

水島重油流出事故による汚染海域に おける重油分解細菌の分布*

藤沢浩明・村上正忠・木村 凡・大谷和彦

Distribution of Heavy Oil-degrading Bacteria
in the Oil-polluted Areas Caused
by the Mizushima Oil Spill Accident

Hiroaki Fujisawa, Masatada Murakami, Bon Kimura,
and Kazuhiko Ohtani

The distribution of heavy oil-degrading bacteria in oil-polluted areas of the Seto Inland Sea (Bisan Seto) caused by the Mizushima Oil Spill Accident was investigated for one year, for the purpose of assessing bacteriological self-purification of the areas following this accident. Heavy oil-degrading bacteria (group A and B) in seawater and bottom sediment in Bisan Seto were enumerated by means of a membrane filter method using heavy oil of the same quality as that spilt in this accident. The population densities of heavy oil-degrading bacteria in seawater, group A and B, were respectively 10^0 to 10^3 and 10^0 to 10^2 per ml, and the density of group A was approximately 10 times as much as that of the group B. The density of the group A in seawater in the coastal areas near Mizushima and Sakaide, was higher than that of the same group in the middle of Bisan Seto, but there was not remarkable difference in the density of the group B in seawater throughout the surveyed areas. The population densities of both group A and B in bottom sediment were 10^2 to 10^4 per g. On the basis of these results, it may be said that various heavy oil-degrading bacteria contribute to decomposing the heavy oil spilt into Bisan Seto.

1. 緒 言

日本沿岸海域における炭化水素酸化細菌の生態と油濁物質の自浄作用を明らかにする研究の一環として、藤沢ら¹⁾は今までに水島重油流出事故による汚染海域である備

讃瀬戸における *n*-ヘキサデカンを指標基質とした炭化水素酸化細菌の存在数および地点的分布傾向、炭化水素酸化細菌数と油分濃度との関係などについて報告した。

本研究では、既報^{1, 2)}と同様に備讃瀬戸における海水および底泥について、事故発生後の約1年間四季にわたって、

* 水産大学校研究業績 第1130号, 1987年7月3日受理.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No, 1130. Received July 3, 1987.

わが国の沿岸海域における炭化水素酸化細菌に関する生態学的研究—Ⅶ (Ecological Studies on Hydrocarbon-oxidizing Bacteria in Japanese Coastal Waters—Ⅶ)

流出重油と同質の重油を基質とした重油分解細菌の分布を響灘を対照海域として調べたので、その結果を報告する。

2. 試料および実験方法

2.1 試料

供試海水および底泥については、重油汚染海域である備讃瀬戸 (Fig. 1) および対照海域である響灘 (Fig. 2)

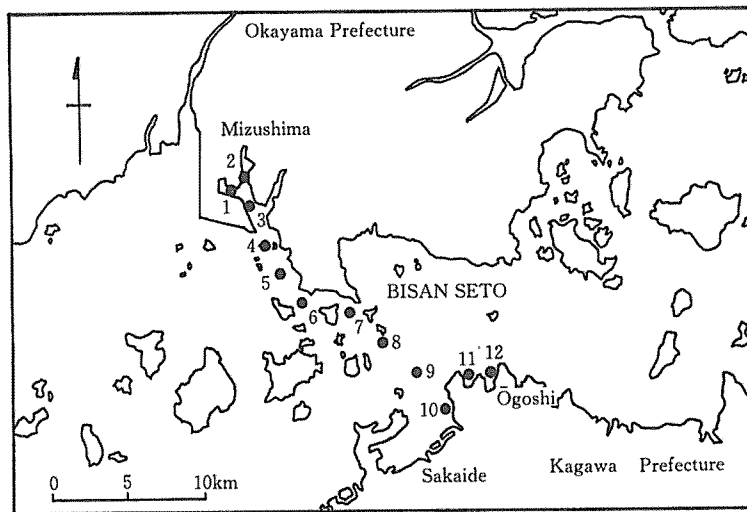


Fig. 1. Location of sampling stations in Bisan Seto (oil-polluted area).

