

# 赤潮와 撓脚類

최영박 / 수원과학대 학장·고려대 명예교수

## 적조(Red tide)란

중국 발해만에 지난 1997년 9월부터 시작된 적조는 최근 10년간에 발생한 황해의 적조 가운데 면적이 가장 넓고 지속 일수가 가장 길다고 중국 국토자원부 국가해양국(SOA)관계자가 지적한 바 있다.

적조현상은 수온과 염분 및 수중영양분의 변화에 따르는 것으로 사람이 배출한 오염물질이 가장 큰 원인인 것은 두말할 것도 없다. 적조는 바다의 부영양화 상태때문으로 육지의 연해안보다 당연히 깨끗해야 할 외해가 음식물 찌꺼기와 분뇨 등 오물의 투기지역으로 지정되어 오물이 버려져 왔기 때문인 것은 두말할 것도 없다.

조사결과에 의하면 해수면오염으로 남북으로 길게 100여

km에 달하는 적조대가 형성되어 있다고 한다. 한편 남해도 때로는 연안내만역에 여름철에 적조가 발생해서 양식장에서 방어 등의 사멸로 어획량이 격감하고 있다 한다.

적조란 소형의 프랑크톤의 이상대증식(異常大増殖)으로 해수를 적갈색으로 물들이는 현상이다. 또한 적갈색으로 안되어도 프랑크톤의 대증식에 의해 해수의 그 색깔에 변화를 일으키는 경우도 적조라고 부른다.

적조를 일으키는 프랑크톤은 주로 편모조나 규조 등 식물프랑크톤의 집단에 속하는 종류가 많은데 아광충과 같은 종속영양프랑크톤에 의한 적조도 있다. 이들의 적조 프랑크톤이 크게 증식할 경우에는 종류에 따라 다소 같지 않으나 1ml의 해수중에 몇만개체의 프랑크

톤이 존재한다. 바다 일면을 적갈색으로 물들이는 적조로도 된다. 보통 상태이면 해수 1ml당 각종의 프랑크톤의 세포는 각각 몇 개 정도이므로 얼마나 격렬하게 소수 종류의 프랑크톤의 증식(새로 분열)이 일어나는가를 알 수 있다.

적조를 구성하는 프랑크톤이 일본의 경우에는 현재 거의 60종 정도라고 보고되고 있다. 최근 어업 피해를 주고 있는 유명한 *Chattonella*(과거에는 *Hornnella*라 하였다)족의 종류는 라피트 조(藻)라고 부르는 보기드문 집단에 속하고 있었다. 이외에 식물의 큰구분과는 다르나 일반적으로 편모조라고 부르는 종류가 적조에 많이 나타난다. 이 중에는 황색편모조류, 갈색편모조류, 와편모조류나 녹색별레류 등이 나타난다.

또한 식물프랑크톤으로서는 규조, 남조도 적조로서 자주 나타나는 종류도 있다. 해만의 내부가 커피색으로 흐려질 때는 규조의 *Skeltonema Costatum*이라 하는 종류가 대량으로 증식하는 예를 많이 볼 수 있다.

열대에서 아열대에 걸쳐 연안역에서나 외양역에 있어서도 자주 남조의 일종인 *Trichodesmium*의 일종이 대증식해서 바다의 색깔을 적색으로 바꾸는 일이 있다. 다윈의 1830년대의 유명한 '비굴' 호의 세계탐험 항해에 있어서 트리코데스뮴에 의한 외양의 적조현상의 기술은 유명하다.

동아시아의 일본·한국 근해에 있어서 남조에 의한 적조는 자주 관찰된다. 또한 홍해라고 부르는 이 바다는 트리코데스뮴이 다발해서 자주 바다가 붉은 색깔로 되는 경우가 많은데서 이름짓게 되었다.

