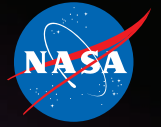


미항공우주국



Issue

#1

한국어판



ASTROBIOLOGY

천문생물학

우주에 존재하는 생명체 탐구에 관한 이야기



2010년, NASA 외계생물학 및
천문생물학 연구 50주년 기념
NASA 천문생물학 프로그램 제작

천문생물학

NASA 외계생물학 및 천문생물학 연구의 역사

이 이야기는 우주에 존재하는 생명체에 관한 이야기입니다. 더 정확하게 말하자면, 지금까지 인류에게 알려진 우주 생명체에 관한 이야기입니다. 과학자는 우리가 사는 환경을 이해하고, 그 환경과 생명의 관계를 이해하고자 노력합니다. 천문생물학자는 더 나아가 지구뿐만이 아니라 우리가 사는 우주 전체를 포함한 환경을 연구합니다.

2010년은 미항공우주국(NASA)에서 외계생물학과 천문생물학 연구가 시작된 지 50년째 되는 해입니다. 이를 기념하고자 NASA 천문생물학 프로그램은 역사 만화를 기획했습니다. 이 시리즈는 현재와 같은 외계생물학과 천문생물학의 모습을 정립하게 된 결정적인 인물과 사건을 소개합니다. 외계생물학/천문생물학은 역사가 50년에 불과한 젊은 학문입니다. 하지만, 이제부터 보시게 될 것처럼, 천문생물학이 답을 찾고자 하는 질문은 인류의 존재만큼이나 오랜 역사를 지녔습니다.

콘셉트&스토리

메리 보이테크 린다 빌링스

에런 L. 그론스탈

작화

에런 L. 그론스탈

대본

에런 L. 그론스탈

편집

린다 빌링스

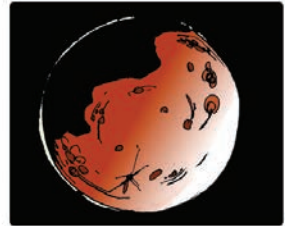
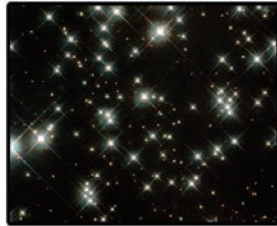
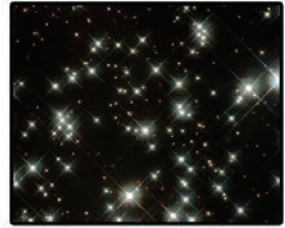
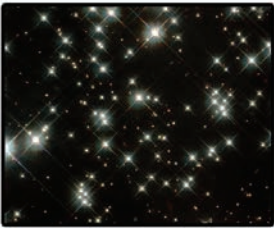
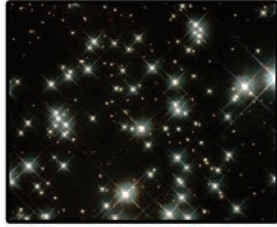
레이아웃

제니 모타

번역

한국과학우주청소년단

제1권 — 새로운 과학의 탄생



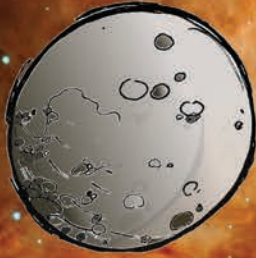
2010년은 NASA 외계생물학 프로그램 탄생 50주년을 맞이하는 해입니다. 1960년에 발족한 이 프로그램은 이후 1990년대에 천문생물학 프로그램으로 확대되었습니다. 천문생물학 연구의 50년 역사를 기념하고자, NASA에서는 천문생물학 분야의 발전, 그리고 지구 밖 생명체 탐사가 NASA의 우주탐사 연구전략의 핵심이 된 과정에 얽힌 이야기를 준비했습니다. 이 책은 이를 통해 기획된 천문생물학 역사만화 시리즈 중 제 1권에 해당합니다. 천문생물학의 역사를 모두 담을 수는 없겠지만, 이번 시리즈를 통해 천문생물학의 변천사를 주요 사건과 인물을 중심으로 살펴보고자 합니다.

