

人工磯浜における水質変化の生態系モデルによる評価

仁木将人*・酒井哲郎**・中原紘之***

人工磯浜では、閉鎖的な構造となるため水質の劣化が懸念される。人工磯浜での造成直後からの継続的な観測から、夏季にはタイドプールで TP 濃度が高くなる傾向が見られた。そうした変化に対して植物プランクトンの活動が影響しているのではないかと推察された。また、冬季には短命海藻の大量発生が確認されている。そこで、こうした短命海藻と植物プランクトンの競合を考慮した生態系モデルを作成して、人工磯浜における物質循環について定量化し、各季節での物質循環特性に関して考察した。その結果モデルにより栄養塩の観測結果が再現され、夏季には植物プランクトン由来の、冬季には短命海藻由来の物質循環が形成されていることが分かった。

1. はじめに

人工海浜などが造成される場合、市民利用の観点から安全性や景観が重要視される。そのため、閉鎖性が強くなり、海水交換率が低く、波当たりの弱い水域となる。また、自然の磯浜が持つべき潮だまりや亀裂、裂隙といった磯浜の生物の住みかとなるべき微地形が再現されることが少ない。このためこうした水域で水質の劣化や出現生物層が貧困になるといった問題も生じるものと予想される。今後自然の創造、回復技術として磯浜の造成を考えた場合、造成後数年にわたる追跡調査から人工海浜の抱える問題点について考察しておくことが造成技術の確立に対して役立つものと考えられる。

そこで本研究では、人工磯浜での生態系モデルを作成し、水質変化に関して考察することとした。これまでも継続的な観測結果から海藻(酒井ら, 2001)、水質(仁木・酒井, 2002a)、動物(仁木ら, 2002b)に関して考察を行ってきた。まずここではモデル化にあったって、水質の考察結果を再整理しその特徴に関して検討した。その結果、夏季には植物プランクトンが増殖しているのではないかと推察された。また、当該水域では春季にシオミドロなどの短命海藻の大量発生が認められている。そこで、こうした短命海藻と植物プランクトンの競合を考慮した生態系モデルを作成して、人工磯浜における物質循環について定量化し、各季節での物質循環特性に関して考察した。

2. 観測の概要

観測は東播海岸東部に位置する明石大蔵海岸人工磯浜で行われた(図-1 参照)。人工磯浜は約 6 ha で遊水部とタイドプールに分かれている。遊水部は潜堤を有するケーソン防波堤のすぐ内側に位置し、水深は約 2.2 m で

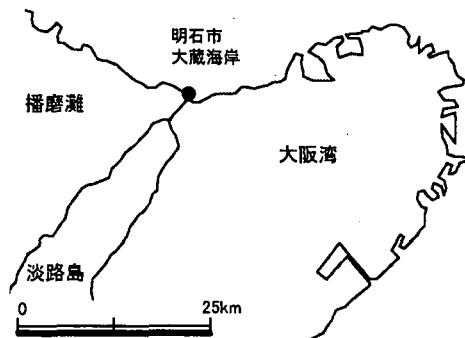


図-1 観測地点の概要

ある。遊水部の岸側には緩傾斜の石積がもうけられ、さらに岸側には護岸と転石に護られたタイドプールが広がっている。タイドプールの底質は礫からなり透水性が高いため、海水交換が潮汐変化により容易に行われている。人工磯浜は海とのふれあいゾーンとして設置されている。そのため磯遊びの場として使用されるタイドプールは静穏域となっており、水深も浅く潮汐変化によりゆっくりと海水交換が行われている。また遊水部は、外海に近く開口部付近では波当たりも強いいため、人の侵入を防ぐようにタイドプールとの境界にチェーンが設けられている。

観測は“人工磯浜を造成した場合そこにはどのような環境(自然)が創られるのか”を知ることを目的としてはじめられた。そのため観測項目として水質、海藻、海岸動物の調査が総合的に行われている。観測項目が多岐にわたるため、2月(冬季)、5月(春季)、8月(夏季)、11月(秋季)の年間4回行い、造成直後の1998年2月から5年間(現在5年目)行う予定である。ここではその中から特に、人工磯浜の物質循環の基礎を支える栄養塩項目を中心とした水質に関して詳しく議論を進める。

