

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630229

研究課題名(和文) 海水混入有機泥の資源への再生-万能混合材の開発-

研究課題名(英文) Recycling marine sediment into resource-Development of versatile mixing material-

研究代表者

日比野 忠史(HIBINO, TADASHI)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50263736

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：沿岸域で失われた生態系を効率的に再生するために、有機泥中の有機物の種類を特定し、有機泥性状を評価する手法を提案した。有機物に含まれる全有機炭素量と全有機物量との関係から有機物の性状を評価した。燃焼特性から不安定な有機物と腐植性有機物の分類方法を提案し、有機泥から腐植性有機物を抽出することによって、腐植性有機物量を直接測定し、IL300法による腐植性有機物量と比較して、IL300法の妥当性を明らかにした。混合材開発では、環境材料を開発し、有機泥との混合により生物が棲息できる土壌を再生することができた。生態系再生機構では、アルカリ剤からの陽イオン溶出が生態系再生を促進させることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We proposed methods for identifying the type and state of organic matter existing in marine sediment to effectively restore the marine ecosystem. Loss on ignition of the sediments at different burning temperatures (ignition behavior) was conducted, and was compared with the organic carbon content. Our results suggest loss on ignition at 300°C (i.e. IL300) can be used to classify unstable form organic matter and humic organic matter. IL300 has a strong correlation with the organic carbon of unstable form organic matter gained from the humic acids extraction analysis, suggesting the high validity of our method. We also developed an environmental material for improving reduced condition of sediment. From field experiments, after mixing the material with sediment can improve the sediment and benthic environments. In the improving processes of benthic environment, the cations dissolution from the material promotes the ecosystem restoration.

研究分野：沿岸環境学

キーワード：アルカリ剤 ヘドロ 浄化 底棲生物 酸化還元 再生評価 造粒物 循環型

1. 研究開始当初の背景

国内で消費される有機物量は莫大であり、下水として現われる全有機物の半量程度の有機物の処理にさえ、全国で消費される電力の約0.7%を費やし、処理により廃出される下水汚泥は全産業廃棄物の2~3割を占めている。合流式下水道が整備された都市域の多くでは未処理のまま沿岸に放流される有機物が処理下水量の数%~10%程度を占めている。沿岸に蓄積した有機物は微細土粒子に付着して有機泥として堆積しており、有機泥の堆積速度は砂の堆積速度の数倍~数10倍速く、港湾整備等を阻害するのみならず生態系を著しく破壊している。一方、沿岸から浚渫される海水混入有機泥は埋立処分させる以外の利用法は極めて少なく、今後産業廃棄物としての処理を行わなければならない事態におちいる公算が高い。本研究では処理に莫大なエネルギーと処理空間を要する有機泥を資源化(建設材料や植栽材料)し、「豊かな流域環境」を低費用で再生することにより総合的に見て低コストの環境(低エネルギー)社会を目指す。

2. 研究の目的

先進国から発展途上国に至るまで、過剰有機物(バイオ廃棄物)に関する問題は後を絶たず、場合によっては生命の危機に瀕する問題にまで至っている。本研究は社会的に大きな問題を抱える過剰有機物、特に未処理で放出せざるを得ない下水等の有機物を起源にもつ堆積有機泥の資源化技術を開発することを目的としている。有機物が還元的な状態で海域に堆積すると生物の生息を阻害する有機泥となるため、直接浚渫泥等を浅場の再成材料として利用することは困難である。浚渫土は残留塩分、有機物含有量が高いため陸上での利用はさらに困難である。海水混入有機泥を廃棄物とすることなく、資源(建設や植栽材料)へと転換する方法を確立する本研究は将来の生活環境を劇的に改善する手法となる夢の研究である。植物や底生生物にとって有害な海水混入有機泥を資源化し、かつ環境再生することが本研究の目的・意義である。本研究では、基本的事項として燃焼特性の利用法の確立を目指している。このため、有機泥に含まれる有機物量と炭素組成率との関係を考察した。さらに、有機泥から腐植性有機物を抽出することによって、腐植性有機物量を直接測定し、燃焼特性から求められる腐植性有機物量と比較して、IL₃₀₀法の妥当性を評価した。

3. 研究の方法

(1) 有機物の嫌気性消化過程

嫌気性消化過程では、構造が不安定な有機物(多糖類、タンパク質、脂質等)は分解され易く、最終的に二酸化炭素やメタンに無機化される。堆積有機泥には不安定な有機物以外にフミン酸、フルボ酸、ヒューミン等の腐植

