

生物との共生をめざしたタイドプールの造成に関する現地調査

Field Investigation on the Construction of Tide Pool Aiming at Coexistence with Marine Organisms

井上 雅夫*・鉄川 精**・島田 広昭*・柄谷 友香***

Masao. Inoue, Tadashi. Tetsukawa, Hiroaki. Shimada and Yuka. Karatani

The purpose of this study is to clarify the best habitable conditions for marine organisms in a tide pool. Field observation on marine organisms and the sea water quality are conducted in the eleven tide pools located at natural lagoon. It is found that the diversity index on marine organism is changed with the size variation and total volume of boulders scattered in the tide pool. The number of species of marine organisms in the tide pool located at natural lagoon is larger than that at man-made one.

Keywords : man-made lagoon, tide pool, marine organism

1. 緒言

近年、海岸・港湾施設の建設に際しては、生物と共存共生できる機能をもったものが要請されるようになってきた。このため、大阪府では、豊かで多様な生態系をもつものとして、大阪湾に面した淡輪箱作海岸に人工磯を造成し、これを環境教育の場としても利用していこうとしている。これまでに著者らは、この人工磯とその南西約4kmの長松海岸にある天然磯の生物相を比較するため、それぞれの磯で現地調査を行ってきた。その結果、天然磯の付着動物は人工磯のものに比較して、確認種数や個体数など、いずれの面からも豊富であり、その理由の一つとして、天然磯にある種々の特性をもつタイドプールの存在を挙げてきた。¹⁾本研究の目的は、動物が付着しやすいタイドプールの条件を明らかにすることによって、人工磯における付着動物の多様性の向上に寄与しようとするものである。

2. 調査方法

現地調査は、前述の天然磯内に点在する11箇所のタイドプール（写真-1参照）と人工磯内に現在造成中のケーソン式タイドプール（写真-2参照）を対象として、天然磯では1995年7月28日、10月5日および96年1月24日の夏、秋および冬季にそれぞれ1回ずつ、人工磯では96年1月23日のみ実施した。気象および水質の調査項目は、天候、気温、湿度、風向、風速、水温、塩分濃度、pH、DOとした。また、タイドプールの特性は、表-1に示すように、その位置と高さ、表面積、最大水深、タイドプール中における転石や海藻の状態について調査した。さらに、それぞれのタイドプールにおける付着動物の種数や個体数を測定することによってMacArthurの多様性指数を求め、それとタイドプールの特性との関係を検討した。



写真-1 天然磯のタイドプール

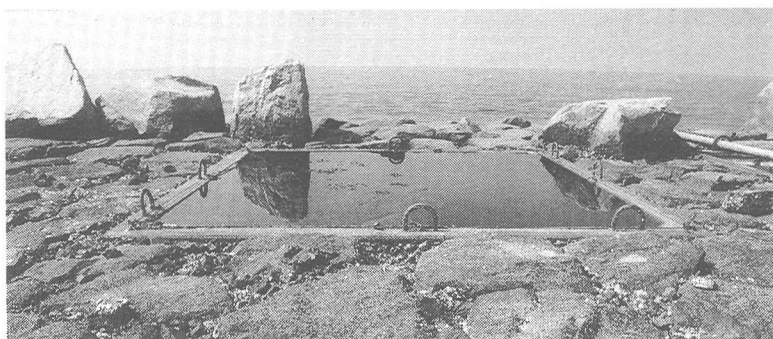


写真-2 人工磯のタイドプール

* 正会員 関西大学工学部土木工学科（〒564 吹田市山手町3-3-35）

** 関西大学工学部教養生物学教室

*** 学生員 関西大学大学院工学研究科土木工学専攻

3. 天然磯におけるタイドプール

3. 1 水質

図-1~4は、各調査日の干潮時の天然磯にあるタイドプール内での水温、塩分濃度、pHおよびDOを示したものである。ただし、7月のT4と10月のT7は、タイドプールの水深が小さいため、計測不可能であった。なお、各図の(a)、(b)および(c)図は、7月28日、10月5日および1月24日のものであり、