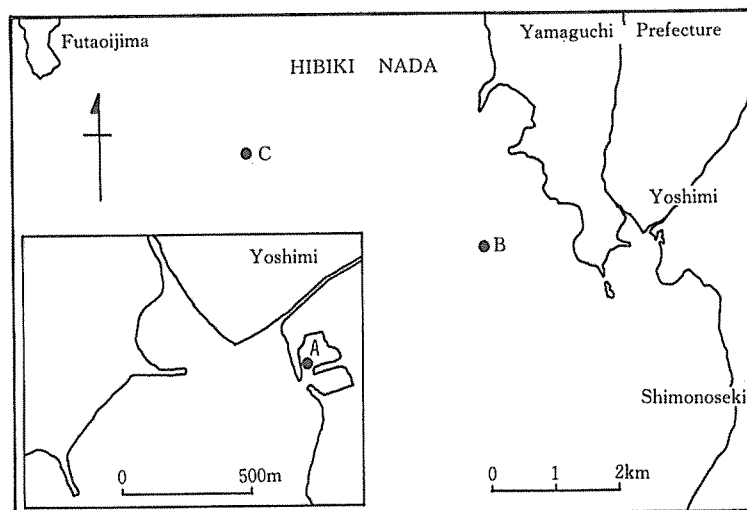


Fig. 2 Location of sampling stations in Hibiki Nada (control area).

の各定点で採取した。これらの試料は、既報¹⁾における *n*-ヘキサデカンを指標基質とした炭化水素酸化細菌数（以下指標炭化水素酸化細菌数と称する）や油分濃度を測定したものと同一であるが、さらに数点が追加された。

2.2 重油分解細菌数の計数法

水島重油流出事故の流出重油と同質の脱硫C重油⁴⁾を基質とするメンブランフィルター法⁵⁾によって得られた計数値に重油分解細菌検出率を乗じて、海水 1 ml あたり、あるいは底泥 1 g あたりの重油分解細菌数を求めた。重油分解細菌検出率については、各メンブランフィルター上に発育したコロニーから菌株を分離し、全分離菌株について前報⁵⁾の方法によって重油分解能を測定し、重油分解率 5% 以上の場合を重油分解細菌としてそれぞれ重油分解細菌検出率 (%) を求めた。本計数法を用いたのは、重油分解細菌の分離を同時に兼ねようとしたからである。

なお、前報⁵⁾で述べたように有機態窒素源 L-アラニンと重油を含む培地上に増殖する重油分解細菌を重油分解細菌 A 群と仮称し、無機態窒素源塩化アンモニウムと重油を含む培地上に増殖する重油分解細菌を重油分解細菌 B 群と仮称した。A、B 両群の発想の由来については、既報⁶⁾の（指標）炭化水素酸化細菌 A 群および B 群のところで詳述したとおりであるが、A 群の意義、とくに B 群との差異については、今後さらに明確にする必要があると考えられる。

両群の重油分解細菌検出率は、海水、底泥および海域をこみにして考えると、A 群でおおむね 75~90%、B 群でおおむね 90~100% であった。

また、指標炭化水素酸化細菌数、従属栄養細菌数および油分濃度については、一部の追加測定したもの以外は既報¹⁾のデータを使用し、さらに、推計学的処理にあたり、各群細菌数および油分濃度についてはそれぞれの測定値を対数に変換して用いた。

3. 結果ならびに考察

3.1 重油流出後の四季における海水中の重油分解細菌の存在数

事故発生約 2 か月後から四季にわたって、備讃瀬戸の海水中の重油分解細菌 A 群数 (OA と略称, cells/ml)、重油分解細菌 B 群数 (OB と略称, cells/ml)、従属栄養細菌

菌数 (H と略称, cells/ml)、OA/H (%), OB/H (%) および油分濃度 (O と略称, ppm) について、響灘の測定値と一括して Table 1 に示した。

Table 1 から備讃瀬戸の海水では、OA が $10^0 \sim 10^3$ cells/ml、OB が $10^0 \sim 10^2$ cells/ml であって、OA が OB より 1 オーダー高かった。この傾向は既報¹⁾で指標炭化水素酸化細菌 A 群数 (A と略称) が $10^1 \sim 10^5$ cells/ml、指標炭化水素酸化細菌 B 群数 (B と略称) が $10^0 \sim 10^4$ cells/ml の場合と同じであった。