性有機物の含有率が高いと言われている。腐植性有機物の生成過程(条件)は諸説あるが、メイラード反応によってアミノ酸と還元糖から、フミン酸やフルボ酸、ヒューミン等が生成(Yamamoto and Ishiwatari, 1989)、または植物プランクトン中の不飽和脂肪酸が酸化することによって腐植性有機物が生成される(石渡, 2010)。フミン酸には脂肪族性の構造や窒素結合(アミノ酸、タンパク質等)に富む材料をもつものがあり、材料によってC/IL比(炭素組成率)、C/N比が変化する。

(2) 有機泥の採取と分析方法

堆積有機泥の採取は福山内港、広島湾奥部海底(呉湾、海田湾)、太田川市内派川干潟(京橋川河岸)で行われた。福山内港では下水放流口から海域までの範囲および下水処理施設内越流沈殿池底から採取した。越流沈殿池は処理できない下水を越流させ下水負荷を減少させる沈殿池であり、ここを通過した下水が内港に放流されている。広島湾奥部、福山内港では柱状採泥器(0~25cm深程度を不攪乱採取)、またはエクマン採泥器(0~5cm深程度)により海底堆積有機泥が採取された。不攪乱採取された有機泥は、表層から約2cm毎に分割した後、分析が行われた。

a) 有機泥に含まれる元素分析

採取された有機泥の含有元素(C, H, N, S)はCHNS分析装置(Pelkin Elmer社製, CHNS/O2400II)により測定された。含有元素分析では110°Cで乾燥させた有機泥が試料とされた。2400IIでは純酸素ガス中でスズの1800°C以上のフラッシュ燃焼温度で分析試料を燃焼させ、放出されるCO₂、H₂O、N₂、およびSO₂から各元素の含有率が定量化される。本分析によって得られた測定値は有機泥に含まれる全元素量として元素記号の前にTを付けて表わした。なお、CHNS分析では試料を110°Cで炉乾燥して用いており、110°C以下の沸点を持つ有機物は無視している。

b) 有機泥の燃焼試験

燃焼試験では有機泥を110°C乾燥(含水比測定)後、電気マッフル炉(Yamato科学機器社製, FO510)を用いて200~600°C(100°C毎)までの各温度で4時間燃焼し、減少量を測定した。燃焼温度はILの添え字として、例えば600°Cまでの燃焼量はIL600(mg/g)のように標記した。Keeling(1962)は375°Cで16時間の燃焼により粘土鉱物の持つ構造水を蒸発せず、粘土試料に含まれる炭素量を90%除去できることを示している。

c) 過酸化水素(H₂O₂)水添加による有機物除去試験

2012年に採取された呉、福山底泥にH₂O₂水を添加し有機物を除去した試料の燃焼試験、元素分析を行なった。H₂O₂水添加後の試料に対して燃焼試験を行ない粘土鉱物の持つ構造水量、無機物からの離脱水および有機泥に含まれる無機炭素量TIC(例えばCaCO₃)を算出した。強熱減量値に含まれる減量成分は有機物の他に構造水や炭酸塩に含まれる

表-1 H₂O₂水添加試験により求められた IL₆₀₀の補正量および C, N, IL₃₀₀の残留量 (mg/g)

	IL ₆₀₀	IL ₃₀₀	C	N
補正項目	構造水 無機物	無機物 (H ₂ O)	TIC	TIN
呉泥	53	13	2	0.6
福山底泥	52	13	9.5	0.3

無機炭素等の無機物が含まれているが、H₂O₂水によって構造水および無機物は除去されず、300℃までに燃焼する無機物（表面-OH基の縮合により離脱する水，例えば 2Al(OH)₃→Al₂O₃+3H₂O），および 450℃～600℃で蒸発する構造水が強熱減量値（IL₆₀₀）に含まれることになる。したがって、600℃での燃焼において H₂O₂水によって有機物が除去された後の燃焼成分は無機物（H₂O）および構造水と考えられる。H₂O₂水の添加により 95%程度の有機物の除去が可能であり（Hyeong and Capuano, 2000），本試験では 90%以上の有機炭素除去を残留する炭素量（CHNS 分析）によって確認している。対象泥においても 600℃燃焼後の試料に残留した炭素は 10mg/g 以下であった。また、200℃での燃焼において炭素の減量のない無機物（H₂O）のみの減量が確認されている。表-1には IL₆₀₀ と IL₃₀₀の補正值および H₂O₂水添加後に残留した C, N 量を示している。IL₆₀₀を有機物量として扱う場合の補正量は各燃焼温度での構造水の全燃焼量に含まれる重量比 (mg/g) で示されている。

