

海浜砂による海浜の汚染度評価に関する 調査・研究

METHOD OF ESTIMATION FOR CONTAMINATIONS OF THE SANDS ON THE SEA-SHORES , BY USING THE SINGING OR MUSICAL SANDS .

山口晴幸*・小林弘樹*・梅木正造*・福田誠**・黒島一郎**

Hareyuki YAMAGUCHI , Hiroki KOBAYASHI , Masanari UMEKI
, Makoto FUKUDA , Ichiro KUROSHIMA

ABSTRACT; Japan is surrounded by the sea. Recently it has been severely and gradually contaminated by oils , dust ,organic matters or radioactive substances which are drained from the human activities. And contaminations or destructions of sands on the sea-shores which is bordered on ocean has been in advanced too.

In this study , the method of estimation , using the Singing or Musical Sands for contaminated sands on the sea-shore which is distributed throughout in Japan , is proposed to estimate the quality of sands.

KEYWORDS; Singing or musical sand, Turbidity, Contamination Index, Sea-shore

1. はじめに

地球表面積の約70%は海洋で占められている。我々、人類はこれまで河川そして海洋に生活廃水、あるいは工業廃水として、油、ゴミ、各種の有機物、放射性物質等を投棄してきた。こうした行為の結果として、海洋汚染は特に、海流の影響を直接受けない、循環性の低い内海・内湾等で顕著に表れている。一方、日本列島を取り巻く海洋と、直接的に接する海浜の汚染も進行していると考えられる。海洋の汚染度を評価する手法については、容存酸素量(DO)、化学的酸素消費量(COD)、透明度等の様々な方法が用いられている。しかし、海洋と接する海浜の汚染度評価については、決定的な手法というものが確立されておらず、海洋の質が良好ならば海浜の質も良好であるという考え方が一般的である。¹⁾

本研究では、海浜の質を評価するために「鳴き砂」を活用した、海浜汚染度評価手法を提案する。また、海浜の汚染度を評価するために、実験結果から汚染度指数(Contamination Index = C.I.)を定義し、これまでにブリングした海浜砂に対し適用を試みた。

2. 海浜汚染度評価試験

2. 1 試験方法

図-1に海浜汚染度評価試験のフローを示す。試験方法については、日本列島の海浜をできるだけ広範囲に、調査するために、簡易かつ有効な方法として濁度測定を行った。方法については、試料となる海浜砂を振とう器を利用して蒸留水で10回洗浄し、洗浄終了時毎の溶液(とぎ汁)の濁度(T_b:Turbidity)を測定し、測定値から海浜の汚染度を評価する手法を提案した。図-1で示すように、1つの試料砂に対してN=10回(N=0~9:Nは洗浄回数)の洗浄試験を実施し、T_bの状況から海浜の汚染度を評価した。(以下、洗浄回数がi回の時の濁度をT_{b,i}とする)写真-1は洗浄試験器(振とう器)を示している。^{2), 3)}

* : 防衛大学校 土木工学教室 Department of Civil Engineering , National Defense Academy .

** : 三井建設(株) Mitsui Constraction Co., Ltd. .

2. 2 評価方法

日本列島に分布する海浜の汚染度を比較評価するために、本試験では鳴き砂 (Singing or Musical Sand) を評価基準砂として用いた。一般に、鳴き砂は石英等を主体として、不純物質の含有量が低く粒径のそろった砂粒子が、外力を受けることにより、摩擦あるいは滑りによって発音すると言われている。近年、この鳴き砂も海洋汚染等の影響により発音しない浜が徐々に増加している。今回、試験に用いた鳴き砂は12試料であるが、その内で自然状態において鳴く砂は、僅かに5試料のみであった。しかし、いまだに発音する砂があることから、他の海浜と比較して汚染度が低いのではないかと考え、鳴き砂を評価基準砂として、他の海浜砂と汚染度を比較した。

3. 試験結果

本試験に用いた海浜砂の採取地域を表-2、及び図-4に示す。本試験に用いた試料砂は196試料であるが、本報告では日本列島に分布する海浜汚染度の地域性を観るために、表-2のような区分をして比較評価を行った。

