

인공간석지 창출과 복원을 위한 최적환경조건 선정에 관한 연구

이정규⁽¹⁾, 岡田光正⁽²⁾

A Study on the Optimum Environmental Conditions for the Creation and Restoration of Artificial Tidal Flat

by

Jeoung-Gyu Lee and Mitsumasa Okada

요 약

히로시마만에 존재하고있는 간석지에 있어서 유입하천의 유무, 폐쇄성 등의 환경조건이나 조성 후 경과연수가 다른 인공간석지 7개소와 자연간석지 3개소를 선정해 간석지 토양에 있어서 물리화학적 및 생물학적인 구조나 유기물분해기능에 관해 비교 검토하였다. 또한 인공간석지에 있어서는 입지장소, 조성방법, 조성 후 경과연수 등의 차이에 의한 영향, 자연간석지와 동일하게 조성하기 위한 조성인자를 검토해서, 아래와 같은 결과를 얻었다. 인공간석지는 자연간석지와 다른 특성을 갖고 있는 것과 그렇지 못한 것으로 분리되었다. 그렇지만 대부분이 자연간석지와 전혀 다른 특성을 나타내었다. 토양구조 중에서 가장 다르게 나타난 것은 세균수, 실트함유량, 유기물함유량을 들 수 있으며, 각 실험 항목이 인공간석지 보다 자연간석지가 높은 값을 나타내었다. 자연간석지와 현저하게 차이를 보인 세균수, 실트함유량 및 유기물함유량에 관해서, 각 인공간석지의 조성 후 경과연수, 표면구배, 유입 하천의 유무, 폐쇄성 등의 조성인자와의 상관성을 분석했지만, 명확한 상관관계는 알 수 없었다. 자연간석지와 유사한 토양구조 특성을 갖기 위한 간석지를 조성하는 데에는, 간석지 전면에 있어서 해수로부터 실트 성분이 침강 가능한 장소의 선정이 중요하다.

(1) 정회원, 일본 히로시마 대학교 환경기초화학연구소

(2) 일본 히로시마 대학교 환경기초화학연구소

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the effects of design criteria and environmental conditions of the site of created tidal flats on the structure and function of man-made ecosystem. Seven constructed tidal flats and three natural tidal flats were studied taking the difference in the location (wave height and tidal current), inflow of river water, slope of tidal flat and age after the construction completed into consideration. Parameters studied were physico-chemical and biological characteristics of soils and rate of respiration. The natural tidal flats had higher contents of silt, nitrogen and organic matter compared with the constructed ones. The natural ones had reductive zone below 2cm, whereas the constructed ones had aerobic zone from the surface to below 20cm. The bacterial population in the soil of the constructed tidal flats was one to two orders of magnitude lower than that in the natural ones. Both biomass of macrobenthos and microbial respiration rate, however, were not different significantly between the natural and the constructed tidal flats. There was an exceptional constructed tidal flat with similar physico-chemical and biological characteristics to the natural ones. It is most probable that sufficient conditions to have similar tidal flats to natural ones are the location in enclosed bay or calm coastal area. Thus, to make man-made tidal flats with the same characteristics as those in natural ones, man-made tidal flats should be designed and/or located to enhance the accumulation of silt on tidal flat. It is important to select a place having low water motion for construction of tidal flat.

Keywords : Creation, Restoration, Man-made tidal flat, Natural tidal flat

1.서론

근년, 경제성장과 함께 사회기반정비가 활발하게 실시되고, 인간의 생활수준도 급속히 향상 되어왔다. 일본의 경우도 주요 도시는 연안지역에 집중해 있고, 항만정비나 호안정비 등의 연안개발이 활발히 진행되었다. 그러나, 이것은 자연해변이나 간석지의 소실을 초래하는 결과로, 자연경관이나 어장, 조장(藻場)등 수역 환경을 보존하는 관점에서 문제점으로 지적되고 있다. 자연간석지를 포함한 연안역은 수역의 생물생산에 있어서 어패류의 산란장 및 생육장으로서 중요한 기능을 수행함과 동시에 인간에게 있어서도 친수공간의 기능으로서 역할을 하는 중요한 재산의 일부이다(栗原[1988]).

일본 환경청 조사(環境廳[1995])에 의하면,

1945년대 일본의 전국에 82,600 ha의 자연간석지가 존재했고, 1978년까지 그 중에서 40%에 해당하는 간석지가 소멸된 것으로 알려지고 있다. 또한, 1978년 이후에도 매립이나 연안개발에 따른 자연간석지의 파괴는 계속되고 있는 실정이다.

최근, 지방자치단체나 민간단체, 정부 등에 의해 간석지, 조장등의 자연 생태계를 보호 및 보전을 하려는 노력이 날로 증가하고 있다. 또한, 자연간석지의 보호 및 보전에서만 그치지 않고, 파괴된 간석지를 복원 또는 창출하려고 시도하고 있다(Confer[1992], Ogura[1995], Miyoshi[1990]). 이러한 움직임은 일본 환경청에서도 지금까지 실시해 오던 환경보호나 오염방지 사업등을 오염물 배출방지 및 처리의 개념에서 환경 창출 개념으로 이행하려는 것과 일치한다. 이와 같은 환경 창출 개념의 한가지가 Mitigation이며, 이것은 자연환경에 의 완화조치의 의미로, 미국이나 서독 등에서는

벌써 간석지를 포함한 자연 생태계의 개발행위에는 이 검토가 의무화되었고, 일본에서도 몇 가지 사례가 있다(港灣環境創造硏究會[1997], 岡田[1994]).

간석지의 복원 및 창출에 있어서는 원래 존재한 간석지의 기능과 가치의 전부 또는 일부를 대체할 것을 요구하고 있다. 이러한 요구를 충분히 고려한 인공간석지의 조성에 대한 조사 및 평가에 관한 연구가 없는 실정이다. 이와 같이 목적에 부합하는 간석지를 조성하기 위해서는, 우선, 현재 존재하고 있는 인공간석지의 여러 기능을 충분히 파악하고, 조성된 장소의 환경조건, 입지조건 등을 포함한 조성방법, 조성에 이용된 토양특성, 조성후의 경과연수 등과의 관계를 규명할 필요가 있다.