d) 腐植性有機炭素の抽出方法

2012年と2013年に採取された呉，海田，福山泥，京橋河岸泥から腐植性有機物の抽出が行われた。フミン酸とフルボ酸の抽出は湖沼調査法（半田ら，1987），フミン酸沈殿の条件は筒木（1995）の定義に基づいて行なわれた。腐植性有機物の抽出では抽出前に試料の全有機炭素（TOC）が測定され，ベンゼン・メタノールを使用して脂質を除去したあとに抽出残渣が行われる。3種の腐植性有機物の炭素濃度を足し合わせ腐植性有機炭素量（THOC：total humic organic carbon）とし，全有機炭素（TOC）から THOC を差し引いて，不安定な有機物の炭素量（TUOC：total unstable organic carbon）とした。

(3) 有機泥に含まれる有機物量とその含有炭素量

a) 燃焼減量（IL 燃焼濃度）の補正

福山泥，呉泥，海田泥に対して測定された TC, TOC, IL₆₀₀, IL₃₇₅に表-1の補正值を適用して補正值の精度を確認した。

Steutelら（2007）は土壌に含まれる有機物の 58%が有機炭素であることを示しており，図-1(a)からも有機泥に含まれる有機物の 57%が有機炭素であることがわかる。すなわち，600℃までの燃焼量 IL₆₀₀から無機物および粘土鉱物の持つ水の含有量を引いて補正することにより有機物量を IL₆₀₀で表すことがで

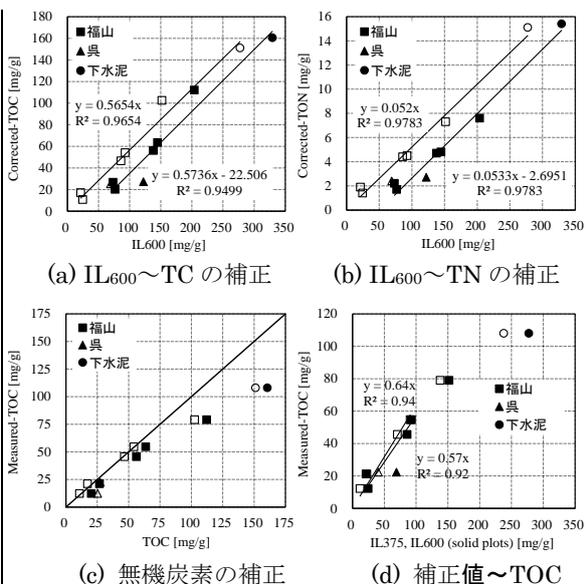


図-1 構造水量と TIC, TIN 量の推定法の適用性

((a)～(c)の黒塗りは補正前，(d)の黒塗りは IL₆₀₀の値)

きる。有機泥に含まれる有機物の 57%が有機炭素であるとすれば，図-1(d)から 375℃の燃焼では対象とする福山泥に含まれる有機物の約 11% (IL₃₇₅=0.57/0.64IL₆₀₀)が燃焼されず，約 6.3%の有機炭素が残ることがわかった。図-1(c)では TC から補正された TOC (補正 TOC) が実測 TOC と一致しており，TC と H₂O₂水に溶ける炭素化合物 (TOC) との差が TIC を表すことがわかる。なお，有機泥に含まれる有機物は不均一に堆積するために，同試料に対しても 1%程度の差は生じる。

下水処理場から採取された下水泥と下水放流口に近い福山泥では，表-1に示した福山泥の TIC で補正できておらず（図-1(c)），海域に拡散する前の下水泥には H₂O₂水で除去できない繊維等が含まれると考えられる。Galbacsら（1998）は下水汚泥には 600℃で燃焼しないアルカリ酸化物等の無機炭素化合物の含有率が高く，1200～1400℃で燃焼して CO₂として放出されることを示している。CHNS 装置（1800℃）で測定された炭素量には無機炭素が含まれ，C/IL 比を大きくさせる要因の一つになっている。一方，1 サンプルではあるが，下水泥に含まれる放流径路の長い福山底泥に比較して炭素組成率の低い有機物（図-1(d)）は C/IL 比が 0.5 以下の揮発性有機物等の低分子の炭素化合物と予想される。

