

多摩川上・中・下流および河口における 底泥中の石油系炭化水素の微生物分解浄化

1998年

小林(山根)晶子
東京農工大学工学部助手

目 次

1. 調査研究のあらまし	1
2. 調査・試験研究の推移	1
(1) 調査・試験研究の計画	1
(2) 調査・試験研究の実施状況	1
【採泥方法】	1
【微生物分解実験】	2
【石油系化学物質分解菌の菌数測定】	2
(3) 調査・試験研究の結果	3
① 分解培養法の検討	3
② 底泥からの剝離分解菌	11
③ 培養方法の履歴による分解への影響	16
④ 他の石油系化学物質の微生物分解	19
⑤ コアによる微生物分解	26
⑥ 最大分解速度	33

多摩川上・中・下流および河口における 底泥中の石油系炭化水素の微生物分解浄化

1. 調査研究のあらまし

日常生活の中に石油化学製品が広く入ってきている現在、都市河川での石油系炭化水素の汚濁は避けられない状況下にある。一方、都市河川における石油系炭化水素の底泥中の微生物による好氣的、嫌氣的分解浄化についての知見はほとんど集積されていない。

そこで、都市河川である多摩川において、上流、中流、感潮域の下流および河口域の底泥を採取し、好気および嫌気条件下における石油系炭化水素の最大分解速度を比較検討することを目的とする。

2. 調査・試験研究の推移

(1) 調査・試験研究の計画

多摩川の上・中・下流および河口域の各種底泥を採取し、石油系炭化水素の最大分解浄化能力を把握する。

石油系炭化水素の存在量が最も多いと考えられる河口域底泥において、石油系化学物質として疎水性の飽和炭化水素や多環芳香族炭化水素と親水性の化合物を用い、その分解性を分解菌数と共に検討する。

(2) 調査・試験研究の実施状況

【採泥方法】

底泥表層土壌および底泥上層の水は、多摩川河口域の大師橋付近の河岸よりエクマンバージ採泥器で採取し、直ちにpH、ORPおよび温度を測定後、水冷保存して持ち帰り直ちに実験に供した。採泥した底泥表層土壌は、ふるいにより葉や貝などのゴミを除去すると共に泥質を均一化し、底泥上層の水は濾過して浮遊懸濁物質（SS）を除去後、オートクレーブ滅菌した。

【微生物分解実験】

まず、底泥表層土壌と滅菌した底泥上層の水を1 : 1 (vol./vol.) に混合し底泥スラリーを調製した。共栓付試験管 ($\phi 25 \times 250\text{mm}$ 、 100ml 容) に底泥スラリー 10ml と各種石油系化学物質を添加した。

好気条件下、振盪分解実験では、シリコンゴム製の連続気泡スポンジ栓を差し込み、往復振盪 ($110\text{strokes} \cdot \text{min}^{-1}$) した。また静置分解実験では、底泥層の厚さが 1mm 以上になると嫌気となるため、ガラスシャーレ ($\phi 90\text{mm}$) に底泥スラリーを 5ml 入れ、さらに滅菌河川底泥上層の水を 30ml 加えて、底泥層の厚さを 1mm 程度に保ち、好気条件を設定した。

一方嫌気条件下では、振盪および静置分解実験ともに、5分間窒素曝気により嫌気状態にし密閉栓をして実験に供した。

なお、多摩川河口域を河川底泥上層の水および底泥の年間温度が $10 \sim 30^\circ\text{C}$ を変動することから、各実験とも分解培養温度は $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の暗所恒温室内で行った。さらに全ての実験は三連ないし五連で行った。また実験は複数回行うことで再現性を確認した。

基質の添加方法は、ヘキサデカン、1-ヘキサデカノールあるいはp-クロロフェノールの場合は常温で液体のためそのまま分注し、フェナントレン、アントラセンの場合は底泥粒子に付着させ底泥スラリーに分散させた。

一定期間分解後、p-クロロフェノールの場合は、遠心分離 (3000rpm , 10min) でまず河川水を回収した。遠沈管内に残っている底泥に対して 20ml の蒸留水を加えてサーモミキサーでよく混合した後、底泥スラリーとなったところで再び遠心分離を行い、蒸留水を回収した。こうして得られた河川水、蒸留水をGF/C濾過 (WHATMANN, $0.45\mu\text{m}$) で液中のSSを除去し、4-アミノアンチピリン吸光度法で定量した。その他の石油系化学物質は、抽出溶媒として酢酸エチル 10ml 加え 12 時間振盪抽出し、FIDガスクロマトグラフィー (Chromosrb - Silicone OV-17, 液相量 1.5%) により定量した。

【石油系化学物質分解菌の菌数測定】

石油系化学物質分解菌の菌数は、各石油系化学物質を基質として平板希釈法で植菌し、好気性分解菌については2週間後、発現したコロニーを計数した。嫌気性分解菌については、Al-Bashirらが用いた組成の嫌気培地にて、アルカリ性

ピロガロール溶液を浸した濾紙をシャーレ上皿に貼り、シャーレ自体は嫌気ガスパックポーチ (BBL)に入れて培養し、2週間後、発現したコロニーを計数した。

(3) 調査・試験研究の結果

① 分解培養法の検討

昨年度、感潮域である大師橋直下の底泥について、嫌気的条件下での石油系炭化水素の最大微生物分解速度を評価した結果、嫌気条件下においては、振盪培養よりも静置培養で評価した方が最大分解速度を検討するに適切であることが明らかになった。

そこで、確認のために、好気条件下での石油系炭化水素の最大微生物分解速度を、振盪培養と静置培養で比較検討し評価した。ヘキサデカン、フェナントレンおよびアントラセンの結果を図1～3に示した。(データ・表1～3)。

ヘキサデカンについてみると、振盪培養系と静置培養系を比較しても、誘導期間、半減期および最大分解速度に相違は見られなかった。また、培養終了時の分解率を比較してみても、振盪培養系では84%、静置培養系では82%となったことから、ヘキサデカンについては、培養条件による分解率には違いが見られないことが明らかとなった。一方、フェナントレンでは、誘導期間および半減期に大差は見られないものの、培養終了時の分解率は、振盪培養では97%に達したのに対して、静置培養では69%にとどまった。またアントラセンについては誘導期間が不明瞭な状態で分解が進行し、培養終了時の分解率は、振盪培養では68%であったのに比べ、静置培養では30%であった。

またヘキサデカンとアントラセンについては、底泥スラリー中の従属栄養細菌と基質分解菌数について、0日目と14日目に測定を行い、図4、5に示した。両物質とも振盪培養と静置培養における微生物数に有意差はなかった(データ・表4、5)。

以上から好気条件下の分解率は、ヘキサデカンでは培養条件による差異が見られなかったが、フェナントレンおよびアントラセンでは、振盪培養での分解の有意差が確認された。

好気条件下において培養方法による分解特性の差異が、酸素の供給によるものと推測した。そのため酸素の供給が絶えず行われている振盪培養の方が高い

分解率を示した。しかし嫌気条件下では、振盪培養で分解が抑制されるのに対して静置培養では速やかに分解が進行しており、好気条件と異なった分解特性を示した。このため嫌気条件の場合には好気条件と異なる影響因子が存在すると考えられた。そこで以後は嫌気条件に注目し、分解に関与する関係因子について検討を行った。

