

酸素가 없는 바다와 海水의 飲用

지구상에는 4만종류를 넘는 소위 척추동물이 서식하고 있다.
 이들 중에는 사막과 같이 극단적으로 수분이 적은 환경에 살고있는
 낙타나 캥가루쥐도 포함되는데 이와같은
 동물의 혈액 염류농도는 좁은 범위로 분포되고 있다.
 따라서 이와같은 동물들은 지구상의 다양한 농도의 염류 환경이나
 수분환경에 넓게 분포하기 위해서는 여러 기구(機構)에 의해
 언제나 혈액의 염류 농도가 변화되지 않도록 하고 있다.

최 영 박 / 理博·고려대명예교수·전 수원대 총장

酸素가 없는 바다

생물체를 구성하는 탄소(炭素, C), 질소(窒素, N), 산소(酸素, O) 등의 원소에 관련되는 환경문제는 대기중의 탄산가스(CO₂) 아산화질소(N₂O, 보통 笑氣라함)의 증가 등이 지구규모에서 사람이나 동물의 생활에 심각한 영향을 미치는 형태로 등장한다.

왜 이와같이 간단하게 지구의 전체적인 문제로 되고 말았는가? 탄산가스나 소기도 대기중에 가스체로서 존재한다고 하면 그만이지만 생각을 바꾸어보면 다음과 같이 말할 수가 있다.

생물체를 만드는 주된 원소

는 N, O, C 등의 가스나 수증기의 형태로 대기의 성분을 형성하고 있다. 이들 대기중의 성분은 인간 생명이 지구에 탄생한후, 생명에 의해 창조된 새로운 경로에 따라서 각 원소의 싸이클을 짜넣게 되었다. 질소를 예로 들면 생물체는 질소고정(탄산가스→생물체)과 탈질(脫窒)(초산→질소가스)의 경로를 만들고 지구 규모의 질소싸이클을 완성시켰다.

이 짜임(구조)에 의해 지구의 모든 장소에서 질소 고정 생물을 중심으로한 생물계가 발전하고 특정 장소에 질소가 편재되지 않게 되고 말았다. 이와같은 것을 역으로 생물권

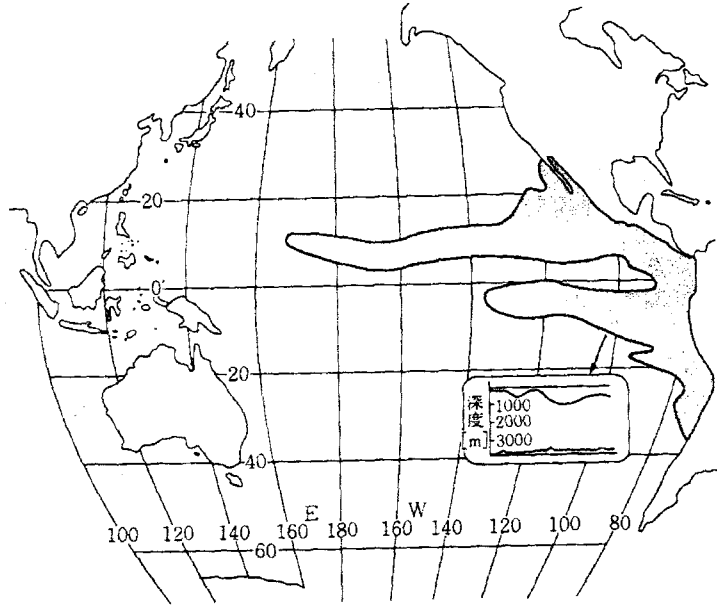
에 시작된 생원소(生元素)의 변동이 바로 대기에 나타나게 되었다.

거의 30년전 바다의 질소수지(收支)에 대해서 탈질부분은 거의 모르고 있었다. 하천이나 강수(降水)에 의해 1년간 바다에 초래되는 총 질소량은 거의 8,000만톤인 것에 대해 해저의 퇴적물 중에 매몰하는 질소는 해마다 1,000만톤으로 10% 이상에 불과하다. 만약 해중의 질소가 탈질작용에 의해 재차 기체의 질소로 되돌아오지 않는다고 하면 5000만년에서 대기중의 질소가스는 모두 해중에 쌓여 모이게 되어있는 것으로 볼수있다. 그래서 바다의 어느곳에서 탈질이 일어나는가를 찾는 시도가 수행된다.

생물에 의한 탈질이 진행되기 위해서는 산소가 없는 환경이 필요하다. 통상 많은 세균 및 동물은 산소호흡을 해서 체내에 섭취한 유기물을 산화하고 생명활동을 유지하고 있다.