- 편집위원 린다 빌링스

천문생물학.

외계생물학.

과학계에서는 이 두 용어를 같은 의미로 쓰는 경우가 많습니다. 하지만 이 용어가 의미하는 것은 무엇일까요? 간단히 말하자면, 이 두 용어는 우주에 생명체가 존재할 가능성, 그리고 우리 지구에 존재하는 생명체의 기원과 역사를 연구하는 학문을 뜻합니다. 천문생물학자는 지구상의 생명체에 대한 모든 것을 연구함으로써 우주에서 생명체가 어떻게 출현하고 살아가는지 이해하고자 합니다.



배경 이미지: 30
도라두스 성운(1)

천문생물학은 미 항공우주국의 우주 생물학, 즉 지구에 사는 생명체가 우주에서 어떻게 적응하고 생존하는지를 연구하는 학문과는 다릅니다. 그러나 우주 생물학자들과 천문 생물학자들은 때때로 공동으로 연구를 하기도 합니다. 왜냐하면, 우주 생물학이 외계 생명체가 우주 전반에서 어떻게 탄생하고, 적응하는지에 대한 통찰력을 제공하기 때문입니다.

천문생물학은 천문학에서 생물학까지 다양한 분야를 망라합니다. 그러나 천문생물학자의 목표는 모두 같습니다. 지구에 있는 생명체의 기원과 다른 세계에 생명체가 존재할 가능성을 이해하고자 연구하는 것이죠.(2)

천문생물학의 연구주제는 세포 형성의 근본 원칙을 연구하는 것부터 먼 항성계에서 지구와 비슷한 행성을 찾기 위하여 천체를 관측하는 것까지 다양합니다. 이처럼 과학적으로 추구하는 분야의 다양성이 넓기 때문에, 천문생물학은 설명하기가 어려운 학문이기도 합니다.

우리가 아는 한, 생명체가 살 수 있는 행성은 지구가 유일합니다. 그렇다면, 천문생물학자는 어떻게 우주의 생명체를 연구할까요?

'외계인'을 발견한 것이 아니라면... 무엇을 연구하는 것일까요?

우주에서 생명체를 찾는다고 할 때, 구체적으로 무엇을 찾는 것일까요? 또 어떻게 찾을 수 있을까요?

인류는 오래전부터 우주에 생명체가 있을지도 모른다는 가능성에 매혹되었습니다. 우주가 무엇인지조차 알지 못했던 시절부터 말이죠. 고대 문명은 별들과 행성들이 무엇인지에 대해 다양한 해석을 했으며, 거의 모든 문화권의 고대인들은 저 우주에는 지구에서 보는 것과는 다른 모습의 생명체가 가능하다고 믿었습니다.

2,300년 전, 그리스 철학자 에피쿠로스는 그리스의 역사학자인 헤로도토스에게 보낸 편지에서 지구 밖에 있는 다른 세계의 존재를 이야기합니다 (기원전 300년).



“살아있는 것에 대해 말하자면, 온갖 동물, 식물 등의 기원이 되는 씨앗이 특정한 세계에 존재하지 않음을 증명할 방법은 없소.”

“세계의 수는 무한하니, 우리와 비슷한 세계도, 다른 세계도 있을 것이요.”

에피쿠로스의 이 말은 다양하게 해석되지만, 우리 지구에만 생명체가 살 수 있는 것은 아니라고 생각했다는 점은 분명합니다.

에피쿠로스
(기원전 341년~270년)



우주에 지구 말고 다른 세계가 있다는 사실을 밝히는 데에는 여러 천문학자의 도움이 컸습니다. 지구 밖에 여러 행성과 위성이 발견되면서 지구 밖 세계에 생명체가 살 수도 있다는 생각이 피어나기 시작한 것입니다.