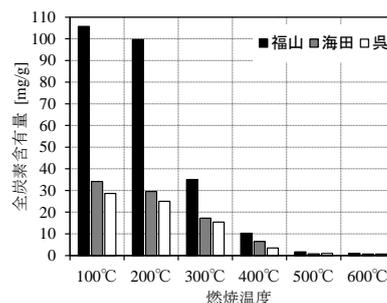


図-2 燃焼温度によって異なる炭素残留量

b) IL 燃焼濃度に含まれる炭素量

炭素含有量は元素 (CHNS) 分析より得られたものである。有機物に含まれる炭素は熱分解により減少するが、燃焼温度により減少率が異なることがわかる。図-2 においても燃焼温度 400°C では全炭素量の約 90% が熱分解により除去されており、Keeling (1962) の結果である 375°C で 90% の有機炭素を除去できること、また、福山泥では 500°C でさらに 8.5% 減少し、400°C で燃焼しない腐植性物質等の難燃性有機物が熱分解され、Cuypers ら (2002) の結果 (腐植性有機物が 390~540°C で燃焼) と同様の結果が得られている。500~600°C 燃焼での残留炭素量が数% 程度であり、残留炭素量 (1~3%) は無機炭素であると予想される。400°C での残留炭素量が 8.5% に対して H₂O₂ 水で除去できない炭素量が約 7% であり、400°C で燃焼し難い炭素化合物は H₂O₂ 水で除去され難いことが予想される。

4. 研究成果

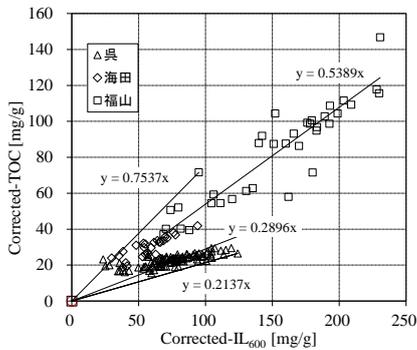
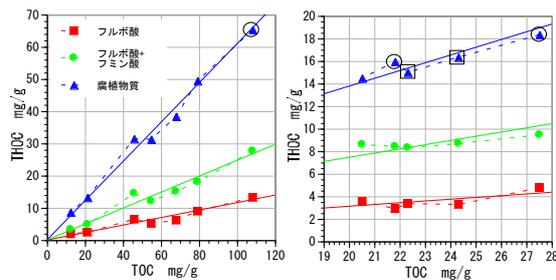


図-3 有機泥中の有機物量 (補正 IL₆₀₀) と有機炭素量 (補正 TOC)



(a) 福山泥 (○は下水泥) (b) 呉泥○, 海田泥○, 京橋泥

図-4 全炭素と腐植性有機炭素との関係 (腐植物質 (▲) は 3 種の合計)

(1) 対象とする有機泥の有機物特性

a) 有機泥に含まれる有機炭素, 有機窒素の量 IL₆₀₀~TOC 関係 (図-3) から対象とした有機泥では有機泥中に存在する有機物量に対して炭素量が線形的に増加しており、そのバラツキの範囲は 0.2~0.8 にあることがわかる。著者らの行った赤潮プランクトン (ペテロカプサトリケラ) の炭素含有比は約 50% であり、またタンパク質, 糖等の不安定有機物は C の組成率が 50% 程度であるので、C の 2 倍

程度が IL (有機物量) であることが理解できる。福山泥の C/IL 比は Steutel らの示した程度の範囲にあるのに対し、呉泥, 海田泥を含めた有機泥では採取深さや有機物の分解状態によって 0.2~0.8 程度に広く分布している。福山泥に対して呉泥の C/IL 比の分散が大きい、有機物量の小さい底泥で炭素含有率が高くなっている。例えば有機物が分解される過程で S が炭素化合物と化合し C/IL 比を小さくするが、さらに低分子化する過程では S の脱離や、無機化 (CO₂ の脱離) によって C/IL 比が大きくなると考えられる。

