

# 人工磯浜における造成以降の 水質変化の現地観測

FIELD OBSERVATIONS OF WATER QUALITY  
IN ARTIFICIAL PEBBLE AND ROCK BEACH AFTER CONSTRUCTION

仁木将人<sup>1</sup>・酒井哲郎<sup>2</sup>

Masato NIKI, Tetsuo SAKAI

<sup>1</sup>学生員 工修 京都大学大学院 工学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

<sup>2</sup>フェロー 工博 京都大学大学院 工学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

Recently in Japan, many artificial beaches were constructed to reproduce the lost natural beaches especially along the coast of Osaka bay. It is important to study possible difference of ecosystems between natural and artificial beaches to establish the design standard of artificial beach. The water quality and species of appearing algae and animal have been observed in an artificial pebble and rock beach constructed in Seto Inland Sea during 4 years. The beach consists of a deep offshore basin and a shallow onshore pool. The concentration of total and organic nutrient in the shallow pool is higher than in the basin. This is due to the increase of phytoplankton in the pool in summer. The concentration of inorganic nutrient in the beach is higher than outside of the beach in summer.

*Key Words: water quality, nutrient, artificial beach, substance cycle*

## 1. はじめに

ミティゲーションという言葉も定着し、各地で人工干潟や人工海浜が造成されるようになった。こうした事業は環境回復を目的に造成された事業であるならもちろん、たとえ親水を目的とした事業においても、内在的には沿岸域での物質循環を促進させ、生物の多様性の増加と水質の浄化を期待しているものと考えられる。しかし、市民利用を考える場合には安全性や景観が重要視されるために閉鎖性が強くなり、海水交換が低く、波当たりの弱い水域となることが多い。また、自然の磯が持つべき潮だまりや亀裂、裂隙などの磯浜の生物のすみかとなるべ

き微地形<sup>1)</sup>が再現されることが少ない。このためこうした水域では水質の劣化や出現生物層が貧困になる問題も生じるものと予想される。人工構造物周辺や人工干潟、人工海浜の造成以降の水質や出現生物種に関して追跡調査が行われるようになっては来たものの、継続的な水質調査とその物質循環に関して考察された事例は少ない。そこで本研究では、明石市大蔵海岸に新規造成された人工磯浜で造成直後から行われている4年間の水質観測結果に関して整理し、また建設前海域や周辺海域でのデータなどと比較しながら人工磯浜での物質循環特性に関して考察を行った。

## 2. 観測の概要

明石市大蔵海岸は、明石海峡大橋を望む東播磨海岸の中央に位置している(図-1 参照)。調査はその西側半分に造成された人工の磯浜で行われた。図-2 に人工磯浜の平面図及び断面図を示す。磯浜は護岸堤により外海から隔てられており、石積みによって囲まれた遊水部と、さらにその内側に石積みと護岸により護られた静穏域のタイドプールを有している。遊水部の水深は約 2.2m、幅約 400m であり、開口部を通して波浪の進入がある。タイ