図中には、同じ干潮時におけるタイドプール外での測定値も、横軸に平行な直線で示した。これらによると、図-1の水温については、7月はタイドプール内での値が、31.3~37.8℃の範囲にあり、タイドプール外での値、29℃に比べると、かなり高い。逆に、10月や1月になると、タイドプール内では、22.5~23.4℃および7.0~10.4℃の範囲にあり、1月のT9とT11を除くすべてのものが、タイドプール外での23.4℃および10.2℃に比べると低い値を示している。これらの原因については、タイドプールの水深がタイ

表-1 天然磯におけるタイドプールの特徴

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11
崖岸からの距離 (cm)	130	250	560	790	850	80	460	980	1190	1410	1560
高さ DL 上 (cm)	198	192	159	135	141	165	155	145	119	177	109
表 面 積 (㎡)	0.21	0.88	0.33	0.72	0.60	0.85	0.60	0.51	1.25	0.09	3.78
最大水深 (cm)	15	10	20	20	15	10	5	15	30	10	30
海藻の被度 (%)	95.7	65	45	30	10	30	10	0	25	20	40
	10	10	20	20	25	30	5	0	10	20	0
	96.1	10	100	20	30	70	0	10	5	—	70
底面の状態	被度	3	1	2	4	3	5	3	4	1	5
	粒径範囲	1	1	3	3	5	2	3	4	3	4
動物の種類数 (種)	95.7	15	6	6	12	13	8	13	18	9	5
	10	13	7	10	14	13	6	12	13	15	6
	96.1	10	7	10	12	10	11	11	—	6	—

※被 度...1:0~20% 2:21~40% 3:41~60% 4:61~80% 5:81~100%
 粒径範囲...1:1cm以下 2:2~5cm 3:5~10cm 4:10~15cm 5:15~20cm