響灘の海水では OA が $10^0 \sim 10^2$ cells/ml、OB が $10^0 \sim 10^2$ cells/ml で、両者同じレベルであった。ところが、既報¹⁾では A が $10^0 \sim 10^4$ cells/ml、B が $10^{-1} \sim 10^3$ cells/ml で、A が B より 1 オーダー高かった。

備讃瀬戸の海水中の冬季における OA および OA/H は、他の季節の値および響灘の値より明らかに高い傾向がみられたが、OB および OB/H については、このような傾向は認められなかった。

一般に H に対する炭化水素分解細菌数の比が油濁海域では非油濁海域よりも高く、この比が汚染指数として重要であるといわれているが⁷⁻⁹⁾、今回の海水中の重油分解細菌の場合には、OA/H が OB/H よりも重油汚染指数として適しているようにみられた。しかし、既報¹⁾では重油汚染海域の海水の A/H および B/H が、いずれも対照海域の値より高かった。重油分解細菌と指標炭化水素酸化細菌の両群数で H に対する比に差異がみられることは、基質および計数法の違いによるものと考えられる。今後さらに、OA/H と OB/H、A/H と B/H について、いずれが重油汚染指標としての有効性が高いかを検討する必要がある。

3.2 備讃瀬戸における海水中の OA および OB の地点的分布傾向

OA および OB について地点的分布傾向を明らかにするために、既報¹⁾の方法によって求めた重油流出源からの距離 (projected distance) と OA および OB との関係調べると、Fig. 3 に示すような回帰曲線が得られた。

Fig. 3 から、OA については二次曲線で表わされたが ($F_0 = 6.34^{**}$)、OB については二次回帰が有意とならなかった ($F_0 = 0.92 < F_{22}^2(0.05) = 3.44$)。したがって、OA については水島、坂出両沿岸で高く、中央部で低い傾向が認められたが、OB については明らかな地点的変動がみられなかった。

なお、既報¹⁾から O についてはおおむね二次曲線で表わ

Table 1. The population densities of heavy oil-degrading bacteria and heterotrophic bacteria in seawater in Bisan Seto (oil-polluted area) after the Mizushima Oil Spill Accident and in Hibiki Nada (control area)

Area	Date	Station No.	Oil content (ppm)	Heterotrophic bacteria, H (cells/ml)	Heavy oil-degrading bacteria			
					Group A, OA (cells/ml)	OA/H (%)	Group B, OB (cells/ml)	OB/H (%)
Bisan Seto	Feb. 7, '75	1	0.20	4.4×10^4	2.7×10^3	6.1	—	—
		2	0.17	1.9×10^4	1.4×10^3	7.4	6.0×10^0	< 0.1
		3	0.12	2.2×10^4	3.6×10^3	16.4	—	—
		4	0.10	8.3×10^3	7.3×10^2	8.8	—	—
	Feb. 26, '75	1	0.17	2.9×10^3	1.3×10^3	44.8	1.2×10^1	0.4
		1*	—	1.1×10^3	—	—	6.0×10^0	0.5
		1**	—	2.0×10^3	—	—	1.6×10^1	0.8
		2	—	6.3×10^3	—	—	2.4×10^0	< 0.1
		3	—	4.9×10^3	—	—	2.2×10^1	0.4
		4	—	2.3×10^3	—	—	3.0×10^0	0.1
		5	—	3.0×10^3	—	—	1.8×10^1	0.6
		6	0.12	2.1×10^3	—	—	1.8×10^1	0.9
6**	—	6.0×10^2	—	—	1.3×10^1	2.2		
Feb. 14, '75	8	0.18	3.0×10^2	4.0×10^1	13.3	—	—	
	9	0.23	4.0×10^2	—	—	1.5×10^0	0.4	
	10	0.40	1.0×10^4	—	—	1.6×10^1	0.2	
	11	0.24	7.0×10^2	2.8×10^2	40.0	1.8×10^0	0.3	
	12	0.31	1.5×10^3	2.2×10^2	14.7	2.0×10^1	1.3	
	Hibiki Nada	Mar. 11, '75	A	0.31	8.9×10^2	4.0×10^1	4.5	3.1×10^1
B			0.14	5.9×10^2	5.8×10^1	9.8	5.5×10^1	9.3
C			0.14	1.0×10^3	5.0×10^1	5.0	1.0×10^2	10.0
C*			—	2.2×10^2	3.9×10^0	1.8	3.5×10^0	1.6
C**			—	9.9×10^2	2.0×10^1	2.0	1.5×10^0	0.2
Bisan Seto	May 23, '75	1	0.48	1.4×10^4	1.0×10^1	0.1	5.0×10^0	< 0.1
		2	0.09	1.0×10^4	3.0×10^1	0.3	3.2×10^0	< 0.1
		4	1.00	1.0×10^3	2.0×10^1	2.0	5.5×10^1	5.5
		6	0.08	1.1×10^3	6.0×10^0	0.5	1.1×10^0	0.1
	May 31, '75	7	0.08	3.6×10^3	3.0×10^1	0.8	2.0×10^1	0.6
		10	0.48	4.4×10^4	8.0×10^2	1.8	7.0×10^1	0.2
Hibiki Nada	June 27, '75	12	0.24	1.2×10^4	5.0×10^2	4.2	1.9×10^1	0.2
		A	0.25	3.6×10^4	9.0×10^1	0.3	1.2×10^2	0.3
		B	0.20	1.3×10^3	6.0×10^0	0.5	2.0×10^0	0.2
		C	0.18	2.0×10^3	4.6×10^1	2.3	1.1×10^1	0.6