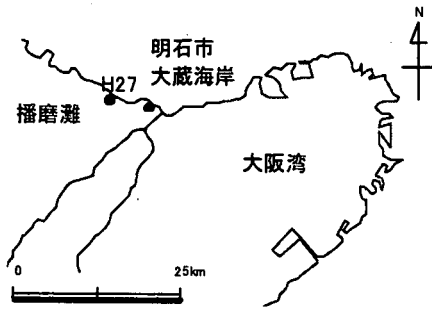


図-1 観測地点の概要

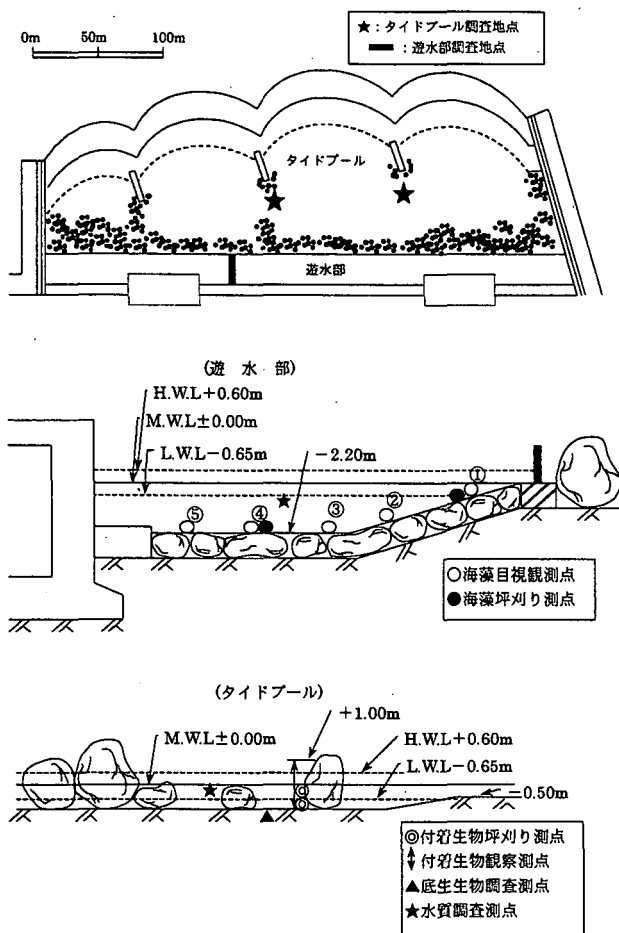


図-2 明石市大蔵海岸概要

ドプールの水深は平均で約 0.5m であり、干潮時には多くの部分が干出する。また、タイドプールの底質は粒径約 2cm の様な礫により構成され、遊水部に近い辺りに巨石が配されている。遊水部とタイドプールでは物理的性状が大きく異なっており、遊水部は開口部より波浪が侵入し波当たりも強い。これに対してタイドプールは静穏であり潮汐作用により水位変動はするものの、汀線付近で波立つことはない。ただし礫の下は雑石であり、タイドプールと遊水部の間での水の交換は、地中の雑石を通して容易に行われているようである。

調査は供用開始直後の 1998 年 2 月(冬季)からはじめ、原則的には 5 月(春季)、8 月(夏季)、11 月(秋季)の 3 ヶ月毎に、年 4 回行われている。ただし 1 年目の春季、秋季および 2 年目の春季の調査は補完調査として行われている。補完調査では遊水部での観測は行われず、タイドプールでも観測項目が限定されている。

観測を簡便に行うため、干潮に近い時間帯を狙って行われることが多い。水温、塩分、溶存酸素に関しては多項目水質計(ハイドロラボ社製:QUANT)により現地計測が行われ、その他の栄養塩項目等については採水後持ち帰り計測が行われた。採水は 1/2 水深で行われ、タイドプールでの採水深度は 30~50cm 程度、遊水部では 1m 程度であった。

## 3. 一般水質項目

図-3 に一般水質項目として観測されたものの中から水温、塩分濃度、COD、DO 飽和度の観測結果について示す。ただし遊水部の水質は、補完調査では観測されていない。タイドプールの水質に関しては 2 点で調査が行われているが、ここではその平均値を使用した。

水温は遊水部とタイドプールの間に大きな差は見られないが、春季や夏季はタイドプールが 1~2°C 高く、特に夏季には 30°C を超えることがある。秋季や冬季は反対に遊水部が高く、タイドプールでの年間の温度変化の幅が若干大きいことが分かる。建設前海域で行われたバックグラウンド調査<sup>2)</sup>の結果と比べると、バックグラウンド調査の調査地点が岸から 100m 沖合の地点の表層ということもあり、建設前水域での水温の変化の方が小さい。

塩分については 1999 年 8 月の観測では 2.5‰遊水部が低く、同年 11 月と翌年の 2 月の観測では逆に遊水部が高くなっている。それ以降両地点の観測結果に違いはあまり見られないが、若干遊水部が高い。ただし夏季に関してはタイドプールの方が遊水部と同程度か高い。水温や塩分の変化については、自然の磯浜のタイドプールで観られる傾向<sup>3)</sup>と同様である。バックグラウンド調査として行われた年 4 回の塩分の観測値は全て 32‰と安定しており、人工磯浜での水温と塩分の変化幅が大きくなっていることが分かる。