図-2、3 (谷津干潟のデータは削除してあります) は、評価基準砂の鳴き砂と、東京湾・相模湾に分布

する海浜砂との汚染度の比較を示している。東京湾から相模湾に連なる海岸線は、我が国において最も人的活動が集中した地域であり、江戸川、荒川、隅田川、多摩川、相模川等の河川からは、生活廃水や工業廃水が絶えず湾内に流入しており、大阪湾、三河湾等と並び海浜汚染の進行している地域と考えられる。図-2、3から明確に両者の汚染度の差異が判別できる。すなわち、東京湾・相模湾に分

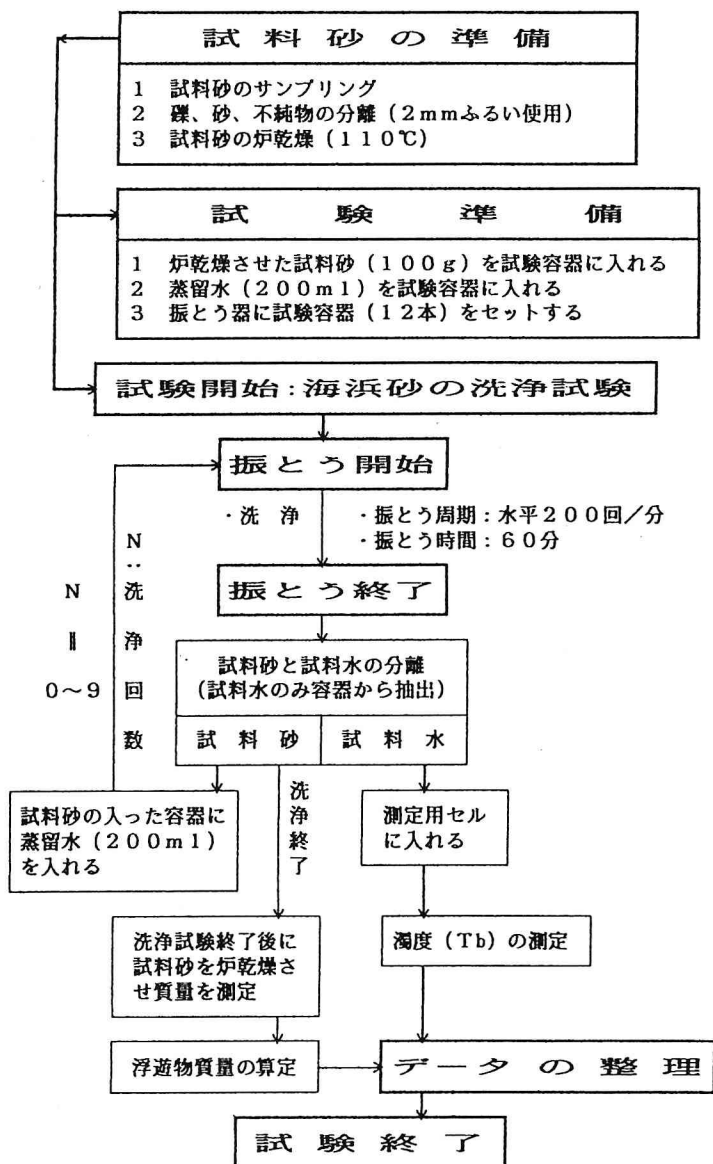


図-1 海浜汚染度評価試験フロー

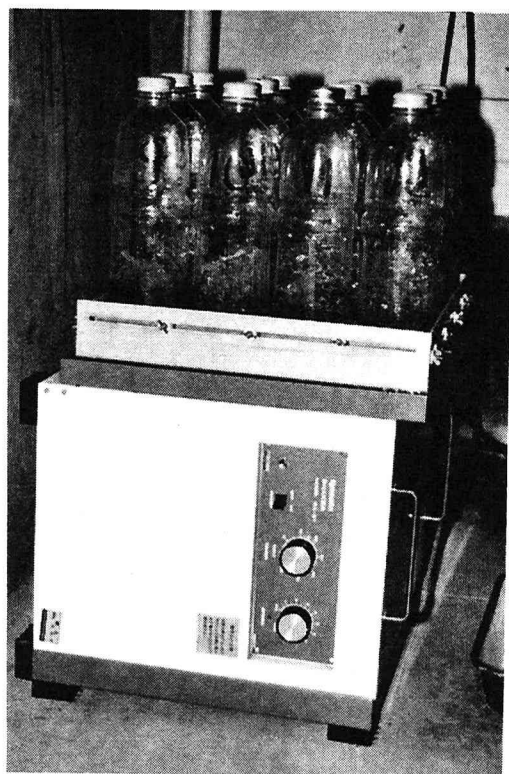


写真-1 洗浄試験器

布する海浜砂は評価基準砂の鳴き砂に比べ、
 $Tb,0$ の値は約4～5倍、 $Tb,9$ の値は約2～6
 倍、浮遊物量(Suspended Substances : 以下
 SSと表示)の値は約1～8倍の値を示した。
 この様な比較評価を採取した196試料につい
 て行い、さらに汚染度指数 (Contamination
 Index = C.I.) を定義し、全国の海浜砂を