크리스티안 하위헌(1629~1695)은 토성의 위성인 타이탄을 발견했습니다.

유명한 천문학자 하면 갈릴레오 갈릴레이를 빼놓을 수 없죠. 갈릴레오는 망원경의 초기 형태를 완성했고, 태양계의 모습을 보여주는 여러 중요한 관찰 결과를 남겼습니다. 1610년, 갈릴레오는 이렇게 썼습니다.



“목성에 일정한 위치에서 함께 움직이는 세 개의 별을 발견했다. 크기가 작아 육안으로는 전혀 보이지 않는다... 모습은 매우 둥글고 마치 작은 보름달과 같다.(3)”

조반니 카시니(1625~1712)는 이아페투스를 비롯한 4개의 토성의 위성을 발견한 인물입니다.

“이들 행성은 지구와 마찬가지로 단단하다.”
“이 새로운 지구에는 식물과 동물이 가득할 가능성도 있다.(4)”

사실, 갈릴레오가 발견한 것은 목성의 위성 중에서도 가장 큰 것들이었습니다. 이후 이 위성들은 이오, 유로파, 칼리스토, 가니메데라는 이름이 붙여졌습니다. 때문에 이 네 개의 위성은 오늘날 “갈릴레오 위성”으로 불립니다.

갈릴레오(1564~1642)

1920년대에는, 러시아의 알렉산드르 오파린, 영국의 J.B.S. 홀데인과 같은 학자들이 지구 생명체의 기원을 찾고 있었습니다.

연구는 따로 진행했지만, 두 사람이 제시한 결론은 꽤 비슷했습니다.

원시 지구의 대기는 환원성 대기였을 것입니다.*

동의합니다.**

메탄, 암모니아, 수소, 수증기로 구성되었겠죠.

저는 이산화탄소, 암모니아, 수증기라고 생각합니다. 이산화탄소에서 나온 탄소가 생명체의 재료가 된 것이죠.

그것도 가능하지만, 탄소는 메탄에서도 나올 수 있지요.

그리고 생물 발견 이전의 생명체는 대기 중의 분자가 바다에 녹아 들어가면서 생겨났을 가능성이 가장 높습니다.

동의합니다.

그리고 자외 복사선을 받아 점차 복잡한 유기체 분자가 만들어진 것이죠.

아니요. 생명체는 물질의 진화 과정에서 나타난 겁니다. 유기체 분자가 모여 원시 세포 따위의 국지화된 체계를 이룬 것이지요.

오파린과 홀데인의 이론은 생명의 기원에 대한 실험 중 지금까지도 가장 중요한 실험에 영향을 끼치게 됩니다...

* 러시아어에서 번역

** 영어에서 번역

스탠리 밀러는 노벨상 수상자인
해럴드 C. 유리의 지도를 받는
대학원생이었습니다.

1952년. 시카고대학교

밀러는 유리가 계산한 원시 지구의
대기 성분 결핍값을 오파린과
홀데인의 이론에 접목시켰습니다.

우선, 원시지구에 있을 것으로
보이는 기체들을
밀폐된 용기에 집어넣는 거야.

그리고 원시지구의 환경을 재현해서
생명체 출현에 필요한 분자를
합성하는 거지... 이렇게 하면 화학적
진화설을 검증할 수 있어.

메탄... 암모니아...
수소...

산소는 빼고.

이렇게 원시지구의 바다와
대기 환경을 재현하는 거야.

그리고 화학물질을
멸균한 관과 플라스크에 가두어서
순환시키는 거지

물도 가열하고...



하지만 진짜 중요한 것은
원시 지구에서 번개로 생성된
에너지를 재현하는 거야.(5)

이건 전기 스파크로
대신할 수 있지.



이렇게 '번개 폭풍'을
일으킨 다음, 병 안에 들어 있는
대기를 다시 한번 식혀야 해.

이렇게 하면 병 안에
응축된 물이 관을
라고 흘러내려 오고...



표본을 채취한 다음 결과를
지켜보는 거지.