3. 観測結果とその考察

水質観測結果に関してはすでに詳しく考察を行ってい

* 学生会員 工修 京都大学大学院工学研究科博士後期課程土木工学専攻

** フェロー 工博 京都大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻

*** 理博 京都大学教授 大学院農学研究科応用生物科学専攻

る(仁木・酒井, 2002a)。ここではモデルを作成するにあたって考慮された水質変化の特徴と人工磯浜水質の現状に関して再整理する。ただし前節でも述べられたように、観測が総合的に行われたために、詳細な考察を行うには観測期間の間隔が広いことに注意しなければならない。

図-2に水質観測結果から全リン(TP)、無機態リン(IP)、有機態リン(OP)、溶存酸素飽和度の観測結果を示す。ただしTPからIPを引いたものOPとした。また、遊水部の水質は、補完調査として行われた1998年春季と秋季、1999年春季に関しては調査されていない。タイドプールの水質は2点で調査が行われているが、その平均値を使用している。その他の項目に関しては紙面の都合上省略した。

TPは冬季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明瞭であり、冬季に低く夏季に高い。IPに関しては、年間を通して遊水部でやや高く、値や変化の幅は小さい。OPはTPと同様にタイドプールで高く、タイドプールのTPの季節的な変化の傾向にOPが支配的なことが伺える。TP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。

窒素に関しては紙面の都合上省略したが、リンほど明瞭に季節的な傾向が見られないものの、全体としてはタイドプールで全窒素濃度が高く、有機態が支配的であった。

溶存酸素飽和度は、タイドプールと遊水部の間に際だった値や傾向の差は見られないが、全体としてタイドプールが遊水部に比べてやや高い。タイドプールでは飽和度で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。磯浜などの酸素供給源は曝気や海藻の光合成などが考えられる。このうち曝気に関しては波当たりの強い遊水部でその効果がより期待できるであろう。また、付着海藻に関しても遊水部で豊富であり、タイドプール内では貧困で偏った生活型のものに限られることが分かっている(酒井ら, 2001)。したがって、曝気や付着海藻以外に溶存酸素濃度を引き上げる効果が何か存在するものと考えられる。ただし、冬季にはタイドプールでシオミドロなどの短命海藻が異常増殖することが認められている。

こうした傾向から、タイドプールでは植物プランクトンのような生物活動による影響が伺える。そこで2001年夏季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、Chl-aはタイド

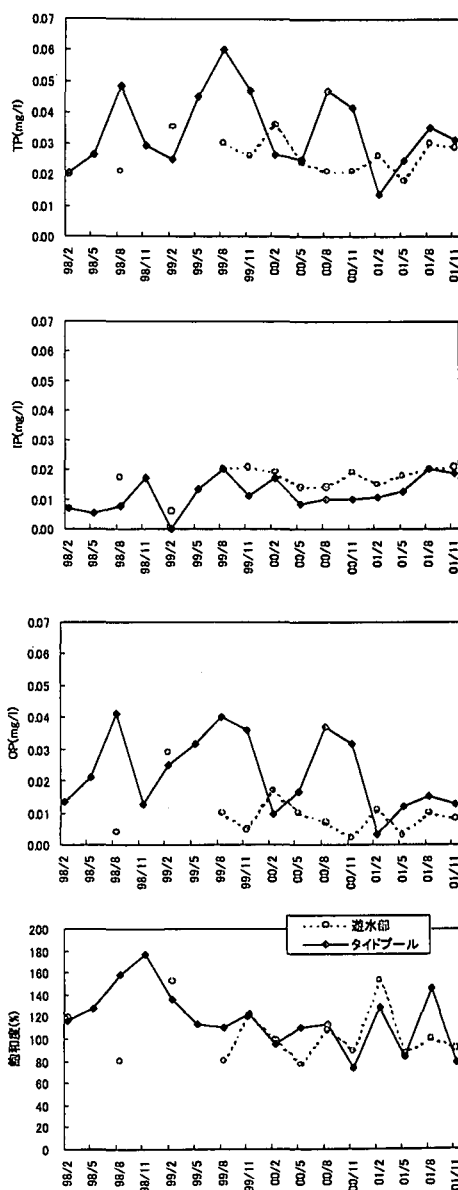


図-2 水質の観測結果

プールで高く、遊水部が0.002 mg/lであるのに対し、タイドプールでは平均で0.005 mg/lと2倍以上の値を示している。またSSや強熱減量からも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った。一度の観測からだけで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夏季に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。

