

컴퓨터와 생물학의 만남

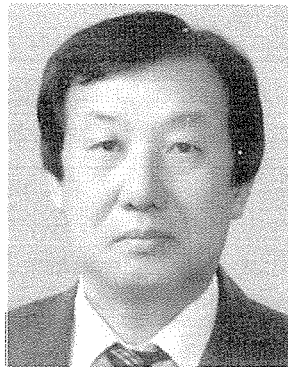
# 「인공생명」 연구

최근 이른바 「인공생명(A-Life)」이라는 이색적인 새로운 과학분야의 연구가 머리를 들기 시작하여 과학계의 큰 관심을 모으고 있다. 컴퓨터시뮬레이션을 통해 생명같은 유기체와 시스템을 창조하고 연구하는 이 분야는 불과 6년전인 1987년에 탄생했으나 해를 거듭할수록 생물학계와 컴퓨터과학계의 관심은 더욱 뜨거워지고 있다.

지난 해 열린 제3회 「인공생명 워크숍」에서는 컴퓨터가 식물의 씨를 키워 나무를 성장시키는 사실적인 영상을 보여주어 참석자들을 깜짝 놀라게 했는가 하면 스스로 복제하는 컴퓨터 바이러스의 형태로서 「진짜」생명을 창조할 수 있다는 주장도 나왔다. 인공생명연구자들은 이런 유기체는 원천적으로 인간이 설계했다는 점에서 인공적이라고 할 수 있겠으나 본래와는 다른 형태로 복제되고 진화되는 것이기 때문에 살아있다는 주장이다.

## 새로운 생명모델

한편 인공생명연구자들은 생명은 컴퓨터의 관점에서 볼 때 가장 잘 이해할 수 있다고 주장하고 있다. 이들의 견해는 생명이 세포내의 분자나 또는 유기체의 세포의 집단만이 아니라라는 것이다. 생명은 또 동화작용이나 생식작용이나 또는 단백질



현 원 복  
(과학저널리스트)

질 형성의 집합이다. 이런 과정이 전개되는 것을 보면 컴퓨터에서 진행되는 서브루틴과 많이 닮았다는 것을 알 수 있다.

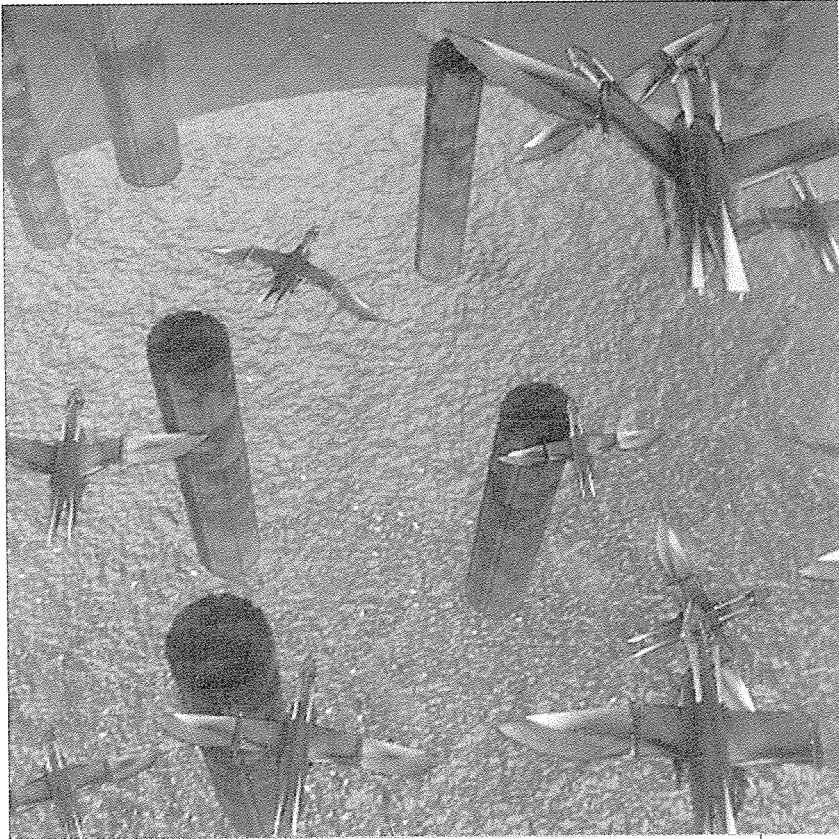
한편 생명은 컴퓨터의 계산과 닮았을 뿐 아니라 컴퓨터부호 한 조각이 전혀 예상밖의 매우 복잡한 형태를 쉽게 만들어 낼 수 있다는 점에서 컴퓨터 프로그램은 생명과 닮았다고 할 수 있다. 그렇다면 이런 아이디어를 생물학에 응용하여 생명에 대해 근본적으로 새로운 통찰력을 제공할 수 있는 새로운 컴퓨터모델을 만들어야 한다는 것이 이들의 주장이다.