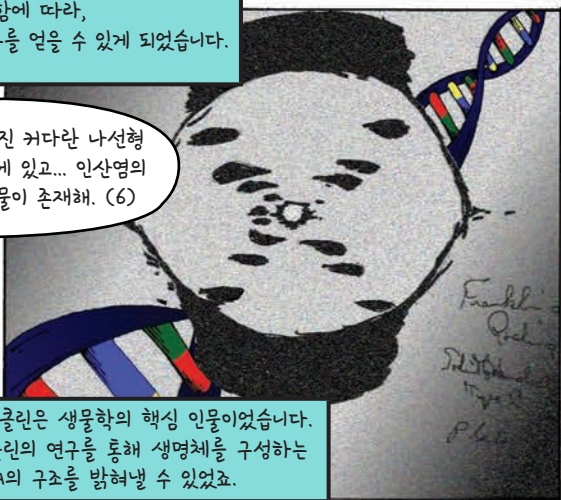
놀랍군. 탄소가 함유된
유기화합물이 나왔어. 게다가 살아있는
세포를 이루는 핵심 물질인 아미노산, 당,
지질 같은 분자가 함유되어 있어.

“생명체가 출현하기 전의 환경에서 전기를
흘려보낼 경우 지구의 생명체를 구성하는 아미노산 20종류 중
11종을 얻을 수 있군.” (5)

또한, 20세기 전반에 걸쳐 생물학과 화학이 대대적으로 발전함에 따라, 전문생물학자들은 분자 차원에서 생명체를 관찰할 수 있는 도구를 얻을 수 있게 되었습니다.



DNA는 여러 사슬로 이루어진 커다란 나선형 구조로군. 인산염은 바깥쪽에 있고... 인산염의 이중나선 결합 사이에는 물이 존재해. (6)



영국의 과학자 로절린드 프랭클린은 생물학의 핵심 인물이었습니다. 엑스레이 회절에 대한 프랭클린의 연구를 통해 생명체를 구성하는 가장 중요한 분자, 바로 DNA의 구조를 밝혀낼 수 있었죠.

프랭클린의 업적은 제임스 D. 왓슨과 프랜시스 크릭이 1953년에 발표한 DNA 이중나선 이론의 초석이 됩니다.



우리가 생명의 비밀을 발견했다!!!

왓슨과 크릭은 유전자 염기쌍의 구조를 시각적으로 규명해 현재 우리가 알고 있는 생명체의 청사진을 밝혀냈습니다. 이 두 과학자는 영국 케임브리지에 있는 "이글"이라는 펍에서 자신들의 발견을 발표합니다. 악명 높은 이글 펍 발표 이후, 1953년에 이들의 논문이 발간됩니다. 그로부터 불과 3주 후, 스탠리 밀러와 해롤드 유리 또한 생명체를 구성하는 화학물질에 대한 논문을 발표했습니다.

1962년, 왓슨과 크릭은 분자생물학자 모리스 윌킨스와 함께 분자생물학에 대한 공로를 인정받아 노벨상을 수상했습니다.



로절린드 프랭클린은 안타깝게도 자신의 업적을 제대로 인정받지 못한 채 1958년에 세상을 떠났습니다.

아버지는 과학을 (최소한 과학에 대한 이야기들) 사람들을 타락시키는 발명품, 실생활과 동떨어진 것, 일상과 섞이지 않도록 주의해야 하는 것으로 생각하시죠. 하지만 과학과 일상은 분리될 수 없고, 분리되어서도 안 돼요. 저에게 과학이란 생명에 대한 나옴의 설명이예요. 어디까지나 사실, 경험, 실험에 바탕을 두고 있죠.(7)"



인류의 우주 진출은 외계생물학이 본격적으로 발전하는 계기가 되었습니다...

1957년 스푸트니크

1963년 보스호트

1972년 스카이랩 4

1958년 익스플로러 I

당시 우주탐사를 주도한 나라는 미국과 소련이었습니다.

