

바다는 우리 인류에게 무엇인가?

- **식량의 공급처**
태초부터 인류는 바다의 **식량자원**을 다양하게 이용하고 있다.
- **교역의 통로**
해운은 바다를 자연의 장애물에서 문명구축의 수단으로 변형시켰다.
- **자원의 보고**
바다는 인류가 가장 크게 의존하는 **자연자원의 보고**이다.
- **생활 및 산업 공간**
세계 인구의 60% 이상이 해안에서 60km 이내의 해안지역에 **거주**한다.
- **전쟁터**
해전은 인류 역사와 문명의 방향을 결정했다.
- **문화와 지식의 산실**
해양은 **모험**과 **진취적 기상**의 원천이고, 지식을 **탐구**하는 학습장이다.

5

인류문명의 미래와 바다의 역할

- **21세기 인류가 극복해야 할 문제점들:**
◀ **자원의 고갈** ◀ **생활환경의 질적 악화** ◀ **지구환경의 변화**
- **무한한 해양의 잠재력**
- 해양의 대부분은 아직 인류에게 **미지의 영역**이다: 도전의 가능성
"바다에 대한 지식은 달 표면에 대한 지식에도 못 미친다" <R. Ballard>.
- **기술의 발달과 해양연구 및 이용의 새로운 가능성**
- 바다는 인류가 가장 크게 의존하는 **자연 자원의 보고**이다.
- **인류의 last frontier는 deep ocean이다!**
- 우주는 인류에게 지구의 대안이 될 수 없다.
- Biosphere 연구계획의 실패
- **세계와 미국의 노력**
- 유엔의 1998 '세계 해양의 해' 지정
- 미국의 '국가해양회의'와 'Ocean Act of 2000'
- 94년 이후, 세계 각국 **바다의 날** 제정, 우리나라는 96년 제정, 5월 31일

6

변화하는 해양의 기본적 조건

- **풍요에서 결핍으로, 조화에서 갈등으로: (IWCO)**
 - 해양**이용**의 범위와 강도가 크게 **증가**; 수용력의 위협
 - 인간 수요를 충족시킬 해양의 **용량**이 지속적으로 **감소**; 이해의 충돌 야기
 - 해양의 건강상태 **악화**; 육상기원 오염물질의 유입
 - **사고**의 가능성 **증대**; 유해물질의 운송과 배출, 핵무기 및 핵 추진 선박 등
 - 급격한 **인구증가**와 선진국 경제성장; negative developments 초래
 - Science-based technology의 **가속화**; 새로운 해양이용의 가능성
 - **해양범죄**의 빈발; 국가 해양관할 능력의 훼손.
- **해양환경이 직면한 문제점: (Costanza et al., Science, 1998)**
 - **남획**
 - 폐기물의 **유출**과 **해양배출**
 - 연안생태계의 **파괴**
 - 육상기원 **오염**
 - **기후변화**

7

바다: 공유지

- **지구공유지(global commons) 해양**
 - ◀ 해양은 어느 개인, 어느 국가에 귀속되지 않는 인류의 **공동유산**이다.
그러나 누구나 자유롭게 이용할 수 있는 공유지의 종말은 파멸이다.
 - ◀ Garrett Hardin (1968), "**The Tragedy of the Commons**".
- **유엔해양법(UNCLOS III) 체제 하의 해양**
 - ◀ 달라진 해양의 개념: **유한한 자원**, **제한된 환경용량**
 - ◀ 새로워진 국제 해양질서: **분할된 바다**, **관리되는 바다**
- **지구환경의 조절자 해양**
 - ◀ 지구의 **기후**는 바다에 의해 **조절**된다.
 - ◀ 지구환경 변화에 대처하기 위한 해양지식의 **확충**이 시급하다.