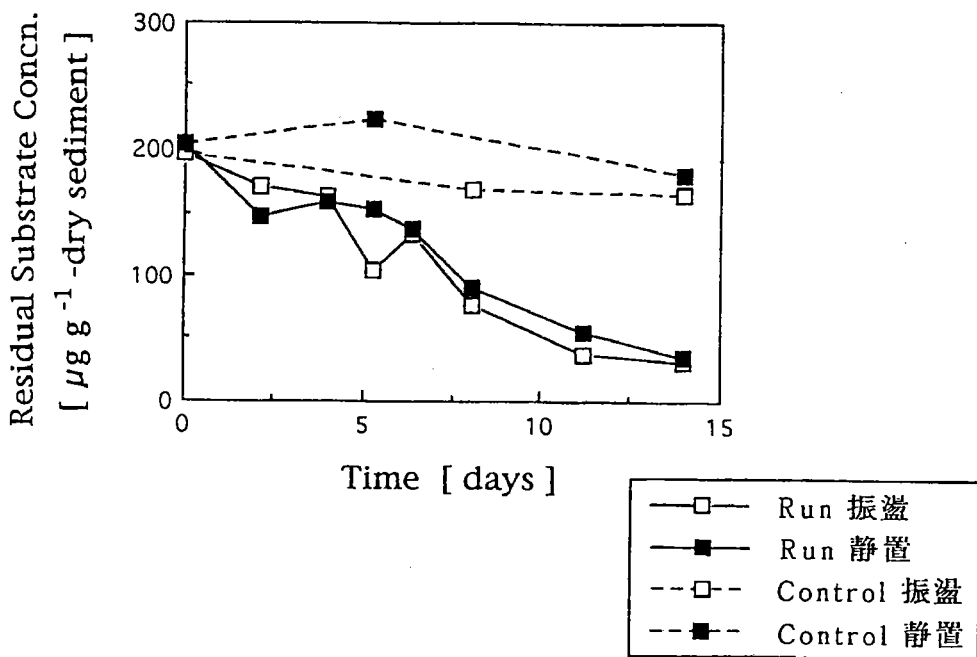


図1 好気状態での振盪および静置培養のヘキサデカン分解実験における残存ヘキサデカン濃度の経日変化

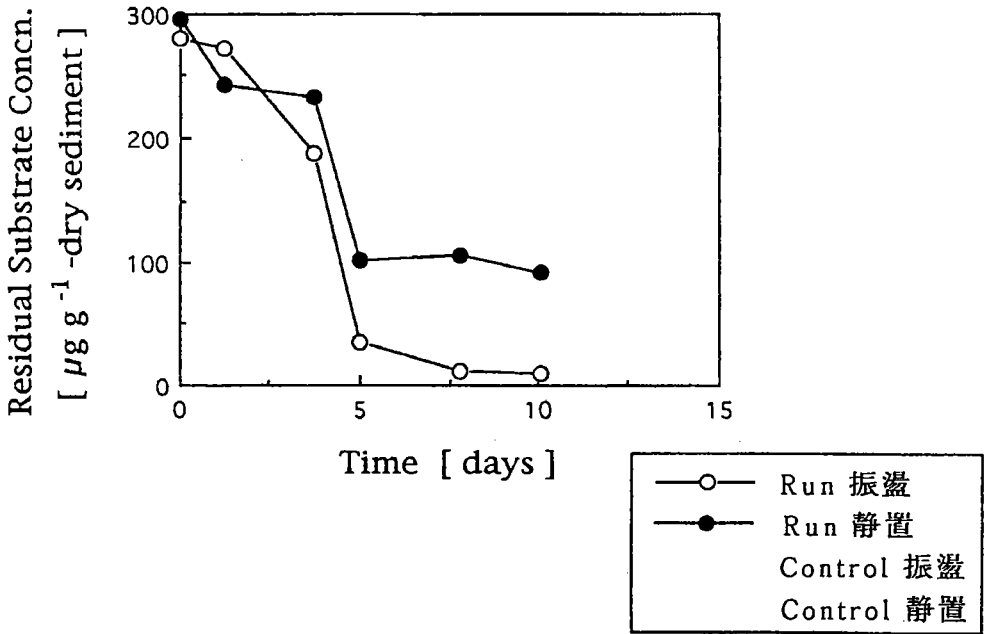


図2 好気状態での振盪および静置培養のフェナントレン分解実験における残存フェナントレン濃度の経日変化

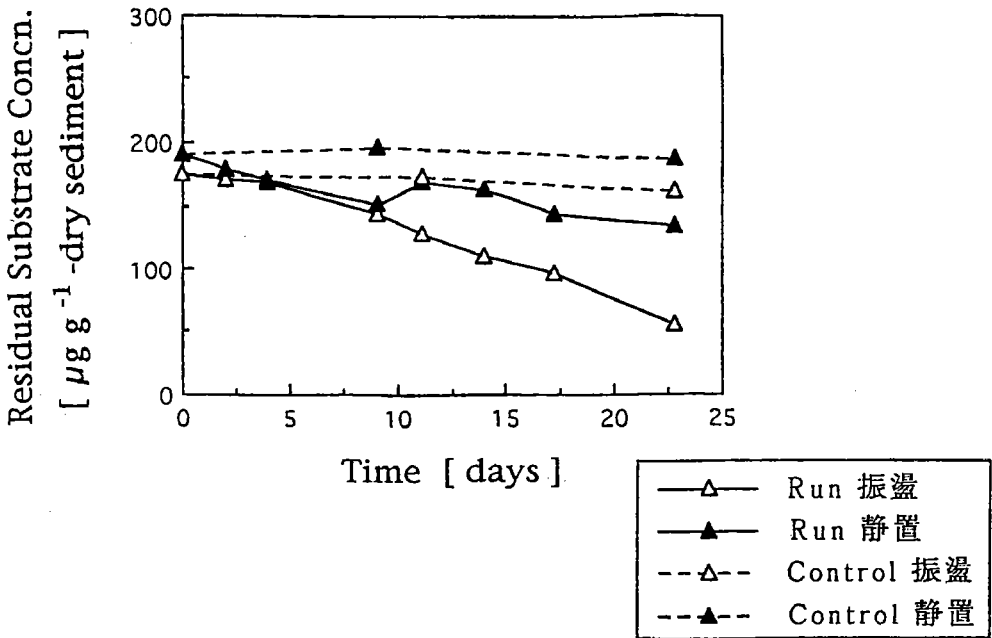


図3 好気状態での振盪および静置培養のアントラセン分解実験における残存アントラセン濃度の経日変化

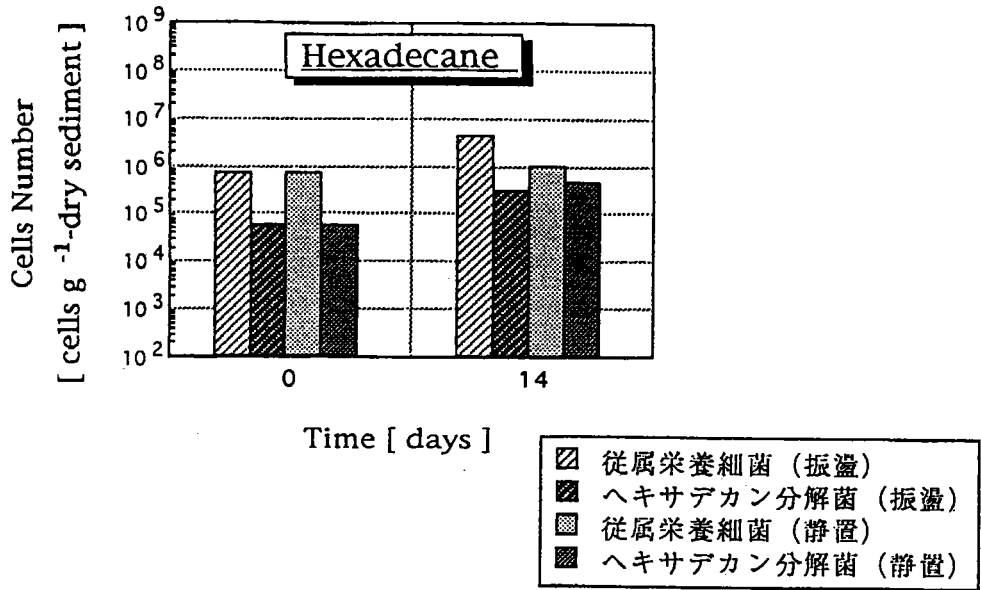


図4 振盪および静置培養でのヘキサデカン分解実験における
0日目と14日目の従属栄養菌数およびヘキサデカン分解菌数

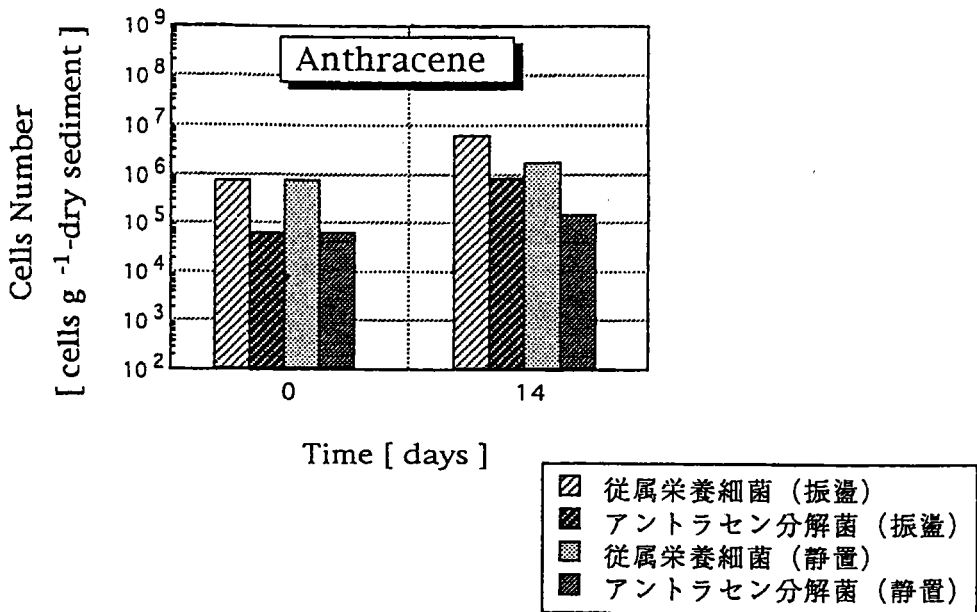


図5 振盪および静置培養でのアントラセン分解実験における
0日目と14日目の従属栄養菌数およびアントラセン分解菌数

表 1 Hexadecane 培養条件 (振盪、静置) 比較実験 (好気系)

培養条件：振盪培養

Time [days]	HEX Conc. [$\mu\text{g/g-D. S.}$]
0.0	195.3
2.1	170.2
4.0	163.4
5.3	104.4
6.4	132.7
8.1	76.9
11.2	36.7
14.0	30.6

培養条件：静置培養

Time [days]	HEX Conc. [$\mu\text{g/g-D. S.}$]
0.0	204.7
2.1	146.7
4.0	158.6
5.3	152.4
6.4	137.9
8.1	89.5
11.2	55.8
14.0	36

表 2 Phenanthrene 培養条件 (振盪、静置) 比較実験 (好気系)

培養条件：振盪培養

Time [days]	HEX Conc. [$\mu\text{g/g-D. S.}$]
0.0	280.3
2.1	273.2
3.7	188.7
5.0	34.4
7.8	11.5
10.1	9.0
13.8	5.2
15.9	6.5

培養条件：静置培養

Time [days]	HEX Conc. [$\mu\text{g/g-D. S.}$]
0.0	295.1
2.1	243.7
3.7	232.8
5.0	101.3
7.8	106.7
10.1	91.6
13.8	88.8
15.9	55.3

表 3 Anthracenene 培養条件 (振盪、静置) 比較実験 (好気系)

