바다는 왜 풍요한가

崔 榮 博 / 水原大學校 總長 · 理博

질소(N), 탄소(CO_2), 산소(O_2)와 같은 기체가 되는 물질 이외는 대부분이 암석이 풍화해서 그안에서 부터 녹아나와서 바다로 유입한 것이라고 말하고 있다.

바다로 유입하기 전에 식물(植物)에 흡수되어 유기물이 되고 이것이 분해되어서 또다시 영양물질이 되는 이와같은 것을 몇회나 반복한 것이라고 본다. 이와 같이 인(P)등의 기체로 되기 어려운 물질은 일단 바다로 유입되면 재차 육지로 되돌아가기가 매우 어렵다.

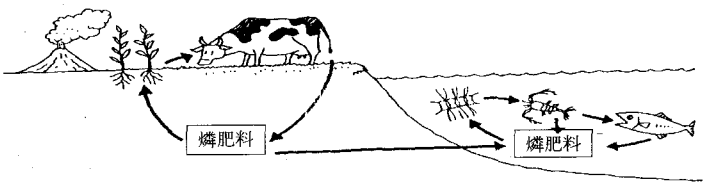
육지의 생물이 바다의 생물을 먹으면 육지로 되돌아가는데 이 양은 극히 근소하다.

이에 대해 기체로 되는 물질은 비교적 신속하게 대기(大氣), 육지, 해양사이를 순환한다.

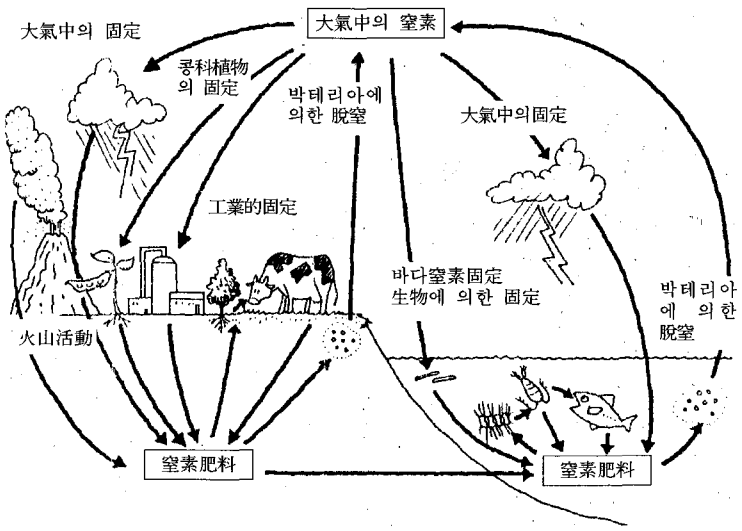
식물은 암모니아 등 질소를 포함한 물질을 흡수함으로써 질소를 이용하는데 그 일부는 공기중의 질소가 천둥에 의해 식물이 이용할 수 있는 형으로 생긴 것이나, 화산 분화에 의해 지중에서 가져온 것이다.

이에 의해 해마다 400만톤의 질소가 대기에서 육지로 이동하였다고 생각된다. 나아가서는 공기 중의 질소를 직접 거두어 들여서 이용 가능한 근입균(根粒菌)등의 생물(콩科植物등과 공생하는 것이 많음)이 있고 이에 의해 해마다 4,400만톤의 질소가 암모니아로 되고 육상으로 이동한다고 생각되고 있다.

또한 해마다 3,000만톤의 공중의 질소가 공업적으로 비료가 되어 사용된다. 한편, 해양에서는 생물에 의해 해마다



〈그림 1〉 인의 순환, 암석에서 녹아나온 인공비료 중의 인은 육상생물에 이용된 후 바다로 유입하여 해양의 생물사이를 순환해서 육상으로 돌아오지 않음



〈그림 2〉 질소의 순환. 바다에서도 대기중의 질소를 거두어 들이든가 탈질하는 생물이 있음

1,000만톤, 천둥 등의 자연현상에 의해 해마다 400만톤의 질소가 질소비료로 되어 대기에서 해양으로 이동한다고 생각되고 있다.