8

지구, 바다, 공유지의 비극



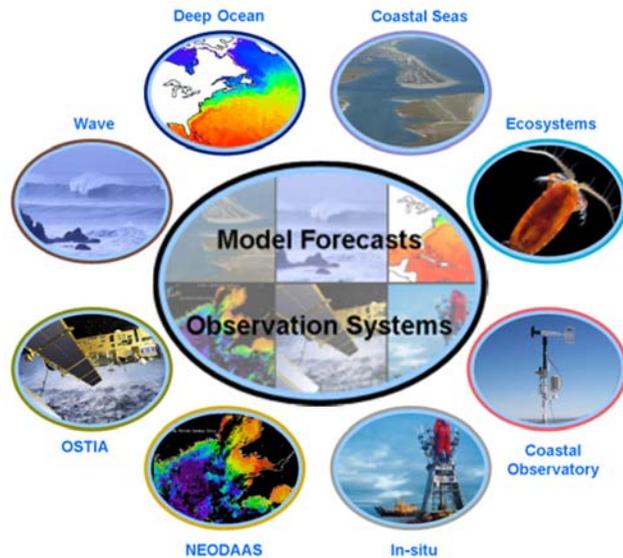
9

바다의 과학 해양학

- 해양학이란?
The application of all science to the phenomena of the ocean.
즉 바다의 자연현상에 모든 영역의 과학을 적용하는 학문이다.
- 해양학의 분야
 - 물리해양학: 해수의 물리적 성질, 해류, 파랑, 조석
 - 지질해양학: 해저분지의 구조와 진화, 해저퇴적물, 과거 해양환경
 - 화학해양학: 해수의 화학 특성, 해수 성분의 분포와 순환
 - 생물해양학: 해양생물의 생태, 분포, 특성
 - 새로운 해양연구 분야: 해양공학, 해양약학, 해저고고학, 해양정책 등
- 오늘날의 해양 연구
 - 위성(satellite) 등 첨단 장비와 기술을 이용한 연구
 - 지구환경 전체 속에서 해양과 대기, 육지, 생물권 등과의 상호작용 연구
 - 심해 환경 연구
 - 환경자원의 이용과 보전 사이의 조화를 추구하는 연구

10

바다의 과학 해양학의 분야



11

우주 속의 지구와 해양

- 공간적 고찰:
해양 < 지구 < 태양계 < 은하계 < 우주
(71%) (9개 행성) (백억 개 별) (백억 개 소우주)
- 시간적 고찰:
우주 탄생 > 태양계와 지구의 형성 > 바다의 형성 > 생명 진화
(150억 년) (46억 년 전) (40억 년 전) (35억년)

12

태양계와 지구의 기원

- 태양은 우주가 탄생한 후 약 **백억 년이 지난 후** 우주 공간의 가스와 먼지들이 중력의 힘으로 뭉쳐 형성되었다고 믿어진다.
- 태양을 형성한 우주의 가스와 먼지 일부는 새로 형성된 태양 주위에 **nebular disk** 형태를 이루다가 지역적으로 다시 뭉쳐서 **행성(planets), 위성(moons), 소행성(asteroids), 혜성(comets)** 등이 되었다.
- 이렇게 형성된 행성 등의 성분 조성은 태양의 그것과 매우 다르며, 이 차이는 태양계 형성과정 초기에 진행된 대규모 **화학적 분리작용**의 결과이다.
- 지구는 미행성(planetesimal)이라 불리는 차가운 고체 조각들이 뭉쳐서 형성된 것으로 믿어지며, 뭉쳐지는 과정에서 행성 내부에 축적된 열로 인하여 구성물질의 용융과 이에 따른 **물질의 분화와 재분포**가 일어났다.