그러나 자연간석지와 인공간석지의 기능을 비교 평가한 연구사례는 매우 적다. 三好 등[1991]은 간석지의 조간대(Intertidal Zone)와 조하대(Offshore Zone)에 있어서 수질 및 저생동물(Macrobenthos)의 현존량으로부터 유기물 정화량을 산출하고, 자연 및 인공간석지의 정화기능을 비교함으로써 자연간석지가 정화량이 높다고 보고하였다. 또한 Havens et al.[1995]은 인공간석지(1개소)와 자연간석지(2개소)의 저생동물(Macrobenthos)량을 비교한 연구에서 저생동물의 현존량이 자연간석지와 인공간석지 간에 명확한 차이는 없었다고 보고하였다. 그리고 李 등[1997]은 히로시마만에 존재하고 있는 宮島(Miyazima, Japan) 자연간석지와 似島(Ninoshima, Japan) 인공간석지의 토양의 물리화학적 및 생물학적인 구조와 기능의 차이를 비교·연구한 결과, 토양의 산화환원전위, 세균과 저생동물의 현존량 및 미생물 호흡활성은 자연간석지와 인공간석지 간에 큰 차이가 있음이 확인되었다. 그러나, 이 연구에서는 대상 간석지의 수가 자연간석지, 인공간석지 각각 1개소뿐이며, 하나의 연구사례로서 의미는 있지만, 그 결과만으로 인공 및 자연간석지의 차이를 논하는 것은 무리가 있다고 본다. 특히, 인공간석지에 있어서 입지장소, 조성방법, 조성경과연수의 차이에 의해, 그 특성도 달라질 것으로 예상된다. 이와 같이 기존 연구들은 자연 및 인공간석지의 수질이나 저생동물에 국한되었을 뿐만 아니라 대상 간석지를 대표할 수 있을 만큼의 종합적인 연구가 미흡한 것으로 보인다.

따라서 본 연구는, 인공간석지의 창출수법에 관

한 기초적인 정보를 얻기 위해, 일본 히로시마만에 존재하는 자연간석지 3개소와 간석지 조성 후 경과연수가 서로 다른 인공간석지 7개소를 대상으로 유입하천의 유무, 폐쇄성 등의 입지조건, 간석지 토양층의 물리화학적 및 생물학적 구조, 유기물 분해 기능을 간석지 별로 비교하고, 인공간석지의 조성인자에 관해서도 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 연구 대상의 해역 및 간석지

연구대상으로 일본 중부에 위치한 히로시마만에 존재하는 자연간석지 3개소, 인공간석지 7개소를 선정하였다(Fig. 1). 히로시마만은 일본에서도 폐쇄성이 강한 해역이며, 육상으로부터 총부하량의 87%를 차지하는 太田강이 유입하고 있어, 하천수의 영향을 받기 쉬운 해역이다. Table 1에 자연 및 인공간석지의 현황을 나타내었다. 히로시마만의 자연간석지 Stn. 2와 인공간석지 Stn. 8 부근의 수질은 년 평균 DO, COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, *Chl-a*가 각각 10.7~12.4mg/l, 0.9~1.2mg/l, 0.00~0.09mg/l, 0.10~0.14mg/l, 0.42~0.54mg/l, 0.01~0.02mg/l, 2.10~3.31mg/l를 나타내고 있다(Date[1989], Maritime safety Agency[1997]).

연구대상 간석지는, 폐쇄성, 하천수의 유입 유무를 포함한 입지환경, 표면구배, 조성 후 경과연수 등에 차이가 있는 곳을 선정하였다. 인공간석지는 조개나 굴 등의 수산양식, 해수욕장, 소멸된 간석지의 보상(Mitigation) 등의 목적으로 조성된 것이다

2.2 토양채취

자연 및 인공간석지의 토양채취지점은 일본기상청이 정한 기준면(Datum Level) 으로부터 +1.2m 높이를 지정하였다. 이 지점은 大潮(spring tide)시의 고조위선(highest water level)과 저조위선(lowest water level)의 중간지점에 위치 하고있다. 이 중간지점에서 좌우로 3m 간격으로 3개 지점에서 각 지점마다 2개 시료의 토양을 채취해서 분석에 이용하였다.

1995년에 실시한 Stn. 2의 자연간석지와 Stn. 8의 인공간석지 조사에서, 기상청이 정한 조위 0m, +1.2m, +2.4m 높이 지점에 있어서, 수평으로 20m 간격을 두어 각 3 지점, 총 9지점에 토양을 채취

하였다. 이들 토양시료에 대해서, 세균수, 유기물 함유량 및 미생물 호흡량을 측정된 결과, 각 지점 간에 현저한 차가 없었다(李[1997]). 따라서, 본 실험에서는 상기의 조위 +1.2m를 조사지점으로 선정하였다.

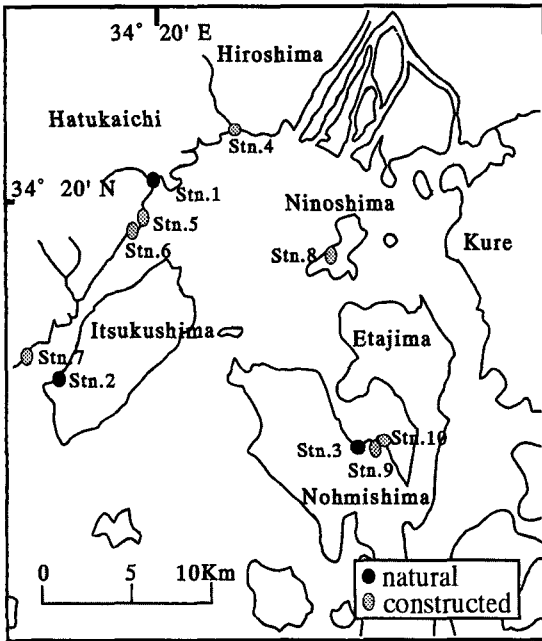


Fig. 1 Location of sampling stations at natural and constructed tidal flats in Hiroshima Bay

토양의 채취는大潮의 간조(Ebb tide)시에 실시하였다. 입경분포, 유기물함량, 세균수 및 호흡량 측정용 토양시료는, 자연 및 인공간석지에 있어서 각각 표면부터 2cm, 5cm까지를 채취하였다. 자연간석지의 경우에는 1995년 조사에서 토양 표면 2cm이하의 깊이부터는 환원층이 형성되어 있기 때문에 표면부터 2cm까지의 토양을 채취하였다.

