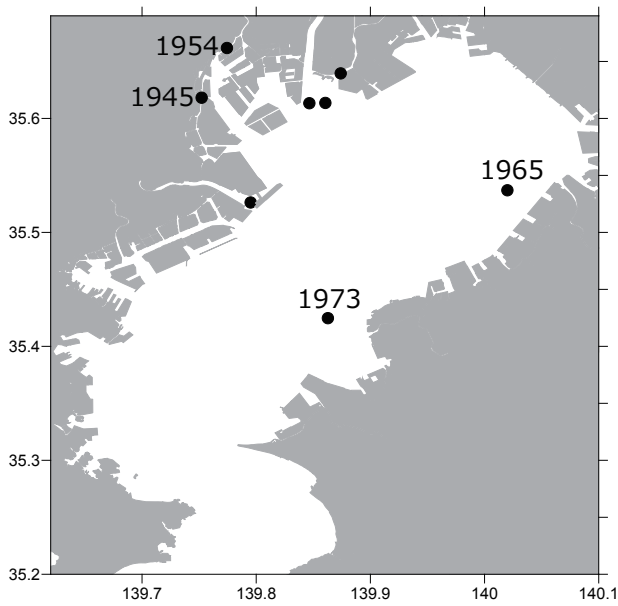


図-13 ZnO のピークが現れた層が堆積した年代

4.3 stn. 5 における化学組成が変化する層の存在

stn. 5 の市原沖の鉛直分布に化学組成が変化する層が存在した。この変化は、堆積する底泥粒子の由来が変化したことを意味する。逆にその他の地点は、東京湾に流入する主要河川の河口であり、堆積物の入り口付近であるため、底泥粒子の由来の変化は現れていなかった。

stn. 5 に対して、²¹⁰Pb_{ex} で推測した堆積速度から化学組成が変化した現代を推定したところ、18年前(1996年)となった。東京湾湾奥東側(市原沖)の底泥は、1996年頃から底泥の由来が何らかの要因によって変わった可能性が推察される。

5. まとめ

東京湾の港内や河口域等の沿岸域の底泥の堆積速度を推定した。隅田川河口で 0.47 g/cm²/y、京浜運河で 0.40

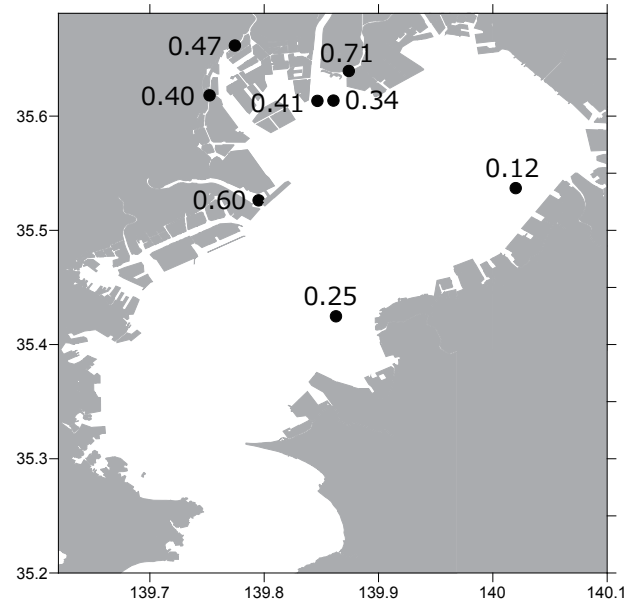


図-14 堆積速度 (g/cm²/y) の空間分布 (st.1 および st.2 は ZnO に基づいて算出)