농업에서 뿌려진 질소비료 중 식물에 취입되지 못하고 흘러간 질소비료도 결국은 바다로 유입된다.

따라서 약 3,800조톤이라 하는 대기중의 질소가 시간의 경과에 따라 모두 질소비료로 되어 육지나 해양으로 이동하고 마는 것이 되는데, 생물중에는 질소비료를 분해해서 질소까스를 만드는 일을 하는 것이 있고, 일부 질소비료는 가스로 되어 대기중으로 나온다. 이것을 탈질(脫窒)이라 부른다.

이와같이 질소는 육지와 해양과 대기사이를 순환하는데 있어서 어느 곳으로 편기하지 않고 있다. 탄소나 산소도 이와같은 순환을 하고 있다.

그런데 이 균형은 자연에 의해 유지되고 있기 때문에 인공적으로 만들어진 비료에 대해서는 그렇게 되지 않는다.

질소를 포함한 비료가 대량적으로 뿌려지면 생물의 분해에 의해 대기로 되돌아가는 질소도 늘어날 것이지만 인류가 매년 만들어 내는 양에는 도저히 뒤따라가지 못한다. 그 결과 세계 중에는 영양이 과다한 곳이 나타나고 해마다 확대돼 가고 있다. 호소, 하천, 육지에 면하는 바다에서 특히 심하게 되어있다.

한편, 해양은 지구표면적의 71%를 차지하고 있어서 태양으로부터 오는 열의 가장 큰 저장소임과 동시에 지구에서 이산화탄소를 가장 많이 저장하고 있다.

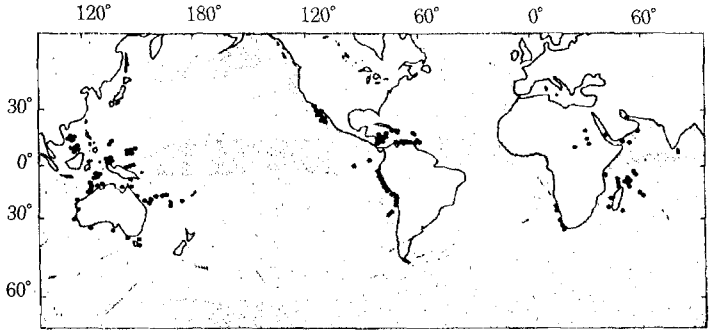
대기 중에는 750Giga톤(1Giga톤은 10억톤)의 탄소가 저장되어 있는데 비해 해양에는 5만Giga톤이 저장되어 있다. 따라서 해양에 저장되어 있는 이산화탄소의 2%만 대기로 배출되어도 대기 중의 이산화탄소의 농도는 2배로 증가하게 된다.

▲ 湧昇作用의 惠澤

해수 중의 영양물질은 생물이 몇번이나 이용한 것이므로 여러 성분이 생물에게 이용하기 쉬운 형과 비율로 포함되고 있다. 하지만 열대나 아열대에서는 1년 중, 온대(溫帶)에서도 여름이 되면 식물이 왕성하게 사용하므로 유광층(有光層)의 대부분에서 영양부족이 심하게 된다.

여기에 깊은 바다층의 물과 함께 풍요한 영양물질이 운반되어 올라온다면 빛(光)합성이 활발하게 된 것이다.

그런데 앞에서 이야기한 바와 같이 표층(表層)의 수10m는 낮과 밤의 온도 차에 의한 대류(對流)나 바람과 파랑(물



〈그림 3〉 검은 점은 구아노를 산출하는 섬. 작은 점으로 나타낸 용승 발생해역을 겹쳐보면 용승으로 좋은 어장이 됨을 알 수 있다.

결)에 의한 난류(亂流)에서 혼합되는데 그 아래의 물은 거의 혼합되는 일이 없다.