13

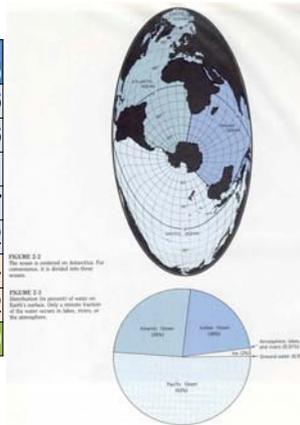
바다와 대기의 기원

- 지구는 태양계 형성 당시에 보유했던 **초기 대기성분들을 잃어버린 것**으로 판단된다 (지구 대기의 krypton, xenon 등 희유가스의 함량이 태양계 평균 함량에 비해 극히 적다). 태양이 형성된 후 약 1천만 년 경의 소위 "T Tauri stage" 동안에 강한 태양풍에 의해 초기 대기가 우주 공간으로 날려갔다.
- 현재의 바다와 대기를 구성하는 물질들은 본래 고체물질(암석) 속에 갇혀 존재하던 **휘발성 가스 성분들(volatiles)**이 화산활동 등으로 방출되어 만들어진 것으로 믿어진다.
- 하와이 화산에서 분출되는 가스들은 **수증기(H₂O), 이산화탄소(CO₂), 아황산가스(SO₂), 질소(N₂)** 등과 함께 소량의 수소(H₂), 일산화탄소(CO), 황(S₂), 염소(Cl₂), 아르곤(Ar) 등으로 구성된다. 이 성분들이 바로 오늘날 대기와 해양을 구성하는 성분들이다. <과잉 휘발성물질>

14

세계 바다의 물 분포

구분	면적 (10 ⁶ km ²)	평균깊이 (m)	체적 (10 ⁶ km ³)
태평양 (주변해 제외)	165.2	4,282	707.6
대서양 (주변해 제외)	82.4	3,926	323.6
인도양 (주변해 제외)	73.4	3,963	291
북극해 (Arctic)	14.1	1,205	17
지중해 (Mediterranean)	2.9	1,429	4.2
동해 (East Sea/Japan Sea)	1	1,350	1.4
동중국해 (황해 포함)	1.2	188	0.2
All Oceans	361.1	3,790	1,370.30



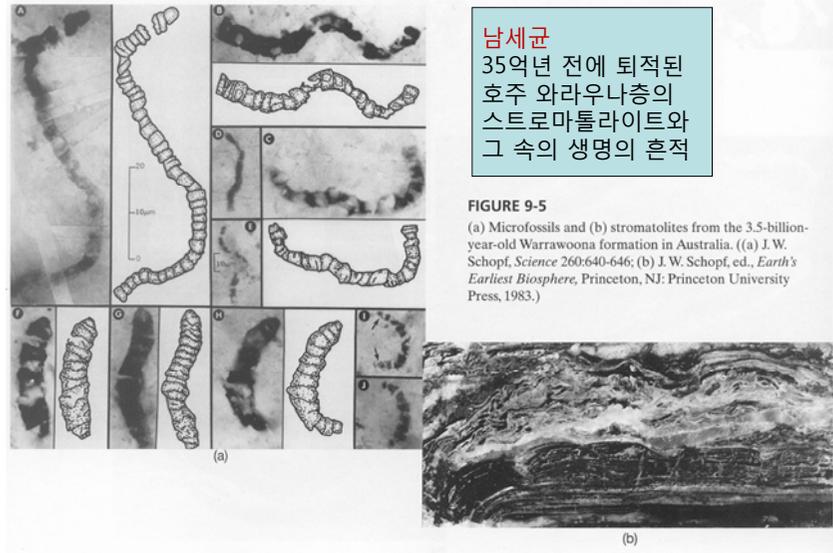
15

생명의 기원과 진화

- 지구상 최초의 생명체는 원시적 **박테리아**였을 것으로 추정된다. (주변의 무기적으로 생성된 유기물을 이용)
- 무기물로부터 직접 유기물을 생산하는 **자영양형** 박테리아의 진화. 예: methane bacteria ($CO_2 + 4H_2 \Rightarrow CH_4 + 2H_2O + energy$)
- 태양광선을 이용하는 광합성 박테리아의 **진화**. (수소, 이산화탄소 및 유기물을 이용했을 것으로 추정)
- 청록조류(bleu-green algae)**의 등장: 산소의 생성. 약 35억년 전의 암석에서 처음 등장 (stromatolite)
- 진핵생물(eukaryotes)**의 등장: 약 15억년 전에 최초 등장
- 단단한 껍질을 지닌 생물들의 등장**: 화석이 풍부해짐, 지질시대 시작.