## 적조의 발생요인

먼저 가장 중요한 생태적 요인의 하나로 생각되는 수온은 여름철에 높고, 주요한 적조 식물프랑크톤이 편모조의 증식 적온은 21~28℃의 범위에 있는 것 같다. 또한 연안역에 있어서 적조는 강우후 일조가

계속될 때 출현되는 예가 많고 우수에 의한 해수염분의 저하, 육지로부터의 영양물질, 유기물의 유입 등도 원인이라고 생각된다.

해양에 있어서 식물프랑크톤의 대증식에 의한 적조가 최근 우리나라 근해 바다에 특히 출현하여 자주 양식어폐류에 큰 피해를 주고 있는데 이는 해양 환경에 무엇인가 적조생물의 이상대증식을 촉진하고 혹은 이것이 방아쇠가 되는 물질이 최근 해마다 증가하는 까닭이 아닌가라고 생각되고 있다.

일반적으로 부영양화라고 부르는 현상, 예컨대 화학적 산소요구량(COD)의 증대, 무기체의 질소나 인산체의 인이 연안 해수중에 증가하고 있는 사실로서 이들은 주로 인간의 활동에 의해 각종의 폐수가 여기에 유입하는 것도 그 이유의 하나로 되어 있다.

부영양화된 해역에서는 식물프랑크톤의 대증식이 발생하기 쉬우나 편모조에 있어서는 반드시 높은 농도의 영양분이 필요하다는 것은 아니고 어떤 물질이 적조 식물프랑크톤의 어떤 종류에 대해 대증식을 일으키는 것이 중요한 과제가 된다.

최근의 연구결과의 몇가지를 보면 비타민 B<sub>12</sub>, 차아민, 비

오친 등을 주로하는 비타민류는 적조 식물프랑크톤의 수종의 증식을 높이는 것으로 밝혀졌다. 특히 해수중의 중금속 등이 해수에 용해하는 것이 적조에 관계된다는 것을 중요시하게 되었다. 해수의 오염은 생태계를 불안정하게 하고 오염물질의 일부가 프랑크톤의 증식을 촉진하고 혹은 저해하는 쪽으로 작용하는 사이에 특정 종류에만 작용한 것이 해수의 오탉과 적조의 발생을 결부시키는 중요한 요인이 된다고 해명되고 있다.

또한 적조로서 발생하는 종류는 선박의 항행이 보다 빈번하게 되어 이 까닭으로 적조생물의 국제화 현상이 있을 것이라고 지적되고 있다.

## 적조의 해작용

적조의 해작용에 대해서는 벌써 몇 개의 가해기구가 생각되어 있다. 그중에서 주된 것은 다음과 같다.

먼저 적조 식물프랑크톤의 대증식에 의해 야간에 광합성이 정지하고 호흡작용만 행하여지면 산소의 결핍이 일어난다. 실제로는 대량의 적조 프랑크톤이 사멸하고 그 분해가 시작되면 대량의 용존산소는 소비되고 동시에 세균류의 활

동이 왕성해지고 특히 조개류의 저서생물에 해를 준다. 또한 적조의 시해에 증식하는 세균은 직접 어개류에 작용하고 혹은 그 생성된 독이 어개류에 직접 해를 미치게 한다는 설도 있다하는데 앞으로 더욱 검토해야 할 문제이다.

적조 프랑크톤에는 이상증식을 하면 다량의 침전물을 분필하는 종류를 많이 볼 수 있다. 이들 침전물질은 어개류의 아가미에 가득차게 되고 또한 파괴해서 질식케하는 설과, 적조 프랑크톤의 자극에 의해 어개류의 아가미에서 침전물질을 과잉으로 분필하여 이것이 죽음의 원인이 된다는 설도 있다.

사실 적조수에 참돔이나 양식방어를 실험적으로 넣으면 아가미에서 다량의 침전이 분필되는 것을 볼 수 있다고 한다.