세균수 측정용 시료는, 채취직후 formaldehyde 5%(v/v)로 고정시켰다. 또한, 저생동물(Macrobenthos) 측정용 시료는 quadrat(25×25×25cm)를 사용하여 토양표면에서 20cm까지 90%이상의 개체수, 종수가 채취 가능하다고 보고(Tsuchiya[1976])되고 있기 때문에, 25cm깊이까지 채취하였다. 채취한 시료를 현장에서 1mm체에 남은 것에 formaldehyde 10%(v/v)로 고정시켰다. 전 토양시료의 채취는 1996년 5월 15~17일에 걸쳐서 실시하였다.

2.3 물리화학적인 특성

간석지 토양의 물리화학적인 특성을 조사하기 위해 표면구배, 입경분포, 유기물함량, 산화환원전위

Table 1 The studied natural(N) and constructed(C) tidal flats in Hiroshima Bay

origin	site	area(ha)	slope	year of construction	purpose of use
N	stn. 1	24	1/100	—	
N	stn. 2	4.7	1/100	—	
N	stn. 3	3.3	1.6/100	—	
C	stn. 4	24	2.5/100	1990	compensatory mitigation
C	stn. 5	3.2	0.4/100	1986	oyster culture
C	stn. 6	6.7	0.7/100	1973	oyster culture
C	stn. 7	1.2	1.5/100	1984	clam culture
C	stn. 8	5	2/100	1987	clam culture
C	stn. 9	2.3	4/100	1987	bathing resort
C	stn. 10	2.3	0.7/100	1987	oyster culture

(Oxidation-reduction potential)를 측정하였다.

표면구배는, 1996년 5월 8일~10일 사이에 만조시 10m간격으로 수심을 측정하였다.

입경분포를 측정하기 위한 토양시료는 증류수에 세정·탈염한 후 30%과산화수소수로 유기물을 분해시켜 건조시켰다. 건조된 토양시료는 입경시험법(中野[1995])에 따라 입경별로 분리하였다.

유기물함량은 2시간이상, 105℃에서 건조시킨 후, 체를 이용하여 입경 2mm이하의 분리된 토양시료를 CHN(Perkin Elmer Co. 2400II) 분석기에 의해 측정하였다.

산화환원전위는 폴리카보네이트 Core를 이용하여 토양시료를 채취한 후, 토양 깊이별 전위를 측정하였다. 전위측정시 황산화원세균 등의 활성에 따른 변화를 방지 하기 위해서 4℃ 저온실에서 실시하였다. 사용한 전극은 직경 10mm의 다점전극(TOA Electronics Ltd., HM-50V type)과 비교전극(TOA Electronics Ltd., HM-205C type)을 이용하였다. 토양시료의 연직분포는 전극을 약 12시간 동안 안정시킨 후, 1cm 또는 5cm 간격으로 측정하였다.

토양채취 및 현장조사를 실시한 기간중의 히로시마만의 해상조건은 파랑, 너울, 투명도, 색도, 수온, 염분이 각각 1m, 0~1m, 2.5~4.0m, 4~9, 15.0~16.2℃, 30.4~31.8‰이었다(Maritime safety Agency[1997]).

2.4 세균 및 저생동물의 개체수와 종의 동정

토양중의 총세균수는 DAPI법을 이용하여 측정하였다(Porter[1980]). 실험실에 가져온 토양시료 5g을 채취하여, 0.2 μ m의 Nuclepore membrane filter (Costar Scientific Co.)로 여과한 30% NaCl용액 50ml에 현탁 시켰다. Homogenizer (Nihonseiki Kaisha, AM-3)를 이용하여 20,000rpm으로, 10분 동안 토양시료에서 세균을 분리시켰다(Meyer-Reil[1978], Montagna[1982]). 분리 후 상정액(上澄液)을 30% NaCl용액으로 1,000~10,000배 희석하였다. 이 희석액 10ml에 5 μ g/l의 DAPI(4'-6-diamidino-2-phenylindole) 염색용액 1.2ml를 첨가시킨 후, 0.2 μ m의 Nuclepore membrane filter로 여과시켰다. 여과지를 락사식형광현미경 (Nikon Optiphot-2, Hg 100W lamp, Nikon filter cassette

UV, UV-excitation; 400nm, excitation; 330~380nm, emission; 420nm)을 이용하여, 배율 750배로 관찰하여, 세균수를 구하였다.

저생동물은 토양시료에서, 저생동물을 분리시킨 후, 종의 동정과 개체수를 관찰하였다. 여기서, 저생동물은 1.0mm체를 이용해서 분리했을 때, 남은 생물을 대상으로 한, macrobenthos로 정의한다.

