

새로운 데이지 월드를 통한 생태계 변화에 관한 연구

조병길*, 강순영

한국과학영재학교(locust80@hanmail.net, soonyoung93@hanmail.net))

ABSTRACT

This research aimed to find out the homeostatic temperature when there are various organisms. Also, this studies on the impacts the variety of organisms would make on the ecosystem when a species or a number of the species drastically decreases. For this, a new 'Daisyworld' was made. It had a greater variety of plants; and animals and microorganisms were added.

This model had a circular ecosystem. It showed the temperature is well maintained when there are various organisms and that the restoration is faster when there are changes in the ecosystem.

Keyword

Gaia, Daisyworld, homeostatic temperature

요 약

Lovelock은 지구의 생물과 무생물이 상호작용하며 진화하거나 환경을 변화시킨다는 '가이아 이론'을 발표하고 그 이론을 증명하는 수치 모델인 '데이지월드'를 제시하였다. Lovelock은 이 모델을 이용하여 생명체가 행성의 온도를 일정하게 유지하는데 기여한다는 것을 보였다.

본 연구에서는 보다 생명체가 다양할 때 온도의 항상성이 어떻게 되는지 알아보려고 하였다. 또한 질병이나 천재지변으로 특정 종이나 전체 종의 수가 급격하게 줄었을 때 생물의 다양성이 생태계 전체에 어떤 영향을 주는지를 살펴보고자 하였다. 이를 위해서 Lovelock의 데이지월드에서 식물의 수를 증가하였을 뿐만 아니라 동물과 미생물을 추가한 새로운 데이지월드를 제시하였다.

순환적 생태계를 가진 이 모델을 이용하여 생물의 종이 다양해질 때 온도의 항상성이 더 잘 유지된다는 것을 확인하였으며, 생태계에 변화가 일어났을 때 복원도 더 빠르다는 것을 확인하였다.

주요어

가이아, 데이지월드, 항상성

1. 서 론

Lovelock은 자신의 이론인 가이아를 설명하는 과정에서 데이지월드를 제시하였다. 간단한 컴퓨터 모델인 데이지월드는 가이아의 모습을 극도로 단순화시킨 형태로 이 모델을 통하여 생물이 환경에 영향을 주면서 기온의 항상성이 유지된다는 것을 보여 주었다. Lovelock의 초기 데이지월에 존재하는 생명체는 검은색 데이지와 흰색 데이지뿐이었다. 이런 세계에 많은 선행 연구자들은 동물을 추가한 데이지월드를 제시하여 생태계의 변화를 연구하기도 하였다.

본 연구를 위하여 먼저 Lovelock의 데이지월드에서 초식동물과 육식동물 그리고 미생물을 추가한 순환적 생태계를 가진 새로운 데이지월드를 만들었다. 이 새로운 데이지월드의 타당성은 Lovelock의 데이지월드와 비교함으로써 검증하고자 하였다. 검증된 데이지월드를 이용하여 생태계의 다양성이 생물의 생존 환경에 어떤 영향을 주는지 조사하였다.

지구에서 생명체가 탄생하여 생태계를 이룬 이후, 질병이나 운석 충돌과 같은 천재지변 등으로 생태계 전체가 위협을 받는 일이 적지 않았다. 그럼에도 불구하고 지구상에는 계속해서 다양한 생태계가 복원되어 왔다. 이런 생태계의 변화와 복원 과정을 실제로 살펴보는 일은 불가능하다. 본 연구에서는 새로 만든 데이지월드를 통하여 한 종 변화 또는 전체 종의 급격한 변화가 생태계 전체에 어떤 영향을 주는지 그리고 얼마나 빠르게 복원 되는지를 살펴보고자 하였다.

2. 연구 방법

1) 데이지월드의 수정

본 연구에서는 두 종류의 데이지만 존재하던 Lovelock의 데이지월드를 보다 지구와 비슷한 환경으로 만들어 주기 위하여 데이지의 종류를 늘이는 한편 동물과 박테리아를 추가하여 순환적 생태계를 가진 새로운 데이지월드를 구축하였다.

Lovelock의 데이지월드에서는 식(10)에서 볼 수 있듯이 단지 데이지의 색깔에 따라 전체 데이지월드보다 5°C 높거나 낮게 설정되어 있다. 본 연구에서는 데이지가 자라는 지역의 온도를 구하는 방법을 수정하였다.