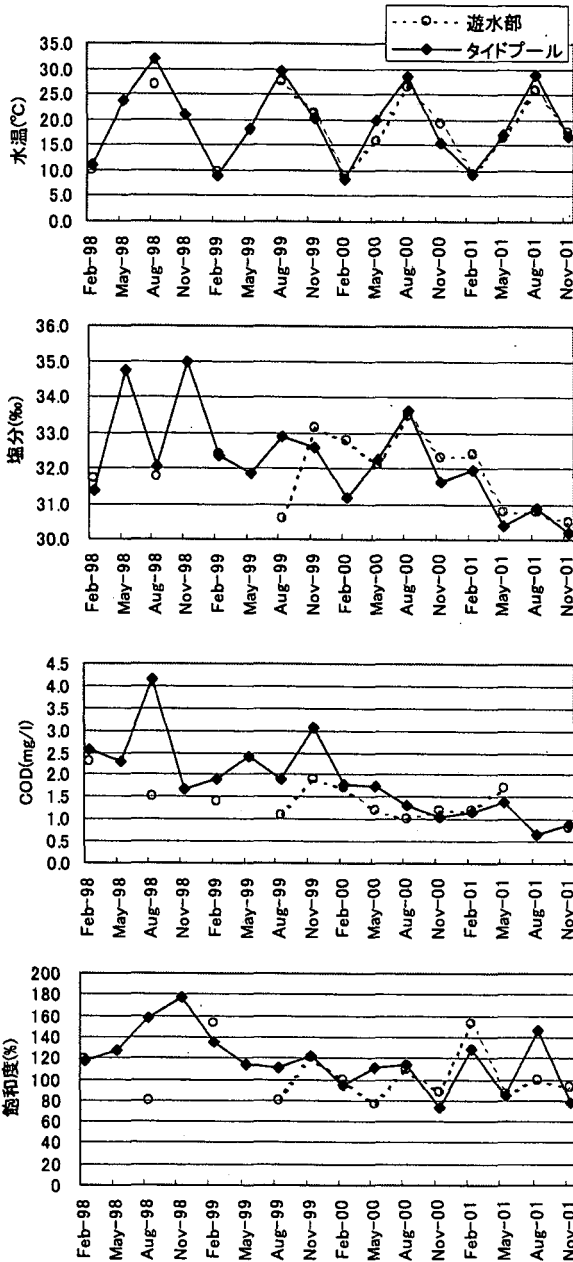


図-3 一般水質項目の観測結果

CODは、0.5~5.0mg/lの間で値が推移している。2000年8月まではタイドプールでの値が遊水部よりも総じて高くなっているが、それ以降に関して同程度の値で変化している。4年間の平均値は遊水部で1.4mg/l、タイドプールで1.9mg/lとなり、バックグラウンド調査の年平均0.78mg/lと比べると両地点とも高い値である。

生物の生息と関わりの深い溶存酸素飽和度については、タイドプールと遊水部の間に大きな差は見られない。タイドプールでは飽和度が100%を超えることがしばしばあり、ほとんどの期間過飽和の状態である。タイドプールでの最低値は2000年11月の6.4mg/l(飽和度73%)であり、生物の生息に問題があるような濃度ではない。またバックグラウンド調査でも同地点では年間を通して100%に近い値が観測されているが、タイドプールや遊

水部の値と比べると低い。

タイドプールに *Corallina*, *Enteromorpha*, *Fucus* などの海藻が繁茂する場合非常に高い酸素飽和度を示す場合がある<sup>3)</sup>。生物観測の結果から遊水部では付着海藻が質量ともに豊富であったが、タイドプールでは *Enteromorpha* や *Ulva* といった種が見られるものの非常に貧困であることが分かっている<sup>4)</sup>。したがって付着海藻がタイドプールの溶存酸素濃度を引き上げているとは考えにくい。また、前にも述べたが、タイドプールは静穏域で波浪の飛沫による酸素の取り込みなどは考えにくい。したがって、植物プランクトンのような水域中の生物活動が高い溶存酸素濃度の原因になっているのではないかと推測される。

#### 4. 栄養塩項目

図-4 に栄養塩項目として観測されたものの中から全窒素、無機態窒素、有機態窒素、全リン、無機態リン、有機態リンを示す。なお無機態窒素に関してはアンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素の合計である。遊水部、タイドプールともに、硝酸態窒素に比べアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素の濃度は低い。一般水質項目と同様にタイドプールは2地点の平均値である。