培養条件：振盪培養

Time [days]	HEX Concn. [$\mu\text{g/g-D. S.}$]
0.0	174.0
2.1	170.0
4.0	168.0
9.1	143.9
11.2	127.6
14.0	109.8
17.2	96.9
22.8	55.5

培養条件：静置培養

Time [days]	HEX Concn. [$\mu\text{g/g-D. S.}$]
0.0	189.5
2.1	177.9
4.0	170.6
9.1	150.5
11.2	168.3
14.0	161.8
17.2	143.0
22.8	133.1

表4 底泥スラリー中の従属栄養細菌とヘキサデカン分解菌の
培養条件による差異

	0 日 目	14 日 目	
		振盪培養	静置培養
従属栄養細菌	9.5×10^5	8.0×10^6	1.0×10^6
ヘキサデカン分解菌	9.0×10^4	7.2×10^5	8.0×10^5

[cells g⁻¹-dry sediment]

表5 底泥スラリー中の従属栄養細菌とアントラセン分解菌の
培養条件による差異

	0 日 目	14 日 目	
		振盪培養	静置培養
従属栄養細菌	9.5×10^5	9.2×10^6	3.2×10^6
アントラセン分解菌	9.2×10^4	9.5×10^5	2.0×10^5

[cells g⁻¹-dry sediment]

② 底泥からの剥離分解菌

振盪培養の場合、振盪の際底泥粒子が菌体に衝突し、菌体を破損するため、増殖を抑制していることが推測された。

そこで底泥から分解菌を超音波で剥離して嫌気分解を検討した。その結果を図6、7に、そのデータを表6、7に示した。図7で示したように、底泥スラリーの場合と同様静置培養の方が即座に分解が進み、11日間で静置培養は89%であるのに対して、振盪培養は43%であった。この分解実験とは別立てで分解菌数を計測した。その結果を図8、9に、そのデータを表8、9で示した。分解と逆並行に静置培養の方が立ち上がりは速く、初期菌数が $1.2 \times 10^6 \text{ cells ml}^{-1}$ であったのが、11日目で静置培養は $2.9 \times 10^7 \text{ cells ml}^{-1}$ に対して振盪培養は $6.4 \times 10^6 \text{ cells ml}^{-1}$ であった。しかしながら培養後期には共に菌数は同程度にまで達し、26日目 $6.6 \times 10^7 \sim 7.8 \times 10^7 \text{ cells ml}^{-1}$ となった。このことより、分解速度の遅い嫌気微生物の場合、振盪培養では一旦基質と接触した微生物が振盪によって剪断応力等がかかってしまい、基質から離れて分解が緩慢になるが、静置培養では、一度基質に接触した菌体は離れることなく速やかに分解されると推測された。菌体や基質の移動は、間隙水内や間隙水と土壌界面での濃度差による基質の拡散移動や、菌体の吸脱着等によるものであり、振盪による外的な物理作用による移動に比べれば微々たるもので、静置培養による分解には大きく影響がなかったものと考えられた。