* Sampling depth was about 10 meters.

** Sampling depth was about 20 meters.

Table 1. (Continued)

Area	Date	Station No.	Oil content (ppm)	Heterotrophic bacteria, H (cells/ml)	Heavy oil-degrading bacteria			
					Group A, OA (cells/ml)	OA/H (%)	Group B, OB (cells/ml)	OB/H (%)
Bisan Seto	Aug. 1, '75	1	0.80	6.1×10^3	1.7×10^1	0.3	2.0×10^0	< 0.1
		4	0.72	2.2×10^4	2.5×10^1	0.1	5.0×10^0	< 0.1
		6	0.08	1.3×10^3	1.5×10^1	1.2	3.0×10^0	0.2
	Aug. 8, '75	9	0.10	1.0×10^3	5.4×10^0	0.5	1.4×10^0	0.1
		10	0.30	3.6×10^5	5.0×10^2	0.1	1.1×10^2	< 0.1
		12	0.18	3.9×10^5	5.5×10^2	0.1	1.8×10^1	< 0.1
Hibiki Nada	Sep. 12, '75	A	0.17	1.9×10^3	1.2×10^2	6.3	1.2×10^1	0.6
		B	0.12	1.8×10^3	7.9×10^1	4.4	2.0×10^0	0.1
		C	0.06	1.4×10^4	2.3×10^2	1.6	2.2×10^1	0.2
Bisan Seto	Nov. 7, '75	1	0.20	1.1×10^4	3.7×10^2	3.4	7.5×10^1	0.7
		2	0.27	1.3×10^4	7.0×10^0	0.1	2.0×10^0	< 0.1
		4	0.07	1.3×10^3	8.0×10^0	0.6	2.1×10^0	0.2
		6	0.03	1.3×10^3	1.1×10^1	0.8	4.5×10^0	0.3
	Nov. 19, '75	7	0.04	7.0×10^2	6.0×10^0	0.9	5.5×10^1	7.9
		9	0.06	6.0×10^2	1.9×10^0	0.3	1.9×10^0	0.3
		10	0.15	2.6×10^3	2.3×10^1	0.9	6.5×10^1	2.5
12	0.03	1.3×10^3	2.0×10^1	1.5	2.0×10^0	0.2		
Hibiki Nada	Dec. 2, '75	A	0.01	1.2×10^4	4.1×10^2	3.4	2.0×10^2	1.7
		B	0.02	2.0×10^2	8.0×10^0	4.0	1.8×10^0	0.9
		C	0.07	2.1×10^2	1.3×10^0	0.6	1.2×10^0	0.6