이런 개념에서 로스알라모스국립연구소

크리스토퍼 랭턴(별칭참조)은 「인공생명」이라는 말을 만들었고 1987년 첫번째 워크숍을 개최하게 되었다. 첫번째 모임에는 1백50명이 참가했으나 1990년의 두번째 워크숍에는 3백명 그리고 1992년의 제3회 워크숍에는 4백명이나 참가했다. 오늘날 생물학자들은 컴퓨터시뮬레이션을 통해 배반의 발육, 생태계의 변화, 진화 등을 보다 심도있게 통찰하기 시작했다. 그러나 아직도 많은 생물학자들은 컴퓨터시뮬레이션은 어디까지나 시뮬레이션에 지나지 않는다는 견해를 가지고 있다. 이에 대해 조지메이슨대학의 생물물리학자 해롤드 모로위츠는 「컴퓨터시뮬레이션은 생물학의 많은 문제에 대해 근본적으로 새로운 접근방법을 발전시킬 수 있게 된다」고 말하고 있다. 인공생명연구분야의 현황을 알아본다.

## 디지털 온실

캐나다 캘러리대학 컴퓨터과학자인 프르제미슬로 프루신키위츠는 현재 성장과 발육의 컴퓨터모델을 만들고 있다. 생물의 발육은 비교적 소수의 조절유전자가 마치 일련의 컴퓨터 명령처럼 쫓다 쫓다 하면서 한개의 수정된 난자세포를 고도로 특성화된 수십억개의 세포를 가진 성숙된 생물로 바꾼다. 그래서 발육의 기본적인



◇크레이그 레이놀즈가 만든 인공새떼들이 기둥사이로 날고 있다. 이 컴퓨터 생물들은 마치 거위들의 떼처럼 여러 무리로 분산되었다가 다시 모여서 떼를 짓는다.

메카니즘은 간단한 한 세트의 컴퓨터계산 규칙으로 요약할 수 있다는 것이 프루신키위츠의 주장이다.

그런데 기본적인 아이디어는 식물의 성장연구를 하고 있던 네덜란드 생물학자 아리스티드 린덴메이어가 1960년대 말에 개척했다. 린덴메이어는 나무의 새싹이 돌아날 때마다 2개의 새로운 새싹으로 갈라지는 평범한 규칙을 가지고 묘목에서 복잡한 관목에 이르는 가상적인 나무의 발육을 그려볼 수 있다고 지적했다. 여기에다 몇가지의 규칙을 더 보태면 나무의 가지와 잎과 꽃의 단계적인 발육을 입체적으로 모델화할 수 있으며 이 나무의 일부에서 나오는 호르몬과 그밖의 조정화합물이 번지는 것도 묘사할 수 있다. 더욱이 첨단그래픽