16

생명의 기원과 진화



17

물과 생명 그리고 환경

- 지구의 가장 큰 특징은 그 표면에 분포하는 **방대한 양의 물**이다.
- 물은 생명체가 존재하기 위한 **필수조건**이다.
- 외계 행성 탐사 시 **물의 존재 여부**가 첫 번째 관심사항이다.
- 물로 인해 지표면의 **기후가 온난하게 유지**된다.
- 지표면 물질순환의 대부분은 **물을 매개**로 하여 이루어진다.
- 세계 식량생산의 가장 큰 제한요인은 **물 부족**이다.
- 인간은 물을 마시지 않으면 며칠 이상을 **생존할 수 없다**.

도대체 **물의 어떠한 특성**이 지구 표면의 가장 풍부한 자원의 하나인 물을 지구의 생태계와 환경에 있어 유일하고 다른 무엇으로 대체할 수 없는 물질이 되게 하는 것일까?

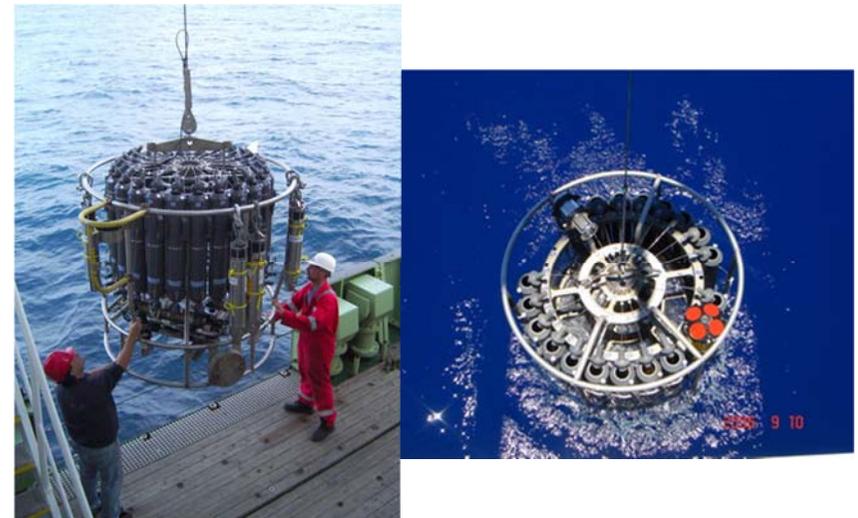
18

물의 중요한 물리·화학적 특성

- **밀도**: 4°C에서 최대, 얼게 되면 부피가 팽창
 - 호수와 바다가 얼어붙는 것을 방지
- **융점과 비등점**: 비정상적으로 높음
 - 지표면에서 물이 액체로 존재할 수 있음
- **열용량**: 암모니아를 제외하고 모든 액체 중 가장 높음
 - 수권이 열의 저장고로 작용; 지표면 온도를 조절하여 극한을 방지
- **기화열**: 알려진 물질 중 가장 높음
 - 대기와 해양에서 중요한 열 전달 수단; 지표면 온도를 조절
- **표면장력**: 매우 높음
 - 구름과 강우의 입자형성 조절; 모세관 현상으로 생물체내의 물질이동
- **빛의 흡수**: 적외선과 자외선이 크고 가시광선은 적음
 - 해양생물의 활동(광합성) 조절
- **용해력**: 이온 염과 극성 화합물의 용해력이 큼
 - 지표 물 순환계와 생물계에서의 물질이동과 순환에 중요

19

해수 특성의 조사: CTD와 Rosette Sampler



20

바닷물의 특성: 수온, 염분, 밀도

• 수온(temperature):

- 바다는 표층으로부터 덩어진다.
- 바닷물은 전반적으로 차다. (열대와 온대 표층만 따뜻함)
- 압력의 영향으로 수심 1km 증가에 약 0.1°C의 수온 증가.
따라서 수온을 비교할 때에는 표층에서의 수온, 즉 온위를 이용.