이것에 의해 표층의 물에는 별 온도차가 없는데 그 아래에는 급속히 온도가 내려가는 층이 있다. 이것은 수온이 갑자기 변하는 층이라는 의미에서 수온약류(水溫躍流)라 말하고 아래 위의 물을 사이에 두고 벽과 같은 것이다.

그런데 세계의 바다에는 이 벽을 눌러 심층수(深層水)가 자연스럽게 유광층까지 올라가는 일이 있으며, 이것을 용승(湧昇)이라고 말한다.

큰 용승은 남미의 페루외해, 북미의 캘리포니아나 오레곤외해, 태평양의 동부적도해역, 남극해역, 아프리카의 동해안외해 등에서 볼 수 있다. 작은 것은 세계 도처에 있으며 흑조(黑潮)류의 가장자리 등에서 잘 생기한다.

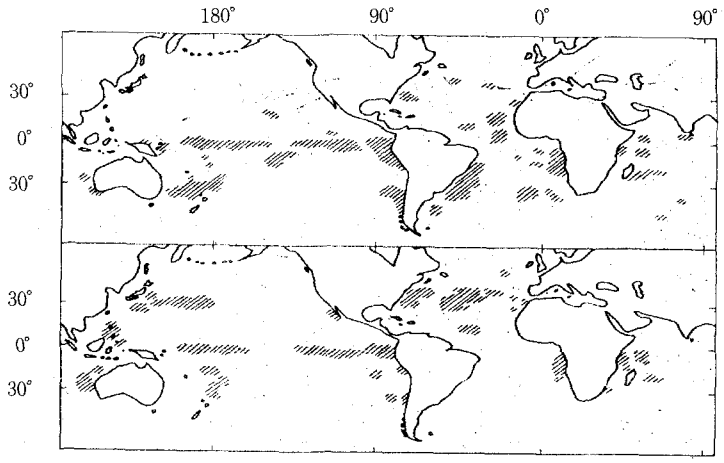
이와 같은 곳에서는 바람 등의 힘으로 해류가 발생하고 이것이 육지나 물덩어리에 충돌해서 그 방향이 바꾸어지고 여기에 지구자전에 의한 영향이 작용하여 심층의 냉각수가 상승한다.

이와같은 용승이 생기하는 해역의 면적은 세계 중에서 40만㎢이라고 보며 전 해면적의 0.1%에 해당된다.

이와 같은 해역에서 생물의 생산이 활발해지는 것은 구아노(guano, 바닷새의 똥이 쌓여 굳은 것, 거름이 됨)나 인광석량, 또는 이전에 시행된 향유고래의 포획 수에서 확실히 알고 있다.

구아노나 인광석은 어류를 먹는 해조의 똥이 육상에 쌓여 이루어진 것으로 그 원은 바다에 녹아있던 인(燐)이므로 가까운 곳에 어장이 있는 증거가 된다. 향유고래가 많이 잡힌 것도 용승에 의한 풍부한 생물을 찾아서 모여든 결과이다.

용승이 생기한 곳과 생기하지 않은 곳에서 식물의 생산량을 비교하면 면적당 3~6배가 된다. 거기에다 용승이 생기하는 곳에서는 대형 종류의 식물플랭크톤이 늘어난다. 이 이유는 아직 불명이나 영양물질이



〈그림 4〉 향유고래가 잡힌 해역, 위는 북반구가 여름, 아래는 북반구가 겨울인 경우

〈표 1〉 外洋, 沿岸, 湧昇, 各海域에서 生産力의 차이

	外洋	沿岸	湧昇域
面積(×1,000,000㎢)	332	26.6	0.4
平均光合成生産(㎎C/㎡/年)	50,000	100,000	300,000
營養段階의 數	5	3	1.5
빛合成生産物이 角類로 옮기는 比率(%)	10	15	20
魚類의 生産(㎎C/㎡/年)	0.5	340	36,000
魚類의 生産(×1,000톤/年)	166	9,044	14,400

㎎C/㎡/年이란 1년에 1㎡당 생산되는 생물의 양을 탄소(C)의 양(㎎)으로서 계산한 것

하는 까닭에 대형으로 가라앉기 어려운 까닭이라고도 한다. 이 식물 플랭크톤의 크기의 차이는 어류 등의 생산량에 크게 관계한다.