인류를 지구 밖으로 보내기 위한 경쟁이 시작된 것입니다. 당시 인류는 지구 밖에 무엇이 있는지, 그리고 최초로 지구 밖으로 나간 사람들에게 어떤 일이 일어날 수 있을지조차 알지 못했습니다.

그때까지 우주는 추측의 영역이었던 것이죠. 초기 형태의 망원경으로 우주를 관측했던 퍼시벌 로웰 같은 천문학자는 화성에 지성체가 만든 운하가 있다고 추측하기도 했습니다...



...공상과학 작가들은 한발 더 나아가 우리 태양계의 다른 행성에 낯선 문명이 존재한다고 상상하기도 했습니다.



우리에게 때로는 친근하고 때로는 무시무시한 외계인의 기묘한 이미지는, 당시 대중들에게는 생소한 것이었습니다.

이 시기에는 여러 주요 인물과 사건을 통해 외계생물학의 출현이 앞당겨지게 됩니다.
특히 1957년, 젊은 미생물학자인 조슈아 레더버그는 미국에서 인도로 건너와 J.B.S. 홀데인을 만났습니다.



홀데인은 영국에서 생명의 기원을 연구한 뒤, 인도 캘커타로 거처를 옮긴 상태였습니다.

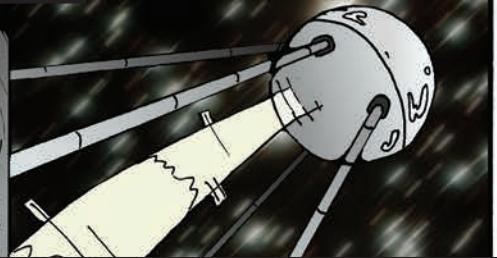
레더버그는 박테리아의 유전정보 교환 방식을 입증해 명성을 떨쳤습니다.
이 연구를 통해 박테리아 유전학이라는 분야가 생겨나는 데 기여했죠.

레더버그와 홀데인은 당시 소련이
쏘아 올린 두 스푸트니크 위성을
보고 놀라움과 두려움을 동시에
느꼈습니다.



두 사람 모두 우주기술이 '무모하게' 활용될 가능성을 내다본 것입니다. 미생물
전문가였던 레더버그는 인간이 지구의 미생물로 다른 천체를 오염시킬지도
모른다고 우려했습니다. 그 행성에 존재할지도 모르는 생태계가 파괴되고,
그 생태계를 연구하지 못하게 될 수도 있다고 생각했죠.(8)

홀데인의 집에서 월식을 지켜보며,
두 사람은 인간의 우주 진출이 우리
태양계의 다른 행성과 위성에서 어떤
영향을 미칠지 점쳐보았습니다.



또한 레더버그는 점차 우주 탐험가들이 지구에 해로운 외계
박테리아를 가져와 지구를 오염시킬지도 모른다는 걱정을 하
게 되었습니다.

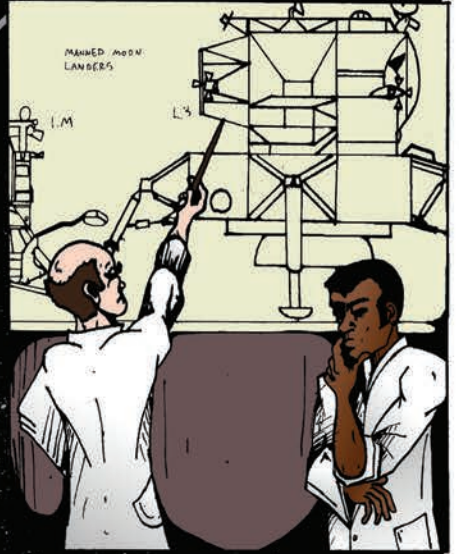
* 5면 참조.

우주 진출에 대한 인류의 자신감이 커져가면서, 인류가 태양계의 다른 행성과 위성에 미치는 영향에 대한 우려 또한 커져갔습니다.