이외에 적조의 해에 대해서 특히 주의할 필요가 있는 것은 적조로서 출현하는 편모조 중에 체내에 유독물질을 생성하는 종류가 있다는 것이다. *Protoyonyaulax* 축이라 부르는 편모조에는 유독 종류가 많고 이것을 포식한 패류가 유독화해서 사람들이 이것을 먹어 중대한 문제가 된 일이 있다 한다. 이 까닭에 패류의 양식을 하는 해역의 식물프랑크톤은 언제나 감시할 필요가 있고

가리비조개의 양식어장 등에서 최근에는 면밀한 감시·조사가 있어야 한다고 한다.

### 헤엄치는 식물-편모조

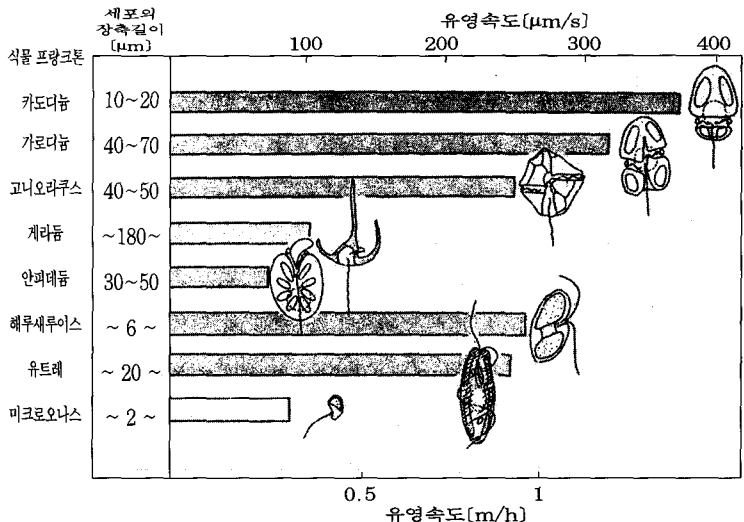
수중에 표류하고 있는 식물 프랑크톤중에는 편모를 가지고 자영력(自泳力)을 나타내는 편모조가 수없이 많다. 편모조는 그 운동성 때문에 동물류에 속하기도 한다. 한 세포당 편모의 수는 종류에 따라 결정되어 있으며 1개 혹은 2,3,4개로 다양하다.

편모운동이라 하는 정자의 움직임이 상상될지 모르나 머리부를 앞으로 해서 편모가 이것을 뒤에서 밀고 가는 것 같이 이동한다. 편모조에는 이와 같이 움직이는 것 외에 편모가

세포를 끌고 가는 것 같이 헤엄치는 경우도 많다. 어떠한 헤엄치기 방식을 하는 가는 편모 자신의 구조와 밀접하게 결부되어 있어서 분류군마다 정해져 있다.

〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 8개 종류의 편모조의 유영속도가 표시되고 있다. 5개 식물물은 과편모조, 순차크리프트조, 녹색별레, 프라시노조의 동아리이다. 가장 빠른 속도의 카도디눔은 1초 사이에 370  $\mu\text{m}$ , 자기몸 길이의 25배 정도 헤엄친다.

여기서 유영속도는 반드시 큰 세포가 빠른 것이 아니라는 것이 주목된다. 편모운동에 의한 편모조는 빛, 화학물질, 온도 등의 좋은 환경을 선택가능하다. 빛에 있어서는 편모기부



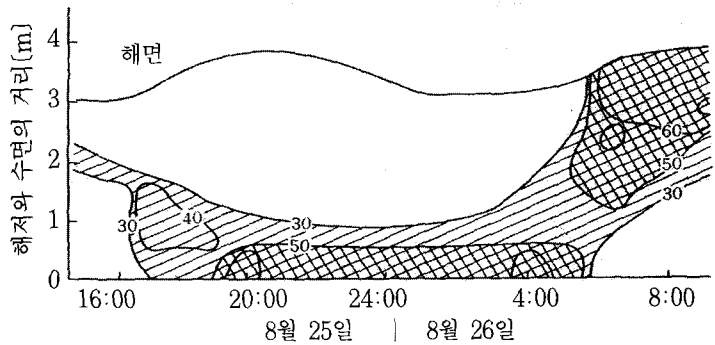
〈그림 1〉 편모조 8종의 유영속도

에 있는 색소가 청색빛(파장 400~500nm)을 감수해서 주광성(走光性)을 제거하고 있다. 다음은 자연에 있어서는 편모조의 유영의 예를 볼 수 있다.