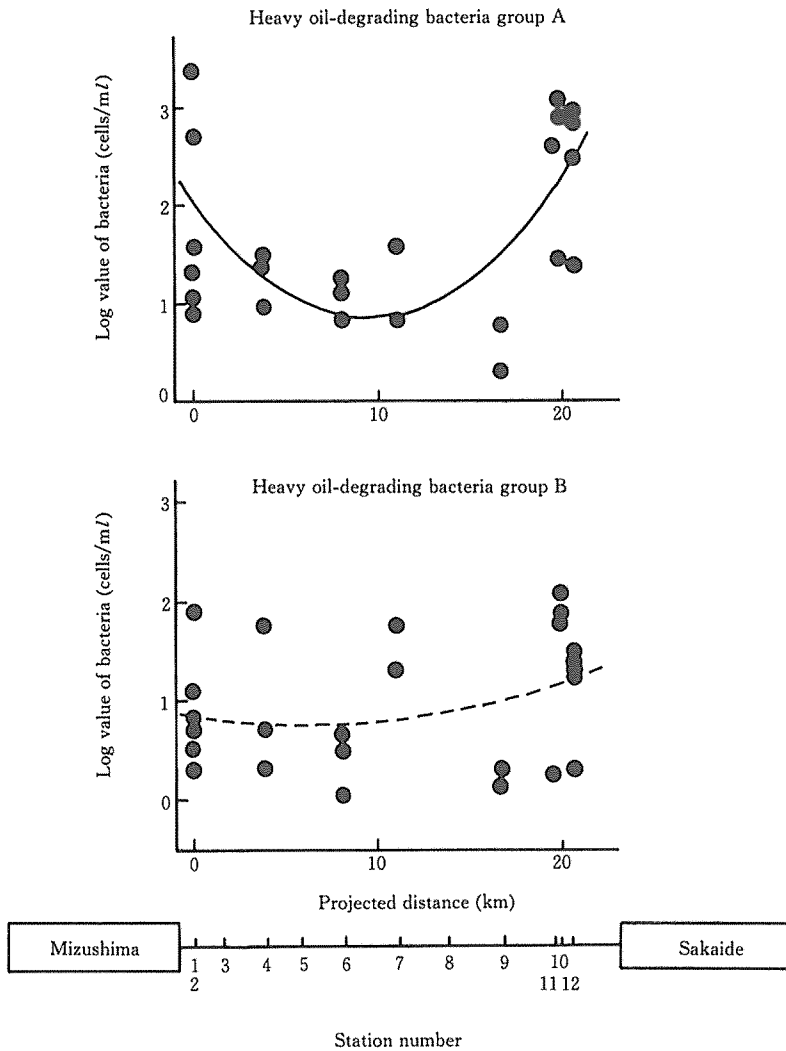


Fig. 3. Variations in the population densities of heavy oil-degrading bacteria, group A and B in seawater in Bisan Seto with the projected distance from the source of oil spill.

Note: To show the variation with the distance from the source of oil spill, the following method was adopted;

- 1) Measured the distance of respective station from St. 1 in the east-west direction and in the north-south one (Fig. 1),
- 2) Estimated the regression line of the latter on the former,
- 3) Drew perpendiculars from respective station to this line,
- 4) Measured the distance from St. 1 to the feet of them (this distance was called the projected distance for convenience),
- 5) And estimated the regression of the population densities of bacteria on this distance. Solid curve shows the significant quadratic regression. When the quadratic regression was insignificant, it is shown in broken curve.

され、Hについては二次曲線と認められている。

3.3 備讃瀬戸における海水中のOとOAおよびOBとの関係

OとOAおよびOBとの関係を、それぞれFig. 4およびFig. 5に示した。

Fig. 4から、Oに対するOAの回帰式は、二次式が有意($F_0=4.97^*$)となった。これは油分濃度が比較的高い0.2~0.5ppmのときに細菌数が異常に高く(冬季の点はすべて含まれた)、油分濃度が最も高い0.8~1.0ppmの場合にはむしろ細菌数が低くなる傾向が認められたことに起因すると思われる。なお、何故このような現象が現れたか明確でないから、今後この原因について調べる必要がある。

Fig. 5から、Oに対するOBの一次回帰式では、その回帰係数が正であり、Oの増加に伴ってOBも増加する傾向を示した($F_0=2.09$)。季節ごとの各点の散布には、明らかな季節的変動がみられず、四季を通じて一定の回帰係数をもつと思われるので、その回帰係数は試料数が増加す