어떤 행성의 복사평형온도는 흡수되는 에너지와 방출되는 에너지의 관계에서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_p = \sqrt[4]{\frac{S_0}{4\sigma}(1 - \alpha_p)} \quad (1)$$

이 식에서 T_p 는 행성의 복사평형온도, S_0 는 태양의 광도이다.

특정 데이지가 존재하는 지역에서의 온도 T_D 도 이 식을 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$T_D = \sqrt[4]{\frac{S_0}{4\sigma}(1 - \alpha_{Daisy})} \quad (2)$$

식(11)과 식(12)를 이용하여 데이지월드 전체와 특정 데이지가 존재하는 지역 사이의 온도 관계는 다음과 같다.

$$T_{Daisy} = \sqrt[4]{\frac{S_0}{4\sigma}(\alpha_P - \alpha_{Daisy})} + T_P^4 \quad (3)$$

본 연구에서는 식(1)을 대신하여 태양에너지의 세기에 따라 반사하는 양이 달라지는 것을 고려한 식(3)을 이용하여 데이지가 자라는 지역의 온도를 구하였다.

2) 순환적 생태계를 가진 새로운 데이지월드

토끼의 개체수 $Rabbit$ 의 변화는 다음과 같이 구하였다.

$$\frac{dRabbit}{dt} = grab * Rabbit((reat * Adaisy)^2 - rdeath) \quad (4)$$

여기서 $grab$ 은 토끼의 성장률이고, $reat$ 은 토끼의 데이지에 대한 접근성을 고려한 값이다. 이것은 토끼가 데이지를 발견하여 먹을 수 있는 가능성을 수치화한 값이다. $rdeath$ 는 사망률이다.

여우의 개체수 Fox 의 변화는 다음과 같이 구하였다.

$$\frac{dFox}{dt} = gfox * Fox ((feat * Rabbit)^2 - fdeath) \quad (5)$$

박테리아는 분해자이므로 데이지의 사망률, 토끼의 사망률 그리고 여우의 사망률에 따라 그 양이 변화한다. 또한 박테리아는 데이지월드의 온도에 민감하게 영향을 받는다. 이런 요인들을 고려하여 다음과 같은 식으로 데이지월드에 존재하는 박테리아의 양 *Bacteria*을 고려하였다.

$$\frac{dBacteria}{dt} = \beta' \times Bacteria \times ((beat * Death)^2 - bdeath) \quad (6)$$

여기서 β' 는 박테리아의 성장률, *beat*는 박테리아가 데이지, 토끼, 여우가 죽었을 때 그 사체에 대한 접근성을 나타낸 것이다. 또한 *Death*는 데이지와 토끼 그리고 여우의 사체에 관한 양을 나타내는 항이다. 박테리아는 데이지 보다 높은 온도에서 존재할 수 있으므로 성장 최적온도를 36°C로 하였다.

*Death*는 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$Death = 0.01 \times (Ddeath) + 0.07 \times (Rdeath) + 0.09 \times (Fdeath) \quad (7)$$

여기서 *Ddeath*는 데이지가 수명이 다하여 죽은 양과 토끼에 의해 죽은 양을 합한 것이다. 마찬가지로 *Rdeath*는 수명이 다하여 죽은 토끼의 양과 여우에 의해 죽은 토끼의 양을 합한 것이다. 그리고 *Fdeath*는 여우가 수명이 다하여 죽은 것을 양을 의미한다. 그리고 데이지, 토끼, 여우 각각을 분해했을 때 박테리아의 성장이 촉진되는 양은 다를 것이다.

박테리아가 데이지월드에 추가 되면, 박테리아로 인하여 데이지의 성장이 촉진된다. 이러한 현상을 고려하기 위하여 박테리아 량에 따라 데이지가 분포하는 면적이 달라지도록 하였다. 이를 고려하여 식(8)을 다음과 같이 수정하였다.

$$\frac{dA_{Daisy}}{dt} = A_{Daisy} (\beta x - \gamma) + B \cdot B_{bacteria} \quad (8)$$

여기서 우변의 두 번째 항은 박테리아 량 *B_{bacteria}*에 따라 증가하는 데이지면적을 나타낸 것이다.

3. 결 론

1) 동물의 유무에 따른 변화

2종류의 데이지만 있는 데이지월드에 토끼와 여우를 추가하였을 때 온도가 어떻게 변하는지를 조사하였다. 그 결과는 그림 1과 같다.