의 등장으로 이제는 이런 L-시스템(L은 린덴메이어의 준말)의 상징적인 표현을 곧장 잎과 꽃과 줄기의 사실적인 영상으로 전환할 수 있게 되었다. 1989년 린덴메이어가 사망할 때까지 그와 함께 연구했고 오늘날까지 발생생물학자들과 함께 L-시스템방법을 개발해 온 프루신키위츠는 이런 접근법의 장점은 『나무의 구조만 아니라 모든 발육과정을 모델화할 수 있다는 점』이라고 말하고 있다. 그래서 컴퓨터는 글자 그대로 나무를 씨부터 성장시킬 수 있다는 것이다. 최근 그는 그의 연구자들과 함께 L-시스템을 응용하여 발육의 기본적인 패턴은 유전적인 특징만으로 결정되는 것은 아니며 유기체의 최종적인 모양은 환경으로도 형성될 수 있다는 개념을

연구하고 있다.

## 컴퓨터로 번식하는 모기

여러 개의 단순한 요인들이 컴퓨터계산의 규칙에 따른 상호작용에서 복잡하게 형성된 유기체가 나온다는 접근법을 복잡한 생태계에 적용한 것은 미국 캘리포니아대학(로스앤젤레스) 생물학자 찰스 테일러다.

1970년대말 이 대학 농과대학에 재직하고 있던 테일러는 오리지카운티를 둘러싼 모기집단에 관한 컴퓨터모델을 만들기로 했다. 이 연구의 목표는 모기의 애벌레를 죽이자면 얼마나 많은 화학약품을 언제 뿌려야할까? 또는 환경에 위험한 화학약품의 사용량을 최소한으로 줄이고 대신 애벌레를 잡아먹는 고기와 같은 생물학적인 구제방법을 사용해야 할 것인가 하는 모기의 구제전략을 시험하는 것이었다.

오리지카운티당국은 시뮬레이션에 필요한 많은 자료를 수집했을 뿐 아니라 썩은 물에서 모기알이 발육하여 사람을 물고 되돌아오기까지 모기의 생활상은 너무나 잘 알려져 있다.

그러나 불행히도 첫번째 모델은 실패하고 결국 이 모델을 포기해 버렸다. 문제는 테일러와 그의 동료과학자들이 종래의 집단 생물학적인 시뮬레이션접근법을 따랐다는 점이었다. 이런 접근법에서는 한개의 변수가 전체 모기집단을 상징하고 복잡한 수학방정식들이 모기집단의 흥망을 설명한다고 생각했다. 그러나 이런 접근법으로서는 실제의 생태계의 복잡성을 파악할 수 없었다. 실제계에서는 예컨대 비가 시궁창과 지하의 빗물하수구에 있는 모기의 번식장소를 씻어 내리기는 하지만 모기들은 화분에 새로운 보금자리를 만든다. 모든 것이 상호작용을 하는 것이다. 그래서 이런 모든 것을 포트란에 코드화된 미분방정식으로는 파악할 수 없다.

그래서 테일러는 전혀 다른 방향으로 문제를 풀어 나가기로 했다. 모기의 집단과 그 환경을 몇개의 간단한 프로그램으로 분할하여 이 프로그램들의 상호작용에서 복잡한 행태를 도출시키기로 했다. 이리하여 테일러는 1980년대초 이래 캘리포니아대학(UCLA)의 컴퓨터과학자 데이비드 제퍼슨티미과 공동으로 개발한 결과 생태계 모델링을 위한 범용 톨킷인 램(RAM)이 탄생하게 된다. 테일러의 모기모델에는 수영장, 빗물하수구, 홍수조절용 수로 그리고 시궁창 등, 4개의 서로 다른 형이 포함된다. 여기에 지난 10년간의 기상기록 등 여러 변수를 입력한 결과 이 모델은 지난 10년간 관찰된 모기집단의 흥망상을 재현하는데 성공했다.

테일러팀은 이 모델을 사용하여 여러가지 모기구제전략의 유효성을 평가하기 시

작했다. 예컨대 에벌레살충제 사용량을 늘려도 그 효과는 매우 적다는 것이 드러났다. 이런 결과에 대해 처음에는 모델이 잘못된 것이 아닌가 생각했다. 그러나 오린지카운티 모기구제당국자들도 그것은 사실이이라고 말했다. 결국 이 모델은 에벌레살충제를 사용할 수 없는 꽃병, 낮은 타이어, 그리고 교의 뒷마당의 사용하지 않는 수영장 등 모기의 에벌레가 크게 번식할 수 있는 은신처라는 것을 확인한 것이다.