 地域毎にランク付けた。

4. 汚染度指数(Contamination Index = C.I.)
 の定義

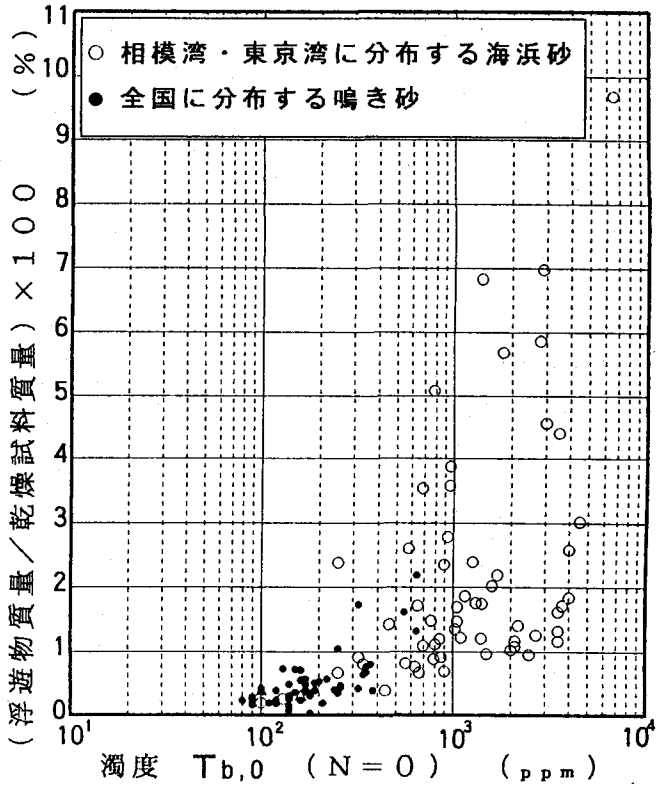
表－1 は汚染度指数 (Contamination
 Index = C.I. : 以下C Iとする) の算定式及
 び基準値を示している。

算定式の基準値となる ($Tb,0$)_s=140ppm、
 ($Tb,9$)_s=30ppm、(SS)_s=0.3% はそれぞ
 れ、表－2におけるA～Lの鳴き砂の中から、
 特に良く発音する砂であるA～Eを選択し、
 それぞれの $Tb,0$ 、 $Tb,9$ 、SSの平均値を
 基に決定した値である。 $C I 1$ の値は、初期
 の状態、すなわち自然状態における海浜の汚
 染度評価を指数として表している。 $C I 2$ の
 値は、洗浄試験終了後の要因を50%加える
 ことにより、汚染物質の付着度の評価を指数
 として示している。 $C I 3$ の値については、
 試験の結果からSSの値が $Tb,0$ 、 $Tb,9$ の
 値と相関性が低いことから、あくまでも評価
 の補助的手段として用いることにした。