2.5 미생물 호흡량 측정

미생물 호흡량은 CO₂ 발생량으로 부터 구하였다. 30ml의 바이얼병에 저생동물을 제거한 토양 시료 5g과 완충액 5ml를 넣어 밀봉하였다. 완충액은 0.2 M Tris-hydroxymethyl aminomethane을 흑조(黑潮)해수(생분해성 유기물이 거의 없다)로 4배 희석해서, pH 7.9 (간석지 연안해수의 pH)로 조절하였다. 바이얼병은 20℃의 항온실에서 로타리믹서(Rotary Mixer, Iuchi Mix-Rotar, VMR-5)를 사용해서 교반 하였다. 교반후, 바이얼병을 원심분리(1,600rpm, Kubota KN-70)한 다음, 상정액을 주사기(Hamilton Syringe, 50 μ l)로 20 μ l 채취해서, TOC 분석기 (Shimadzu TOC-500)를 사용하여 무기탄소(IC)농도를 측정하였다. 바이얼병 내에 기상부중의 무기탄소량은 액상 중에 무기탄소량에 비해 무시할 정도의 양이기 때문에 측정하지 않았다. 호흡속도는 건조 토양시료 1g 당 1일에 발생하는 CO₂량으로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 자연 및 인공간석지의 비교

3.1.1 물리화학적인 특성

Table 2에 간석지 토양중의 실트함유량(입경이 0.075mm 이하), 유기탄소함유량, 유기질소함유량을 나타내었다. 토양중의 실트함유량은 자연간석지에 있어서 2.71~8.68%의 범위이며, 인공간석지에서는 Stn. 10을 제외하면, 0.03~0.87%를 나타내어 자연간석지와 명확한 차이를 보였다. 인공간석지 Stn. 10은 2.78%로 다른 인공간석지보다 높고, 자연간석지와 비슷한 비율로 분포하고 있다. 또,

토양 중 다른 입경에 관해서는 자연 및 인공간석지가 명확한 차이를 보이지 않았다.

유기탄소함유량을 비교해 보면, 자연간석지에서는 3.30~10.25mg C/g, 인공간석지에서는 Stn. 10이 3.78mg C/g으로 가장 높게 나타났고, Stn. 10을 제외한 인공간석지 보다 약 2~10배 높게 나타내었다.

유기질소함유량은 자연간석지에서 0.33~0.93mg N/g, 인공간석지에서는 Stn. 10이 0.30mg N/g, 그 이외의 간석지는 0.1~0.3mg N/g의 범위에 있으며, 자연간석지가 인공간석지 보다 높게 나타났다.

Fig. 2에 나타낸 산화환원전위는 자연간석지인 Stn. 1, Stn. 2, Stn. 3와 인공간석지중 Stn. 10에서만 표면으로부터 2cm에 해당하는 깊이부터 환원층을 나타내었다. 인공간석지 Stn. 5, Stn. 6 및 Stn. 7에서는 표면으로부터 15~25cm에 해당하는 깊이 이후부터 환원층을 나타냈지만, 다른 인공간석지 Stn. 4, Stn. 8에서는 표면으로부터 모든 깊이(0~25cm)에서 산화층을 나타내었다.

이상의 결과로부터 토양중 실트함유량, 유기물함유량 및 산화환원전위가 자연간석지와 인공간석지 간에 명확한 차이를 보임으로써 토양의 물리화학적 특성이 자연간석지와 인공간석지 간에 전혀 다르다는 것을 알 수 있다. 그러나, 인공간석지 중에서도 Stn. 10과 같이 자연간석지와 유사한 토양구조를 가진 간석지가 존재할 수 있다는 것도 알았다.

3.1.2 생물학적인 특성

간석지별 토양중의 세균수의 비교를 Fig. 3에 나타내었다. 자연간석지의 세균수는 $1.59 \sim 2.49 \times 10^9$ cells/g 범위를 나타내었다. 한편, Stn. 10을 제외한 인공간석지의 세균수는 $0.07 \sim 0.98 \times 10^9$ cells/g의 범위였으며, 자연간석지보다 1~2

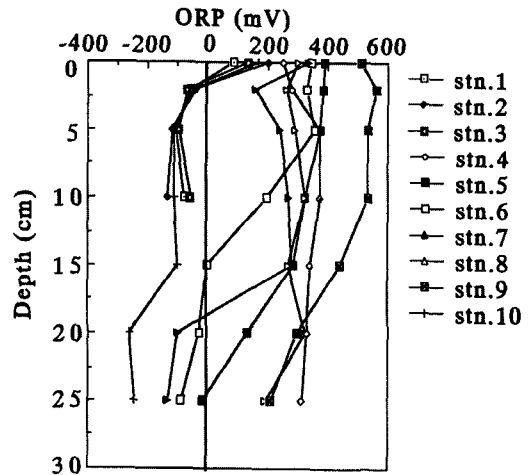


Fig. 2 Vertical profiles of oxidation-reduction potential at natural and constructed tidal flats. (Values are the means of three replicate samples.)

Table 2 Silt content, organic carbon and organic nitrogen in soil at natural(N) and constructed(C) tidal flats. Values are the averages of three replicate samples.

origin	site	silt (%)	carbon (mgC · gdry ⁻¹)	nitrogen (mgN · gdry ⁻¹)
N	stn.1	4.77	10.25	0.93
N	stn.2	2.71	3.30	0.33
N	stn.3	8.68	5.28	0.52
C	stn.4	0.03	1.50	0.07
C	stn.5	0.85	1.28	0.13
C	stn.6	0.35	1.52	0.10
C	stn.7	0.50	2.08	0.23
C	stn.8	0.87	0.90	0.10
C	stn.9	0.05	1.09	0.10
C	stn.10	2.78	3.78	0.30

order 낮은 값을 나타내었다. 인공간석지 Stn. 10은 2.33×10^9 cells/g으로 자연간석지와 같은 높은 값을 나타내었다.