れば有意となるものと考えられる。

なお、既報²⁾でOに対するAおよびBの関係では、いずれも一次回帰式が有意であった。

3.4 備讃瀬戸における海水中の各群細菌数2者間の相互関係

H, OA, OB, AおよびBの各群細菌数2者間の相関係数をTable 2に示した。

Table 2から、OA, AおよびBとHとの各相関係数やAとBとの相関係数は高かった。また、AとBとの相関係数(0.64**) > OAとOBとの相関係数(0.50*) > OBとHとの相関係数(0.40)のような順位がみられた。以上のように、重油分解細菌相互間の関係が指標基質炭化水素酸化細菌相互間の関係より弱いことや、前述のOに対するOBの直線回帰係数が有意とならなかったことなどについては、次の理由が考えられる。すなわち、重油分解細菌の計数法が分離法を兼ねたメンブランフィルター法による計数値に重油分解細菌検出率を乗じた二段階法であるために、その誤差が大きく影響した。

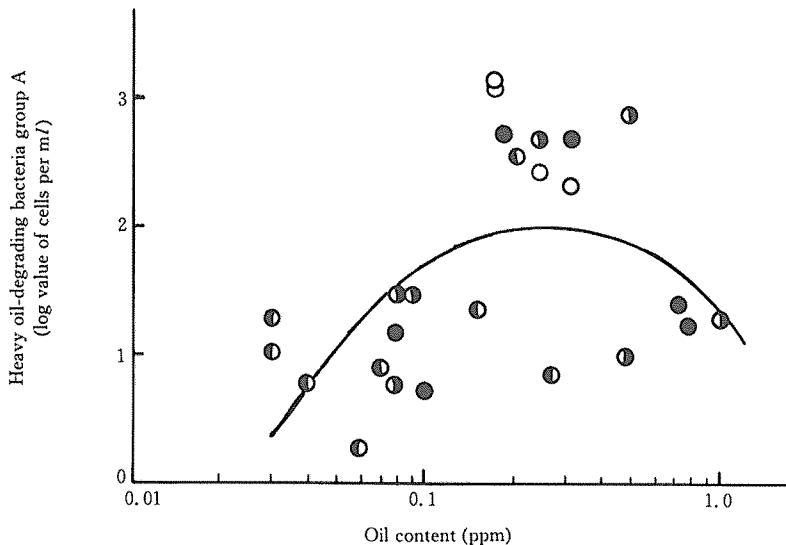


Fig. 4. Correlation between the population density of heavy oil-degrading bacteria group A and the oil content in seawater in Bisan Seto (oil-polluted area).

○: winter, ◐: spring, ●: summer, ⊖: autumn

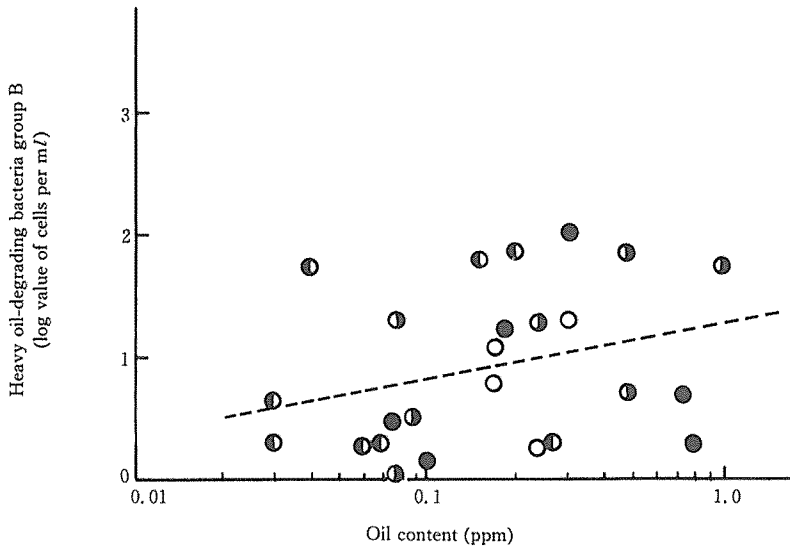


Fig. 5. Correlation between the population density of heavy oil-degrading bacteria group B and the oil content in seawater in Bisan Seto (oil-polluted area).
 ○: winter, ⊕: spring, ●: summer, ⊖: autumn

Table 2. Correlation coefficients between the population densities of various groups of bacteria in seawater in Bisan Seto (oil-polluted area)

Factors	log H	log OA	log OB	log A
log OA	0.57**			
log OB	0.40	0.50*		
log A	0.79**	0.40	0.15	
log B	0.74**	0.57**	0.48**	0.64**