• 염분(salinity):

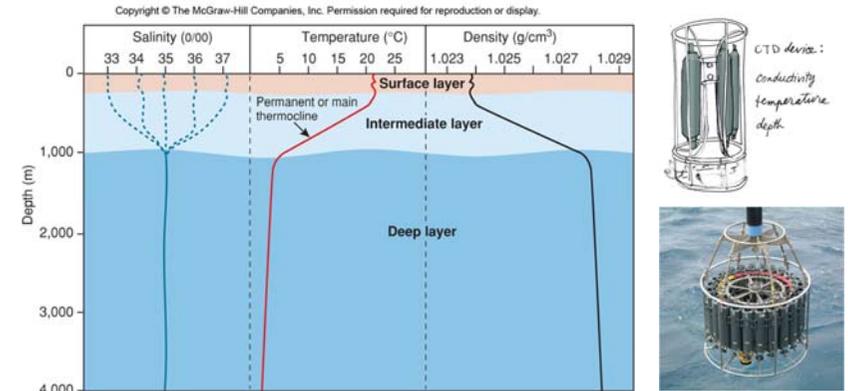
- 1 kg 해수에 존재하는 용존물질의 총량을 천분율(g/kg)로 표시(‰).
- 세계 해양의 염분값은 대체로 34-36‰ 사이에 분포. (연안해역 제외)
- 해수 염분의 변화는 강우, 증발, 결빙 등 물리적 현상에 기인.
어느 해수 수괴의 염분값은 보존적 성질(conservative property)이다.

• 밀도(density):

- 해수의 밀도는 수온, 염분 및 압력에 의해 결정됨. (동일수심에서는 무시)
- 해수 밀도의 비교에는 압력의 영향이 제거된 대기압 하의 밀도를 사용.
시그마티(σ_t) = (density - 1) x 1000 (밀도 1.0264인 해수 $\sigma_t = 26.4$)

21

깊이에 따른 수온, 염분, 밀도의 변화

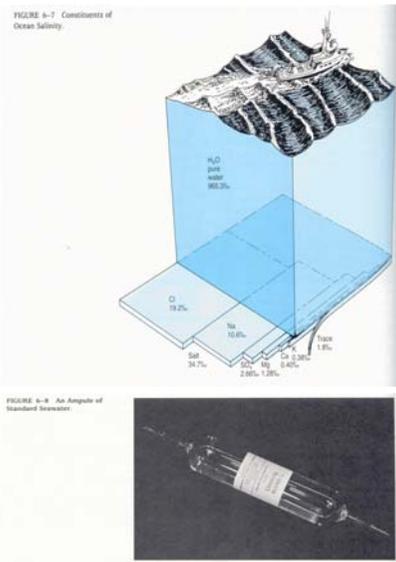


• 해수층의 수직 분포

- 수온약층(thermocline):** 수온이 급격하게 감소하는 층
- 염분약층(halocline):** 수심에 따라 염분이 급변하는 불연속층
- 밀도약층(pycnocline):** 밀도의 수직변화율이 매우 높은 층

22

바닷물의 용존 성분



• 주성분 (100 ppm 이상):

- Chloride (Cl⁻); 전체 염분의 55.04%
- Sodium (Na⁺); 30.61%
- Sulfate (SO₄²⁻); 7.68%
- Magnesium (Mg²⁺); 3.69%
- Calcium (Ca²⁺); 1.16%
- Potassium (K⁺); 1.10%

• 부성분 (1-100 ppm):

- Bromine (Br), Carbon (C), Strontium (Sr), Boron (B), Silicon (Si), Fluorine (F)

• 미량성분 (1 ppm 이하):