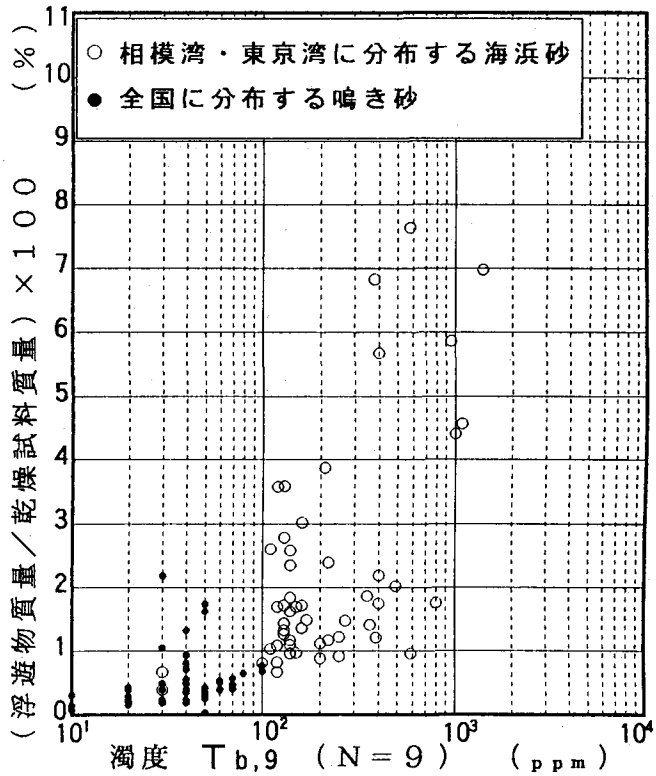
通常行う海浜汚染度評価としてはC I 1を

表－1 汚染度指数：C I の定義

C I	算定式及び基準値
C I 1	$Tb,0 / (Tb,0)_s$
C I 2	$\{ Tb,0 / (Tb,0)_s \} \times 0.5$ $+ \{ Tb,9 / (Tb,9)_s \} \times 0.5$
C I 3	$\{ Tb,0 / (Tb,0)_s \} \times 0.8$ $+ \{ SS / (SS)_s \} \times 0.2$
($Tb,0$) _s	140 ppm
($Tb,9$) _s	30 ppm
(SS) _s	0.3 %



図－2 $Tb,0$ と浮遊物量の関係



図－3 $Tb,9$ と浮遊物量の関係

用いれば十分であるが、任意の2試料についてC I 1が同値の場合には、C I 2を用いることによって汚染度の判定ができる。また同じく、C I 1とC I 2がそれぞれ同値の場合にはC I 3を汚染度判定の手段とした。

5. 結果の考察

表-2で示すA~ANまでの40区分の海浜に対して、4章で定義した汚染度指数（C I 1, 2, 3）を算出して、グラフ化したものが図-5、6である。

図-5に示した12試料（A~L）の内、洗浄試験前に鳴いた砂は、前述の通りA~Eの5試料であるが、鳴き砂の中でC Iが高い値を示しているF, I, Jの3試料については、洗浄試験終了後において発音する試料砂が散見され、また、これらの3地域については10~30年前には鳴いたという報告もあり、明らかに海浜汚染が進行していることがわかった。

図-6には鳴き砂以外の海浜のC Iについて示しているが、共通的に観られる特徴として以下の4項目が挙げられる。

表-2 海浜砂の採取地域区分表

区 分	地 域 名	区 分	地 域 名
A B C D E 鳴 き 砂	琴ヶ浜（島根）	U	日本
	琴引浜（京都）	V	豊浦（山口）～鳥取
	十八鳴浜（宮城）	W	宮津（京都）天橋立
	九九鳴浜（宮城）	X	竹野（京都）～丹後砂丘
	ごめき浜（石川）	Y	朝日（富山）～巻町（新潟）
	（良く鳴く浜）	Z	加賀（石川）～輪島（石川）
F G H I J K L 鳴 き 砂	恋の浦（福岡）	AA	飯田（石川）～内浦（石川）
	室浜（宮城）	AB	相模
	小屋取浜（宮城）	AC	茅ヶ崎～鎌倉
	白浜（宮城）	AD	逗子～城ヶ島（三浦）
	十八成浜（宮城）	AE	剣崎（三浦）～鶴居（横須賀）
	角海浜（新潟）	AF	観音崎（横須賀）～金沢区
M N O P Q 北 海 道	猿ヶ森（青森）	AG	谷津干潟
	（鳴かない浜）	AH	渥美（愛知）～浜岡（静岡）
	石狩川河口	AI	遠州灘
	豊富～稚内～頓別	AJ	土佐湾
	網走	AK	牟岐（徳島）～東洋（高知）
	音別	AL	種崎（高知）～土佐清水
R S T 宮 城 沿 岸	浅虫（青森）	AM	洲本（淡路島）
	鳴瀬（奥松島）	AN	西淡～五色（淡路島）
	鮎川		徳山（山口）～宇部（山口）
	気仙沼		大島（山口）～宮島（広島）
			新川（愛媛）～川之江（愛媛）
			女木（香川）～吉野川（徳島）