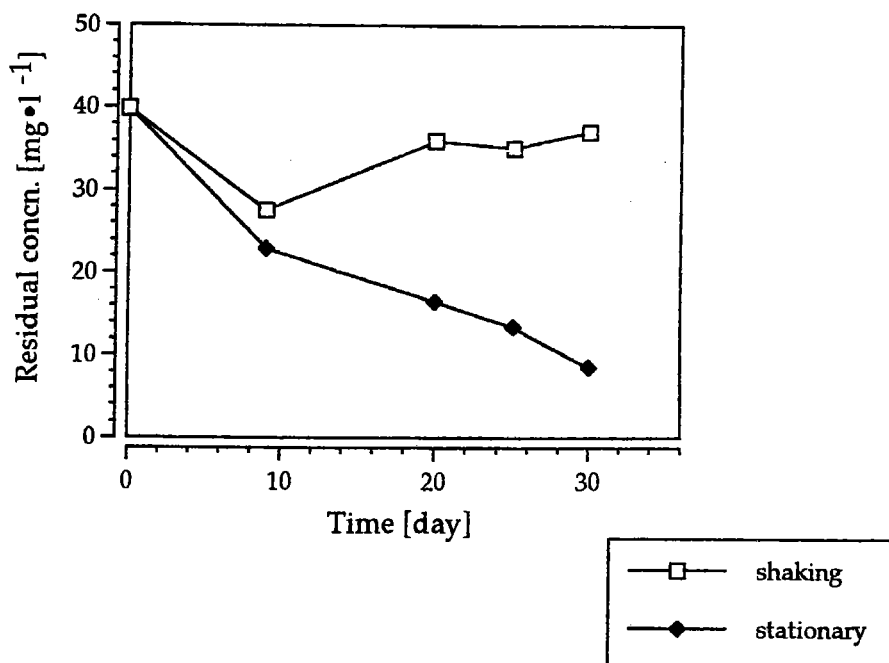


図6 嫌気条件下における微生物剥離液中でのヘキサデカン分解挙動比較

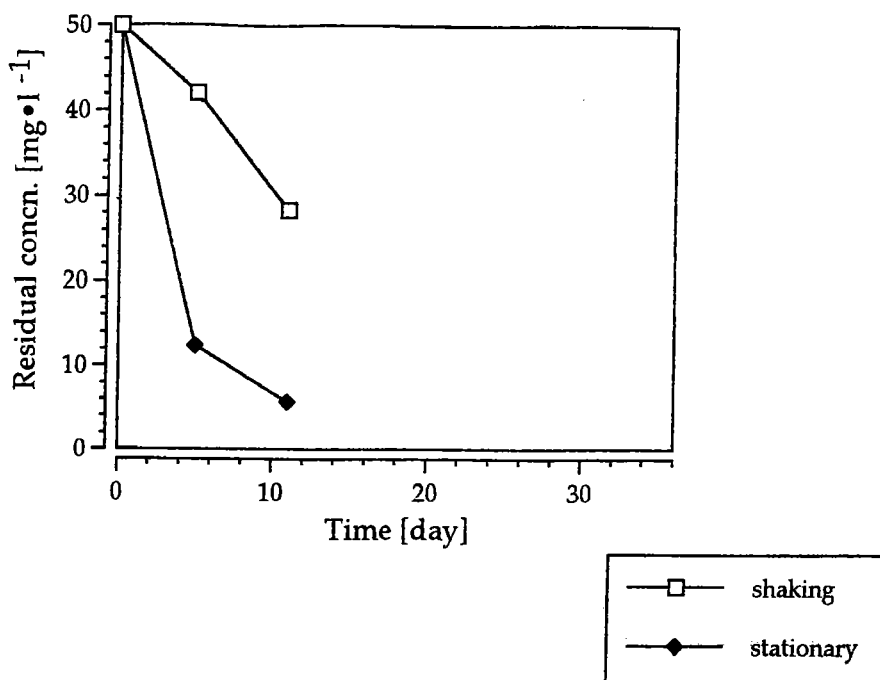


図7 嫌気条件下における微生物剥離液中でのヘキサデカン分解挙動比較

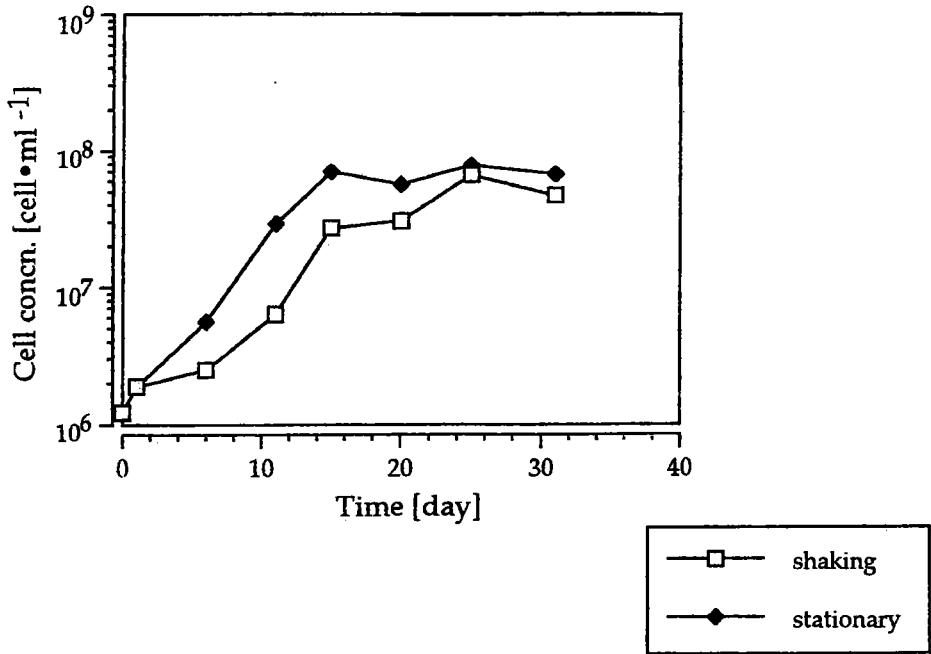


図 8 光学顕微鏡中計測による振盪集積培養液中でのヘキサデカン分解菌挙動比較

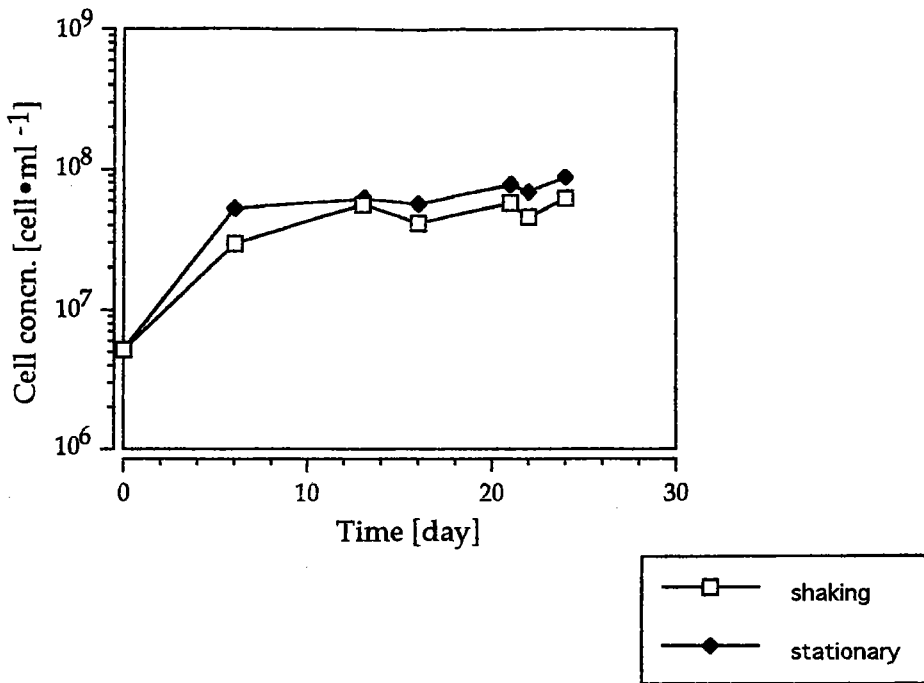


図 9 光学顕微鏡計測による振盪集積培養液中でのヘキサデカン分解菌挙動比較

表6 ヘキサデカン水相分解実験
(嫌気条件、微生物剥離液)

	shaking	stationary
Time [day]	Residual concn. [mg/ℓ]	Residual concn. [mg/ℓ]
0	39.8	39.8
9	27.6	22.9
20	36	16.5
25	35.1	13.4
30	37.1	8.5

表7 ヘキサデカン水相分解実験
(嫌気状態、微生物剥離液)

	shaking		stationary	
Time [day]	O R P [mV]	Residual concn. [mg/ℓ]	O R P [mV]	Residual concn. [mg/ℓ]
0		50		50
5	-157	42	-195	12.4
11	-261	28.4	-201	5.7

表 8 同一培養液中におけるヘキサデカン分解菌菌数変化
(嫌気条件、光学顕微鏡計測)

Time [day]	shaking		stationary	
	ORP [mV]	cell concn. [#/ml]	ORP [mV]	cell concn. [#/ml]
0		1.24E+06		1.24E+06
1		1.89E+06		1.89E+06
6		2.50E+06		5.60E+06
11	-185	6.35E+06	-164	2.91E+07
15	-208	2.71E+07	-198	7.01E+07
20	-201	3.06E+07	-205	5.64E+07
25	-155	6.64E+07	-127	7.80E+07
31		4.68E+07		6.70E+07

表 9 同一培養液中におけるヘキサデカン分解菌菌数変化
(嫌気条件、光学顕微鏡計測)

Time [day]	shaking		stationary	
	ORP [mV]	cell concn. [#/ml]	ORP [mV]	cell concn. [#/ml]
0		5.17E+06		5.17E+06
6	-200	2.97E+07	-220	5.29E+07
13	-197	5.64E+07	-181	6.17E+07
16	-140	4.17E+07	-100	5.73E+07
21	-121	5.79E+07	-129	7.81E+07
22	-169	4.58E+07	-209	6.93E+07
24	-218	6.26E+07	-200	8.89E+07

③ 培養方法の履歴による分解への影響

そこで底泥粒子の影響を除外するために、微生物剥離液を用い、予め振盪培養で数度継代して馴養した後の分解菌を用い、振盪培養と静置培養とで分解率を比較してみた。その結果を図10、11、データを表10、11に示した。その結果、静置培養においてはあまり分解していないのに対して、馴養した振盪培養では速やかに分解し、15日間で78%であった。以上培養条件が馴養の一要因となって分解過程が影響されることが明らかとなった。

したがって河川底泥の嫌気条件下の最大分解速度を把握するには、静置培養で検討するのが的確と考えられた。

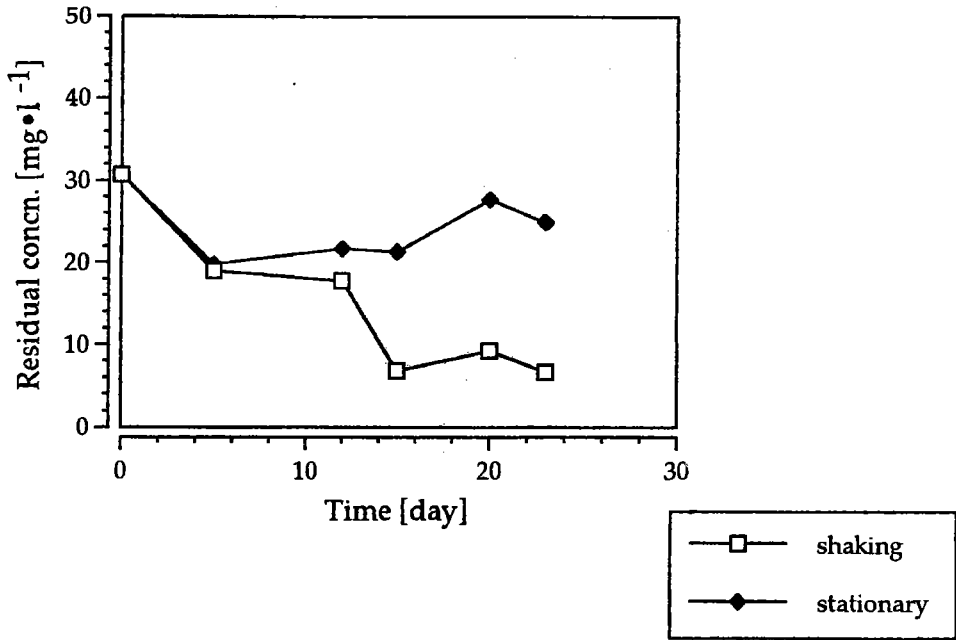


図10 嫌気条件下における振盪集積培養液（3代目）中での
ヘキサデカン分解挙動比較

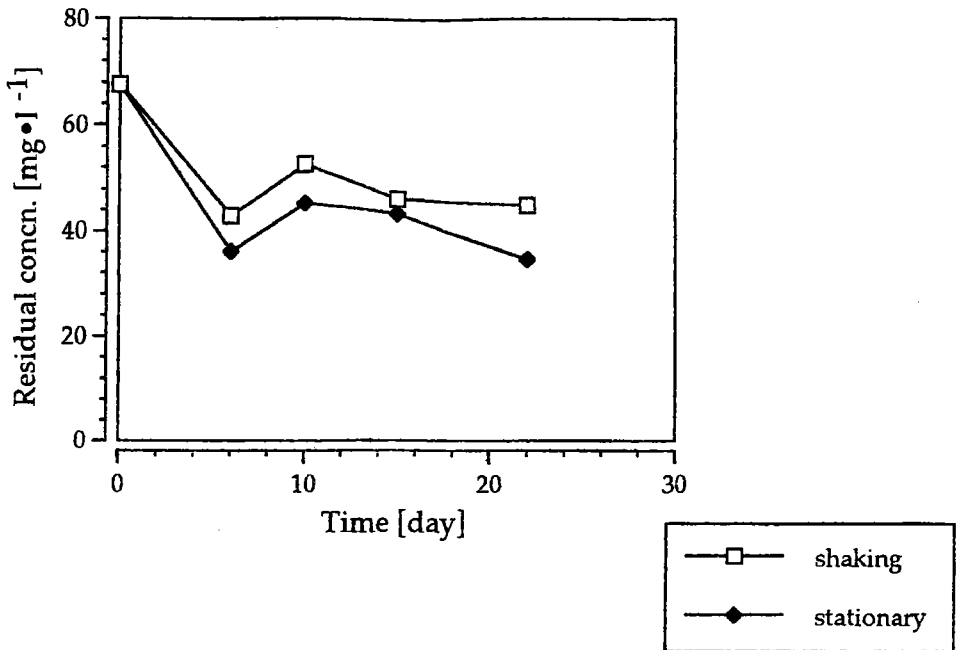


図11 嫌気条件下における振盪集積培養液（12代目）中での
ヘキサデカン分解挙動比較

表10 ヘキサデカン水相分解実験
(嫌気条件、振盪集積培養液)

Time [day]	shaking		stationary	
	Residual concn. [mg/ℓ]	O R P [mV]	Residual concn. [mg/ℓ]	O R P [mV]
0	30.7		30.7	
5	19		19.8	
12	17.8	-235	21.7	-256
15	6.8	-226	21.3	-231
20	9.3	-213	27.7	-197
23	6.7	-246	24.9	-220

表11 ヘキサデカン水相分解実験
(好気状態、振盪集積培養液)

Time [day]	shaking	stationary
	Residual concn. [mg/ℓ]	Residual concn. [mg/ℓ]
0	67.6	67.6
6	43	36.1
10	52.7	45.3
15	46.1	43.3
22	44.8	34.6

④ 他の石油系化学物質の微生物分解

そこで他の石油系化学物質について嫌気条件下での生分解を検討した。

1-ヘキサデカノールはヘキサデカンと同数の炭素をもち、水酸基を直鎖に付加した難水溶性の第一級アルコールである。ヘキサデカンの場合と同様、嫌気条件下における分解培養条件による分解率の差異を1-ヘキサデカノールについて検討した。その結果を図12、13、データを12、13に示した。図12に示したように、デキサデカンと同様、振盪培養の場合緩慢に分解し15日間で31%であったが、静置培養では速やかに分解し97%であった。ORP値を見ると、振盪培養で-146～-215mV、静置培養で-204～-262mVであり、嫌気条件であることを確認している。