Note: H heterotrophic bacteria
 OA heavy oil-degrading bacteria, group A
 OB heavy oil-degrading bacteria, group B
 A index hydrocarbon-oxidizing bacteria, group A (substrate, *n*-hexadecane)
 B index hydrocarbon-oxidizing bacteria, group B (substrate, *n*-hexadecane)
 * significant at 0.05 level
 ** significant at 0.01 level

3.5 重油流出後の1年間における底泥中の重油分解細菌の存在数

備讃瀬戸および響灘の底泥中のOA, OB, H, OA/H, OB/HおよびO (mg/g) をTable 3に示した。

Table 3から、備讃瀬戸における底泥中のOAは $10^2 \sim 10^4$ cells/g, OB/Hも $10^2 \sim 10^4$ cells/gで、両者同じレベルであった。Table 1から備讃瀬戸の海水中では、OAがOBより1オーダー高かったので、底泥中の重油分解細菌の分布状態やその活性は海水中の場合と異なると考えられる。

響灘の底泥ではOAが $10^3 \sim 10^4$ cells/g, OBも $10^3 \sim 10^4$ cells/gであって、この場合も両者同じレベルであった。

OA, OBとも両海域で同じレベルであるが、Hに対するOAおよびOBの比はそれぞれ、備讃瀬戸で0.1~57.1%, 0.1~28.6%, 響灘で0.1~4.4%, 0.1~2.2%であって、両比とも備讃瀬戸が響灘よりも高い傾向がみられた。

このことは既報¹⁾のデータから、Hに対するAおよびBの比についても明らかに認められた。Gunkel¹⁰⁾はTorrey Canyon号原油流出事故後のCornwall沿岸の汚染砂泥について調査したさい、Hに対する石油分解細菌数の割合が全般に高いことを認めているので、水鳥重油流出事故に伴う調査結果を合わせて考えると、このことは石油流出事故による汚染砂泥についてみられる一般的現象と思われる。

底泥については試料数および定点数が少なく、重油分解細菌数の地点の分布傾向や各群細菌数の相互関係などについて十分に検討することはできなかった。

前述のように、海水の場合にOAおよびOA/Hが、底泥の場合にはOA/HおよびOB/Hがそれぞれ重油汚染と対応している傾向がみられたが、さらにOA, OB, OA/HおよびOB/Hのいずれが汚染指標として最適かを明らかにする必要がある。したがって、OAおよびOBの計数のみでなく、両群の分離菌株についての分類および重油分解能の面から、いずれが重油汚染に対応し、自浄作用

Table 3. The population densities of heavy oil-degrading bacteria and heterotrophic bacteria in bottom sediments in Bisan Seto (oil-polluted area) after the Mizushima Oil Spill Accident and in Hibiki Nada (control area)

Area	Date	Station No.	Oil content Heterotrophic		Heavy oil-degrading bacteria			
			(mg/g of dry weight)	bacteria, H (cells/g)	Group A, OA (cells/g)	OA/H (%)	Group B, OB (cells/g)	OB/H (%)
Bisan Seto	Feb. 26, '75	1	0.27	8.4×10^5	5.0×10^3	0.6	3.0×10^3	0.4
	May 23, '75	1	0.20	3.5×10^4	2.0×10^4	57.1	1.0×10^4	28.6
	Aug. 1, '75	1	0.17	4.7×10^5	6.3×10^2	0.1	1.0×10^3	0.2
	Nov. 7, '75	1	0.38	4.8×10^5	7.0×10^3	1.5	4.8×10^2	0.1
	Jan. 30, '76	1	0.14	2.3×10^5	7.0×10^4	30.4	5.0×10^4	21.7
	Nov. 7, '75	2	0.40	2.3×10^5	8.0×10^3	3.5	1.6×10^2	<0.1
	Jan. 30, '76	2	0.06	3.9×10^5	7.0×10^3	1.8	3.0×10^3	0.8
	Nov. 19, '75	10	0.22	9.5×10^5	5.5×10^4	5.8	2.9×10^4	3.1
	Feb. 14, '76	10	0.08	9.1×10^5	2.4×10^4	2.6	7.5×10^3	0.8
	May 31, '75	12	0.20	1.1×10^5	8.0×10^3	7.3	1.0×10^3	0.9
	Aug. 8, '75	12	0.14	2.6×10^6	7.5×10^3	0.3	3.0×10^4	1.2
	Nov. 19, '75	12	0.06	5.0×10^5	7.1×10^3	1.4	3.0×10^3	0.6
	Feb. 14, '76	12	0.09	3.8×10^6	2.7×10^4	0.7	1.9×10^4	0.5
Hibiki Nada	Mar. 11, '75	A	0.31	6.4×10^5	2.4×10^4	3.8	1.4×10^4	2.2
	June 27, '75	A	0.24	8.8×10^5	3.9×10^4	4.4	1.0×10^4	1.1
	Sep. 12, '75	A	0.19	4.6×10^6	5.0×10^3	0.1	2.9×10^3	<0.1
	Dec. 2, '75	A	0.17	1.4×10^6	6.0×10^4	4.3	9.0×10^3	0.6