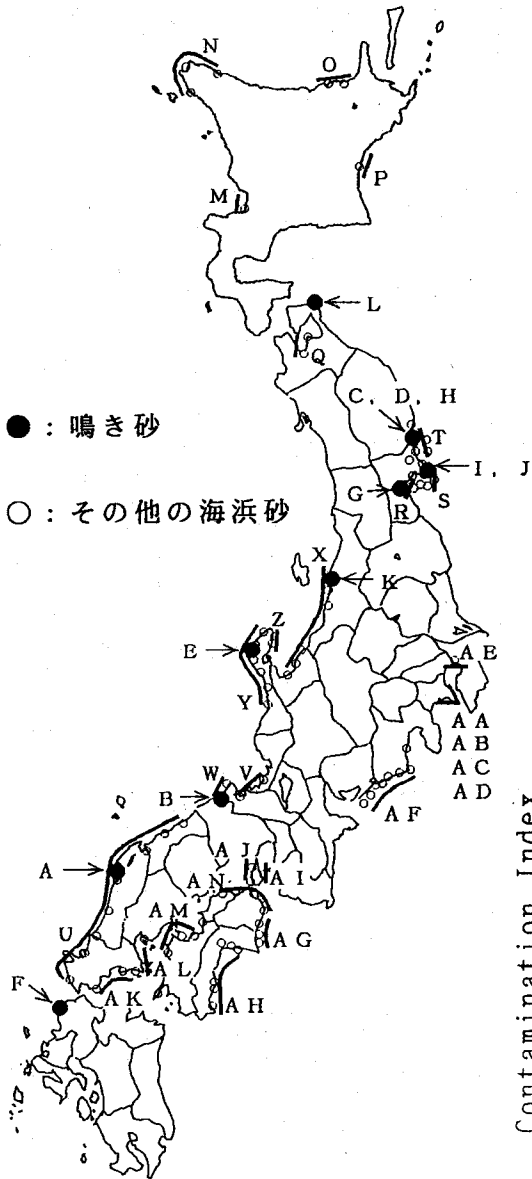


図-4 海浜砂の採取地点

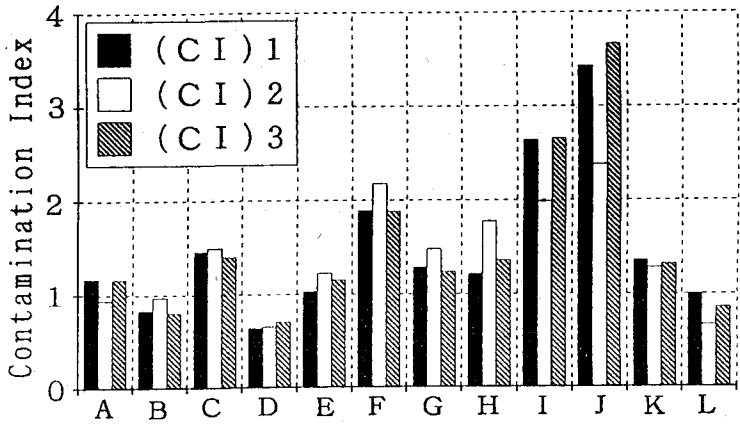


図-5 鳴き砂（A~L）のC Iグラフ

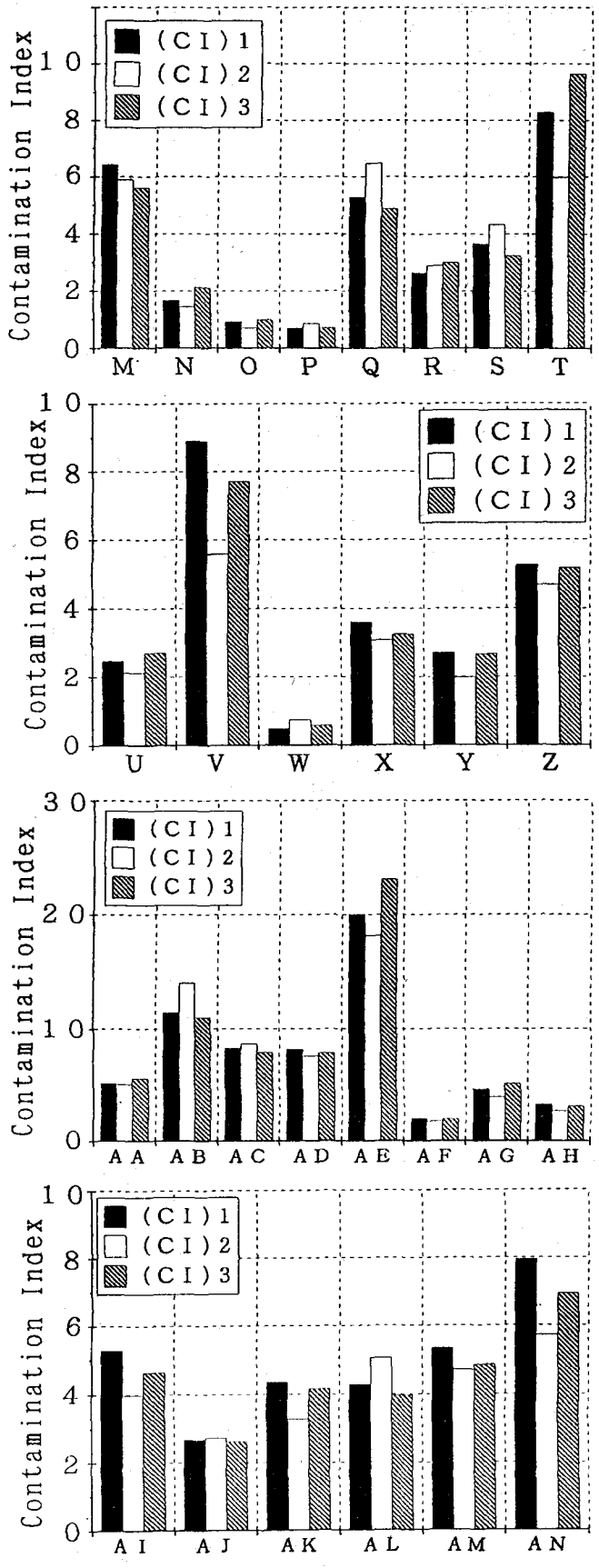
- ①：試料採取位置が内湾・内海である。
- ②：河川等の下流域である。
- ③：人的活動（人口、商工業、各種社会資本）の集中地域であること。
- ④：①～③の複合型。

表－３　ＣＩランク分類表

RANK	CI 1	CI 2	CI 3
I	0	～	1
II	1	～	2
III	2	～	4
IV	4	～	8
V	8	～	12
VI	12 以上		

表－４　海浜汚染度判定表

区分	CI 1	CI 2	CI 3	区分	CI 1	CI 2	CI 3
A	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	U	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
B	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	V	V	Ⅳ	Ⅳ
C	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	W	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
D	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	X	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
E	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Y	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ
F	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Z	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
G	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	AA	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
H	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	AB	V	Ⅵ	V
I	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	AC	V	V	Ⅳ
J	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	AD	V	Ⅳ	Ⅳ
K	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	AE	Ⅵ	Ⅵ	Ⅵ
L	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	AF	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ
M	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	AG	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ
N	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	AH	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
O	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	AI	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ
P	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	AJ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
Q	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	AK	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ
R	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	AL	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ
S	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	AM	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
T	V	Ⅳ	V	AN	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ