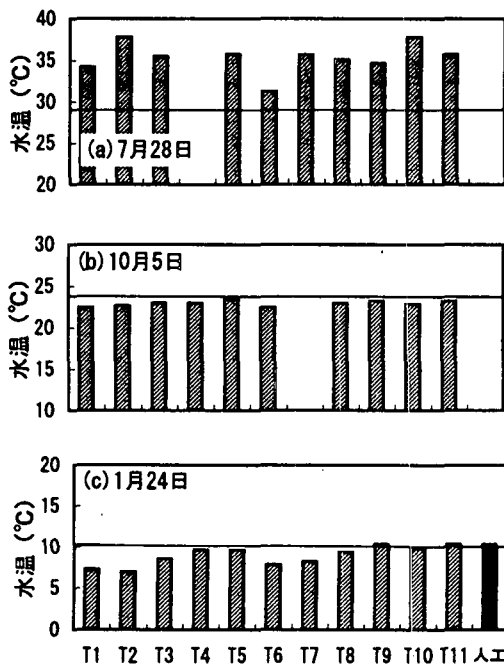


図-1 タイドプールにおける水温

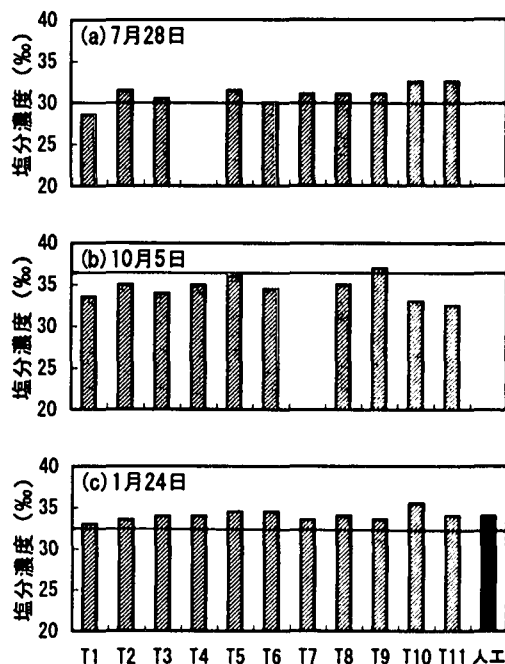


図-2 タイドプールにおける塩分濃度

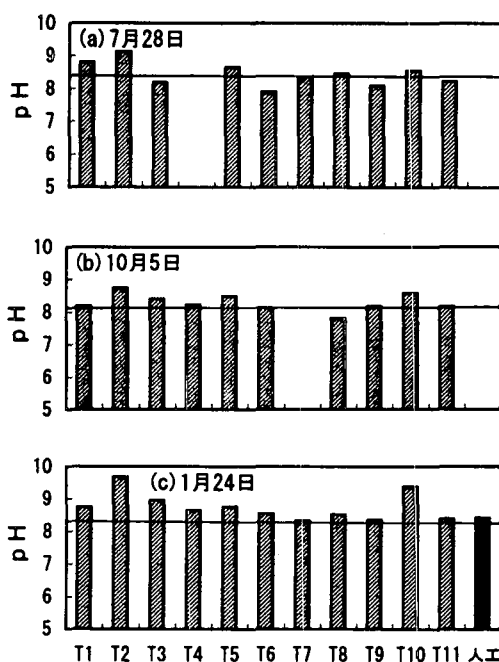


図-3 タイドプールにおけるpH

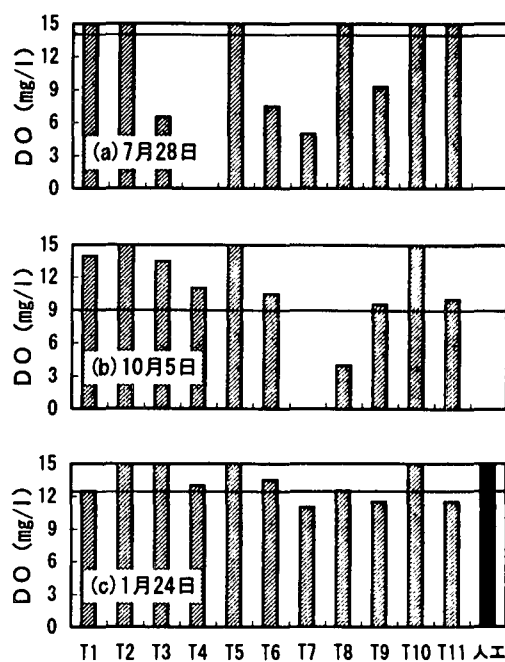


図-4 タイドプールにおけるDO

ドプール外での測定位置の水深と比較するときわめて小さく、なおかつ、タイドプール内においては海水交換が行われないことから、気温の影響を直接受けたものと考えられる。1月のT9とT11は、干潮時でも完全に閉鎖されることなく、海水交換が行われていたため、タイドプール外の値に近い値を示している。

図-2の塩分濃度については、7月のタイドプール外の値は30‰であり、一般的な値の35‰に比べると、かなり低い。これは、計測器の調整を行う際に生じた測定誤差と考えられるため、その定性的な傾向だけについてみると、7月と1月は7月のT1を除くすべてのタイドプール内での値が、タイドプール外のものよりも高く、逆に、10月はT9を除くすべてのタイドプール内での値が、タイドプール外のものよりも低いことがわかる。これらの原因については、7月と1月の調査日が快晴であったため、タイドプール内での海水の蒸発量が多くなり、塩分濃度が高くなったものと考えられる。10月については、測定時の天候が小雨であったため、タイドプール内での塩分濃度が低くなったものと考えられる。