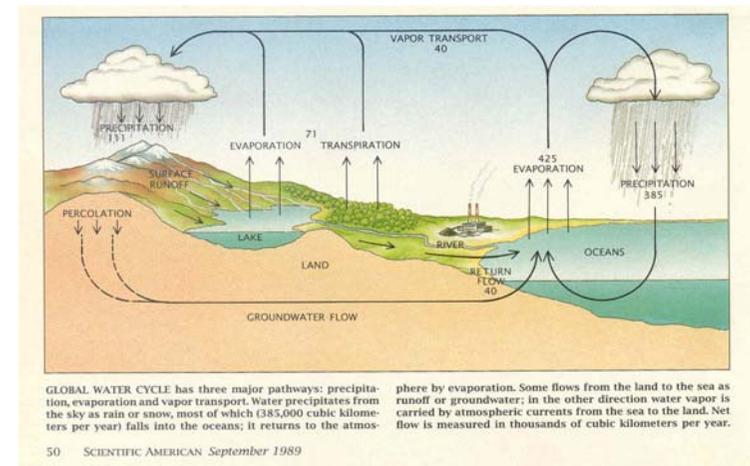
- N, P, I, Fe, Li, Rb, Zn, Mo 등

• 염분(salinity):

$$\text{Salinity}(\text{‰}) = 1.80655 \times \text{Chlorinity}(\text{‰})$$

23

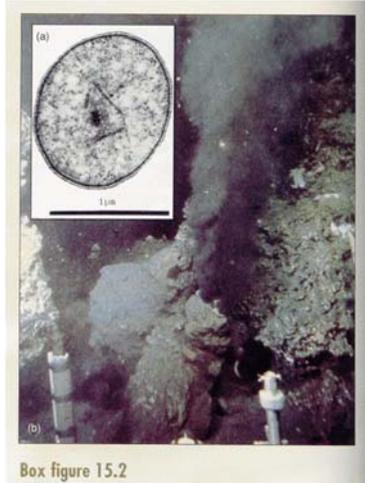
지구 표면에서 물의 분포와 순환



24

바다의 생물과 생태계

- 바다는 지구상의 **생물이 최초로** 발생하여 진화해온 환경으로서 생명의 온상이라 할 수 있음.
- 바다 속에 서식하는 생물들은 아직 다 밝혀지지 않고 있는 상태이며, **심해저의 생물상**은 최근에 이르러서야 그 모습이 조금씩 드러나고 있음.
- 사진은 EPR black smoker에서 채취한 *Pyrococcus endeavorii*로서 **100°C 이상 수온**에 사는 미생물.

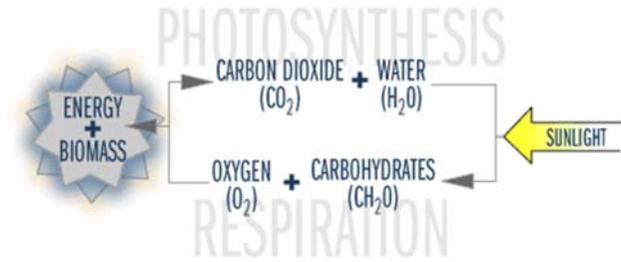


Box figure 15.2

25

생태계의 에너지 흐름: 광합성과 호흡

- 모든 생물체는 여러 생명의 기능을 수행하는데 필요한 에너지를 근원적으로 태양으로부터 공급 받음
- 식물들은 **광합성(photosynthesis)**이라는 과정을 통하여 태양에너지를 생물이 사용할 수 있는 화학적 에너지로 변환시킬 수 있으며, 이 에너지는 광합성의 산물인 유기물 내에 축적됨
- 유기물은 생물의 **호흡(respiration)**과정에서 산화되며, 이때 유기물 내 축적된 에너지는 방출되어 생물의 신진대사에 필요한 에너지로 쓰임