Fig. 4는 자연 및 인공간석지에 있어서 저생동물의 습중량과 종별 개체수를 나타내었다. 저생동물 습중량은, 자연간석지에서 $20 \sim 320$ g wet/m², 인공간석지에서 $4 \sim 5,900$ g wet/m²의 범위에 있으며, 자연간석지와 인공간석지 간에 차이는 명확하지 않았다. 인공간석지 Stn. 7과 Stn. 8에서는 특

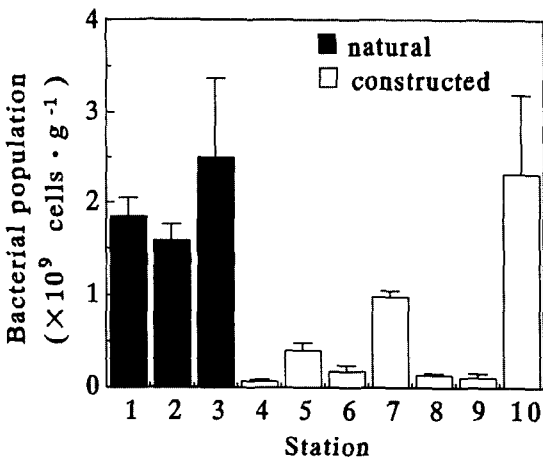


Fig. 3 Number of bacteria at natural and constructed tidal flats. (Values are the mean and the standard deviation of three replicate samples.)

히, 쌍각류(bivalve)의 습중량 비율이 높게 차지한 것은 조개양식장으로서 조개를 산포 했기 때문인 것으로 생각된다. 전습중량에 대한 조개의 양은, Stn. 7과 Stn. 8에 있어서 각각 91%, 97%로 대부분이 쌍각류의 조개가 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 간석지들 사이에서는 습중량의 변동폭이 크고, 자연과 인공간석지 간에 명확한 차이는 알 수 없었다.

인공간석지 (1개소)와 자연간석지 (2개소)의 저생동물의 습중량을 비교한 Havens et al.[1995]의 연구에 있어서는, 3개소 간석지가 대략 같은 현존량을 나타내, 차이가 명확하지 않았다고 보고하였다. 본 연구에 있어서도 저생동물의 종별 개체수는 습중량과 같이 자연간석지와 인공간석지 간에 명확한 차이는 나타나지 않았다. 총 개체수는, 자연간석지가 1,760~6,790 individuals/m², 인공간석지가 80~22,300 individuals/m² 이었다. 각 간석지의 우점종은 대부분이 다모류이며, Stn. 10만이 연체동물이 우점하였다. 자연 및 인공간석지를 비교하는 관점에서 보면 명확한 차이는 없었다.

Fig. 5에 자연 및 인공간석지에 있어서 미생물에 의한 호흡량을 나타내었다. 자연간석지의 호흡량은 $0.70 \sim 1.84 \times 10^{-4}$ CO₂ g/g/day 였으며, 인공간석지에서는 $0.22 \sim 1.42 \times 10^{-4}$ CO₂ g/g/day를 나타내었다. 전술한 세균수(Fig. 3)와 유기물함유량(Table 2)에서는 자연과 인공간석지 간에 명확한 차이를 나타내었지만, 이와 같은 차이는 미생물 호흡량에서는 명확하지 않았다.

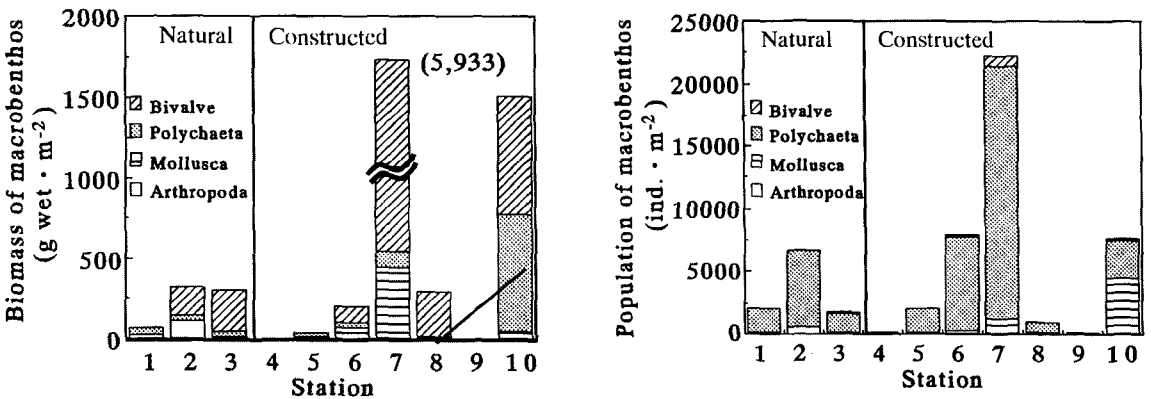


Fig. 4 Biomass(left) and population(right) of macrobenthos at natural and constructed tidal flats

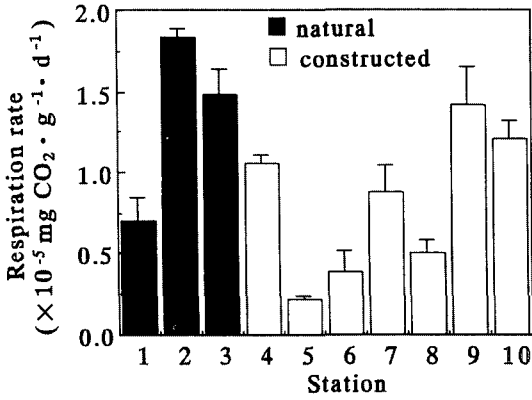


Fig. 5 Microbial respiration rate at natural and constructed tidal flats. (Values are the mean and the standard deviation of three replicate samples.)

Middelburg et al.[1996]은, 하구 간석지를 대상으로 조사한 결과, 토양층의 유기물함유량과 유기물 분해량은 일치하지 않았다고 보고하였다. 그 이유로는 토양 중에 축적된 유기물은 난분해성 유기물이며, 분해량은 분해가 용이한 유기물함유량에 의해 결정된 것으로 고찰하였다. 따라서, 토양층의 세균수와 유기물함유량에 의한 것보다, 해수로부터 공급되는 분해성 유기물함유량에 의해서 미생물 호흡량이 좌우된다고 생각된다.