図-3のpHについては、タイドプールごとに明確な特徴はみられず、季節的な変化もみられない。しかし、いずれの季節においても、タイドプール外の値と近い値を示すものが多い。また、7月と1月のタイドプール外の値やタイドプール内の中は、10月のものと比較すると、若干ではあるが高い値を示している。これについては、7月と1月には、タイドプールの内部や外部において海藻が比較的多く繁茂していたため、これらの光合成による炭酸同化作用の影響であろう。

図-4のDOについては、いずれの季節においても、タイドプールごとに値がばらついており、明確な特徴はみられないが、海水の水温が徐々に低下する7月、10月、1月の順に、多くのタイドプールでDOの値が、全般的に高くなる傾向がみられる。これについては、海水への酸素の溶解込み量が、低温になるほど多くなるためである。

ここで、図-3のpHと図-4のDOについて、タイドプールごとにさらに詳細にみると、T2、T5およびT10は、いずれもタイドプール外の値よりも高い値を示している。これらのタイドプールについて、表-1に示した海藻の被度をみると、10月のT10を除くほとんどのものが、高い値を示している。このことから、タイドプール内のpHとDOは、海藻の光合成による影響が大きいものと考えられる。そこで、pHとDOに、海藻の被度がどの程度影響しているのかを明らかにするため、pHおよびDOと海藻の被度との関係を検討した。

図-5のpHと海藻の被度との関係については、タイドプール中の海藻の被度が高いほど、pHの値は高くなる傾向がみられる。これについては、タイドプール内における海藻の被度が高いほど、動物の呼吸活動による水中への炭酸の供給量よりも海藻の光合成による炭酸の消費量が多くなるため、pHが上昇するものと考えられる。

図-6のDOと海藻の被度との関係についても、前述したpHと同様、タイドプール中の海藻の被度が高いほど、その値は高くなることわかる。

3. 2 生息動物の多様性

磯浜に存在するタイドプールは、一種が優占的に生息しているものより、種数、個体数のいずれも豊富なもののほうが、生物にとって質の高い環境を保持しているといえる。この状態を生物学的に「多様性が高い」と表現している。ここでは、様々な様相を呈しているタイドプールを生物の多様性という視点から考察し、多様性と自然環境との関連性について検討することにする。この多様性の量的尺度を示すものとして、種々のものが提案されているが、本研究では、次式で表されるMacArthurの多様度指数 H' を用いることにした。^{27), 3)}

$$H' = - \sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

ここに、 n_i はi番目の出現種の個体数、Nは総個体数である。なお、 H' が大きいほど多様性が高く、多種多様な生物が生息していることを示している。

図-7は、多様度指数と護岸からの距離xとの関係を示したものである。なお、護岸からの距離とは、護岸法線に対して垂直になるように測定した、護岸のり尻からタイドプールまでの水平距離である。これによると、その回帰曲線は、若干ではあるが、右上がりの傾向を示している。すなわち、沖側に位置するタイドプールほど、その多様度指数は大きくなるようである。しかし、回帰曲線の傾きは小さく、データもばらついているため、明瞭