그림 1을 보면 토끼와 여우가 추가되면 데이지월드가 항상성을 유지하는 기간이 매우 짧아진다는 것을 볼 수 있다. 데이지월드의 온도는 데이지의 반사율에 영향을 받는데 이를 먹이로 하는 토끼가 존재함으로써 데이지의 절멸이 빠르게 진행되었기 때문이란 것을 알 수 있다.

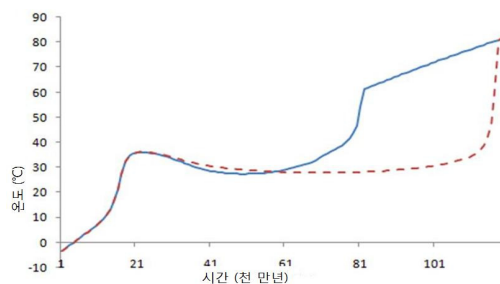


그림 1. 초식동물과 육식동물을 추가하기 전(점선)과 추가하였을 때(실선) 데이지월드의 온도 변화

그림 2와 3은 동물을 추가하기 전과 추가한 다음에 검은 데이지와 흰 데이지의 분포 면적을 상대적으로 나타낸 것이다.

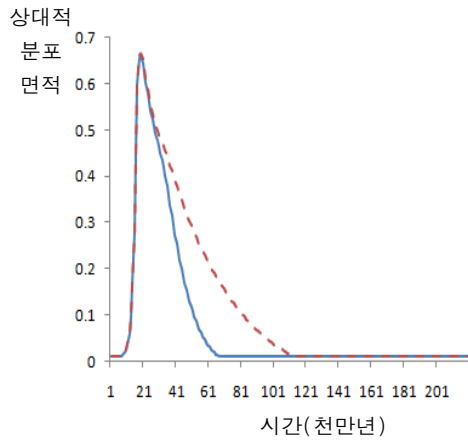


그림 2. 동물의 없는 경우(점선)과 있는 경우(실선) 검은 데이지의 분포면적

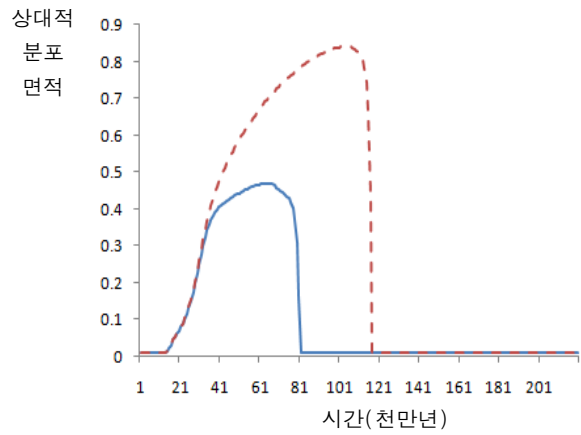


그림 3. 동물의 없는 경우(점선)과 있는 경우(실선) 흰 데이지의 분포면적

그림 2을 보면 검은 데이지가 번성하면서 아울러 토끼의 개체수가 많아지기 때문에 그 이후에 검은 데이지의 절멸이 진행되는 것을 볼 수 있다. 그림 3을 보면 흰 데이지도 초기에는 적은 개체수의 토끼로 크게 영향을 받지 않지만 나중에는 큰 영향을 받게 되고 결국 데이지월드로 들어오는 태양에너지를 반사시키는 양이 줄어들면서 빠른 절멸에 도달하는 것을 알 수 있다.

2) 박테리아의 유무에 따른 변화

순환적 생태계에 반드시 필요한 미생물인 박테리아를 데이지월드에 추가하였을 때 온도 변화를 그림 4에 나타내었다.