3.2 인공간석지의 조성인자

인공간석지에 있어서 하천의 유무, 폐쇄성, 조성후의 경과연수, 표면구배 등의 조성인자에 관한 영향 등을 조사하기 위해, 인공간석지와 자연간석지간에 차이를 현저하게 나타낸 세균수, 유기물함유량 및 실트함유량에 대해서 각 조성인자와의 관계를 조사하였다.

인공간석지에 있어서 조성 후 경과연수에 대한 세균수, 실트함유량, 유기물함유량 간의 상관계수는 각각 $r=-0.06$, $r=-0.11$, $r=0.04$ 로 나타내었다. 또한, 표면구배에 대한 세균수, 실트함유량, 유기물함유량 간의 상관계수는 각각 $r=-0.40$, $r=-0.42$, $r=-0.37$ 도 나타내었다. 이와 같이, 인공간석지에 있어서 조성 후 경과연수와 표면구배에 대한 세균

수, 실트함유량, 유기물함유량 간의 상관관계는 명확하지 않았다.

그리고, 인공간석지에 있어서 하천의 영향을 조사하기 위하여, 하천의 유입이 있는 Stn. 4와 다른 간석지들과 비교하였다. Stn. 4는 하천이 없는 다른 인공간석지에 비해, 세균수나 유기물함유량이 적을 뿐 별다른 차이를 찾을 수가 없었다(Table 2, Fig. 3). 또, 폐쇄성에 관해서는, 폐쇄성이 높은 Stn. 9, Stn. 10과 폐쇄성이 낮은 다른 간석지들로 분리된다. 그러나 Stn. 9와 Stn. 10은 서로 인접해 있고 폐쇄성이 강하지만 극단적으로 다른 토양구조를 나타내었다. Stn. 10은 자연간석지와 동일한 구조를 가지고, Stn. 9는 다른 인공간석지와 동일한 특성을 나타내 폐쇄성이 높은 것만으로는 자연간석지와 동일한 구조로 변해 가는 원인은 아니라고 생각된다.

여기서, 인공간석지 Stn. 9와 Stn. 10는 조성연도도 같고, 수질(TOC, Chlorophyll.a, Suspended Solid가 각각, 1.63과 1.67mg/ℓ, 1.39와 1.37μg/ℓ, 19.3과 19.7mg/ℓ)에도 차이가 없기 때문에 이 두 간석지를 상세하게 조사 비교함에 따라, 토양구조의 특성 차이가 어떠한 인자에 의해 제어되는가를 밝혀질 것으로 사료된다.

인공간석지 Stn. 10는 조성에 사용된 토양이 다른 인공간석지와 다른, 실트함유량이 높을 가능성이 있다. 여기서, 두 간석지에 있어서 해수의 영향이 거의 없고, 조성시의 토양구조가 그대로 남아 있으리라 생각되어지는 기준면에서 +2.77m 지점에서 토양의 실트함유량을 조사하였다(Fig. 6). 기준면에서 +2.77m 지점에서는, Stn. 10의 실트함유량은 0.09~0.67% 로서, Stn. 9의 실트함유량보다 오히려 낮게 나타내었다. 이와 같은 이유로, 두 간석지는 실트함유량이 낮은 토양에 의해 조성되었고, 그 이후 Stn. 10에서는 퇴적이 일어난다고 추정된다. Stn. 9와 Stn. 10의 실트 성분의 공급원으로서 하천, 산, 해수로부터의 유입이 생각된다. 그러나, 두 간석지는 육지측에 콘크리트로 조성된 호안 벽이 존재하며, 인접한 하천이 없기 때문에, 해수로부터의 공급원만이 존재한다. 그러나, Stn. 9와 Stn. 10은 인접해 위치하고 있어, 간석지에 유입하는 해수의 수질은 거의 동일 하기 때문에, 두 인공간석지에 있어서 해수로부터의 실트 성분의 퇴적상태를 조사하였다(Fig. 7). 상시 해수 중에 잠겨있는 저조위(+0.5m)에 있어서 실트함유량은

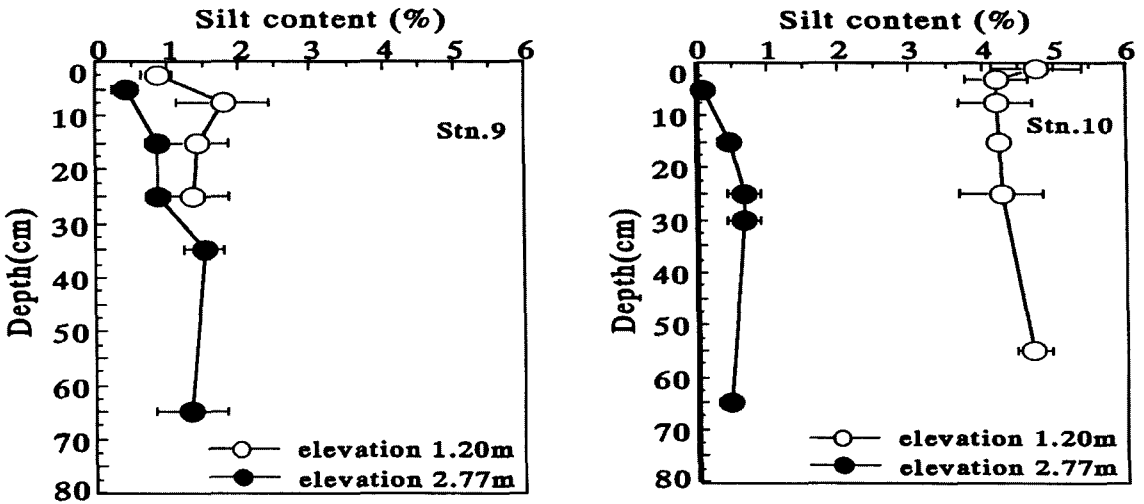


Fig. 6 Silt contents of different elevations from the datum level at Stn. 9 and Stn. 10. (Values are the mean and the standard deviation of three replicate samples.)