全窒素はほとんどの場合遊水部に比べタイドプールで高く、その平均値は遊水部で0.19mg/l、タイドプールで0.24mg/lである。明瞭な季節的な傾向はあまり見られないようであるが、2月の観測では他の月に比べて低い値を示す場合が多い。無機態窒素は全窒素と反対に遊水部で高くタイドプールで低い。その平均値は遊水部0.073mg/lに対してタイドプール0.056mg/lである。またその変化の幅は小さく、遊水部で11月や2月の濃度が若干高い。有機態窒素は全窒素同様にタイドプールで高く、平均値は遊水部0.12mg/l、タイドプール0.18mg/lである。また、タイドプールの全窒素が低い値を示しているときには有機態窒素も低い値を示している、タイドプールでの全窒素の低下は有機態の低下によることが分かる。全窒素に占める有機態・無機態の割合は、遊水部で有機態62%・無機態38%、タイドプールで有機態76%・無機態24%である。

リンに関しても窒素と同様な傾向が現れており、全リンは2月を除くほとんどの期間でタイドプールの値が遊水部より高い。またタイドプールの値の季節変化は窒素より明瞭であり、2月に低く8月に高い。有機態・無機態に関しても窒素と同様な傾向を持ち、タイドプールの全リンの季節的な変化の傾向に有機態リンが支配的なことが同える。全リンの平均値は遊水部で0.026mg/l、タイドプールで0.034mg/lであり、無機態リンの平均値は遊水部で0.016mg/l、タイドプールで0.012mg/l、有機態リンの平均値は遊水部で0.010mg/l、タイドプールで