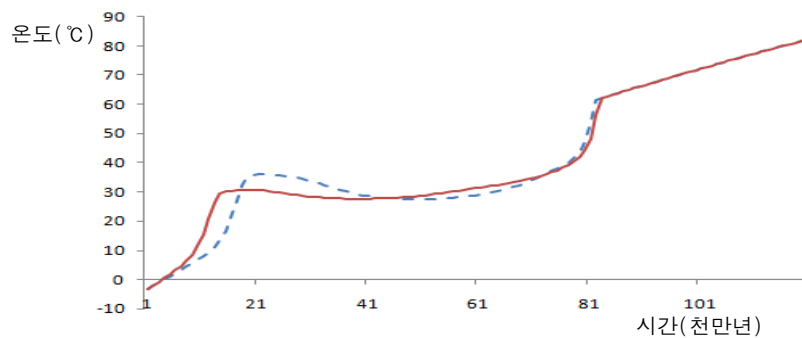


그림 4. 박테리아가 없는 경우(점선)과 있는 경우(실선) 데이지월드의 온도변화

그림 4를 보면 박테리아가 추가됨으로써 데이지월드가 일정한 온도를 유지할 때 그 변동이 작다는 것을 확인할 수 있었다. 위 그림의 온도 곡선에서 항상성을 유지하기 시작하는 온도의 변곡점에서 항상성에서 벗어나는 지점까지의 온도에 대한 표준편차를 구해 비교해 보았다. 그 결과는 표 1과 같았다.

박테리아의 유무	무	유
표준편차	3.11	2.09

표 1. 박테리아의 유무에 따른 데이지월드 온도의 표준편차

표준편차를 살펴봐도 박테리아가 있는 경우의 표준편차가 값이 없는 경우의 67%로 작게 나타났다. 이는 박테리아가 데이지의 성장에 영향을 주면서 갑작스러운 데이지의 변화를 막아주기 때문으로 생각된다.

3) 특정 종에 주어진 충격에 대한 영향

지구의 생태계에서는 특정 종에만 퍼지는 전염병이 존재하고 있다. 이와 같은 질병은 다른 종에는 직접적인 영향을 주지 않지만 특정 종의 개체 수에 큰 영향을 주기도 한다. 그러나 생태계는 서로 상호작용을 하기 때문에 그 충격은 다른 종에게 전달될 수밖에 없다.

본 연구에서도 특정한 한 종의 변화가 전체 데이지월드에서 어떤 영향을 주는 지를 알아보기 위하여 데이지월드에서 생명체가 존재하는 기간 동안 3회에 걸쳐서 두 종의 데이지 모두 50%를 사라지는 충격을 주었다. 충격은 데이지가 풍부한 시기와 줄어드는 시기 그리고 데이지가 소멸하기 시작하는 시기로 택하였다. 데이지는 초식동물의 에너지원이 되기 때문에 생태계 전체에 미치는 영향이 가장 클 것으로 생각되어 데이지를 택하여 변화를 주었다. 이런 경우 검은 데이지와 흰 데이지를 분포면적이 어떻게 변하는 그림 5와 6에 나타내었다.