ρ -クロロフェノールの場合、底泥スラリー中における存在挙動はヘキサデカンやアントラセン等とは異なり水溶性物質である。底泥中および河川水中における存在割合を検討した結果、ヘキサデカン等の疎水性物質は水中にほとんど存在しないが、 ρ -クロロフェノールは90%程度存在することを確認している。同様に嫌気条件下における分解培養条件による分解率の差異を ρ -クロロフェノールについて検討した。その結果を図14、15、データを表14、15に示した。静置培養では5日間の誘導期を経た後、分解が進行したのに対し、振盪培養では25日間でも分解が起こらず、分解培養条件での分解率に明確な差異が確認された。振盪培養で ρ -クロロフェノールが分解しなかった原因として、阻害作用が示唆された。寒天培地に唯一の炭素源として ρ -クロロフェノールを添加し、底泥スラリーを接種して嫌気培養を行ったところ、1ヶ月以上経過してもコロニーが出現しなかったことを確認している。静置培養では基質と微生物が接触する頻度が低く、毒性効果が局所的であるため分解が進行するが、振盪培養では常に混合が起こっているので底泥スラリー全体で毒性の影響が生じ、分解が抑制されたと考えられた。

そこで水溶性で底泥スラリーに均質に分散するが難分解性の*m*-アミノ安息香で同様に検討した(図16、17、データ・表16、17)。図17に示したように、振盪培養では41日間ほとんど分解しなかったが、静置培養ではいずれも速やかに分解し19日目で96%、41日間で98%であった。これによって、いずれの石油系化学物質においても、底泥中での嫌気条件下の最大生分解速度を把握するには、静置培養によって検討するのが適切と考えられた。