〈그림 2〉는 일본 오오사카의 다니가와 항에서 적조때의 적조편모조의 밤낮의 거동이다. 해면에 물결이 치고 있는 것은 조석의 간만을 위해 수심이 1일 중에서도 변화하는 까닭이다. 편모조의 농밀한 층에서 16시 전부터 내려가고 야간에는 바닥부에 위치하고 새벽 전후부터 상승을 시작한다. 그리고 주간은 표층부근에 분포하고 해면에서 보면 적조상태가 관찰된다. 이와같은 편모조의 일주연직운동은 각지의 성층화된 수역에서 보고되고 있다.

〈그림 3〉은 수심 10m의 대형 실험수조에서 재현된 과편모조 배양의 연직운동을 나타내고 있다.

상부에서의 점등(点燈)에 응답해서 표층부근의 매우 얇은 층에 편모조가 집적되어 있음을 볼 수 있다. 소등실험에서 이동의 타이밍을 조사한 결과 일주연직이동은 빛량의 변화에 직접 대응하는 것이 아니고 세포내 리듬에 의함을 알 수 있었다. 이와같은 수조실험으로 편모조 일주연직운동을 알게 된다. 성층한 수준에서는



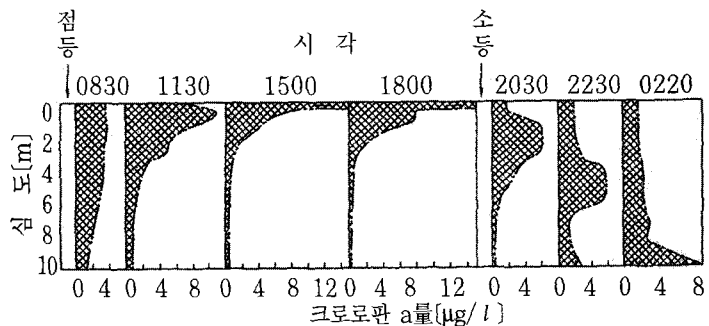
〈그림 2〉 일본 大阪灣谷川항에 있어서 적조편모조의 일주연직이동 (사선부는 3,000세포/ml 이상의 농밀층)

일반으로 표층에서의 영양염은 적고, 하층에서 농도가 높으므로 이와같은 조건아래에서 편모조는 주간표층에서 빛 에너지를 취입해서 야간에 아래층에서 풍부한 영양염을 흡수하고 효율이 있는 증식을 도모할 수 있다.

〈그림 1〉의 유영속도는 1/2 일당 이동거리를 환산하면 16~3m로 된다. 이 정도의 심도차를 편모조가 이동할 수 있을 것이다.

### 撓脚類-바다에서 가장 많은 동물

바다에서 서식하는 것이라 질문하면 누구나 가장 먼저 생각하는 것이 어류일 것이다. 어류는 무엇보다도 먼저 우리들의 음식물이 된다. 또한 조개나 산호나 말미잘 등도 아름다운 색깔이나 형태로 되어 있어서 이들 생물의 종류나 생태에 대한 지식을 갖는 사람이 많다고 본다. 하지만 우리는



〈그림 3〉 대형수조내에서 과편모조의 유영 (R. W. Eppley, O. Holm-Hansen and J. D. H. Strickland : J. Phycol. (1968)에서)

요각류라고 부르는 작은 동물을 들은 일이 드물다.

이 동물은 겨자씨알 정도로 육안으로 보기가 어려울 정도의 크기로서 해중으로 잠수하는 사람도 그 존재를 알기는 어렵다. 또한 요각류라 하는 말 그 자체를 아는 사람도 적다. 그런데 이 요각류야말로 바다라는 환경에 가장 교묘하게 적응하고 번식하는 동물인 것이다.