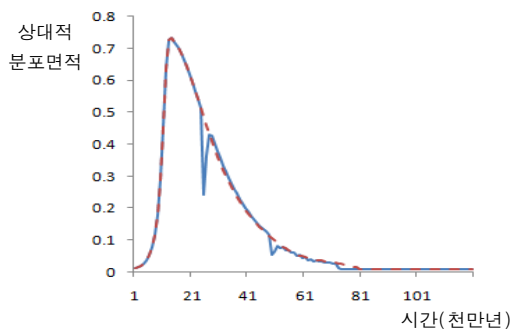


그림 5. 검은 데이지의 면적을 50% 줄였을 때 (3회), 검은 데이지의 분포면적 변화

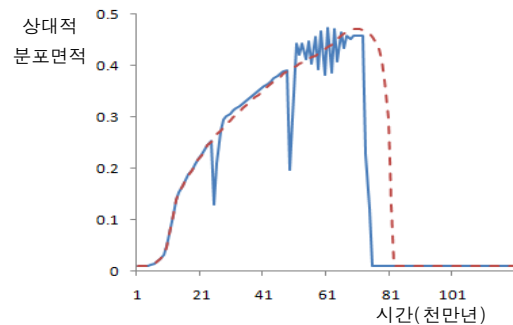


그림 6. 흰 데이지의 면적을 50% 줄였을 때(3회), 검은 데이지의 분포면적 변화

그림 5와 6을 보면 알 수 있듯이 3번의 충격에 대하여 데이지의 반응에는 차이가 나타났다. 첫 번째 충격이 주어질 때는 검은 데이지와 흰 데이지의 분포 각각 데이지월드의 25% 이상을 차지하고 있을 때로 쉽게 생태계가 복원되었다. 검은 데이지의 분포면적이 10%정도 밖에 되지 않았을 때 가해진 두 번째 충격에 대해서도 생태계는 복원이 되었지만 그림 6을 보면 알 수 있듯이 흰 데이지의 분포가 매우 불안정하게 변화하는 것을 볼 수 있다. 이는 데이지월드가 검은 데이지와 흰 데이지 사이의 상호작용으로 안정화되는데, 이미 검은 데이지의 분포가 적어진 상태에서는 생태계가 안정화되는데 어려움이 많다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 마지막으로 흰 데이지의 분포면적이 줄어들기 시작한 시각에 주어진 충격에 대하여는 전혀 극복하지 못하고 충격이 주어진 시각에 데이지의 절멸이 발생하였다.

한 종에게 주어진 충격이 다른 종에게 어떤 영향을 주는 지를 알아보기 위하여 데이지에

주어진 3번의 충격에 대하여 토끼와 여우의 개체수 변화를 살펴보았다. 그 결과는 그림 12와 같았다.

그림 7를 보면, 첫 번째 충격이 주어진 시기에는 토끼의 개체수가 많지 않아 토끼에게 어떤 영향도 나타나지 않고 있다.

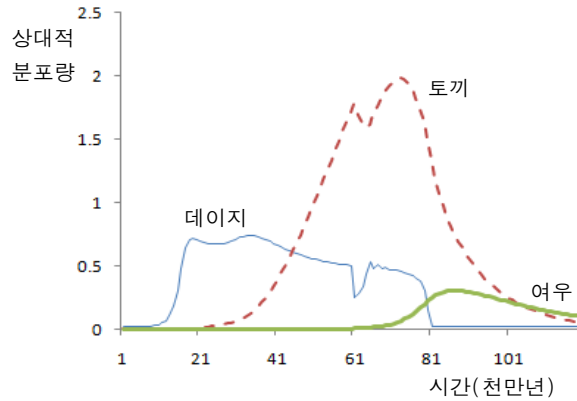


그림 7. 데이지에게 주어진 3번에 충격에 대한 토끼와 여우의 개체수 변화

토끼의 개체수도 풍부해진 시기에 주어진 두 번째 충격에 대해서는 토끼의 개체수도 줄어드는 것을 볼 수 있다. 그러나 데이지의 분포면적이 50%가 줄어드는 충격에 대하여 토끼의 개체수는 15%정도로 줄었다. 이때 여우의 개체수는 작아서 그 충격은 나타나지 않고 있다. 세 번째 충격에 대해서는 데이지가 절멸되면서 순차적으로 토끼와 여우가 절멸되는 것으로 나타났다.

이상에서 볼 때, 특정 종에 주어진 충격이 다른 종으로 전달될 때는 충격의 크기가 완화되어 전달되고 있으며, 종을 거쳐 갈수록 그 충격은 더 줄어드는 것을 확인되었다.

4) 전체 종에 주어진 충격에 대한 영향

지구에 생명체가 풍부해진 이후 운석충돌과 같은 사건은 전 지구적으로 영향을 주는 사건이 적지 않게 발생하였다. 이런 사건으로 많은 생명체가 사라지기도 하고, 새로운 생명체들이 나타나기도 하였다.

본 연구에서도 이를 알아보려고 데이지월드에서 존재하는 모든 생명체의 개체수가 50%로 줄어드는 충격을 주었을 때 전체 종들의 개체수에는 어떤 변화가 일어나는지 알아보았다. 전체 종에 대하여 충격을 준 시기는 특정 종에게만 충격을 준 시기와 같이 하였다. 그림 8과 9는 이 경우 데이지의 분포면적 변화를 나타낸 것이다.