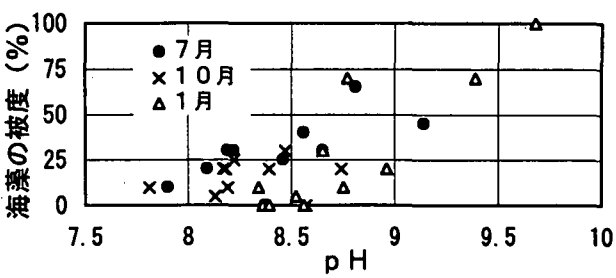


図-5 pHと海藻の被度との関係

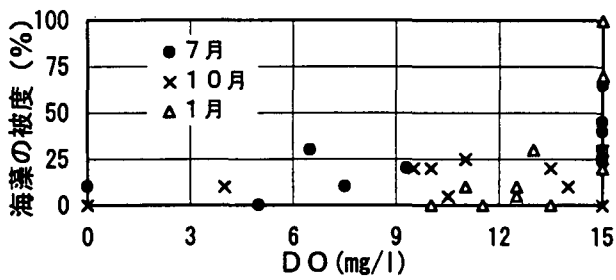


図-6 DOと海藻の被度との関係

な関係があるとはいえない。

図-8に示した多様度指数と潮位基準面からの高さHとの関係については、その高さが低いほど、多様度指数は大きいことがわかる。この原因については、標高の高い位置に存在するタイドプールほど、干潮時における露出時間が長くなり、タイドプール中の水分蒸発や、それに伴う水温上昇など、生物にとって厳しい環境になるためと考えられる。

図-9に示した多様度指数と表面積Aとの関係については、その表面積が大きいほど、多様度指数は大きくなる傾向がある。これについては、表面積の大きいタイドプールは、多様な環境条件を備えている可能性が高いことや、大気との接触面が大きいため、水質に何らかの影響が及ぶものと考えられる。しかし、この結果は類似した表面積のものが多いので、今後さらに種々の表面積のものについて検討していく必要があろう。

図-10に示した多様度指数と最大水深hとの関係については、水深が10cmのとき、データにかなりのばらつきがみられるが、その回帰曲線は右上がりとなり、タイドプールの水深が大きいほど、多様度指数は大きくなる傾向を示している。

図-11は、多様度指数と海藻の被度 r_s との関係について示したものである。海藻は、前述したように、水質との関連性があるとともに、草食動物の餌となり、また、波浪の直接的な影響を和らげるだけでなく、捕食者の目から逃れられるよい隠れ家となる。したがって、このような役割をもつ海藻の被度が高くなれば、多くの動物が集まり、多様度指数は大きくなるものと考えられる。しかし、その回帰曲線はやや右上がりになる傾向を示しているものの、その被度が50%以下の範囲ではデータにばらつきがみられ、さらに0%のタイドプールにおいても、多様度指数は比較的大きい値を示していることから、直接的な関係はあまりないものといえよう。

図-12は、多様度指数とタイドプールの底面の状態 r_b との関係を示したものである。ここでの底面の状態の表現に際しては、タイドプールの底面に存在する転石の被度とその粒径範囲をそれぞれ表-1に示したように点数に置き換え、その合計を評価点数として用いた。これによると、底面の状態に関する評価点数が大きいほど、多様度指数は大きくなることがわかる。この原因については、大小様々な転石が存在することにより、草食動物の餌となる微小藻類や藻類が多く付着するだけでなく、波浪や日射の直接的な影響を和らげ、捕食者の目から逃れられるよい隠れ家となるためと考えられる。

図-13および14は、波食溝および岩盤の窪みに存在するタイドプールの多様度指数の季節変化を示したものである。また、タイドプールの位置関係がわかるように、潮位基準面からの高さとの関係と護岸からの距離との関係についても図示した。これらによると、