라이카(1954년경~1957년 11월 3일)는 지구 동물 최초로 우주에 진출한 개의 이름입니다. 1957년, 소련은 우주비행이 생명체에 미치는 영향을 알아보기 위해 라이카를 다시는 돌아오지 못할 여행에 나서도록 했습니다.

미국과 소련이 새로운 '우주 개발 경쟁'에 돌입함에 따라, 여러 업적이 빠른 속도로 이루어졌습니다. 불과 몇 달 사이에 로켓의 크기는 더욱 커졌고, 점점 더 복잡한 임무를 수행할 수 있게 되었습니다.

침팬지인 햄(1956년 7월경~1983년 1월 19일)은 우주에 진출한 최초의 유인원입니다. 1961년에 16분 39초 동안 우주를 비행하고 지구로 돌아왔죠.



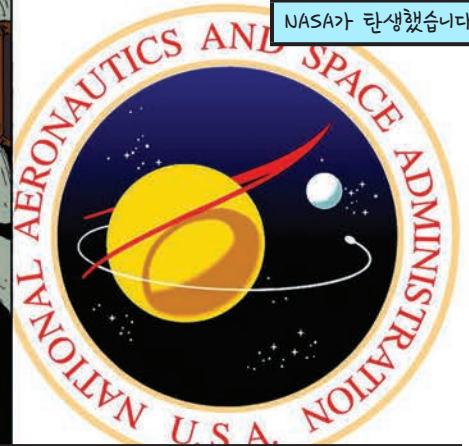
동물의 우주 비행은 소련의 우주비행사 유리 가가린이 인류 최초로 대기권을 벗어나면서 정점에 다다랐습니다.

1961년 4월 12일, 유리 가가린의 우주 비행을 통해 지구의 생명체는 진정한 의미에서 지구를 벗어나게 되었습니다.



1958년 7월 29일, 미국의 드와이트 D. 아이젠하워 대통령은 미국 항공우주법을 공포했습니다.

NASA가 탄생했습니다.



부국장님, 제 생각엔 인류가 우주를 탐사하면서 지구가 외계 생명체에 오염되는 것을 막을 조치가 필요합니다.

그리고 우주탐사의 최우선 과제는 태양계의 위성과 행성에 존재하는 생명체의 탐사가 되어야 합니다.

조슈아 레더버그는 캘리포니아에서 홀데인과 작별하고 미국으로 돌아와 NASA의 초대 부국장을 찾아갑니다...

... 바로 휴 래머리 드라이든이었죠.

네, 알겠습니다.

드라이든은 이윽고 레더버그를 우주과학위원회 외계생명체 패널의 수장으로 임명했습니다.

1958년 가을, 레더버그는 노벨 생리학상을 수상했습니다. 하지만 자신이 '외계생물학'이라 이름 붙인 분야에 대한 관심은 식을 줄 몰랐습니다.

"...유전자가 특정한 화학적 사건의 조절에 의해서 작동함을 발견하고..."

레더버그는 지체 없이 지구 밖 생명체를 연구하는 연구자들을 모으기 시작했습니다. 멜빈 캘빈, 윌프 비슈니악, 노만 호르비츠, 해롤드 유리, 그리고 당시 젊은 나이였던 칼 세이건까지 뛰어난 인재들이 레더버그의 부름에 응답했습니다.

"...또한 유전자 재조합과 박테리아 내 유전물질 조직을 발견한 공로로..."(9)



여키스 천문대에 있는 젊은 천문학자[칼 세이건]의 도움을 받았으면 합니다. 행성 생물학에 조예도 깊고, 관심도 많은 친구더군요.(10)

과학에서 제가 맡은 임무는 그야말로 '밀러의 연구를 천문학에 적용하는 것'입니다.(11)

배경 이미지: 허블 우주 망원경(12)

세이건은 시카고대학교에서 해롤드 유리의 강의를 들은 뒤로 '외계생물학'에 관심을 가지고 있었습니다. 당시 유리는 스탠리 밀러와 생명의 기원에 관한 실험으로 주목을 받고 있었습니다.