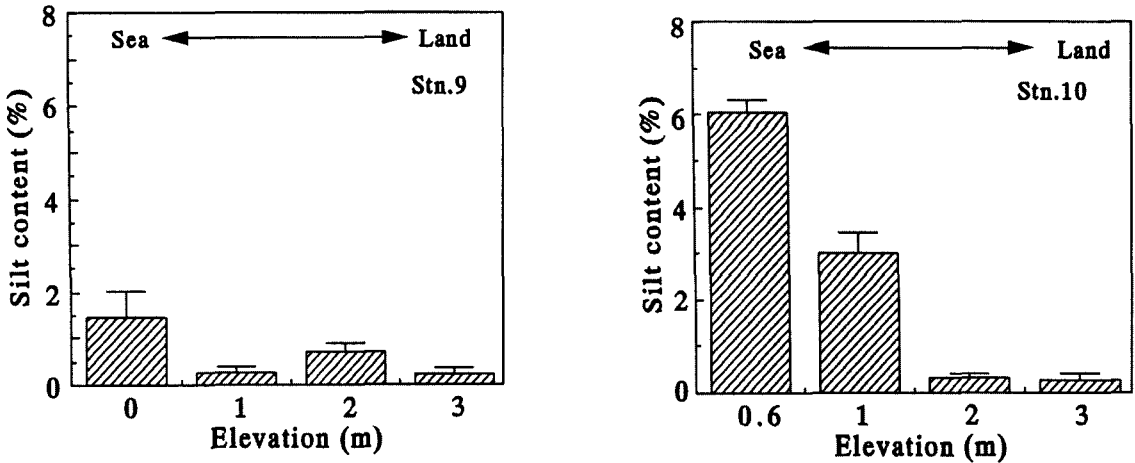


Fig. 7 Silt contents in soil at different elevations from the datum level at Stn. 9 and Stn. 10. (Values are the mean and the standard deviation of three replicate samples.)

Stn. 9보다 Stn. 10가 약 3배 높게 나타내었다. 실트 성분 이하는 입경은 매우 작기 때문에 약한 유동에도 침강을 저해 받으리라 생각되며, 히로시마 만 중에서도 특히 폐쇄성이 높은 수역 이라도 실트 성분이 축적하기 쉬운 장소와 그렇지 못한 장소가 존재하고 있다는 사실을 시사한다. 또한, 간석지에 있어서 실트 성분이나 유기물의 퇴적은 해

수의 흐름, 혼합이나 유속 등에 의존한다고 알려져 있다(Wang[1993], DeJonge[1995]).

여기서, Stn. 9와 Stn. 10에 있어서 해수의 유동에 의한 영향을 관찰하기 위해, 각 간석지 표면에서의 소류사(Bed load) 이동입자의 입경분포를 측정하였다. 측정은 각 간석지의 조위 높이 +1.2m에서 Sediment Trap장치(원형 유리병 직경 4.5cm,

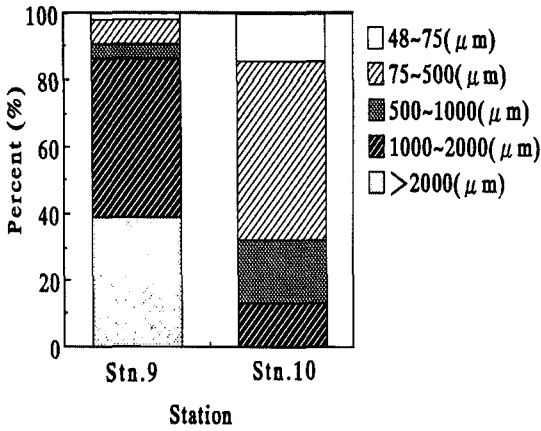


Fig. 8 Particle distribution of bottom sediment trapped in Stn. 9 and Stn. 10. (Values are the means of three replicate samples.)

높이 9cm)를 이용하였다. 장치 입구가 각 간석지 표면에서 1cm 높이가 되도록 설치하였으며, 동일한 조위와, 동일한 시간 하에서 측정하였다. 그리고, 간조만조 1회 동안에 장치에 Trap된 입자의 양과 입경분포를 측정하여, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Trap된 입자의 입경분포를 주목하게 된 이유로는 보다 강한 유동에 의해서 보다 큰 입자가 간석지 표면에서 이동할 것으로 생각했기 때문이다. 직경 1mm 이상의 입자가 Stn. 10에는 약 15%인데 불구하고, Stn. 9는 약85%를 차지하였다. 또한, Stn. 9와 Stn. 10에 있어서 토양의 입경분포 중 1mm 이상의 입자가 각각 88.9%, 61.0%를 차지하고 있으므로 같은 유동조건이라면, Stn. 9와 같이 Stn. 10에도 1mm 이상의 입자가 충분히 Trap될 것으로 생각되어진다. Stn. 9와 Stn. 10가 Trap된 입자의 분포가 다르게 나타난 것은 해수의 유동조건이 다르다는 것을 의미한다. 즉, Stn. 10보다 Stn. 9의 간석지 표면이 해수유동에 의한 영향을 크게 받는다.

또한, Stn. 10에 있어서 유기물함유량이 높은 이유는 실트성분과 유사한 현탁 유기물의 침강에 의한 것으로 생각된다. 토양중 세균수는, 토양입자의 크기에 영향을 받아, 입자가 작을수록 높은 경향이 있다고 알려져 있다(De Flaun[1993]). 따라서, 실트 성분이 축적함에 따라 세균이 생식할 수

있는 면적이 증가하고, 토양의 세균수가 증가한 것으로 사료된다.

이상의 결과로부터, 인공간석지의 토양구조를 자연간석지와 동일한 물리화학적 및 생물학적인 구조를 갖추기 위해서는, 간석지 전면의 해역에 있어서 해수의 유동을 실트 성분이 침강 가능한 정도까지 제어하는 것이 중요하다고 생각된다. 그렇지 않으면, 사전에 유동이 약한 장소를 선정해 조성할 필요성이 있다.