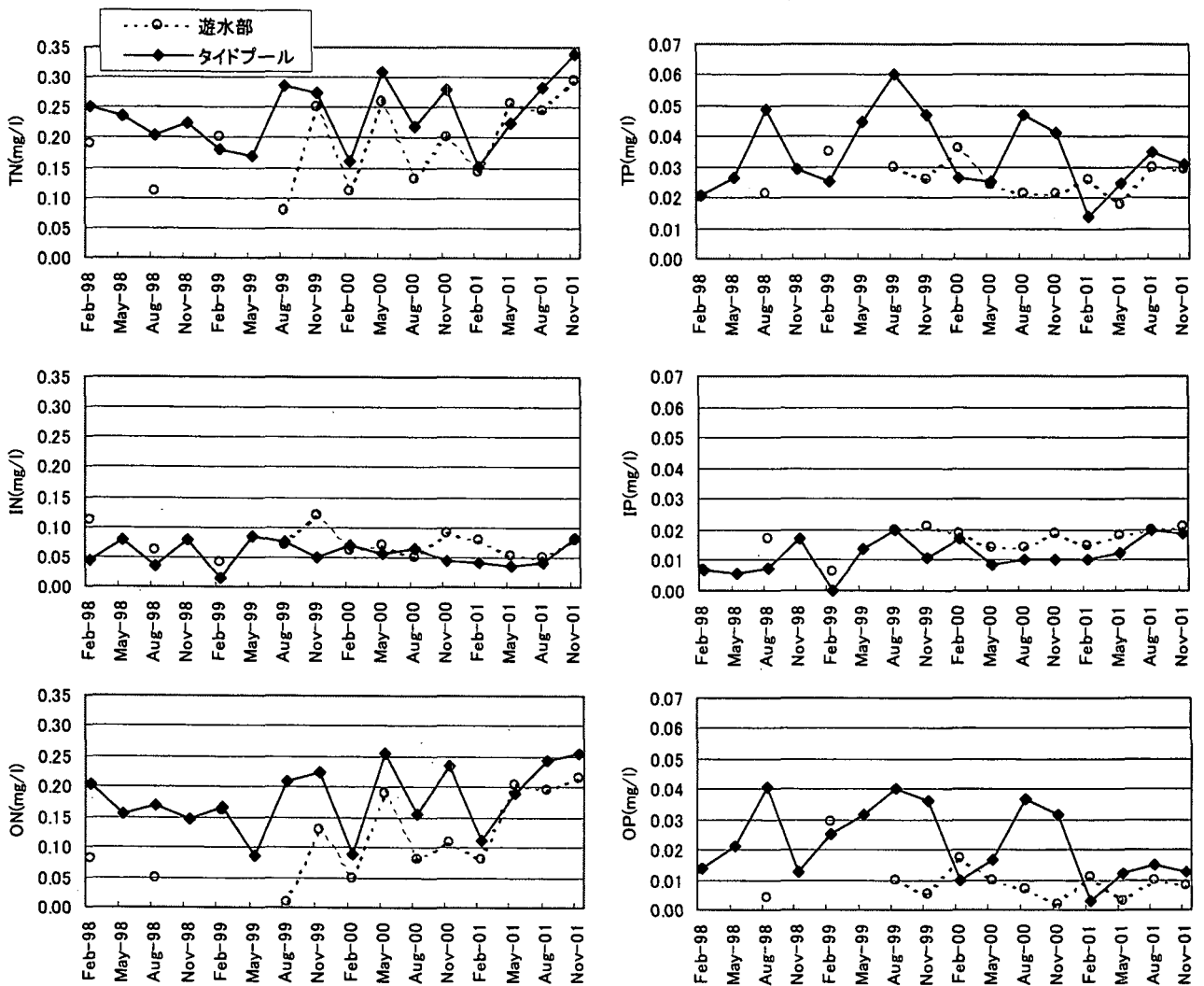


図-4 栄養塩項目の観測結果

0.022mg/lであった。平均値からもタイドプールで有機態濃度が高いことが分かる。また全リンに占める有機態・無機態の割合は、遊水部で有機態38%・無機態62%、タイドプールで有機態 65%・無機態 35%と、有機態・無機態の割合が遊水部とタイドプールでほぼ逆転している。

なお建設前水域でのバックグラウンド調査では、全窒素の平均値が0.23mg/l、全リンの平均値が0.035mg/lといずれも人工磯浜と同程度の値であった。窒素に関しては84%が有機態で占められていた。全リンに占める有機態・無機態の割合はそれぞれ43%・57%であった。

表-1 2001年8月のChl-a, SS, 強熱減量

	Chl-a ( $\mu\text{g/l}$ )	SS ( $\text{mg/l}$ )	強熱減量 ( $\text{mg/l}$ )
タイドプール	5.0	3.3	2.0
遊水部	2.0	2.6	0.6

## 5. 考察

タイドプールでは、遊水部に比べ窒素・リンともに有機物濃度が高い。特に夏季のリンは顕著で、全リンに占める割合も大きい。また3.で述べたように、溶存酸素飽和度に関しても植物プランクトンのような生物活動による影響も伺ったことから、2001年8月の観測ではタイドプールでの生物活動を検証するため、クロロフィルa (Chl-a)、浮遊懸濁物質 (SS)、強熱減量に関する観測も行った。その結果を表-1に示す。

予想されたように、Chl-aはタイドプールで高く、遊水部よりも2倍以上の値を示している。SSに関してもタイドプールで若干高い値を示している。これを強熱減量とともに見れば、タイドプールでは強熱減量は2.0mg/lでありSSの59%を占める。これに対して遊水部では強熱減量はSS値の23%でしかなく、タイドプールでより有機的な成分で占められていることがわかる。

また当日のDOの飽和度はタイドプールで140%を超える高い値を示し、観測時にはタイドプールの水際付近

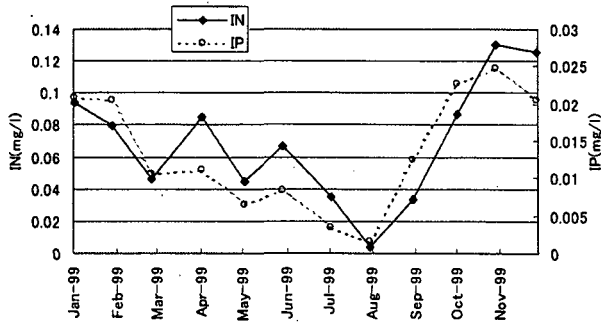


図-5 播磨灘での観測結果

に多数の気泡が確認されている。一度の観測からだけでは判断するのは難しいが、推察されたようにタイドプールでは植物プランクトンの増殖のような生物活動により栄養塩類の有機化が進み、それに伴い溶存酸素濃度も高くなっているものと考えられる。ただし、冬季に関しては、有機物濃度は低いですが溶存酸素濃度は変化が見られないか逆に高くなっている。これは、この時期にシオミドロなどの短命海藻がタイドプールで異常繁殖することがあり、その影響ではないかと考えられる。