### 장애물을 피하는 로봇

인공생명은 컴퓨터계산법을 생물학에 적용할 수 있을 뿐 아니라 생물학적인 아이디어를 컴퓨터계산에도 적용할 수 있는 길을 열어주고 있다. 인공생명을 이용하면 컴퓨터가 지시하는 일 외의 일도 할 수 있다. 예컨대 로봇이 걸어다니는 프로그램을

만들 때 「인공지능」의 경우는 로봇에게 걸어다닐 때 직면하는 모든 상황에 관해 수천 개의 명확한 지시를 입력해야 한다. 만약에 프로그램에 없는 전화번호부와 같은 뜻밖의 장애물이 길을 가로막는 경우에 직면하면 어떻게 해야할지 알지 못한다.

그러나 인공생명프로그래밍을 가진 로봇은 실제로 새로운 상황에 적응할 수 있다. 과학자들은 컴퓨터에게 장애물을 만나면 다리를 들어올리고 내리거나 또는 장애물을 피해 돌아가거나 하는 따위의 기본적인 것을 프로그래밍해 둔다. 미국 MIT의 「진기스」라는 이름의 로봇은 장애물을 기어오르는 방법을 명확하게 가르쳐주지 않았는데도 낮은 장애물을 만났을 때 알아서 기어오른다.

인공생명 응용분야를 내다볼 때 단기적으로는 살아 있는 생물이 환경에 적응하는

오늘날 새로 태어난 학문분야 중에서 인공생명(artificial life)만큼 큰 관심을 모으고 있는 분야도 찾기 어렵다. 이 연구의 「교조(敎祖)」로 불리는 크리스토퍼 랭턴(Christopher Langton, 44세)은 현재 로스 알라모스 미국립연구소에서 근무하고 있다. 그는 최근 출간된 스티븐 레비의 「인공생명」과 미첼 월드롬의 「복잡성」이라는 2권의 책에서 영웅으로 떠받쳐졌다. 랭턴은 과연 누구이며 1980년대 초반에도 과학계와는 관계가 없던 그가 어떻게 인공생명연구에 뛰어들었을까?

### 방향의 세월

1948년 보스턴지역에서 태어나 성장한 랭턴의 20대는 방황으로 지냈다. 스스로 히피로 표현한 랭턴은 기타와 행글라이딩 등 다양한 취미를 가진 그때기 컴퓨터 프로그래머로 일한 때도 있다. 그러나 1975년 노스캐롤라이너주의 블루산맥 그랜드화터산에서 행글라이더를 타다가 풍속이 별안간 떨어지는 바람에 치명에 가까운 부상을 입었다. 뼈가 부



### 인공생명연구의 선구자

## 크리스토퍼 랭턴

러지고 머리에 복잡한 상처를 입은 랭턴은 회복하는데 6~7개월이 걸렸다. 그동안 그는 광범위한 분야의 독서를 했다.

다시 학교를 마치기 위해 애리조나대학으로 향했을 때 그는 무엇을 추구해야 할 것인지 확고한 생각을 갖고 있었다. 그는 딱 잡아서 그 제목을 지명할 수는 없었으나 생물학과 컴퓨터학간의 보이지 않는 벽을 뛰어넘어야 한다는 생각을 하고 있었다. 그는 생명의 본질과 자연현상속에서 일어나는 어떤 수수께끼든지 컴퓨터내부의 사건으로 적용할 수 있다고 생각했다.