b) 有機泥中に含まれる腐植性有機物の割合

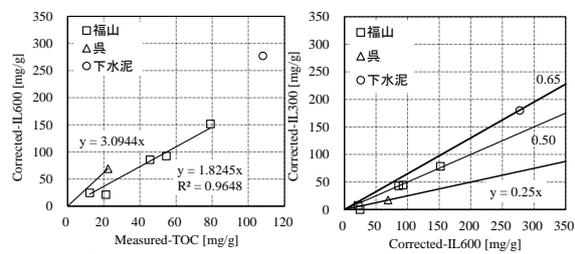
腐植性有機炭素 THOC は福山泥では全有機炭素の約 60%, 他の有機泥では福山泥を越える約 70% を占めている。また、下水処理場内越流沈殿地から採取した汚泥 (下水泥) においても THOC は放流後の下水泥 (福山泥) と同様に 60% 含まれており、福山泥での THOC の分画比は下水泥の分画比に依存し、放流された後も THOC/TOC 比は変化していないことがわかる。すなわち、未処理下水が直接流入する福山泥においては放流口からの距離に依存して TOC が低下していくが、TOC に対する THOC 割合を変えずに拡散している (図-4)。

いずれの有機泥にも最もヒューミンが多く含まれるのは、ヒューミンはフルボ酸がフミン酸を経て作られる安定な有機物であるためと考えられる。福山泥のフルボ酸, フミン酸, ヒューミンの分画比は図-4 (b) に示す地点の堆積泥での分画比と異なり、ヒューミンの存在割合が高くなっている。腐植性有機物は短期に生成される有機物でないことから、概に下水道に集積された状態で含有され陸起源の腐植物質を保持していると考えられる。

(2) 燃焼特性による有機物の分類とその精度

a) 有機泥の燃焼特性 (IL₃₀₀ 法)

IL₃₀₀ 法では 300°C での燃焼減量 IL₃₀₀ を不安定な有機物量, 300°C を越え 600°C までの燃焼減量 IL_h (=IL₆₀₀-IL₃₀₀) を腐植性有機物量の指標としている。



(a) 実測 TOC~補正 IL₆₀₀ (b) 補正 IL₆₀₀~IL₃₀₀

図-5 有機炭素と有機物量関係

IL₃₀₀, IL_h は IL₆₀₀ では考慮できない有機物の組成を表すことができ、燃焼特性 (IL₃₀₀ 法) は簡便に有機物の形態を分類できる手法である。本節では IL₃₀₀ 法の妥当性について任意の地点で採取された試料を用いて検討す

る。本手法が確立できれば有機物の形態を考慮する有用な手段となり得る。

b) 腐植性有機物量の推定精度

TOC は放流口からの距離に依存して減少しており、TOC と IL_{600} には図-5(a)での平均的な勾配と同様に次式の関係がある。

$$IL_{600} = 1.82TOC \quad \text{「福山泥」} \quad (1)$$

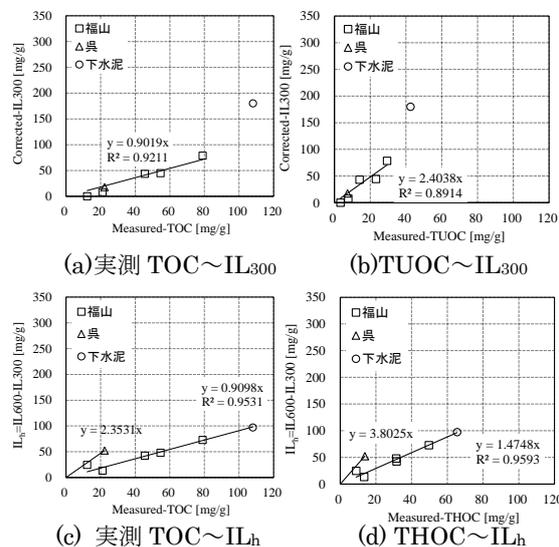


図-6 有機泥の IL_{300} , IL_h の表わす有機物性状

IL の異なる有機泥においても、易燃性有機物、難燃性有機物とも IL/TOC 比は線形近似できている。これらの図から福山泥の有機物と炭素量には次の関係が認められる (図-6)。