드라이든은 지구 밖 외계 생명체에 미칠 영향을 고려해야 한다는 레더버그의 간청에 공감했습니다. 이윽고 레더버그는 젊은 나이로 NASA의 의사결정과정에 참여하게 되었습니다. '외계생물학'이라는 말을 만들어낸 것도 레더버그였죠.

레더버그가 이끄는 외계생물학 패널의 열정 덕분에, NASA가 결성된 초기부터 우주의 생명체에 대한 기원, 진화, 그리고 분포에 대한 연구를 우주 탐사 계획의 중심에 놓고 추진할 수 있었습니다. 레더버그는 미국의 서부지역과 동부지역에 전담 연구팀을 하나씩 만들었습니다. 이들을 각각 이스트엑스와 웨스트엑스라고 불렀죠.

이탈리아 생물학자 살바도르 루리아가 이끄는 이스트엑스에는 브루스 빌립스, 딘 쿼워, 리처드 데이비스, 조지 더비샤이어, 폴 폴리, 허버트 프리먼, 토마스 골드, H. 케퍼 하트라인, 마틴 카먼, 사이러스 레빈탈, 스탠리 밀러, E.F. 맥 니콜, 브루노 로시, W.R. 시스트룬, 존 W. 타운센드, 울프 비슈니악, 프레드 휘플, 리처드 S. 영 등이 있었습니다.

해롤드 유리

칼 세이건

멜빈 캄빈

건서 스텐트

웨스트엑스 그룹은 레더버그가 이끌었고, 멜빈 캄빈, 리처드 데이비스, 노먼 호로비츠, A.G. 마르, 대니얼 마지아, 에런 노빅, 칼 세이건, 윌리엄 스텐튼, 로저 스타니어, 건서 스텐트, C.S. 반 닐, 해롤드 F. 위버 등이 함께했습니다.

살바도르 루리아

브루노 로시

울프 비슈니악

프레드 휘플

스탠리 밀러

케퍼 하트라인

1959년, NASA는 처음으로 외계생물학 연구 지원금을 이스트엑스 소속의 미생물학자, 예일대학교의 윌프 비슈니악에게 수여했습니다. 비슈니악은 이때 받은 4,500달러로 외계 행성의 토양에서 미생물을 감지하는 "울프 트랩"을 개발했습니다.

조만간 화성 탐사가 가능해질 겁니다.(13)



1960년 3월 1일, NASA는 생명과학 사무소를 신설했습니다. 이후 레더버그를 비롯한 여러 과학자의 노력에 힘입어, 생명과학 사무소에 외계생물학 프로그램이 개설되었습니다. 캘리포니아주 패서디나에 위치한 NASA 제트추진연구소와 캘리포니아주 마운틴뷰에 자리 잡은 에임스 연구 센터에서도 재빠르게 외계생물학 연구진을 구성했습니다.

에임스 연구 센터(14)의 경우 시릴 폰아페두마와 조지 아교류노글로를 비롯한 박사후과정 연구원을 선발해 외계생물학 연구를 중점 추진했습니다. 얼마 지나지 않아, 박사후과정 연구원들이 에임스 소속 과학자들과 함께 연구하는 모습을 볼 수 있게 되었습니다. 이러한 발전은 연구 분야에 새로운 연구자를 선발하는데 큰 전기를 이루었습니다.

외계생물학 연구 초기, 많은 연구자들이 비슈니악을 따라 NASA로부터 후원을 받았습니다. 또, 그중 다수의 인원이 노벨상을 수상했습니다.(15) 1963년에 이르러 NASA는 미국에서도 손꼽히는 생명과학 연구 후원 기관이 되어 있었습니다. NASA의 후원으로 UC 버클리와 스탠퍼드 등 많은 대학에서 연구시설을 신축했습니다. 초기 NASA 외계생물학 지원금으로 수행된 프로젝트에는 다음과 같은 것이 있습니다.