〈표 1〉 각조의 海洋脫窒量

海 域	脫窒量 [gN/年]
濱明湖(일본)	9×10^7
타원灣(가라코파스)	2×10^8
가리아고海溝	2×10^{10}
黑 海	7×10^9
東部熱帶太平洋	5×10^{13}



〈그림 1〉 酸素가 없는 바다(網눈의 海域)四角內는 그 斷面

하지만 어떤종류의 통상혐기성균(通常嫌氣性菌)이라고 부르는 세균들은 산소가 없어도 초산(初産, NO_3)의 산소원자를 사용해서 호흡할 수가 있다. 탈질균은 이 부류에 속하고 있으며 초산을 질소가스로 바꾼다.

외해(外海)의 조사를 충분히 할수가 없을 때에는 먼저 가까운 곳의 산소가 없는 바다로서 흑해(黑海)나 베네주엘라의 '가리아고' 해구(海溝)에 주목하였다. 이들 바다는 수 100m 이상의 깊이에는 전혀 산소가 없고 또한 초산도 없어지고 있다. 이 까닭에 탈질이 진행되는 속도는 산소가 없는 층에 어느 만큼의 초산을 포함

한 해수가 들어오는데 따라 결정되고 만다. 이 양의 최대값을 견적한 결과 탈질량은 고작 합계로서 3만톤-N/년 밖에 되지 않고 도저히 바다의 수지(收支)를 마련하기가 불가능한 것이 명확하게 되었다.

2차세계대전후 각나라의 해양연구선에 의한 본격적인 해양관측이 시작되고 페루 먼바다의 대규모 무산소물덩어리(水塊)의 실체가 명백해졌다.

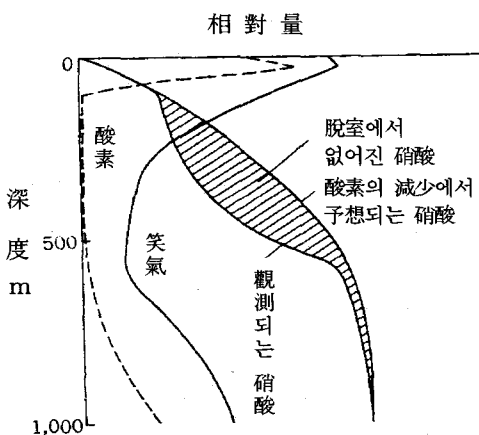
이 물덩어리는 〈그림 1〉에 나타내는 바와같이 동부열대태평양을 적도를 그 사이에 두고 남북으로 존재하고 서쪽에서 동쪽으로 향해 혀(舌)형과 같이 퍼지고 있다.

산소는 깊이 100~1000m

사이에서 거의 소실하고 있으며 전체 해수량으로서는 1×10^{15} 톤의 방대한 량으로 되고 있다. 당연히 이 산소가 없는 바다에서 어느 정도의 탈조가 일어나고 있는가를 견적하기 위한 노력이 기대되어 왔다. 그런데 100m깊이 이상으로 되면 미생물의 활동이 매우 느리게 되고 보통의 방법으로는 그 활성(活性)을 측정하기가 곤란하게 된다. 여러가지 방법이 시도되어 탈질균이 있는것, 잠재능력으로서는 높은 탈조활성을 가지고 있는 것이 판명되었다.

하지만 실제의 해수중에 어느 정도로 되어있는가는 아직 잘 측정되지 못하고 있다. 그래서 다음과 같은 교묘한 방법이 채택되고 있다.

〈그림 2〉와 같이 이 해역에서의 여러 화학성분의 깊이에



〈그림 2〉 酸素가 없는 바다에 있어서 化學成分的變化

따라서의 변화를 나타내었는데 해중에서는 유기물이 세균에 의해 분해될 때 일정량의 산소가 소비되고 이것에 비례하는 량의 초산이 만들어진다.

이 관계는 산소가 없는 바다에서도 성립되며 〈그림 2〉중의 사선(斜線)부분은 당연히 존재하지 않으면 안될 초산량과 실제의 바다에서 초산의 차로 된다. 이 차는 탈질에 의해 상실된 초산이라고 생각할 수가 있다. 이 방법으로하면 어느 지점에서 용존산소의 량과 초산량을 측정하므로써 상실된 초산의 량을 견적할수 있다.

이 바다에서 방대한 조사가 수행되어 물의 흐름을 고려해 넣어 총탈질량으로서 3,000톤/N년의 값이 견적되었다. 이는 동부열대 태평양의 산소가 없는 바다에서 적어도 전체 해양 탈질의 30% 이상을 마련하는 것이 된다.

위에서 기술한 산소가 없는 바다의 탈질은 자연계가 교묘한 피이드 백 시스템을 가지고 있다는 한계이기도 하다.