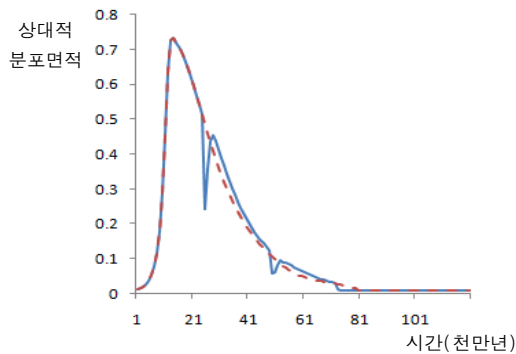


그림 8. 데이지월드 전체 종의 개체수가 50% 줄어드는 충격이 주어졌을 때 검은 데이지의 변화

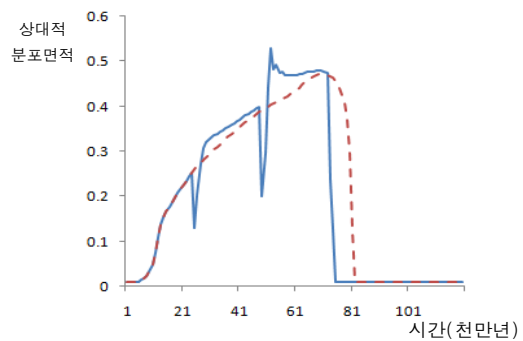


그림 9. 데이지월드 전체 종의 개체수가 50% 줄어드는 충격이 주어졌을 때 흰 데이지의 변화

그림 8과 9는 데이지의 분포면적 변화로 그 결과는 그림5와 6에 나타난 데이지에게만 주어진 충격과 크게 다르지 않았다. 단지 토끼의 개체수 감소로 일시적으로 데이지의 분포면적이 늘어나는 것으로 나타났다.

다음 그림 10과 11은 각각 토끼와 여우의 상대적인 개체수 변화를 나타낸 것이다.

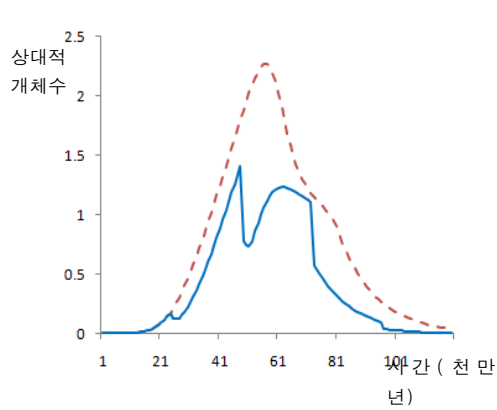


그림 10. 데이지월드 전체 종의 개체수가 50% 줄어드는 충격이 주어졌을 때 토끼 데이지의 변화

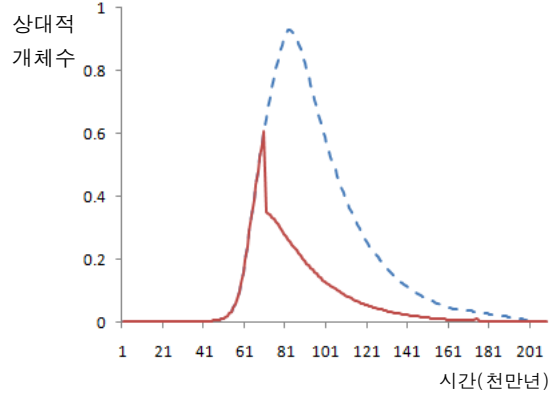


그림 11. 데이지월드 전체 종의 개체수가 50% 줄어드는 충격이 주어졌을 때 흰 데이지의 변화

토끼의 개체수의 변화를 보면 처음 주어진 두 번의 충격에 대하여는 극복하지만 마지막에 주어진 충격에 대하여는 극복하지 못하고 절멸하는 것으로 나타났다. 이런 절멸은 토끼의 먹이가 되는 데이지의 절멸에 따른 것으로 생각되어진다. 그림 16에 나타난 여우의 개체수의 변화에서는 여우의 개체수가 충분했던 시기에 주어진 세 번째 충격의 변화만 확인할 수 있었다. 여우의 경우도 마지막 충격에 대하여는 극복하지 못하고 절멸하고 말았다. 이 역시 여우의 먹이가 되는 토끼의 절멸에 따른 것으로 보인다.

이상에서 볼 때 생물들이 서로 상호 작용하고 있는 생태계 전체에 가해진 충격은 생태계가 번성하고 풍부할 때는 이를 극복해 내지만 한 종이라도 쇠퇴하고 있는 경우에 전체적으로 주어진 충격에는 생태계 전체가 영향을 받는 것으로 나타났다.

참고문헌

- James Lovelock, 1988, Ages of Gaia, W.W.Norton & Company
- James Lovelock, 2000, GAIA : A new look at life on earth, Oxford p.44~58
- James Lovelock, 2006, The revenge of Gaia, p.15~38
- Kump, Kasting, Crane 2004, The Earth System(second Ed), Pearson p.18~33