$$IL_{300} = 0.90TOC, IL_h = 0.91TOC \quad (2)$$

$$\rightarrow IL_{300} + IL_h = 1.81TOC$$

$$TUOC + THOC = TOC \quad (3)$$

$$IL_{300} = 2.40TUOC, IL_h = 1.47THOC \quad (4)$$

(2)~(4)式から TUOC は THOC の 61% の存在比 ($TUOC = 0.38TOC$, $THOC = 0.62TOC$) であることがわかる。(2)式, (4)式の値に基づけば IL 比 $= IL_{300}/IL_{600} = 0.50 (= 0.90/1.81)$ となる。ちなみに、呉泥では(1)式は(1)'式, (4)式は(4)'式となり、不安定有機物の組成炭素は同程度であるが、腐植性有機物では福山泥で炭素含有率が2倍以上小さくなっている (C以外の原素割合が高い)。

$$IL_{600} = 3.09TOC \quad \text{「呉泥」} \quad (1)'$$

$$IL_{300} = 2.40TUOC, IL_h = 3.80THOC \quad \text{「呉泥」} \quad (4)'$$

図-5(b)中の実線は $IL_{300}/IL_{600} = 0.50$ の関係を表しており、対象とした福山泥では IL 比 $= 0.50$ 程度の値をとっていることから燃焼温度において不安定な有機物と腐植性有機物を分類する手法の妥当性が確認される。すなわち、燃焼温度により有機物の分画は明確にできない (300°C で燃焼する腐植性有機物も存在する) が、 IL_{300} が不安定有機物量、 IL_h が腐植性有機物量を表す指標として扱うことができることが示唆された。また、不安定有機物の状態、すなわち有機物分解が進む過程

での IL 比の変化に規則性が見出される (図-3, 呉泥) ことから、 IL 比は C/N 比と同様に有機泥の性状 (分解度) を把握する指標として使用できる。

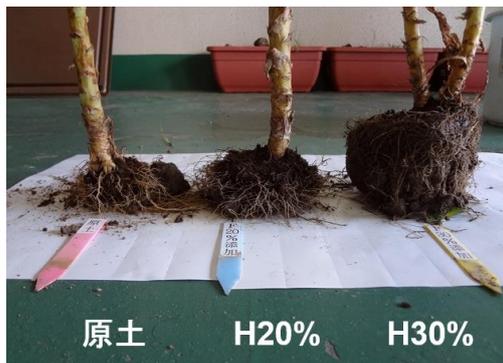
(3) 有機物に含まれる炭素量 (C/IL 比とその意味)

図-3 では有機物を組成する炭素量が有機泥の採取場所によって異なり C/IL 比が $0.2 \sim 0.8$ の範囲にまで分布していることが示された。生活排水や雨水からなる有機泥には陸起源の様々な高分子炭酸化合物が混入しており、高い C/IL 比を持つことは容易に考えられる。例えば高分子の炭化水素を主体とした有機物であれば C/IL 比が 0.8 以上の値をとっても合理性がある。

C/IL 比が 0.3 以下となるには C 以外の揮発元素の含有がある。不安定有機物の分解過程では S, O, H が結合する機会が多くあり、 IL 値が大きくなる要因に S, O, H 含有率が考えられる。一方、腐植性有機物は C の含有率が起源によって変わることが考えられる。福山泥では IL_h に含まれる炭素量は約 70% ($= 1/1.47$, (4)式) であるのに対し、呉泥では約 35% ($= 1/3.80$, (4)'式) であり、酸性的な状態にある下水起源の腐植物質では海域起源の腐植物質の C/IL 比に比較して約 2 倍大きくなるのが理解できる。底層内数 10cm 深にある有機泥では C/IL 比が 0.3 程度になること等も考慮すれば、呉泥は分解の進んだ有機物、炭素組成率の低い腐植性有機物の含有率が多い有機泥であると考えられる。

(4) 石炭灰造粒物による植生基盤材の改質

石炭灰造粒物を用いた沿岸堆積物 (高有機泥) の緑化への影響について、室内試験を実施した結果を写真-1 に示した。試験は沿岸域で採取された原泥を用いて行われた。石炭灰造粒物の効果を把握するため重量比で 20%, 30% となるように石炭灰造粒物を混合した。写真から石炭灰造粒物の混合により好気性確保・ナトリウム障害抑制ができ植物の健康な状態を確保できることがわかる。石炭灰造粒物から CaO が水と反応して OH⁻ を放出することで、周辺の有機物がアルカリ加水分解を起こし、細菌が酵素分解しやすくなり、有機物が減少する。その時、周辺の海水は SO₄ が豊富にあるため、硫酸塩還元菌が働き、硫化水素を発生する。ただし、潮間帯にある造粒物層内では干潮時に蓄えられた酸素が冠水時でも存在できるため、H₂S の生成は限定的である。発生した硫化水素は石炭灰造粒物に含まれる Fe₂O₃ から Fe が供給されて FeS として固定される。一方、SiO₂ の供給で珪藻 (微細植物) が増殖しやすくなり、また Fe₂O₃ から Fe が供給されるため、底生微細植物の増殖が促進される。大型の植物が健康に育つのは底生微細植物が土壌を再生するためであり、石炭灰造粒物が微細植物を増殖させる機能を持つことが明らかにされた。