図－６　M～ANのCIグラフ

これら4項目の中で、どれか1項目が当てはまると汚染度、すなわちC Iの値は高くなると思われる。

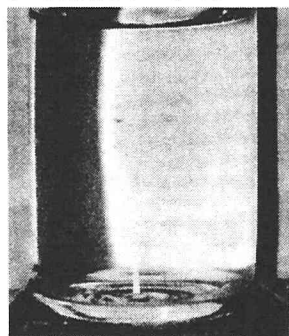
例えば、図-6に示すMについては、石狩川河口流域、Qは青森湾内、Tは気仙沼湾内、Vは若狭湾内（宮津湾）、Zは飯田湾内、AA、ABは相模湾内、AC、ADは東京湾内（AEは谷津干潟）、AM、ANは瀬戸内海においてそれぞれ採取した海浜試料である。C Iの値から評価すると、これらの地域に分布する海浜は、比較的に汚染が進行していると考えられる。また、AIとAJで示すように、淡路島については大阪湾側（AI）よりも、瀬戸内海側（AJ）の方がC Iの値が低いという結果も得られた。

次に、海浜の汚染度をランク付けるためにC I 1, 2, 3の値をI～VIの6段階に分類した（表-3参照）。表-3のC Iランク分類表に基づいて、A～ANの海浜の汚染度判定を行った結果を表-4に示す。

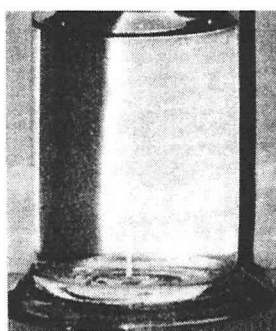
C Iランク分類の基準は、全て鳴き砂の試料A～Eに基づいて行ったわけであるが、ランクⅢ以下の海浜は比較的に汚染度が低いと考えられる。特に、C I 1, 2, 3が全てランクⅡ以下の海浜については、非常に汚染度が低く、その様子は洗浄過程から視覚的にも容易に判別できた。

鳴き砂の海浜については、C I 1, 2, 3が全てランクⅢ以下の値を示したが、その中でもA～EはランクⅡ以下を示した。特に、試料Dの九九鳴浜（宮城県）は、全てのC Iの値が最も低く、良く鳴く浜であり、洗浄終了後には $Tb,9 = 20 \text{ ppm}$ という値を示した（写真-2参照）。

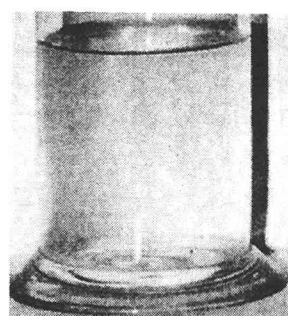
ランクⅣ以上の海浜については、海浜汚染が徐々に進行している地域と考えられる。前述した、M、Q、T、V、Z、AA、AB、AC、AD、AE、AM、ANは全てC I 1, 2, 3の値がランクⅣ以上を示した。特に、東京湾・相模湾沿岸に分布する海浜（AA～AE）については、C Iの値が全てランクⅣ以上であり、海洋汚染と並行的に海浜汚染も進行していることがわかる。



Tb,0 = 0.9



Tb,4 = 0.3



Tb,9 = 0.2

写真-2 九九鳴浜（D）の洗浄過程

（単位：× 100 ppm）

6. おわりに

本研究では、日本列島に分布する海浜の汚染度を評価するために、鳴き砂を活用した海浜汚染度評価手法を提案した。また、C I（Contamination Index）を定義し、これまで採取した海浜砂に対して汚染度のランク付けを行った。この様な指数を左右する要因として、前述（5章）の4項目に加え、以下の項目が挙げられる。

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| ①：外洋の影響を直接受ける地域（外湾）か否か（内湾・内海） | ②：流出河川の有無 |
| ③：人的活動（人口、商工業、各種社会資本）の集中度 | ④：季節的な海洋汚染度の変化 |
| ⑤：海浜砂の粒径 | ⑥：海水自体の汚染度 |
| ⑦：①～⑥の複合型 | |

今後、①～⑦の項目を考慮し、さらに多くの試料を用いて海浜汚染度評価試験を行い、破壊・消滅しつつある海浜の汚染防止や保護・保全の一助にしようと考えている。

（参考文献）

- 1) 地球工学ハンドブック編集委員会 (1991): 地球工学ハンドブック, オーム社, pp.795-839. pp1261-1279.
- 2) 日本分析化学会北海道支部 (1991): 水の分析, 化学同人, pp.110-112.
- 3) 山口ら (1994): 土質工学会, 第1回環境地盤工学シンポジウム, 「日本列島海浜汚染度調査に挑む」, 発表論文投稿中.