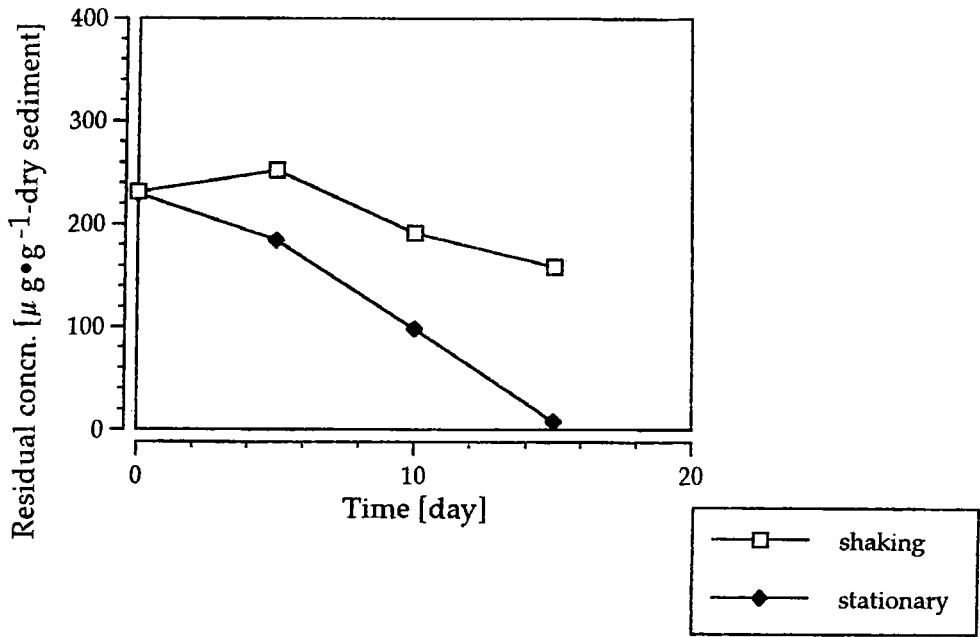


図12 嫌気条件下における底泥スラリー中での
ヘキサデカノール分解挙動比較

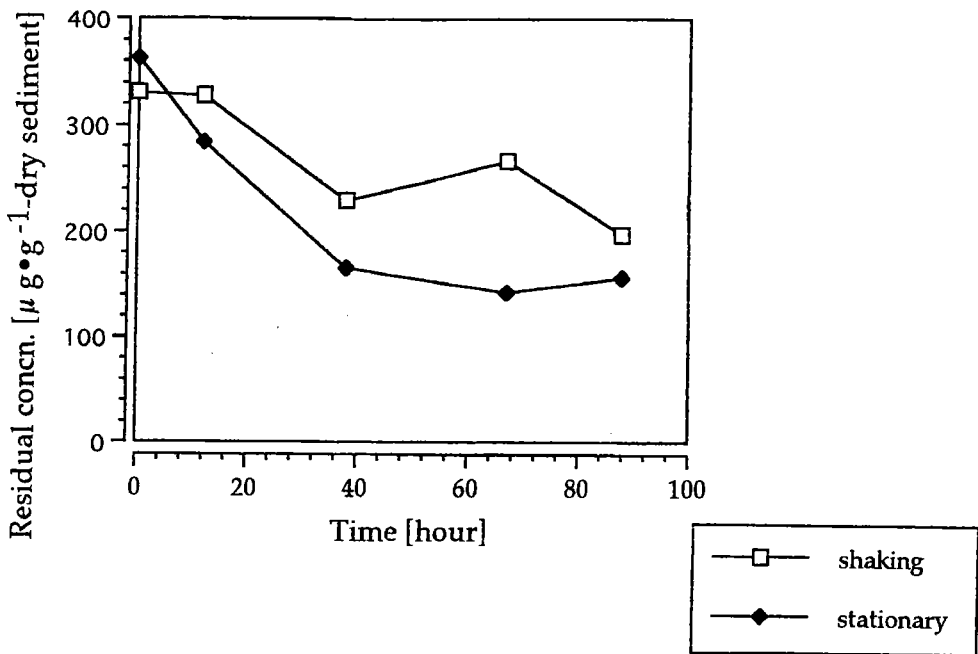


図13 嫌気条件下における底泥スラリー中での
ヘキサデカノール分解挙動比較

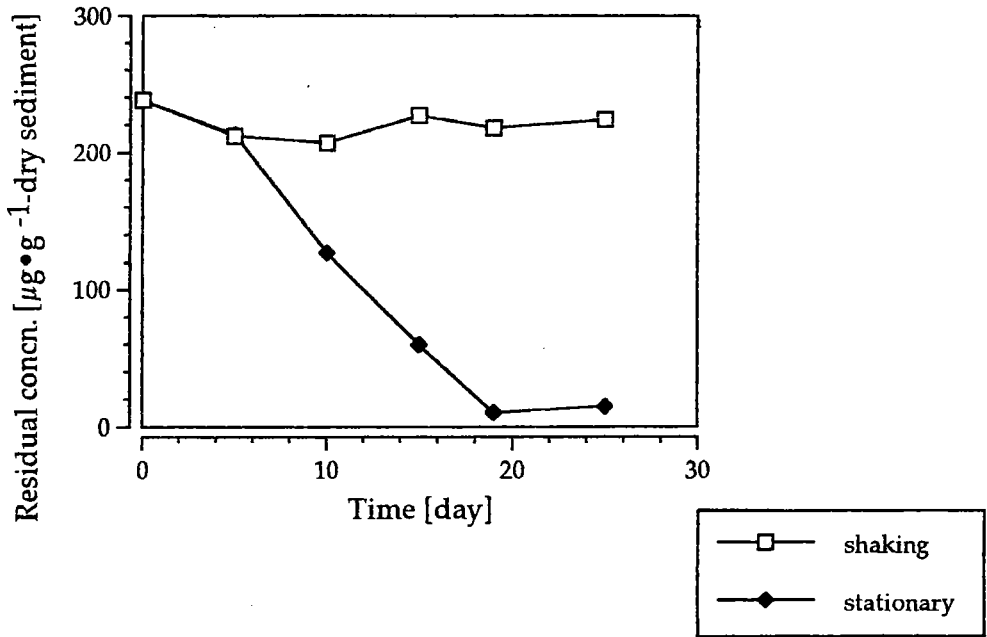


図14 嫌気条件下における底泥スラリー中での
p-クロロフェノール分解挙動比較

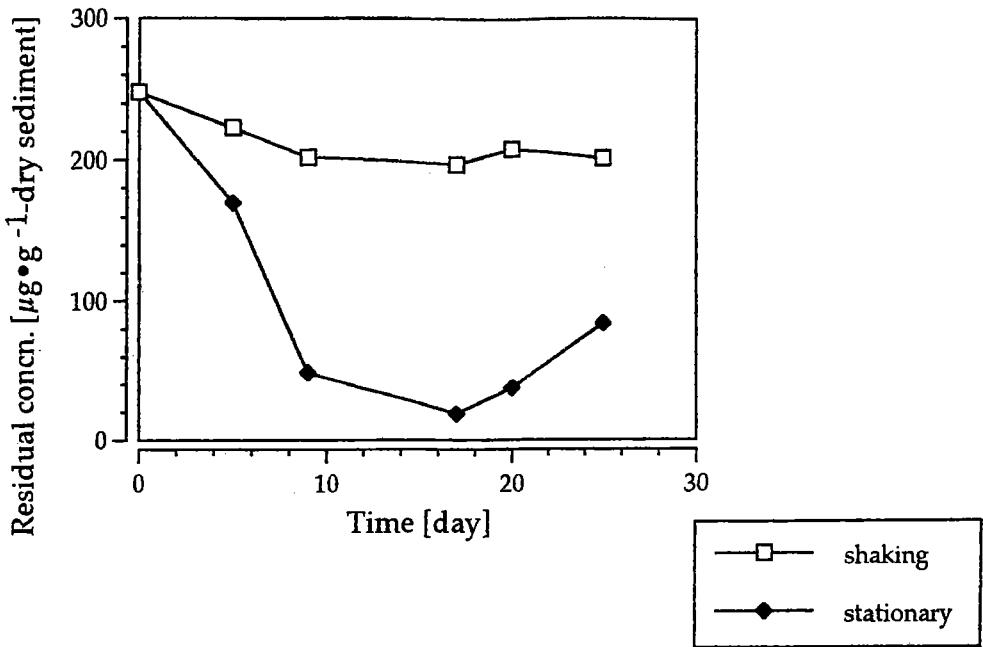


図15 嫌気条件下における底泥スラリー中での
p-クロロフェノール分解挙動比較

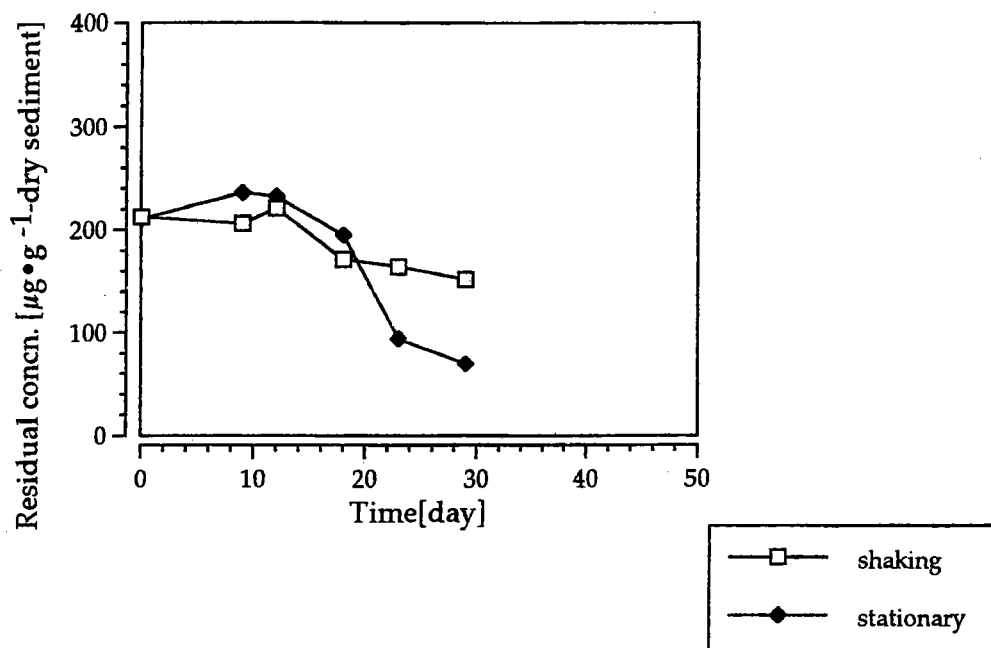


図16 嫌気条件下における底泥スラリー中での
m-アミノ安息香酸分解挙動比較

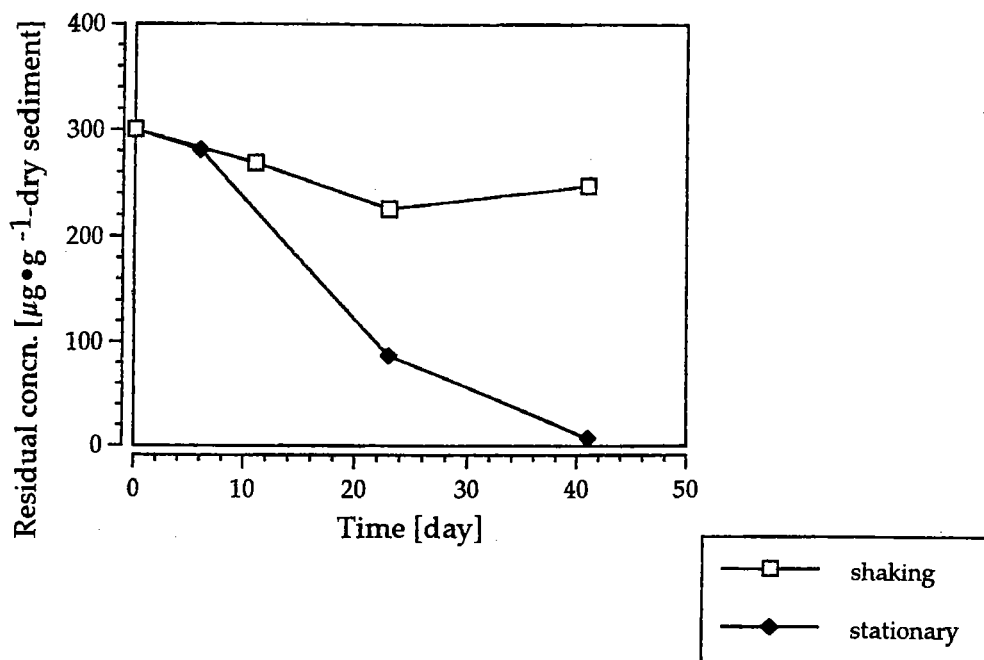


図17 嫌気条件下における底泥スラリー中での
m-アミノ安息香酸分解挙動比較

表12 1-ヘキサデカノール分解実験

(嫌気条件)

	shaking	stationary
Time [day]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d. s.}$]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d. s.}$]
0	231	229
5	252	184
10	191	98
15	158.5	8.2

表13 1-ヘキサデカノール分解実験

(嫌気条件)

	shaking		stationary	
Time [hour]	O R P [mV]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d. s.}$]	O R P [mV]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d. s.}$]
0		331		363
12		328		285
38	-146	230	-204	166
67	-148	267	-227	143
88	-215	198	-262	157

表14 p -クロロフェノール分解実験
(嫌気条件)

	shaking	stationary
Time [day]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d. s.}$]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d. s.}$]
0	238	238
5	212	213
10	207	127
15	227	59.8
19	218	10.4
25	224	14.7

表15 p -クロロフェノール分解実験
(嫌気条件)

	shaking	stationary
Time [day]	Residual concn. [$\mu\text{g/d. s.}$]	Residual concn. [$\mu\text{g/d. s.}$]
0	248	248
5	223	170
9	202	48.7
17	197	18.7
20	208	37.5
25	201	83.8

表16 *m*-アミノ安息香酸分解実験
(嫌気条件)

	shaking	stationary
Time [day]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d. s.}$]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d. s.}$]
0	213	211
9	206	236
12	221	233
18	171	195
23	164	94
29	152	70

表17 *m*-アミノ安息香酸分解実験
(嫌気条件)

	shaking	stationary
Time [days]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d. s.}$]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d. s.}$]
0	300	300
6		281
11	269	
23	226	87
41	247	7.3

⑤ コアによる微生物分解

自然界の浄化能力を評価する上で、自然の底泥の状態をより反映させるために、石油系化学物質を均質に混合した底泥スラリーをシリコンチューブにコア状につめ、20℃で培養した。コアを1サンプルにつき5系列を用意し、このデータから平均値を求める際には、統計的処理を行い、信頼限界が95%に収まるもののみ用いた。

ヘキサデカンやアントラセンのコアについて、各層のORPと残存基質濃度の経日変化を図18、19に示した(データ表18、19)。なおヘキサデカンやアントラセンの両系において、0～1cmの層では好気状態の部分と嫌気状態の部分が共存した状態になっているが、大部分が嫌気状態の層が占めているため、分解率および分解速度に好気層における分解作用が反映されなかった。

ヘキサデカンの場合、いずれの層も10日間までは余り分解しなかったが、その後速やかに分解し、20日間で80%以上分解した。なお深さ方向に対して分解率の差異がなかったのは、各層のORPの変動がみられなかったためと推測された。

アントラセンの分解は、図19で示したように、ヘキサデカンと比較すると表層では緩慢に分解したが、嫌気層では徐々に分解し、60日間での分解率は、0～1cmは36%、5～6cmでは23%、10～11cmと15～16cmでは14%だった。75日間においても急速な分解は見られなかった。コアの深さ方向の分解率の減少は、ORPの差異と関係があるものと思われた。

そこで、フェナントレンにおいて、長期的に検討した。図20で示したように2ヶ月間の誘導期の後に分解した。ほぼ9ヶ月間余り(281日間)で、0～1cmの表層ではORPがプラスで好気条件下にあり分解が92%分解したのに対し、5～6cmでは初めは嫌気であったが、7ヶ月後では好気となり分解が進み70%、10～11cmでは9ヶ月過ぎでようやく好気となったが30%程度分解していた(データ・表20)。