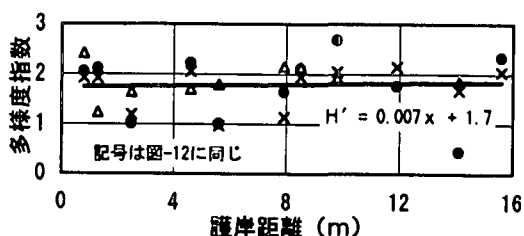


図-7 タイドプールにおける多様度指数と護岸からの距離との関係

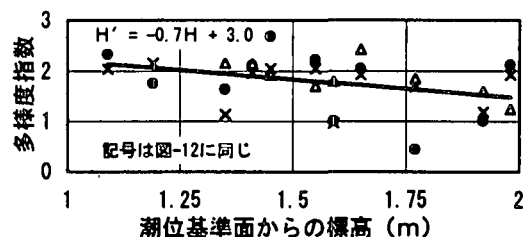


図-8 タイドプールにおける多様度指数と標高との関係

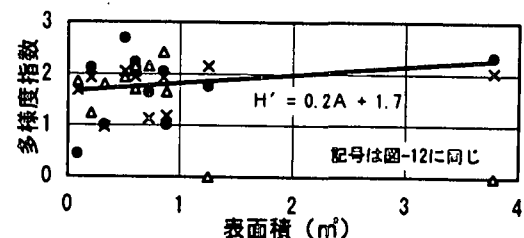


図-9 タイドプールにおける多様度指数と表面積との関係

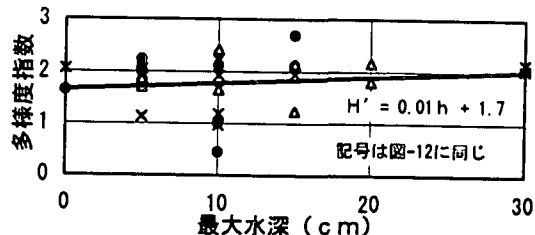


図-10 タイドプールにおける多様度指数と最大水深との関係

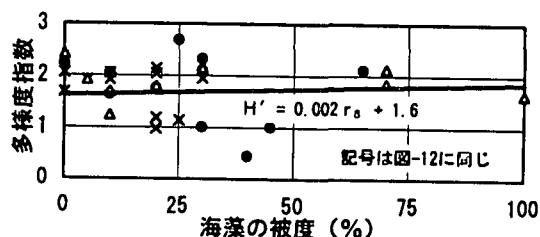


図-11 タイドプールにおける多様度指数と海藻の被度との関係

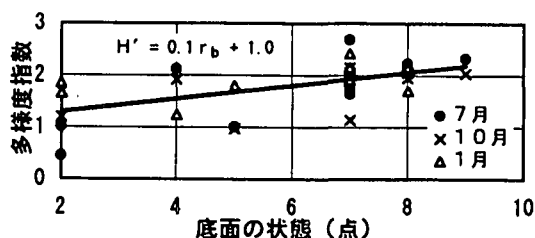


図-12 タイドプールにおける多様度指数と底面の状態との関係

波食溝に存在するタイドプールの多様度指数は、いずれの季節も、約2でほぼ一定であることがわかる。一般に、波食溝に存在するタイドプールは、その側面に凹凸があり、そこには岩陰や岩の窪み、割れ目が多く存在している。このため、生物は日射や波浪から身を守ることができ、さらに、閉鎖性は弱いため、若干の流れが生じ、それによって海水交換が行われるものもあり、多種多様な生物の生息に適した環境になっている。これに対し、岩盤の窪みに存在するタイドプールの多様度指数は、波食溝に存在するものと比較すると、いずれの季節も小さい値を示しているものが多い。これは、岩盤の窪みに存在するタイドプールは、その側面に凹凸がなく、平滑なものとなっているため、日射や波浪から身を守るための場所がなく、閉鎖性も前者と比べ強くなっており、生物にとって厳しい環境にあるものと考えられる。なお、1月の多様度指数は、7月や10月のものに比べ、全般的に大きい、これについては、日射の直接的な影響が小さく、岩陰や岩の割れ目が存在しなくても、生物にとって比較的生息しやすい環境になっているためと考えられる。

4. 天然磯と人工磯におけるタイドプールの比較

ここでは、表面積、水深および底側面の状態などが非常に異なった特徴を有する天然磯と人工磯のタイドプールについて、その水質や確認された動物種に関して比較検討を行う。3.1に示した図-1~4のそれぞれの(c)図には、人工磯に造成されたケーソン式タイドプール④での95年1月23日の干潮時における水温、塩分濃度、pHおよびDOの測定値を、天然磯のものと一緒に示している。

これによると、図-1(c)の水温については、人工磯のタイドプール④は、前述したように、外海から孤立しないで海水交換の行われていた天然磯のタイドプールT9やT11と同様に、比較的高い値を示していることがわかる。これについては、人工磯のタイドプール④の水深が、天然磯のものに比べるときわめて大きく、気温による影響をあまり受けないためと考えられる。