4. 数値モデルの概要

前節で示されたように人工磯浜タイドプールでは、夏

季に植物プランクトンとそれに伴う物質循環が形成されているのではないかと推察された。そこでこうした推察の検証とそうした場合の物質量の定量化を行うために生態系モデルを構築することとした。

対象とするのは人工磯浜タイドプールである。タイドプールは外海から護られていて、波や流れによる影響は小さく、潮汐変化に依存して海水交換が行われている。そこでタイドプールを1ボックスとして取り扱い、ボックスへの水交換量は別途計算より求められた潮位とタイドプールの地形条件から算出した。また、底質が礫であるため透水性が高く、底泥を通しての海水交換も行われているものと考えられる。そこで、求められた水交換量の一部は底泥を介して流出入することとした。

生態系モデルに関して、水域では中田 (1993) の低次栄養段階に対するモデルを使用した。また、対象となる水域は礫浜であり、干潟のような豊富な生物の生存は観測から確認されていない。しかし水深が浅く水体積に対する底面積の割合が大きいく、水域に及ぼす底泥内の生物活動の影響が大きいと考えられることから、モデルでも底生生態系の影響も考慮することとした。底生系に関してはマクロベントスまでを簡易的に取り扱った西村

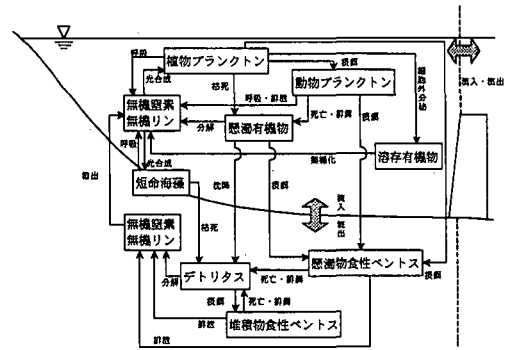


図-3 生態系モデルの概念図

ら (1998) のモデルに従った。人工磯浜タイドプールでは、冬季に海藻が増殖し管理上問題となることがある。そのためこうした海藻もモデルの中に取り入れることとした。海藻のモデル化にあたってはその生活形のパターンを考慮することは不可欠である。海藻の観測結果の分析から生活形が短命種のものが優占的に出現する傾向が確認されている (酒井ら, 2001)。そこで、これまでの底生系のモデル中での微細藻類のモデル化と同様の取り扱

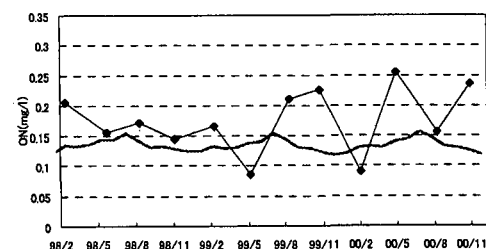
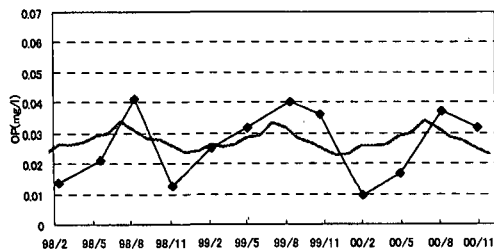
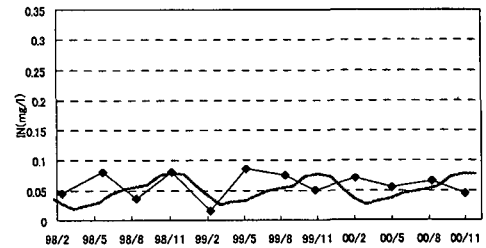
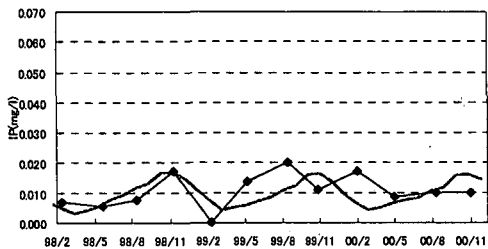
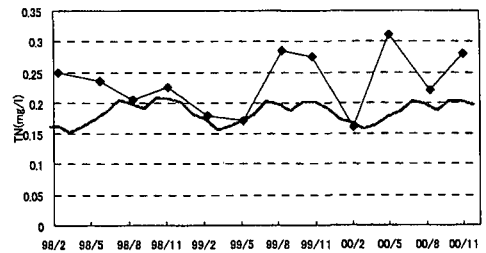
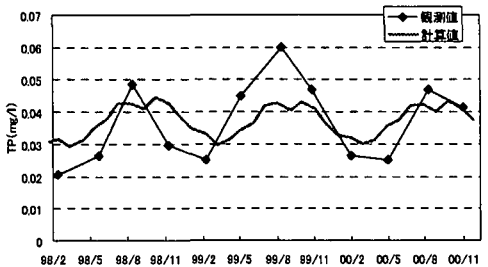