그러나 랭턴은 애리조나대학에서 협력자나

후원자를 구하는데 실패했다. 그는 유리공장을 운영하는 한 여성에게서 1천5백만달러를 빌려 애플 II 컴퓨터를 구입하고 자기의 구상을 실험하기 시작했다. 그는 신부가 아직도 자고 있던 새벽시간에 애플컴퓨터의 자판을 치면서 컴퓨터속에서 생명의 흔적을 담은 무슨 일이 발생하기를 바랐다. 만약에 이런 일을 할 수 있다면 미친사람이라는 오명을 벗어던질 수 있다고 생각하고 있었다.

### 폰노이만의 계시

그는 일에 열중하면서 아이디어를 찾기 위해 도서관을 헤매는 동안 인간은 수학과 컴퓨

것처럼 스스로 고쳐쓰고 개량할 수 있는 소프트웨어를 만드는데 이용될 것이다. 장기적인 전망은 너무나 생명같은 특징을 많이 가졌기 때문에 살아 있다고 말할 수 있을 정도의 컴퓨터동물물을 포함하여 거의 무한하다고 인공생명전문가들은 주장하고 있다. 컴퓨터계의 권위인 에스터 다이슨은 「근본적으로 신기술 이상의 것이기 때문에 과학혁명의 구동력이 된다」고 말하고 있다.

## 전화시스템의 설계

인공생명이라는 뛰어난 기술바구니에서 처음 등장할 쓸만한 수단은 「유전 알고리즘」이라는 것이다. 이것은 엄청난 시행착오과정에서 소프트웨어를 개발하기 위해 다윈의 진화와 같은 과정을 만들어 낸다. 예컨대 컴퓨터사용자가 해결할 필요가 있

는 문제를 명시하고 이 문제에 대한 해결 시스템을 만든다. 컴퓨터는 수백 또는 수천개의 해결책을 토해 낸다. 첫번째 배치는 문제해결을 하는데 썩 좋지는 않을지 모른다. 그러나 일을 잘 해결할 수 있는 것이 발견되면 「적자생존」의 원칙에 따라 다음 배치의 씨가 된다. 컴퓨터는 이런 해결책을 사용하여 새로운 소프트웨어를 만들고 이런 식으로 순차적으로 더 훌륭한 해결책을 만들어 낸다. 이것은 양친의 유전자를 섞어 새로운 자손을 만드는 것과 닮았다.

이 기술에 뜨거운 관심을 보내고 있는 것은 전화회사인 「유에스 웨스트」사다. 이 기업은 오랫동안 전화시스템 설계자들을 괴롭혀 온 어려운 문제들을 「유전 알고리즘」기술을 사용하여 해결하고 있다. 이들이 안고 있는 문제중의 하나는 「배낭」문제

로 알려진 오래된 난제였다. 이것은 어떻게 하면 짐이 너무 무겁지 않게 하면서 가장 중요한 것들을 배낭에 넣을까 하는 문제다.

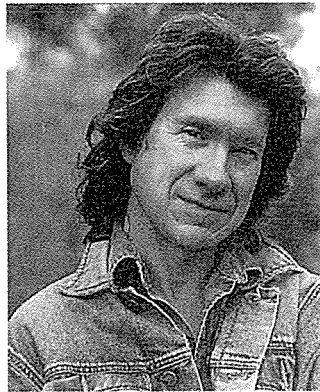
「유에스 웨스트」사가 당면한 문제는 전화망에 지나친 부담을 주지 않으면서 데이터 전송이나 또는 텔레비전회의와 같은 가장 이익이 많은 통화에 전화선을 배정하는 것이다. 수학자들은 이런 문제에 대한 해결책을 찾아냈으나 엄청나게 많은 시간과 컴퓨터의 힘을 필요로 했다. 그래서 미국 매서추세츠주 케임브리지의 티카사가 「적자생존」식의 접근방법으로 이 문제를 해결하는 「유전 알고리즘」을 설계했다. 그래서 하룻밤 사이에 이 문제를 해결할 수 있게 되었다.

한편 몇몇 금융회사들도 「유전 알고리즘」을 이용하여 좋은 결과를 얻고 있다.

터라는 도구를 사용하여 생명을 창조할 수 있다는 그의 생각과 뜻을 함께하는 사람들을 발견했다.