図-2(c)の塩分濃度については、両者において、顕著な差異はみられない。

図-3(c)のpHについては、人工磯のタイドプール内の測定値は、天然磯のものと比較的近い値を示している。人工磯におけるタイドプール外の値は8.14で低かったにもかかわらず、人工磯のタイドプール内でこのように高い値を示しているのは、その側面全体に海藻が繁茂しており、それらの光合成による炭酸同化作用の影響と考えられる。

図-4(c)のDOについては、人工磯のタイドプール内の値は、天然磯のタイドプールのものと同様に、高い値を示していることがわかる。これについても、前述したpHと同様に、タイドプールの側面全体に繁茂した海藻の影響を受けているものといえよう。

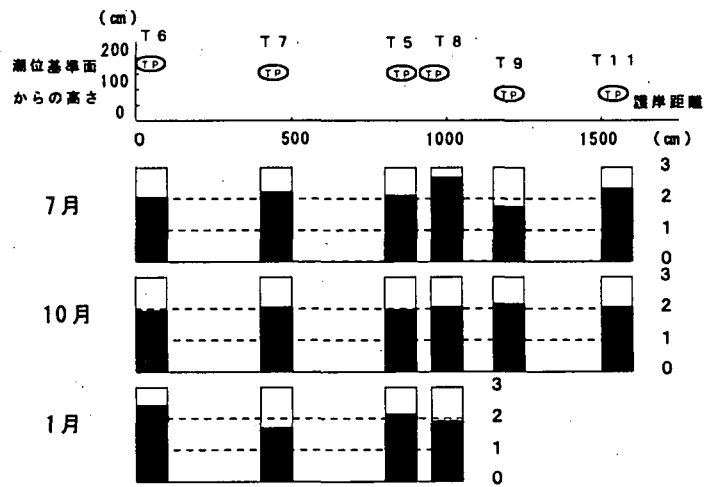


図-13 波食溝に存在するタイドプールの多様度指数の季節変化

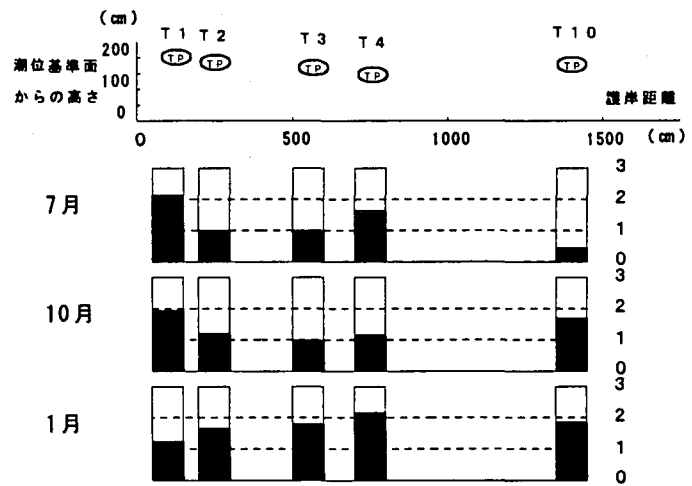


図-14 岩盤の窪みに存在するタイドプールの多様度指数の季節変化

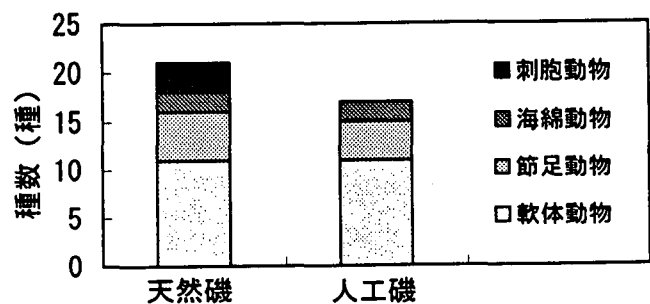


図-15 天然磯と人工磯のタイドプールにおける確認種

このように、天然礫と人工礫のタイドプールの水質を比較した結果、水温を除けば、両者には顕著な差異はみられない。また、pHとDOについては、人工礫のタイドプールも、天然礫のものと同様に、海藻の光合成による影響を受けていることが明らかになった。