그 수는 바다에 사는 동물중에서 압도적으로 많고 지구상의 바다에는 수면부터 해저까지 요각류에 의해 점유되어 있다.

〈그림 4〉는 부유성 요각류의 대표적인 종류인 카라누스를 북부측에서 본 그림이다. 이 그림에서 왕새우를 연상하는 사람도 있을지 모르나 요각류는 새우와 같은 갑각류로서 탁다리강(綱) 요각아강(亞綱)이라는 분류군에 속하는 동물이다. 단, 왕새우의 몸길이는 30cm에 달하나 이 요각류는 8mm이하이다.

요각류의 몸은 머리부와 가슴이 붙은 가늘고 긴 타원형의 앞몸부와 원통형의 뒷몸부로 되어 있다. 머리부의 앞가슴에 있는 긴 채찍줄과 같은 것은 촉각으로서 물의 점성에 의해 요각류의 몸전체를 수중에서

지탱하는 역할 외에 각 절(節)에 나있는 감각털로서 수류나 화학물질을 감각하든가 교미할 때에 암컷이 수컷을 잡기 위한 포촉기관도 된다. 촉각뒤의 머리부 전체는 많은 수염과 같은 것으로 덮여 있는데 이것은 모두 먹이를 잡기 위한 기관으로 5대의 부속지(肢)로 되어있으며 각 부속지는 이를 끌어 당기기 위해 수류(水流)를 일으키고 먹이잡기, 맛의 식별역할 등을 하는 것으로 본다. 전체부의 후반에 수중을 헤엄치기 위한 5대의 유영지가 있다.

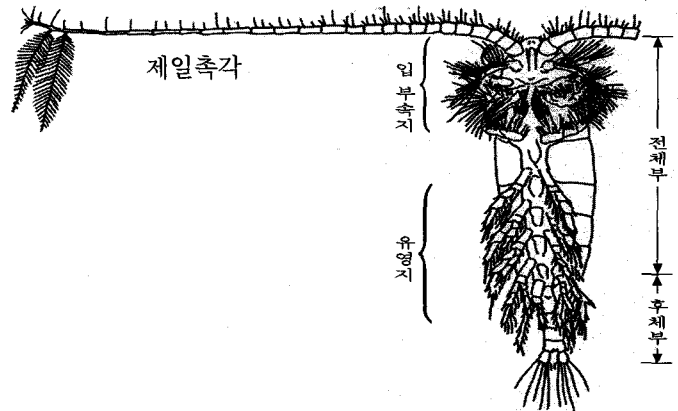
요각류라는 말은 라틴어의 Copepoda에서 유래된 것으로서 이것은 노와 같은 다리를 앞 뒤로 세게 흔들면서 수중을 진행하기 위한 것이다.

요각류 중에는 프랑크톤 생

활을 하는 부유성요각류의 수량이 많은 것으로 알려져 있다. 부유생활은 요각류로서 동물군이 획득한 생활양식의 일부분에 불과하고 요각류 전체로서 서식장소는 해중의 소위 모든 공간에 미치고 있다. 현재 알려진 요각류의 종류는 15,000을 초과하며 부유성의 종류는 그 반에 지나지 않고 나머지 대부분은 저생생활이나 기생생활을 하고 있다.

저생성의 요각류는 해저의 모래안이나 그 위를 기어다니고 미세한 조류나 박테리아, 원생동물 등을 먹이로 한다. 또한 해조나 돌 등의 표면에도 많은 요각류가 있어서 역시 해조나 돌 표면에도 요각류가 있으며 역시 표면에 부착하는 조류 등을 먹이로 한다.

기생성의 종류에는 고기류의



〈그림 4〉 부유성 요각류(*Calanus hyperboreus*) (Giesbrecht, 1892에서)

몸 표면, 아가미 등에 기생하고 체액을 빨아내는 고기이나 닳줄벌레등 외에 무척추동물의 몸 표면이나 몸안에 기생하는 것이 있다. 숙주(宿主)에는 해면, 해파리, 갯지렁이, 새우, 게, 성게, 불가사리, 멧게 등 모든 해산동물군이 포함되고 있다.