해양에서 먹이(모이)를 먹는 생물은 그 먹이가 되는 생물의 10~100배 정도 크다는 관계가 있다.

플랭크톤이 크면 이것을 먹는 생물도 크게 되고 그 생물을 먹는 것은 더욱 대형의 생물이 된 이유이다. 식물플랭크톤이 작으면 이 「먹고 먹히는」 관계가 대형의 고기에 도착하기까지 4~5단계가 있는데 식물플랭크톤이 크면 이 단계(영양단계)가 더욱더 적다. 모이를 먹은 생물은 모이가 되는 생물의 10~30%를 이용하고 나머지는 버리기도 한다. 그러므로 「먹고 먹히는」 단계가 적을수록 낭비가 작은 것이 된다.

사람에 있어서도 정어리를 먹는 것과 정어리를 모이로 해서 양식한 방어새끼를 먹는데 있어서는 직접 정어리를 먹는 쪽이 훨씬 낭비가 적은 데 이것과 같은 것이다.

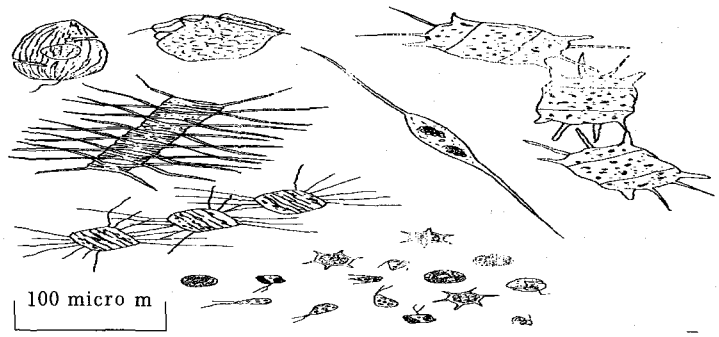
요컨대, 대형의 식물플랭크톤이 발생하는 곳에서는 생산한 유기물이 보다 낭비없이 고기 등에 이용되고 그 결과로 방대한 양의 고기가 생산되는 것이 된다. 〈표 1〉을 보면 알 수 있는 바와 같이 세계의 어류생산의 반이상이 해면의 0.1%를 차지하는데 지나지 않은 용승해역에서 올릴 수 있는 것은 이 이유에 의하는 것이다.

▲ 海水를 肥料로 사용한다

오랜 세월 사람들은 식물도 유기물을 영양으로 하고 있다고 믿었다. 유기물을 썩게 한 퇴비(堆肥)가 농사비료의 중심이었다.

퇴비는 원래 생물이므로 대량으로 만드는 것은 어렵고 농작물의 생산은 한정된 것이었다. 그런데 1800년대에 독일의 화학자 "리·빗히"는 식물은 유기물만이 아니고 무기물(無機物)을 이용하고 있다는 것을 처음 발견했다.

이에 대한 책이 발간된 것이 1840년이다. 무기물의 비료로서 먼저 착안된 것은 칼륨(K)이다. 칼륨은 독일에 풍부한 암염(岩鹽)에서 간단히 얻을 수 있으므로 칼륨이 부족한 농지에 사용되고 따라서 독일의



〈그림 5〉 위는 용승이 생기하는 해역에서 볼 수 있는 식물플랑크톤. 아래는 보통의 바다의 그것에 비해 매우 대형이다.

농작물은 증산되었다.

이에 따라 인구도 증가되고 많은 사람이 농촌에서 도시로 나와 공업에 종사할 수 있게 되었다. 독일은 유럽만이 아니고 미국에도 칼륨비료(칼리비료)를 수출해서 더욱 많은 농산물을 수출하는 것이 가능하게 되었다.