26

해양생태계의 구성 요소

- 생태계의 구성
 - ✓ 해양생물은 생물들 상호간이나 주변의 물과 끊임없이 물질과 에너지를 교환하며, 이렇게 상호작용하는 생물들과 주위 환경은 함께 **생태계(ecosystem)**를 구성한다.
- 생물의 생활방식에 따른 구분
 - ✓ 생물은 생존에 필요한 유기물을 무기물로부터 스스로 합성할 수 있는지 여부에 따라 **자영양생물(autotroph)**과 **타영양생물(heterotroph)**로 크게 구분.
 - ✓ 한편, 타영양생물 중 박테리아 포함 일부 미생물들은 생물 사체를 분해시키는 과정에서 필요한 에너지를 얻음. **분해자(decomposer)**에 해당.
 - **자영양생물(생산자):** 식물, 일부 박테리아(화학합성)
 - **타영양생물(소비자):** 동물(초식동물, 육식동물)
 - **분해자:** 박테리아

27

해양생물의 생활 양식

- 해양생물의 생활 양식에 따른 구분:
 - **부유생물(plankton):** 물에 떠서 사는 생물; 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 박테리아
 - **유영생물(nekton):** 헤엄치며 사는 생물; 어류, 연체동물(오징어), 해양포유류(고래)
 - **저서생물(benthos):** 바닥에서 사는 생물; 조개, 게, 갯지렁이, 갯망둥어, 규조류, 저서성어류
- 해양생물의 분포에 영향을 미치는 환경 요인:
 - **해수의 물리적 특성:** 빛, 수온, 압력, 밀도
 - **해수의 유동 특성:** 파랑, 조석, 해류
 - **해수의 화학적 요인:** 영양염, 염분, 용존산소
 - **생물적 요인:** 먹이, 포식자

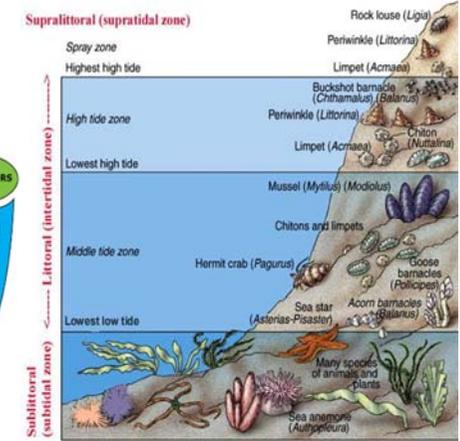
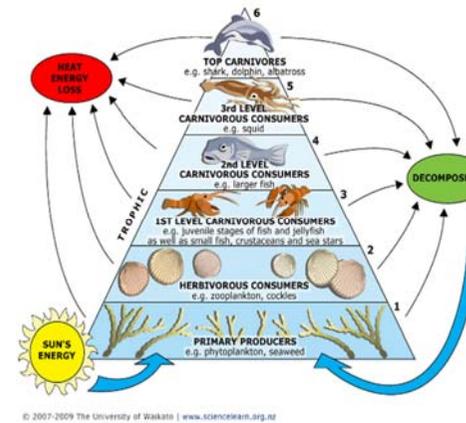
28

해양생물의 환경 적응

- **해수의 밀도:** 해수의 밀도(1.025)가 공기(0.0012)에 비해 크다.
 - 몸체를 지지할 무거운 골격을 가질 필요가 없다
- **해수의 수온:** 수온의 변화가 크지 않다.
 - 체온을 일정하게 유지할 필요가 적다; 냉혈동물이 대부분이다.
 - 해양생물들은 종별로 고유의 적응할 수 있는 온도 범위를 갖는다.
- **해수의 물과 염분:**
 - 식물이 물을 흡수할 발달된 뿌리를 가지고 있지 않다.
 - 생물 체액의 염분농도가 주변해수와 같아 체내 수분보호장치가 필요 없다.
- **해수의 투명도:** 포식자로부터 스스로 보호하기 위한 적응이 필요
 - 몸체의 투명함, 작은 몸체와 빠른 번식속도, 군집의 형성, 주야 수직운동
- **해양의 3차원 서식 공간:** 가라앉지 않고 떠 있을 수 있는 적응 필요
 - 작은 몸체와 돌기물 보유, 체내지방 축적, 어류의 부레,
- **해저질의 다양함:** 바닥 물질의 특성(암반, 모래, 펄)에 따른 분포

29

해양생물의 환경 적응



30