図-15は、天然礫と人工礫のタイドプールにおいて、確認された動物の種数を示したものである。これによると、軟体、節足および海綿動物は、いずれの礫のタイドプールにおいても、ほぼ同じ種数が確認されているのに対し、刺胞動物は人工礫のものでは、まったく確認されていないことがわかる。これは、刺胞動物が天然礫のタイドプールでみられるような側面の凹凸や窪み、転石の存在する場所を好んで生息するため、そのような条件を備えていない人工礫のタイドプールは、刺胞動物にとって、あまり適した環境でないものと考えられる。また、海綿動物は、いずれの礫でも確認されているが、人工礫では被度が低く、わずかに確認されただけであった。これについては、海綿動物も前述の刺胞動物と同様な生態をもつためであろう。軟体動物や節足動物については、いずれの礫のタイドプールにおいても、種数、個体数ともに多く確認された。

以上、天然礫と人工礫のタイドプールにおける動物の確認種数に関して比較した結果、人工礫のタイドプールは、天然礫のものに比べると、生息している動物種が偏っており、まだ貧弱な生物相であることがわかった。

5. 結 語

以上、著者らは、今後の人工礫におけるタイドプールの造成に際して、それが生物との共生をめざすためには、どのような条件を有すべきかといったことについて、ある程度明らかにすることができた。そこで、これらの結果を考慮し、人工礫におけるタイドプールが、多種多様な生物相を保持し、それらと直接ふれあうことのできるような環境にしていくために必要な事項を要約すると、次のようである。

- 1) 生物が乾燥、波浪および捕食者から身を守ることでできる環境を創るために、タイドプールの側面に凹凸を設け、その底面には大小様々な転石を配置する。
- 2) タイドプールの側面には、生物がより多く生息できるように傾斜を持たせる。
- 3) 人工礫のタイドプールの水深は、1.0～3.2mと非常に大きい。今後、人工礫を環境教育の場として利用していく際の安全性や、タイドプール内における海水循環などを考慮すると、水深を小さくするとともに、その中に流れを生じさせるような工夫が必要であろう。
- 4) タイドプールの造成素材には、コンクリートだけではなく、自然のものに少しでも近づけるために、天然の基質を用いる。これについては、現在、著者らが行っている基質の違いによる生物の付着状況についての調査研究を継続し、それらの結果を用いて検討していくことが望ましい。

今後は、タイドプール内における生物相と水質との関係を明らかにするとともに、タイドプールをとりまく自然環境要因に関して、単独ではなく、総合的な判断が可能になるよう検討し、生物との共生をめざしたタイドプールの造成に際しての設計指針を確立していきたい。

最後に、本研究に際し種々のご協力をいただいた大阪府港湾局および公園課の関係各位、ならびに調査や資料整理を熱心に手伝ってくれた豊中市の相良千尋、大阪府の松井利公、建設省近畿地方建設局の和田智子の諸君に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 井上雅夫・島田昭昭・鉄川 精・中村克彦：生物との共生をめざした人工礫の生態工学的研究，海岸工学論文集，Vol. 42，pp. 1191～1195，1995.
- 2) 木元新作：動物群集研究法Ⅰ，共立出版，p. 192，1976.
- 3) 木元新作・武田博清：群集生態学入門，共立出版，p. 198，1989.
- 4) 島田昭昭・中村克彦・鉄川 精・井上雅夫：人工礫の付着生物に及ぼす造成素材の影響，海洋開発論文集，Vol. 11，pp. 157～162，1995.