1차 세계대전이 시작할 때까지 미국은 독일이 생산하는 칼리비료의 20%를 수입하고 해마다 1,300만달러를 지불했다. 그래서 독일은 강대국이 되고 연합국과의 사이에 제1차 세계대전을 발발하게 한다. 패망한 독일은 배상금에 고통을 받고 이것이 제2차 세계대전으로 연결되었다.

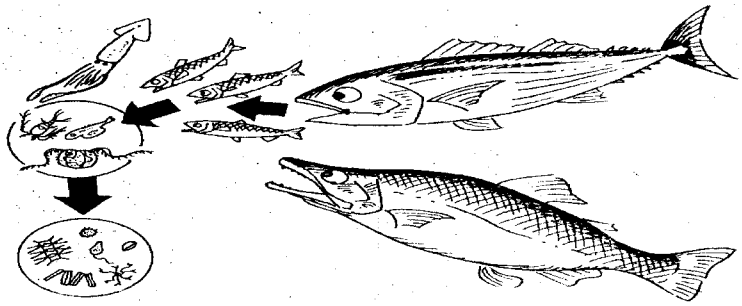
제1차 세계대전 시작 전에 미국은 독일로 부터의 칼리비료의 수입이 두절되는 것을 겁내어 켈리포니아 외해에서 채취할 수 있는 거대형다시마(자이언트·켈프)로부터 칼리비료를 취하고자 생각했다. 이때가 1913년이었다.

켈리포니아 연안은 용승에 의한 풍요한 영양물질에 의해 거대다시마의 숲으로 되어있다.

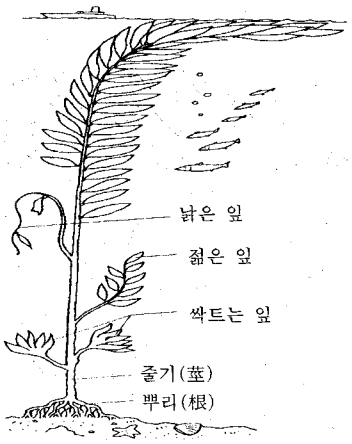
거대다시마는 해저의 암석에 뿌리를 내리고 꽉 들어찬 모습으로 생육되는 다년생의 해조(海藻)로서 미역 녹이채 등과 같은 갈조류(渴藻類)이다. 해조류 중에서 가장 큰 것으로 전체가 갈색에서 회색(잿빛)으로 덩굴초와 같은 줄기에 잎이 나와 있다. 잎에는 공기가 꽉 차고 있는 띄우게(浮子)와 같이 되어있고 이에 따라 잎 전체가 해면 가까운 곳에 떠 있다. 그래서 바닷가에서 보면 거대형다시마의 숲이라고 하였다.

이와같은 거대형다시마는 우리나라나 일본에는 없고 남미, 북미, 호주, 뉴질랜드, 아프리카 등에 넓게 분포되고 있다.

빛이 거대형다시마의 앞을 지나가면 100% 가까이 흡수된다고 한다. 그래서 그 숲 가운데는 어둡고 때때로 나무사이로 빛이 새어 나오는 것같이 빛이 들어온다.



〈그림 9〉 식물에서 대형의 고기까지 먹고 먹히는 삼각관계를 영양단계라 말한다.



〈그림 7〉 거대형다시마

거대형다시마는 너무 크기 때문에 재배하기가 어려우나 1984년 켈리포니아의 몬토레이만 수족관이 처음으로 자연에 가까운 환경을 만들어서 이 거대형다시마의 숲을 재현하는데 성공했다.

거대형다시마는 하루에 50~60㎝나 길어지고 길어진 부분을 건조시켜 무게를 계측하니 1㎡당 1~5㎏나 되었다. 길어진 잎은 60m나 되고 생무게는 20~200㎏나 되었다. 잘 생육한 것은 6~18m깊이까지 혼탁한 바다에서 매우 얕은 곳에 생육한다. 깨끗한 바다에서는 깊은 곳까지 살며 켈리포니아에서는 수심 40m 정도까지 살고 있는 곳을 볼 수 있다고 한다.