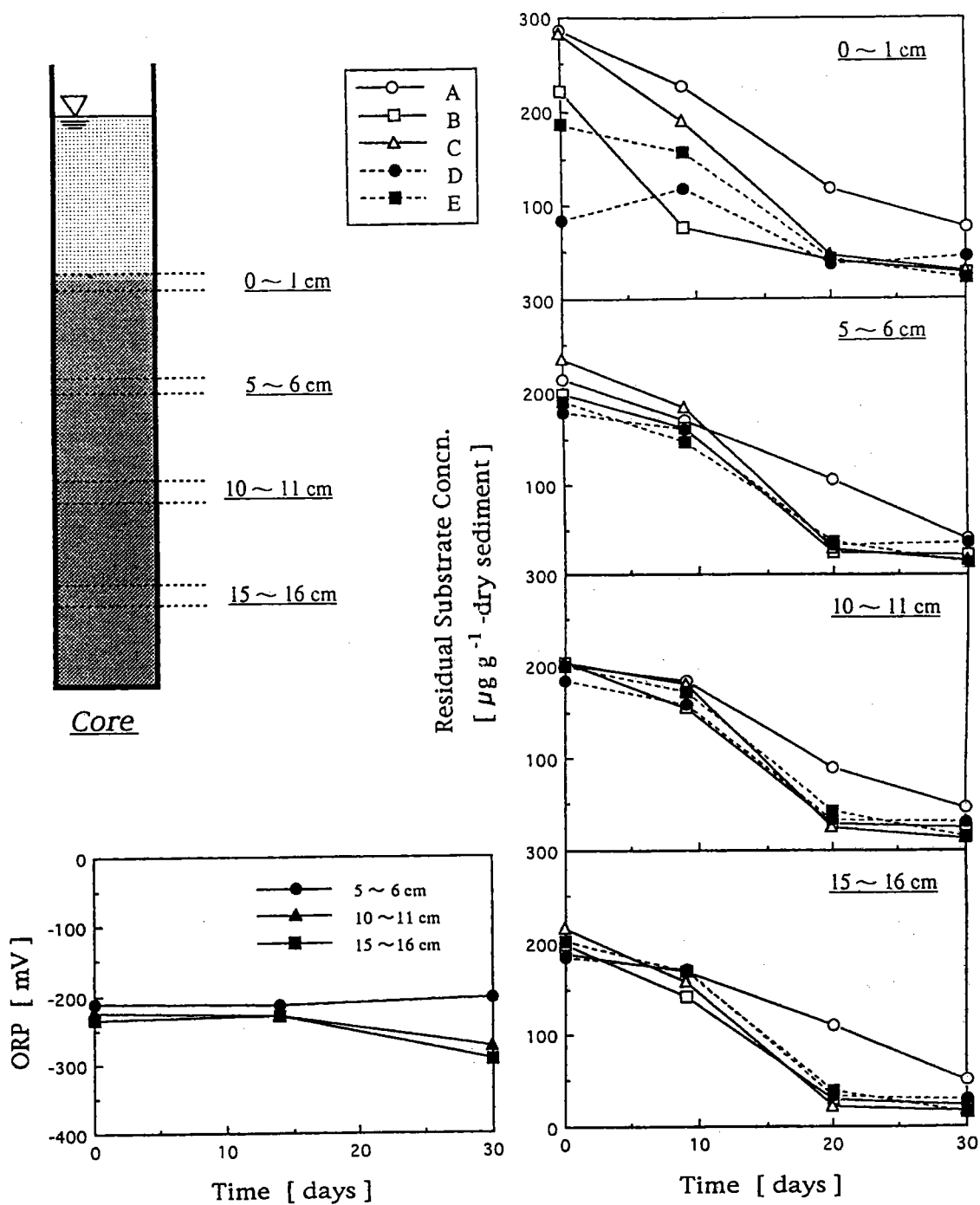


図18 ヘキサデカンのコア実験での各層におけるORPおよび残存ヘキサデカン濃度の経日変化

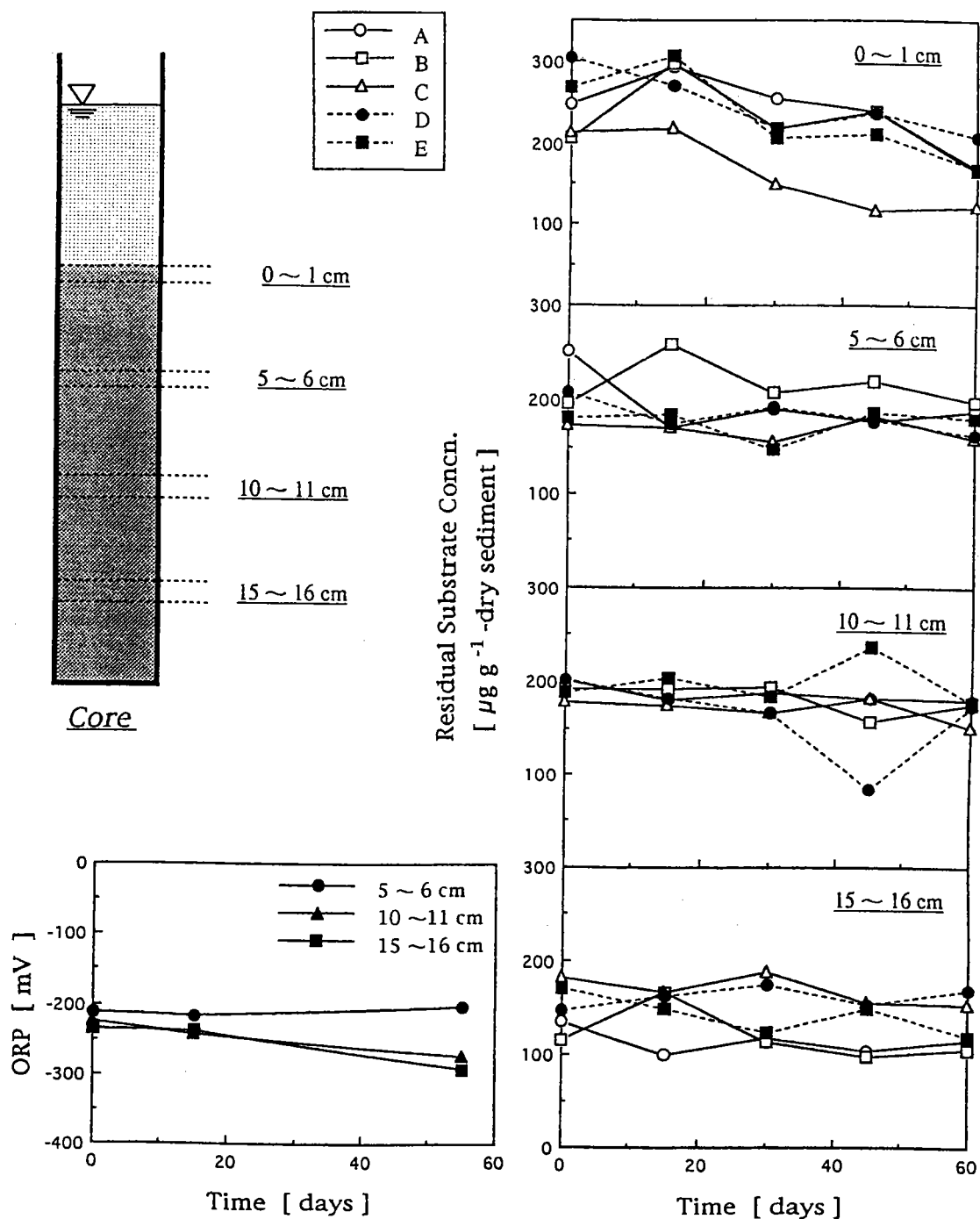


図19 アントラセンのコア実験での各層におけるORPおよび残存アントラセン濃度の経日変化

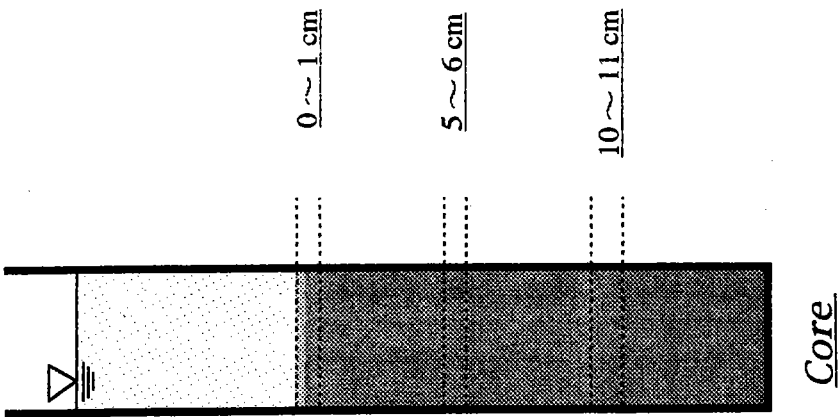
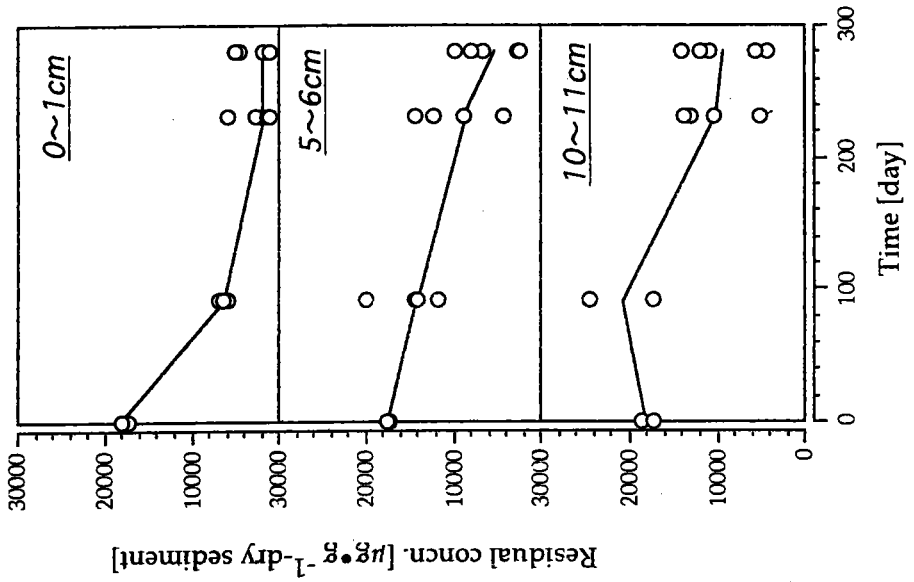
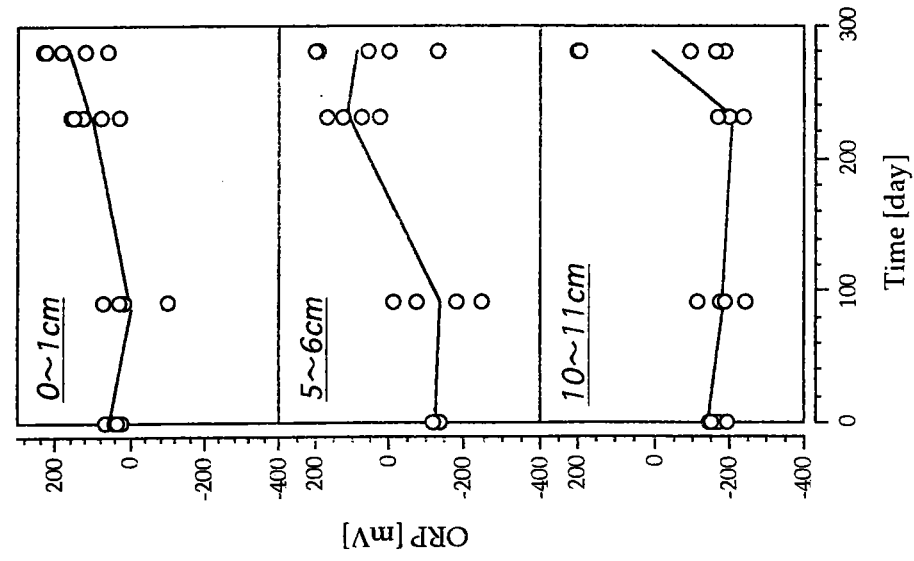