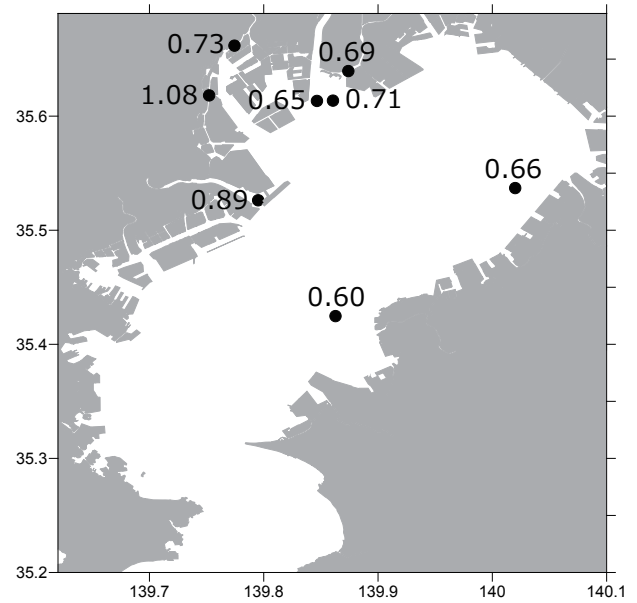


図-15 堆積速度 (cm/y) の空間分布 (st.1 および st.2 は ZnO に基づいて算出)

g/cm²/y、江戸川河口で 0.34 g/cm²/y から 0.71 g/cm²/y、多摩川河口で 0.60 g/cm²/y、市原沖で 0.12 g/cm²/y、木更津沖で 0.25 g/cm²/y であった。本研究で用いた底泥の鉛直コアは潜水士によって採泥されたものであり、採泥による攪乱を極力抑えられている。また、²¹⁰Pb_{ex} は 2 cm 間隔で分析し、比較的解像度の高い分析結果である。加えて、粒度分布、含水比、TOC、Cs および底泥粒子の化学組成を併せて分析し、その結果を考慮した解析を

行っており、比較的信頼度が高い推定結果だと考えている。

本研究で得られた港内や河口域等の沿岸域の底泥の堆積速度は、これまで示されてこなかった値であり、今後の沿岸域の環境改善事業を実施する際には、有益な情報になると考えている。

一方で、推定された堆積速度と ZnO から推定される堆積速度には 20 年程度の差異があった。また、福島第一原発事故由来の Cs が混合層よりも下層に存在しており、Cs の鉛直分布は堆積速度のみでは説明できないことが示された。加えて、市原沖の底泥の由来が 1996 年頃から変わったことも示された。これらについては不明な点が多く、更なる解析を進めて解明していきたい。

(2016 年 2 月 16 日受付)

謝辞

本研究の実施にあたり、慶応大学医学部化学教室教授井上浩義氏には放射性物質の分析において多大な協力を頂いた。ここに記して心から感謝の意を表する。

参考文献

岡田知也, 大淵敦司, 古川恵太 (2013) : 化学組成および粒度分布に基づいた東京湾の底質分布, 土木学

会論文集 B2, Vol.69, No.2, pp.1121-1125.

気象研究所地球化学研究部環境・応用気象研究部 (2013) : 環境における人工放射能の研究 2013.

小森昌史・小豆川勝見・野川憲夫・松尾基之 (2013) : $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を指標とした福島第一原子力発電所事故に由来する放射性核種の放出原子炉別汚染評価, 分析化学, Vol. 62, No. 6, pp. 475-483.

清水潤子・山尾 理・野坂琢磨・野口賢一・峰 正之・松本敬三・大市一芳・堤 一尚・宮本哲司・池田善郎 (2005) : 東京湾海底堆積物中における POPs (残留性有機汚染物質) 濃度分布の特徴について (平成 14 年東京湾 POPs 調査結果より), 海洋情報部研究報告, 第 41 号, pp. 35-50.

添盛晃久・小豆川勝見・野川憲夫・桧垣正吾・松尾基之 (2013) : 東京湾底質における福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムの濃度変化, 分析化学, Vol.62, No.12, pp.1079-1086.

松本英二・斎藤文紀 (1984) : 東京湾の人為的環境変化 - 地質時代の環境変化との比較, 地質調査所月報, 第 35 巻, 第 6 号, pp. 243-260.

百島則幸・上田祐介・杉原真司・山形陽一・国分秀樹 (2008) : ^{210}Pb 堆積年代測定法による英虞湾の堆積環境の解析, 地球化学, Vol.42, pp. 99-111.

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 888 March 2016

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019