に大きく関与しているかを検討し、合わせて両群に大別する意義を明確にしたい。また、既報¹⁾の結果を合わせて考えると、A、B、A/HおよびB/Hのいずれかを油濁指標として上述の重油分解細菌に関する指標と併用した方が、重油汚染の現場解析により良い情報が得られると推測されるが、この点についても検討する必要がある。

4. 要 約

水鳥重油流出事故の重油汚染海域である備讃瀬戸における重油分解細菌の分布を事故発生後の約1年間、四季にわたって響灘を対照海域として調べ、次に要約する結果を得た。

1. 備讃瀬戸における海水中の重油分解細菌A群数(OA)は $10^0 \sim 10^3$ cells/ml、重油分解細菌B群数(OB)は $10^0 \sim 10^2$ cells/mlで、OAはOBより1オーダー高かった。備讃瀬戸の海水中の冬季におけるOAおよび従属栄養細菌数(H)に対するOAの比は、他の季節の値および響灘の値よりも明らかに高い傾向がみられた。

2. 備讃瀬戸における海水中のOAについては、Hと同様水鳥、坂出両沿岸で高く、中央部で低い傾向がみられたが、OBについては明らかな地点の変動がみられなかった。

また、油分濃度の対数値に対するOBの対数値の一次回帰係数は正であり、試料数が増加すれば両者の関係はより明確になると考えられる。

3. 備讃瀬戸における海水中のH、OA、OB、指標炭化水素酸化細菌A群数(A)および指標炭化水素酸化細菌B群数(B)の各群細菌数それぞれの相互相関では、OA、AおよびBとHとの各相関係数やAとBとの相関係数が高かった。

4. 備讃瀬戸における底泥中のOAは $10^2 \sim 10^4$ cells/g、OBも $10^2 \sim 10^4$ cells/gで、響灘の底泥ではOAが $10^3 \sim 10^4$ cells/g、OBも $10^3 \sim 10^4$ cells/gであって、OA、OBとも両海域は同じレベルである。しかし、Hに対するOAおよびOBの比は、重油汚染度の著しい定点で高い傾向がみられた。

文 献

- 1) 藤沢浩明・村上正忠・真鍋武彦：日水誌，44，91～104 (1978).
- 2) 村上正忠・藤沢浩明・真鍋武彦：日水誌，45，1091～1098 (1979).
- 3) 藤沢浩明・村上正忠・真鍋武彦：日水誌，45，1099～1107 (1979).
- 4) H. Fujisawa and M. Murakami: *J. Shimonoseki Univ. Fish.*, 27, 131～146 (1979).
- 5) 藤沢浩明・村上正忠：水産大研報，30，13～24 (1981).
- 6) 藤沢浩明・村上正忠・真鍋武彦：日水誌，43，659～668 (1977).
- 7) C. E. ZoBell: in "Proceedings API/FWPCA Conference on Prevention and Control of Oil Spills", American Petroleum Institute, Washington, D. C., 1969. pp. 317～326.
- 8) J. D. Walker and R. R. Colwell: *Appl. Environ. Microbiol.*, 31, 198～207 (1976).
- 9) 東原孝規・佐藤昭雄：日水誌，45，473～483 (1979).
- 10) W. Gunkel: in "The Biological Effects of Oil Pollution on Littoral Communities" (Supplement to Field Studies, Vol. 2), The Field Studies Council, 1968, pp. 151～158.