전지구 규모에서 보면 탈질이 왕성하게 일어나는 장소로서는 연안의 퇴적물, 담(沓)토양지대, 광대한 소택지

등이 생각된다. 이와같은 장소에서 탈질이 일어나므로써 그 장소에 있는 소기(N_2O)가스가 환원되서 질소가스로 되는 장소이기도 하다.

〈그림 2〉에서 아는 바와같이 산소가 없는 층에서는 소기(笑氣, N_2O)의 방출과 증가가 오존(O_3)층에 대해서 중대한 영향을 주는 것이 아닌가하는 경고가 있다. 또한 CO_2 가스만큼 확실하지 않으나 대기중의 N_2O 가 증가하고 있다는 관측결과도 나오고 있다. N_2O 는 암모니아가 초화(初化)세균에 의해 산화되고 아초산으로 될 때에도 생산되는 것이 명백해지고 있다.

N_2O 는 대기중에 질소가스 다음으로 많이 존재하는 질소 화합물이다. N_2O 의 증가에 대해 바다는 어떤 작용을 하는가 앞으로 큰 문제로 되고 있다. 인간의 활동은 공기중의 산소를 소비하고 여러 산화물을 대기중에 여기저기 퍼뜨리는 것이 점차 증가하는 경향이 있다는 것을 생각하면 이들 산화물을 다시 환원해 주는 산소가 없는 바다, 산소가 없는 육지는 자연이 우리 인류에게 주는 귀중한 자산이라고 말할수 있다.

海水를 마시고 보면

제2차세계대전 중에 한 번

원선이 잠수함의 어뢰(魚雷) 공격을 받고 격침되어 구명보트에서 오랜 표류생활을 보낸 승무원의 이야기를 어떤 책에서 읽은 기억이 있다. 그 승무원은 식수를 얻는 것이 식량을 얻는 이상으로 곤란하며 스콜(squall)이 오면 보트에 있는 천이나 포목을 모두 펴가지고 빗물을 빨아들여 음용한 이야기이다.

이 승무원들은 해수에 있으면서 왜 해수를 마시지 않았는가 의문을 가진 일이 생각난다.

해수를 마시면 매우 맛이 짜다(맵다). 이 사실을 생각하지 않았다면 진심으로 마실 수 있지 않았을까.

오늘날 식염(食鹽)은 정제한 거의 순수한 염화나트륨(NaCl)이나 옛날에는 다만 해수를 바짝 조려서 식염을 만들었다. 이와같이 만든 식염은 인체에 무해하므로 해수성분 중에 특히 유해한 것이 포함되어 있다고는 생각할 수 없다.

인체수분은 대부분이 땀과

뇨(尿)라는 형으로 배출된다. 건강한 사람이라 해도 뇨의 농도는 여러 조건에서 3배이상으로 변동한다. 뇨에 포함되는 주요염류의 평균적인 조성을 <표 2>에 나타낸다. 또한 이 표에는 해수와 혈액의 주요염류의 조성도 나타낸다.

해수와 뇨에 포함되는 염류의 농도를 비교하면 Mg와 K 이외는 해수의 농도가 뇨의 2배 가깝게 되어있다.

따라서 만약 인간이 해수만을 식수로서 장기간 사용하면 해수의 염류농도는 혈액의 3배 이상이므로 혈액이 점차 짼게된다. 특히 해수 중의 Mg는 그 농도가 혈액 중의 농도보다 15배 높으므로 축적이 현저하다.

인간의 혈액의 염류농도와 그 조성은 정상적인 대사(代謝)활동을 행하기 위해서는 매우 좁은 범위로 보게될 필요가 있으나 이것이 불가능하게 되어서 결국은 생리적으로 중대한 장애를 일어나게 하는 사유가 된다.

척추동물의 血液과 생선의 염류농도

인간이외의 척추동물 즉, 척골(骨)을 가진 동물은 원구(圓口)류, 어류, 양서류, 파충류, 포유류 등의 혈액은 어떻게 되어 있을까. 장님인 뱀장어 등은 예외적으로 해수와 거의 같은 정도 농도의 혈액을 가지고 있으나, 이것 이외의 척추동물은 물론 인간을 포함해서 해수의 25%에서 50% 정도의 염류농도의 혈액을 가지고 있다.

이 사실은 흥미롭게도 그 척추동물이 해산(海産)이든 담수산(淡水産)이든 혹은 육생(陸産)이든 거주하고 있는 환경에 관계없이 꼭 들어맞고 있다.

따라서 척추동물이 바다에 살고 있는 경우는 혈액에서 주위의 해수로 수분이 워매이게 되므로 새로 수분을 보급할 필요가 생긴다. 또한 하천 등의 담수에 살고있는 경우에는 역으로 주위의 환경에서 체내로 물이 침입해 오므로 이것을 버릴 필요가 있다.