図20 コア分解実験における各深さ位置でのフェナントレン分解挙動変化及びORP変化

表18 Hexadecane コア実験

Time [days]	Depth [cm]	ORP [mV]	A	B	C	D	E
0	0 ~ 1	-95~+41	286.8	222.3	81.7	284.5	186.0
	5 ~ 6	-213	214.1	198.5	235.4	177.7	190.7
	10 ~ 11	--225	201.8	204.0	204.6	183.9	199.6
	15 ~ 16	--236	187.9	197.5	215.1	185.1	201.4
9	0 ~ 1	-144	227.8	75.6	189.5	117.2	157.7
	5 ~ 6	-214	168.3	160.6	182.6	159.1	144.5
	10 ~ 11	-230	184.3	154.0	180.2	159.3	172.8
	15 ~ 16	-230	168.5	140.8	156.6	170.4	168.5
20	0 ~ 1		116.9	41.5	46.7	37.6	42.3
	5 ~ 6		103.1	26.0	30.3	32.9	37.4
	10 ~ 11		91.0	28.6	26.4	33.1	43.8
	15 ~ 16		108.9	29.7	22.3	34.0	39.3
30	0 ~ 1	92	76.1	28.1	30.0	45.1	21.5
	5 ~ 6	-104	39.8	21.6	16.6	34.4	13.6
	10 ~ 11	-275	46.2	24.8	13.6	31.6	16.0
	15 ~ 16	-293	50.5	23.3	17.5	29.9	15.6

表19 Anthracene コア実験

Time [days]	Depth [cm]	ORP [mV]	A	B	C	D	E
0	0 ~ 1	-95 ~ +41	248.0	205.4	212.4	303.8	268.0
	5 ~ 6	-213	250.0	196.0	171.6	206.9	179.7
	10 ~ 11	-225	202.3	192.7	178.7	201.9	188.2
	15 ~ 16	-236	134.9	114.8	183.1	146.1	171.5
16	0 ~ 1	-140	292.4	296.6	217.4	269.9	307.5
	5 ~ 6	-216	170.4	259.3	170.7	174.8	184.9
	10 ~ 11	-243	180.2	193.0	174.3	181.9	203.1
	15 ~ 16	-237	100.0	165.9	167.0	163.2	149.7
30	0 ~ 1		253.8	216.4	149.8	216.7	207.0
	5 ~ 6		190.8	208.4	154.2	192.5	147.7
	10 ~ 11		189.1	194.6	167.1	166.4	183.5
	15 ~ 16		118.0	112.8	187.3	174.9	122.6
45	0 ~ 1		237.3	237.7	116.0	235.2	211.2
	5 ~ 6		175.5	219.2	181.5	178.6	186.0
	10 ~ 11		182.1	156.7	181.5	84.3	237.5
	15 ~ 16		104.5	98.7	154.6	153.4	149.8
60	0 ~ 1	72	169.2	166.1	120.2	208.4	168.9
	5 ~ 6	-204	187.9	197.5	158.1	162.7	181.0
	10 ~ 11	-275	180.2	176.6	151.1	173.6	179.2
	15 ~ 16	-293	115.5	105.3	152.8	169.3	120.1

表20 フェナントレンを対象としたコア分解実験

Depth [cm]	0 ~ 1		5 ~ 6		10 ~ 11	
	ORP [mV]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d.s.}$]	ORP [mV]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d.s.}$]	ORP [mV]	Residual concn. [$\mu\text{g/g-d.s.}$]
0	68	17,430	-138	17,430	-192	18,676
	40	18,053	-121	17,676	-167	17,226
92	13	7,084	-76	14,350	-174	17,373
	70	6,015	-180	14,003	-246	24,389
	27	6,548	-246	20,044	-116	
			-13	11,791	-185	
231	75	2,184	24	14,369	-235	13,019
	128	2,743	73	8,910		13,943
	26	5,817	76	12,243	-200	5,186
	159	1,513	166	4,265	-170	10,336
281	151	1,245	121			
	232	1,228	195	2,747	199	4,276
	118	4,670	3	9,954	-190	14,135
	62	5,153	-132	6,789	-97	10,842
	183	2,047	199	2,395	192	5,600
	228	1,239	55	7,965	-166	11,993

⑥ 最大分解速度

好気条件下において分解挙動や分解率に影響を与えるのは、培養条件による物理的環境ではなく、好気呼吸に必要な酸素の供給であると推測された。振盪培養では酸素が常に供給されているだけでなく、基質と微生物の混合も起こっており、微生物にとっては静置培養よりも分解しやすい環境下にあるといえる。しかし振盪条件は自然界の底泥が置かれている環境条件ではない。したがって振盪培養によって得られる結果は底泥中の微生物が有する分解ポテンシャルと考えられる。それに対して静置培養は本来の底泥の状態を想定しているので底泥が有する本来の分解能力が得られると考えられるが、河口域の好気底泥上層の河川水は絶えず流れていることを考慮すると酸素の供給は実際に起こっているため静置培養では過小評価であると考えられる。このため静置培養を用いて好気条件下における分解能力を評価する場合には人工的に酸素を供給する等の工夫が必要と考えられた。

嫌気条件下では培養環境が大きく影響しているものと考えられた。底泥中にはさまざまな嫌気性細菌が棲息し、還元状態の程度によって微生物種の棲み分けが起こるなど好気条件とは異なった様相を示している。嫌気条件下では振盪培養よりも静置培養で高い分解率を示した。それは底泥が自然界で静止した状態に適応した微生物群集が形成されているためと推測された。一方振盪条件で馴養を行った場合は振盪条件の方が静置培養と比較して分解率が高いことから、嫌気条件下では履歴の環境条件に影響されるものと推測された。このため底泥中における分解能力を評価する場合は、嫌気条件下では履歴の環境条件すなわち静置分解培養でおこなうことが最適といえる。

以上、数種の石油系化学物質の最大分解速度をグラフより求めてみると、表21で示したように、好気条件では振盪培養と静置培養で分解速度に大差はなく、静置培養で酸素律速になることが判った。嫌気条件においては、振盪培養で4～8 $\mu\text{g}\cdot\text{g}$ 乾泥 \cdot 日であるのに対して、静置培養では物質の種類に関係なく、11～15 $\mu\text{g}\cdot\text{g}$ 乾泥 \cdot 日であった。またヘキサデカンでは、嫌気静置分解とコア分解とで同程度で、好気分解の1/3～1/2の最大分解速度が得られた。

表 21 河口域底泥スラリーによる石油系化学物質の最大生分解速度

[$\mu\text{g g}^{-1}\text{-dry sediment day}^{-1}$]

	Aerobic		Anaerobic		core
	shaking	stationary	shaking	stationary	
	hexadecane	21 - 45	20	4 - 8	
phenanthrene	72 - 119	101	ND.	ND.	29 - 122
anthracene	41 - 46	ND.	ND.	ND.	0.3 - 2.5
hexadecanol	-	-	4.8	14.7	-
p-chlorophenol	-	-	0.7	14.5	-
m-aminobenzoic acid	-	-	1.3	11.4	-

「た ま がわ じょう ちゅう かりゅう かこう
多摩川上・中・下流および河口における
ていでいちゅう せき ゆ けいたん か すい そ び せいぶつぶんかいじょう か
底泥中の石油系炭化水素の微生物分解浄化」

(学術研究 VOL27、研究助成・A類No. 194)

著 者 小 林(山根) 晶 子
発行日 1999年 3月31日
発 行 財団法人 とうきゅう環境浄化財団
〒150-0002 渋谷区渋谷 1-16-14
(渋谷地下鉄ビル内)
TEL (03)3400-9142
FAX (03)3400-9141