(a)サンチュの根はり状態（育成1ヶ月）



(b)樹木の育成状態（100日）

写真-1 石炭灰造粒物の混合による土中環境の改善（左から、原泥、造粒物20%、30%混合）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 14 件）

- 1)中本健二, 井上智子, 松尾 暢, 樋野和俊, 日比野忠史: 河川感潮域におけるヤマトシジミ生息基盤への石炭灰造粒物の適用性評価, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.72, , No. 4, 査読有, 2016,pp. 1021-1026.
- 2)TOUCH NARONG, 金城 信隆, 中下慎也, 日比野忠史: 乾式燃焼法に基づいた堆積泥の有機物形態を評価する手法: , 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, 査読有, 2015, pp.1417-1422.
- 3)中本健二, 樋野和俊, 及川隆仁, 日比野忠史: 還元有機泥が堆積した海域の底質改善に用いられる石炭灰造粒物の生物親和性評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, 査読有, 2015, pp. 1459-1464.
- 4)日比野忠史, 森本優希, 福岡捷二, 植田彰: 河口域に堆積する有機物を含む細粒泥の特性把握に関する考察, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, 査読有, 2015, pp.1471-1476.
- 5)水元健太, 中本健二, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 再生材の材料となるアルカリ剤の化学特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, 査読有, 2015, pp. 1477-1482.
- 6)日比野忠史, 金城信隆, TOUCH NARONG,

福岡捷二: 還元化した下水系土壌での生態系の再生, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol.71, No.2, 査読有, 2015, pp.910-915.

7)中本健二, 廣中伸孝, 樋野和俊, 日比野忠史: ヘドロ堆積干潟での石炭灰造粒物による大規模底質改善施工技術の開発, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.71, No.2, 査読有, 2015, pp.808-813.

8)正田 武, 卜部憲登, 平田正浩, 三戸勇吾, 中本健二, 日比野忠史: 過栄養な内港域における再生資源を用いた底質改善手法の提案, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol.71, No.2, 査読有, 2015, pp.880-885.

9)中下慎也, 中本健二, 中澤 泉, 福嶋正博, 日比野忠史: 石炭灰造粒層における地下水流動と濁質の輸送, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol.71, No.2, 査読有, 2015, pp.1089-1094.

10)Kyunghoi Kim, Tadashi Hibino, Tamiji Yamamoto, Shinjiro Hayakawa, Yugo Mito, Kenji Nakamoto, In-Cheol Lee: Field experiments on remediation of coastal sediments using granulated coal ash, Marine Pollution Bulletin 83 (2014) pp.132-137 (査読有) .

11)中岡孝行, TOUCH NARONG, 門田勝吾, 日比野忠史: 酸素消費速度を用いた沿岸堆積有機泥の性状分析手法の提案, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, 査読有, 2014, pp.1111-1115.

12)中下慎也, 加納一成, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 沿岸域に拡散・堆積する油脂類の変動特性の解明, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, 査読有, 2014, pp. 1086-1090.

13)日比野忠史, 太刀内紘平, TOUCH NARONG, 中下慎也: 沿岸域に堆積する有機泥に含まれる有機物の分類法, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, 査読有, 2014, pp. 1101-1105.

14)日比野忠史, 中本健二, 廣中伸孝, 樋野和俊: アルカリ剤造粒物により浄化された河岸ヘドロの有機物特性評価, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol.70, No.2, 査読有, 2014, pp. 1110-1115.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日比野 忠史 (HIBINO TADASHI)
広島大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 50263736

(2) 研究分担者

トウ ナロン (TOUCH NARONG)
広島大学・大学院工学研究院・特任助教
研究者番号: 50707247

(3) 研究分担者

中下 慎也 (NAKASHITA SHINYA)
広島大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 90613034