도미, 다랑어 등 해수에 사는 고기도 또한 금붕어, 붕어, 잉어 등과 같이 담수에 사는 고기도 모두 척추동물에 속하고 혈액의 염류농도는 별로 큰 차이가 없다. 해수어의 혈액의 평균적인 염류농도는 해수의

<표 2> 해수와 인간의 뇨·혈액에 포함되는 주요 염류의 농도

이 온	해수(g/l)	뇨(g/l)	혈액(혈청)(g/l)
N	10.9	5.5	3.3
Mg	1.3	0.1	0.1
Ca	0.4	0.2	0.1
K	0.4	1.5	0.2
Cl	19.6	11.3	3.7

약 40%, 담수어의 평균적인 염류 농도는 약 30% 정도이다.

해수어는 호흡할 경우 주로 아가미에서 체내로 수분이 외부로 유실하므로 이것을 보충하기 위해 해수를 마셔야하는데 그 결과 물과 함께 불필요한 염류까지 거두어 들인다. 해수어의 뇨는 혈액보다도 염류농도가 낮으므로 불필요한 염류의 배출에는 별로 도움이 되고 있다고는 생각되지 않는다.

그 역할을 다하고 있는 것은 아가미에 있는 염류세포라 부르는 대형의 세포로서 염류의 주요한 성분인 Na이온을 해수중으로 배출하고 있다. 담수어의 경우는 해수어와 반대로 언제나 주위의 환경에서 체내로 물이 침입해오므로 그대로는 혈액의 농도는 옅게 되고 만다.

이것을 방지하기 위해 체내로 침입한 물을 버릴 필요가 있고 이 까닭에 염류농도가 매우 옅고 거의 물에 가까운 다량의 뇨를 배출한다. 이때 동시에 필요한 염류의 상실을 방지하기 위해 뇨세관(尿細管)이나 방광(膀胱)에서 뇨로부터의 재흡수를 하는데 이에 의한 회수율은 흔히 90% 이상으로 된다. 그리고 아가미를 통해서도 수중으로부터 필요한 염류를 흡수한다.

海水를 마시는 鳥類

바다나 해안에는 많은 해조(海鳥)가 살고 있다. 이들도 척추동물에 속하며 혈액 중의 염류농도는 해수의 30%이다. 일반적으로 조류는 대사(代謝)활동이 활발하므로 호흡에 의해 상실하는 수분이 꽤 많은 것 같은데 이들은 해수를 마시므로써 필요한 수분을 보급하고 있다.

해조의 뇨의 주요염류의 농도를 조사해보면 인간의 뇨보다도 다시 농도가 짙은 정도이나 이 정도로는 뇨가 과잉의 염류를 배출하는 역할을 다하고 있다고는 생각할 수 없다.

많은 해조는 눈과 코사이에 염류선이라는 특수 분필선(分泌腺)을 가지고 있고 여기서부터 해수보다도 훨씬 염분농도의 높은 액을 배출해서 혈액 중의 염분농도가 높아지는 것을 막고있다. 그 농도는 바다 까마귀, 펭귄, 등이검은갈매기 등은 해수의 1.5배정도 혹은 그 이상에서 염류선에서 배출되는 염분량은 뇨에서 배출되는 것의 10배에 도달한다고 추정되고 있다.

따라서 해조의 염류선은 해수어의 아가미와 거의 비슷한 작용을 하고 있으며 나아가서는 전체적으로 염류배출의 기구도 해수어에 거의 비슷하다. 같은 척추동물에 속하는 바다

의 거북, 뱀, 도마뱀 등도 해수보다도 높은 염류농도의 뇨를 만드는 것은 불가능하다.

이들 생물에서도 혈액의 농도가 역시 해수의 30% 정도이므로 해조와 같이 염분의 분필선에서 염류의 배출을 하고 있다.

거북은 잘 운다고하는데 그 눈물은 염류의 불필선에서 나온 것이다.

결론적으로 지구상에는 4만 종류를 넘는 소위 척추동물이 서식하고 있다. 이들 중에는 사막과 같이 극단적으로 수분이 적은 환경에 살고있는 낙타나 캥거루쥐도 포함되는데 이와같은 동물의 혈액 염류농도는 좁은 범위로 분포되고 있다.

따라서 이와같은 동물들은 지구상의 다양한 농도의 염류 환경이나 수분환경에 넓게 분포하기 위해서는 지금까지 논술한 것같은 여러 기구(機構)에 의해 언제나 혈액의 염류농도가 변화되지 않도록 하고 있다.

하지만 주의해 살펴보면 이와같은 다양한 기구에도 공통성이 있고 예컨대 여기서 취급한 해수어, 해조, 거북, 뱀, 도마뱀 등의 염류 배출기구는 서로 매우 비슷한 면을 가지고 있다.

이들 기구에도 생명의 통일성과 다양성을 잘 조화시키고 있다. ♣