以上のような傾向は、タイドプール内部での影響だけではなく播磨灘からの流入水の季節的な影響も考えられる。播磨灘では兵庫県立水産試験場により浅海汀線調査が行われている<sup>9)</sup>。その中から明石大蔵海岸に近い地点H27地点(北緯34°39.9′東経134°54.0′、海岸からの距離約1.2km、水深8m、図-1参照)の表層(水面下0.5m)での無機栄養塩の観測結果を図-5に示す。無機栄養塩は窒素・リンとも冬季に高く夏季に低い。これは、低水温期には鉛直混合により底層から栄養塩が供給され、高水温時には植物プランクトンの消費活動が活性されるためであり、播磨灘での一般的な栄養塩変動と一致する<sup>6)</sup>。このような無機栄養塩の変化は人工磯では見られ無い(図-4)。外海に近い遊水部での変化傾向も、播磨灘のそれとは異なる。播磨灘水質と比較して考えれば、タイドプールは有機態栄養塩ばかりでなく無機態栄養塩についても生産的であるといえる。また、観測が干潮時に近い時間に行なわれることが多く、タイドプール水質が遊水部に影響を与えていることが、遊水部でも播磨灘の傾向と異なった原因ではないかと考えられる。

磯の容積は砂に比べ大きく、容積当たりのバクテリアの付着面積が減少するため、磯浜は砂浜に比べ有機物分解能が低い<sup>7)</sup>。そのため有機物分解に伴って生産される無機栄養塩量は小さいと考えられるが、夏季にはタイドプールでの無機栄養塩濃度が高い。このことは、人工磯浜でも比較的活発に有機物分解が進んでいることを支持する。ただし、詳細な検討を行うためには、一朝夕間にわたる連続観測を行うとともに間隙水観測も必要になる。

## 6. おわりに

明石市大蔵海岸人工磯浜で4年間行ってきた水質観測結果を整理し、播磨灘の水質などと比較しながら考察を行った。その結果以下の結論が得られた。

- (1) 磯浜タイドプールは、外海に近い遊水部と比べて全体的に栄養塩濃度が高い。特にリンに関して冬季を除くほとんどの時期に高く、その多くを有機態成分が占めていた。
- (2) また、DOの飽和度などを見てもタイドプールは静穏域であるにもかかわらず遊水部よりも高い値を示す事があり、水域内部での生物活動に伴う溶存酸素の生産があるのではないかと推測された。
- (3) こうした考察の検証のため夏季にChl-a濃度を観測したところ、タイドプールで遊水部の3倍の値を示した。強熱減量に関してもこうした推察を支持する結果がみられ、タイドプールでは夏季に植物プランクトンの増殖に伴い有機態リンが高くなると考えられる。
- (4) また、播磨灘の水質と比較すると夏季には人工磯浜で無機態栄養塩の濃度も高いようであり、人工磯浜が無機態の供給源として機能しているようである。

謝辞:本研究にあたっては、京都大学大学院農学研究科中原紘之教授により貴重なご意見をいただいた。また、明石市及び東洋建設にはそれぞれ観測結果の使用を認めていただいた。さらに、この調査の一部は住友財団(助成番号993166)および河川整備基金助成番号12-1-③-27および13-1-④-18)の助成により行われたことを記して感謝する。

## 参考文献

- 1) 時岡隆, 原田英司, 西村三郎: 海の生態学, 築地書館, p.233, 1972.
- 2) 明石市: 大蔵海岸環境調査報告書, 1991.
- 3) 栗原康編: 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, p.129, 1988.
- 4) 酒井哲郎, 佐橋将, 仁木将人: 生活史から見た人工磯浜の出現植物種, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.1176-1180, 2001.
- 5) 兵庫県立水産試験場: 平成10年度兵庫県立水産試験場事業報告, 1999.
- 6) 真鍋武彦, 反田實, 堀豊, 長井敏, 中村行延: 播磨灘の漁場環境と植物プランクトンの変動, 沿岸海洋研究ノート, 第31巻, 第2号, pp.169-181, 1994.
- 7) 栗原康: 海・陸境界面の生態学的諸問題, 沿岸海洋研究ノート, 第24巻, 第1号, pp.21-32, 1986.