특히 그중에서 헝가리태생의 수학자인 존 폰 노이만은 20세기 과학에서 금자탑을 쌓아 올린 인물이었다. 그는 컴퓨터과학, 게임이론 및 원자무기에 대해 근원적인 공헌을 했으며 그의 말년에는 자동기계이론이라는 당시로서는 주목을 받지 못한 분야의 연구로 세월을 보냈다. 폰 노이만은 「자동기계」란 스스로 작동하는 기계를 말하며 이 기계의 행태는 수학적으로 확실하게 규정할 수 있다고 말했다. 자동기계는 정보를 처리하는데 외부로부터 받은 데이터를 적용한 뒤 다음 행동을 논리적으로 수행한다. 폰 노이만은 박테리아에서 인간에 이르기까지 유기체는 기계이며 기계는 또 유기체로 볼 수 없는 이유가 없다고 주장했다. 1957년 암으로 사망할 때까지 그는 이미 스스로 복제하는 인공유기체를 창조했다.

랭턴은 폰 노이만의 자기복제자동기계를 발견했을 때 자기의 목적과 유사하다는 것을 인



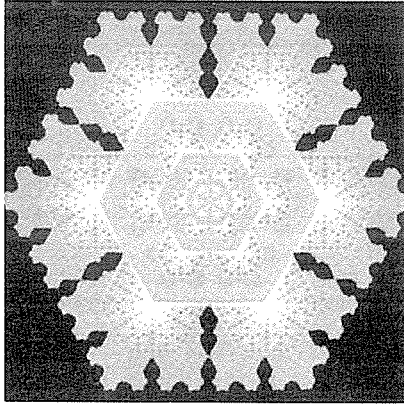
크리스토퍼 랭턴  
(인공생명연구의 시조)

식했다. 그러나 폰 노이만이 실물의 유기체와 같은 방법으로 복제할 수 있는 인공유기체를 설계했으나 이것을 컴퓨터위에서 실제로 만들어 본 사람은 아무도 없었다.

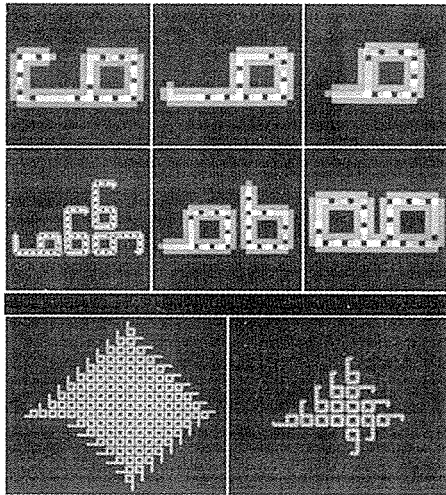
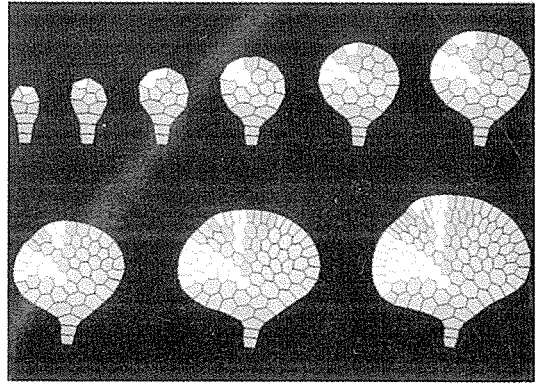
## 최초의 인공생명

랭턴은 폰 노이만의 자동기계중에서 간단한 세포모형을 가지고 시도하기 시작했다. 1979년 10월 26일 세포의 고리가 복제하기 시작했다. 애플컴퓨터 디스플레이위에서 Q자의 세리프가 늘어나서 외부로 향하여 성장하면서 모체를 복사한 것이다. 랭턴의 유기체는 우리가 알고 있는 것과 같은 생명체는 답지 않았다. 그것은 복잡한 루프들이었다. 그러나 랭턴은 그 재생하는 형태는 분명히 실물의 생물의 형태와 닮았다고 확신했다.