이와같이 다양한 생활장소에 적응하는 요각류는 그 크기나 형태 변화가 다양하다. 부유성 요각류는 소형으로 보통 0.5~10mm 정도이나 기생성 요각류에는 대형의 것도 있고, 다랑어나 개복치에 기생하는 종류는 몸길이가 20cm에 달하는 것도 있다.

〈그림 4〉의 가라누스는 전형적인 부유성의 몸형태로서 수중에서 부유하기 위한 촉각, 유선형의 두부, 노와같이 헤엄치는데 적합한 부속지를 가지고 있다. 저생성은 촉각이 짧으며, 해조등 표면에서 생활하는 종류는 몸형이 평평하게 되어 있다. 또한 기생성 요각류의 대부분은 헤엄을 치기 때문에 부속지가 퇴화하고 그 대신에 숙주에 매달리기 위한 고리형 입의 부속지가 발달하고 나아가서는 숙주의 체액을 흡수하기 위한 관형의 입을 가지는 것도 있다. (〈그림 5〉)

기생성에서 현저하게 특수화

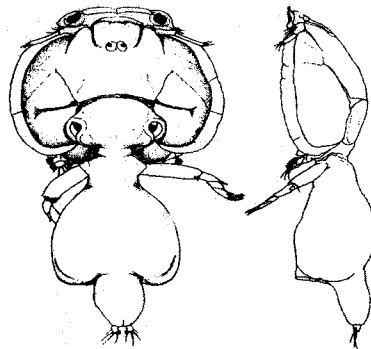
된 종류는 체절(體節)이 거의 상실하고 요각류는 물론 갑각류라고 생각할 수 없을 정도로 기묘한 형태의 것이 있다. (〈그림 6〉)

요각류는 그 수가 매우 많은 동물로서 지구상 전 요각류의 고체수는 다른 모든 다세포 동물은 합계한 수보다도 많다. 이 수가 많은 정도는 요각류 중에서도 특히 지구표면의 70%를 차지하는 평균수심 3,800m라 하는 광대한 해양을 생활공간으로 하는 부유성 요각류에 의하는 것이다. 그 고체수 밀도는 생물량이 적은 외양역 표층에서도 1m<sup>3</sup>당 수백 개체에 달하며, 더 많은 경우는 프랑크톤망에서 채집되는 동물프랑크톤의 90%이상을 차지한다.

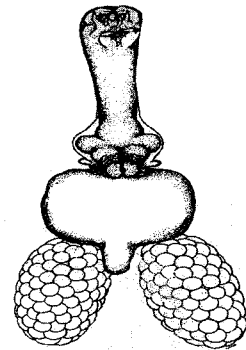
이 막대한 수의 요각류는 무

엇을 먹고 사는 것일까. 부유성 요각류는 그 식성에 따라 주로 미소한 식물프랑크톤을 먹이로 하는 것과 동물을 먹이로 하는 것, 식물에서 동물까지 여러 가지 먹이를 먹는 것으로 나누어진다. 실제로 이들의 식성에는 상당히 융통성이 있고 식물식성의 요각류에서도 그때의 먹이조건에 따라 육식을 하기도 한다.

식물식성 요각류는 식물프랑크톤이 풍부한 표층에서 이들이 활발하게 증식하는 미소한 조류를 먹고 성장한다. 이와같이 해서 고체수를 증가시킨 요각류는 소형의 어류, 오징어류, 육식성의 대형식물프랑크톤의 중요한 먹이로 되고 식물프랑크톤이 창출한 유기물은 또 대형동물로 이어지는 중요한 역할을 다하고 있다. ㉠



〈그림 5〉 방어(양식방어)와 체표에 기생하는 요각류 (*Caligus spinosus*) (Tran, 미발표)



〈그림 6〉 감성돔의 아가미에 기생하는 요각류 (*Clavellopsis nodula*) (Tran and Ho, 1983 부터)