図-4 計算結果とその比較

いによりモデル中に組み入れた。モデルの概要を図-3に示す。無機栄養塩を除く各要素は炭素態で計算され、炭素と窒素・リン比により変換した。初期条件に関しては、観測値がある無機栄養塩は1998年2月の値を参考に与えられた。境界条件に関しては、無機態栄養塩、Chl-aについて兵庫県立水産試験場の観測値(兵庫水試, 1999)から大蔵海岸に近い地点の値を使用した。気象条件のうち水温、日射量に関しても兵庫県立水産試験場による観測値(兵庫水試, 1999)を使用した。その他の初期条件や境界条件、各構成要素間の諸過程の係数に関しては、パラメータ集や既往の研究(例えばJ. Baretta-Ruardij, 1988; S. E. Jorgensen, 1979)を参考に与えられた。

5. モデルの適用と物質循環

図-4にリンと窒素の観測値と計算値の比較のグラフを示す。TPに関しては、夏季の濃度増加や冬季の濃度減少といった特徴的な変化傾向が比較的良く再現されている。TNに関してはリンほどではないものの1998年夏季から1999年春季にかけての一致がみられるなど概ねその傾向が再現されている。

TPの夏季の濃度増加はモデルでも観測同様にOPが増加することに起因している。観測結果から、こうした傾向に対して植物プランクトンの増加を想定した。図-5に植物プランクトンと短命海藻の計算結果を示す。植物プランクトンの変化を見ると、夏季に高い値を示している。計算3年目の8月にリンの有機体濃度に占める植物プランクトン濃度の割合は平均で26%であった。これに対して、計算3年目の2月にリンの有機体濃度に占める植物プランクトンの割合は平均で12%と夏季と冬季ではその構成が大きく異なることがわかる。夏季の植物プランクトンに対して冬季は短命海藻が増殖するのではと考えモデル内に取り入れたが、計算からは春季に増殖しており十分な再現が得られなかった。こうした時期のずれに関しては今後の検討課題として残った。

若干の検討事項はあるものの栄養塩の再現性から本モデルの有効性が示されたものとして、モデルを通して物質循環について考察する。図-6に計算3目の2月と8

月のIPの収支を示す。

2月の収支を見ると、主要な供給源は底泥からの移流・溶出と懸濁有機物の無機化である。無機リンの消費としては海藻の光合成が大きく、リンの収支全体の約50%、消費成分の約95%を占めている。2月は水温が低いため植物プランクトンや無機化の活性が低く、海藻の活性が高い。また、海藻の枯死量も増加するため、枯死態をデトリタスとして底泥系で取り扱った本モデルでは、デトリタス量の増加とそれに伴うデトリタスの分解により底泥内部の無機栄養塩が高くなり、底泥からの移流・溶出が大きくなっている。

8月の収支についてみると主要な供給源は懸濁有機物の無機化と底泥からの移流・溶出であり、その他はほんの僅かである。主要な消費源としては、移流や植物プランクトンの光合成であり、2月に最も主要な消費源であった海藻の光合成はほとんど見られなかった。また、2月に供給源であった移流は逆に消費として働いている。8月は水温が高いため、植物プランクトンの活性が高い。植物プランクトンが増殖することにより、植物プランクトンの枯死量も増え懸濁有機物量も高くなり、無機化の活性も高いため懸濁有機物の無機化が高くなっている。また、底泥での分解により、無機栄養塩濃度が増加しそれに伴って底泥からの移流・溶出などが高い値を示している。

以上のように2月には海藻中心の、8月には植物プランクトン中心の物質循環が行われているようである。海藻は水域中の有機態濃度に反映されないため、海藻が多い時期には有機態濃度が低くなっている。また、計算か