3.4 결론

본 연구에서는 히로시마만에 존재하고있는 간석지에 있어서 유입하천의 유무, 폐쇄성 등의 환경조건이나, 조성 후 경과연수가 다른 인공간석지 7개소와 자연간석지 3개소를 선정해, 간석지 토양에 있어서 물리화학적 및 생물학적인 구조나 유기물 분해기능에 관해 비교 검토하였다. 또한, 인공간석지에 있어서는 입지장소, 조성방법, 조성 후 경과연수 등의 차이에 의한 영향, 자연간석지와 동일하게 조성하기 위한 조성인자를 검토해서, 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 인공간석지는 자연간석지와 다른 특성을 갖고 있는 것과 그렇지 못한 것으로 분리되었다. 그렇지만 대부분이 자연간석지와 전혀 다른 특성을 나타내었다. 토양구조 중에서 가장 다르게 나타난 것은 세균수, 실트함유량, 유기물함유량을 들 수 있으며, 각 실험 항목이 인공간석지 보다 자연간석지가 높은 값을 나타내었다.
- 2) 자연간석지와 현저하게 차이를 보인 세균수, 실트함유량 및 유기물함유량에 관해서, 각 인공간석지의 조성 후 경과연수, 표면구배, 유입 하천의 유무, 폐쇄성 등의 조성인자와의 상관성을 분석했지만, 명확한 상관관계는 알 수 없었다.
- 3) 자연간석지와 유사한 토양구조 특성을 갖기 위한 간석지를 조성하는 데에는, 간석지 전면에 있어서 해수로부터 실트 성분이 침강 가능한 장소의 선정이 중요하다.

참 고 문 헌

[1] Confer, S. R. and Niering, W. A., 1992, "Comparision of Created and natural freshwater

- emergent wetlands in Connecticut(USA)", *Wetlands Ecology and Management*, Vol. 2, No. 48, 143-156.
- [2] Date, E., Seike, T., Izawa, H., Hoshino, K., 1989, "The Cycle of C, N and P in Hiroshima Bay", *Journal of Japan Society on Water Environment*, Vol. 12, No. 9, 567-574.
- [3] De Jonge, V. N. and Van Beusekom, J. E. E., 1995, "Wind and tide-induced resuspension of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary", *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 40, 766-778.
- [4] DeFlaun, M. F. and Nayer, L. L., 1983, "Relationships between bacteria and grain surfaces in intertidal sediments", *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 28, 873-881.
- [5] Havens, K. J., Varnell, L. L. and Bradshaw, J. G., 1995, "An assessment of ecological conditions in a constructed tidal marsh and two natural reference tidal marshes in coastal virginia", *Ecological Engineering.*, Vol. 4, 117-141.
- [6] Maritime Safety Agency, 1997, *Ocean Environment in Hiroshima Bay, Part 5 of Report*, Hydrographic Department, Japan.
- [7] Meyer-Reil, L. A., Dawson, R., Liebezeit, G., Tiedge, H., 1978, "Fluctuations and interactions of bacterial activity in sandy beach sediments and overlying waters", *Marine Biology*, Vol. 48, 161-171.
- [8] Middelburg, J. J., Klaver, G., Nieuwenhuize, J., Wkelemarker, A., Hass, W., Vlug, T. and Van der Nat, J. F. W. A., 1996, "Organic matter mineralization in intertidal sediments along an estuarine gradient". *Mar. Ecol. Prog. Sev.*, 132, 157-168.
- [9] Miyoshi, K., Shimati, T. and Kimura, K., 1990, "A Capacity of Purification at Constructed tidal flat", *Tokyo Metropolitan Research Institue of Environment Science (Annual report)*, 120-125.
- [10] Montagna, P. A., 1982, "Sampling design and enumeration statistics for bacteria extracted from marine sediments", *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 43, 1366-1372.
- [11] Ogura, O. and Imamura, H., 1995 "Creative technique for Constructed tidal flat", *Japan Bottom Sediment Management Association*, Vol. 64, 61-78.
- [12] Porter, K. G. and Feig, Y. S., 1980, "The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora", *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 25, 119-125.
- [13] Tsuchiya, M. and Kurihara, Y., 1976, "Studies on the distribution of the macrobenthos with special reference to the movement of the fine particles at GAMO LAGOON, MIYAGI PREFECTURE", *Physiol. Ecol. Japan.*, Vol. 17, 145-151.
- [14] Wang, F. C., Lu, T. and Sikora, W. B., 1993, "Intertidal marsh suspended sediment transport processes, Terrebonne Bay, U.S.A..", *J. Coast. Res.*, Vol. 9, 209-220.
- [15] 港灣環境創造研究會, 1997, "よみがえる海浜-環境創造21-", 山海堂東京, 230.
- [16] 環境廳編, 1995, 平成 6年版 環境白書總說, 大藏省印刷局, 369-371.
- [17] 中野政詩, 宮崎毅, 塩澤昌, 西村拓, 1995, 土壤物理環境測定法, 東京大學出版會, 東京, 64~74.
- [18] 岡田光正, 1994, "濕地の特性とその機能", *日本水環境學會誌*, Vol. 17, No. 3, 142-148.
- [19] 李 正奎, 西嶋涉, 向井徹雄, 瀧本知人, 清木徹, 平岡喜代典, 岡田光正, 1997, "自然および人工干潟における構造と有機物分解能の比較", *日本水環境學會誌*, Vol. 20, No. 3, 175-184.
- [20] 三好康彦, 大島奈緒子, 木村賢史, 紺野良子, 1991, "人工海浜の浄化能力について(その3)-底質のよる水質浄化能力の相違", *東京都環境科學研究所年報*, 124-137.
- [21] 栗原康編著, 1988, "河口・沿岸域の生態學とエコテクノロジー", 東海大學出版會, 43-118.