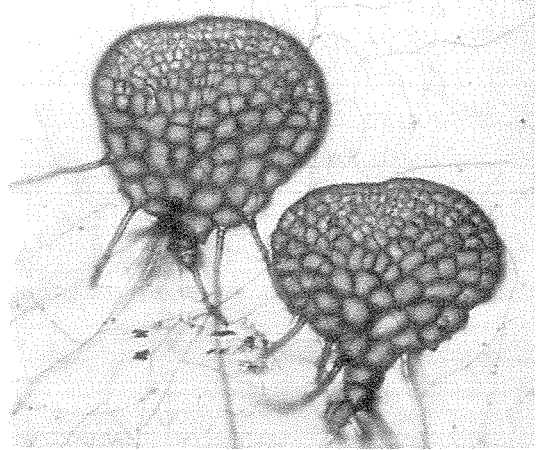
그로부터 10년간 랭턴은 인공생명연구에 몰두하면서 미시건대학 대학원에 다녔다. 1986년에는 로스알라모스국립연구소의 비선형연구센터에 입소하여 인공생명연구를 계속 하면서 자기와 같은 생각을 하는 사람들을 조직하기 시작했다. 이리하여 1987년 마침내 최초의 인공생명모임인 「생명조직의 합성 및 시뮬레이션에 관한 학제간 워크숍」을 소집하게 된 것이다.



◇한개의 씨와 이웃의 색깔을 결정하는 룰에 따라 성장하는 노면 패커드의 세포자동기계 눈송이는 실물의 눈송이와 놀라울 정도로 닮았다.



◇크리스토퍼 랭턴의 「루프」는 한개의 유기체로부터 시작하여 복제하면서 하나의 군락을 이룬다. 바깥쪽의 루프가 증식하면 태어난 조직은 둘러싼 루프의 복제를 봉쇄하여 내부에 「죽은」 심을 남긴다. 이 과정은 산호초의 형성과정을 닮았다.



◇실물과 인공의 식물: 위쪽그림의 순서는 컴퓨터에 시뮬레이션을 만들 때 양치의 배우체(성숙한 증식세포를 만드는 식물구조)가 발육하는 단계를 보여 주고 있다. 이 과정은 식물배우체(아래 그림)와 오싹할 정도로 닮았다.

## 신개발에도 한몫

저명한 화학자인 스투워드 카우프만과 생물공학기업가인 론 케이프가 설립한 다원분자기술사는 「유전 알고리즘」기술을 이용하여 세포 수용체에 꼭 끼 수 있는 분자를 만들어 선택된 유전지시를 점멸시켜서 질병을 치료하는 연구를 진행하고 있다. 이것은 이를테면 철물가게에서 10억개의 포드자동차용의 열쇠를 아무렇게나 만들

어 거리를 뛰어다니면서 어떤 포드차의 문을 열고 들어갈 수 있나 알아보는 것과 같다. 그러나 「유전 알고리즘」기술을 사용하면 암이나 그밖의 난제가 갖고 있는 복잡한 비밀을 풀 수 있다고 다윈시는 생각하고 있다.

한편 캐나다 온타리오주 워터루대학교수 마크 킬덴은 머지않아 인공생명 로봇을 시장에 내놓을 계획이다. 그는 워크만 등의 싸구려부품을 조립하여 단돈 40달러짜리

의 생명같은 로봇을 만들었다. 이 로봇은 사람이 보살피지 않아도 알아서 집안을 청소할 수 있다. 그는 앞으로 5~6년내에는 거리의 전자상점에서 신용카드크기의 인공생명로봇을 살 수 있게 될 것이라고 내다보고 있다. 이런 로봇은 사람의 눈에 띄지 않고 천천히 작업을 하는데 방바닥은 언제나 깨끗하고 바퀴벌레들은 언제나 겁에 질려 있게 될 것이라고 그는 말하고 있다.