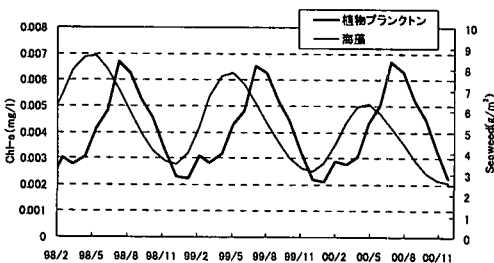


図-5 植物プランクトンと海藻の計算結果

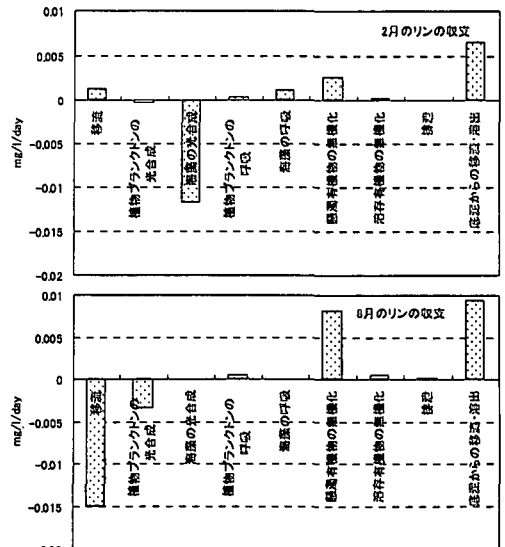


図-6 2月と8月のリンの収支

らは、人工磯浜タイドプールは外海に対して、2月には無機態リンの消費源となり、8月には無機態リンの供給源になっていることが分かる。

6. おわりに

以上より得られた主要な結論を以下に示す。

- (1) 観測結果から、タイドプールでは全リンに関して夏季に濃度増加がみられる。
- (2) 溶存酸素濃度や追加的に行ったクロロフィルa、強熱減量等の観測結果から、この濃度増加は生物活動、すなわち植物プランクトンの増殖による影響が推察された。
- (3) 生態系モデルによる計算結果は、TPの夏季の増加などその傾向が概ね再現されている。計算結果での有機物濃度の夏季の増加は、推測されたように植物プランクトンが増殖した影響であった。
- (4) モデルでは付着植物も考慮し植物プランクトンとの競合について考えたが、春先には海藻が夏季には植物プランクトンが増殖する結果となった。この傾向はそれぞれが優先する季節での物質循環に大きな違いを生じさせている。
- (5) 生態系モデルにより定量化した結果では、2月には海藻による光合成が無機リンの総収支の約50%を占めたが、8月にはほとんど見られず、植物プランクトンとそれに伴う活性が高い。
- (6) 海藻の増殖は水域の有機態として反映されない

ため、結果として春先の海藻が多い時期に水域内の有機態栄養塩の濃度を下げている。

- (7) 計算からは、人工磯浜タイドプールは外海に対して、2月には無機態リンの消費源となり、8月には無機態リンの供給源になっている。

なお、本研究にあたって明石市にはデータの使用を認めていただいた。また東洋建設にはクロロフィルa等の水質計測を行っていただいた。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

- 酒井哲郎・佐橋 将・仁木将人(2001): 生活史から見た人工磯の出現植物種, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1176-1180.
- 中田喜三郎(1993): 環境流体汚染(松梨順三郎編), 森北出版, pp. 194-220.
- 仁木将人・酒井哲郎(2002a): 人工磯浜における造成以降の水質変化の現地観測, 海洋開発論文集, 第18巻(印刷中).
- 仁木将人・酒井哲郎・中原紘之(2002b): 人工磯浜における出現動物の現地観測とその移動特性, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1321-1325.
- 西村 修, 木村賢史, 山田満夫, 稲森悠平, 須藤隆一(1998): 人工干潟が水質浄化能に及ぼす影響の数値モデルによる解析, 日本沿岸域学会論文集, No. 10, pp. 137-149.
- 兵庫県立水産試験場(1999): 平成10年度兵庫県立水産試験場事業報告.
- J. Baretta & P. Ruardij 編集(中田喜三郎訳)(1995): 干潟の生態系モデル, 生物研究社.
- S. E. Jorgensen 編集(1979): Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters, Pergamon Press.