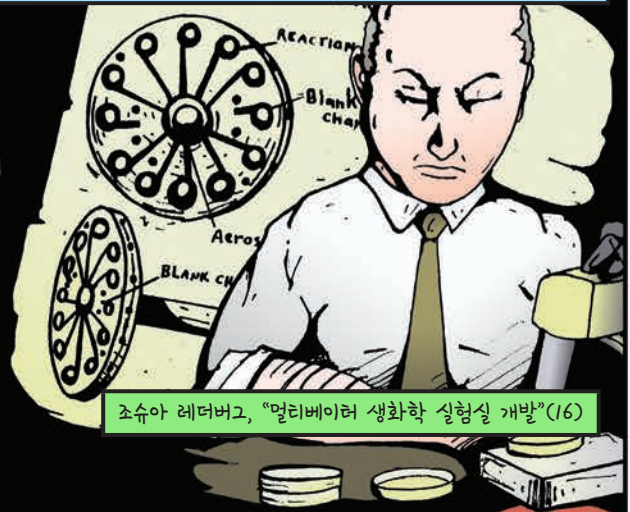
해리슨 브라운, "달 및 행성 탐사의 문제"(16)



새뮤얼 실버, "모의 행성환경에서의 토양미생물 생화학 연구"(16)



시드니 폭스, "프로티노이드 마이크로스피어 연구"(16)



조슈아 레더버그, "멀티베이어 생화학 실험실 개발"(16)



길버트 레빈 "걸리버 생명체 탐지장치 개발"(16)



우주에 생명체가 존재할 가능성에 대한 질문은 NASA가 설립 초기부터 추구해왔던 것입니다. 이러한 점에서 외계생물학과 천문생물학 연구는 NASA의 목표를 달성하는데 매우 중요한 분야라 할 수 있습니다. 1976년, NASA는 최초로 다른 행성에서 생명체의 증거를 찾기 위한 탐사임무를 개시했습니다. 이 임무와 함께, 본격적인 외계생물학과 천문생물학 연구의 막이 오르게 됩니다.

18

17



다음 이야기...
태양계로 뻗어 나가는 천문생물학

천문생물학

NASA 외계생물학 및 천문생물학 연구의 역사

읽을거리 및 참고자료

1. 1면의 배경 이미지는 대마젤란 성운에 위치한 30 도라두스 성운의 모습입니다. 도라두스 성운은 은하계 중 우리가 속한 부분에서 가장 활발하게 별을 만들어내고 있는 지역입니다. 이미지는 허블 우주 망원경의 와이드 필드 카메라 3으로 포착한 자외선, 가시광선, 적외선 사진을 조합하여 만들었습니다. 사진 제공: NASA, ESA, 및 F. Paresce (INAF-IASF, Bologna, Italy), R. O'Connell (University of Virginia, Charlottesville), 및 Wide Field Camera 3 Science Oversight Committee.
온라인 주소: http://www.astrobio.net/index.php?option=com_galleryimg&task=imageofday&imgeld=216&pageNo=24
2. <http://Astrobiology.nasa.gov/roadmap> Astrobiology Roadmap 참조.
3. Drake, S. (1978) *Galileo at Work: His Scientific Biography*, University of Chicago Press
4. Huygens, C. (1968) *Cosmostheoros: Book 1*
5. "EXOBIOLOGY: An interview with Stanley L. Miller". Accessexcellence.org
6. 프랭클린의 강의 노트, "콜로키움, 1951년 11월." 타자기로 작성한 보고서, 1952년 2월 7일. A Sayre, *Rosalind Franklin and DNA* (1975), 128에서 재인용.
7. 로절린드 프랭클린이 엘리스 프랭클린에게 보낸 편지, 1940년 여름으로 추정. 당시 로절린드 프랭클린은 케임브리지대학 학부생이었습니다. Brenda Maddox (2002) *The Dark Lady of DNA*, HarperCollins Publishers, 380p에서 재인용.
8. Morange, M. (2007) What history tells us: X. Fifty years ago: the beginnings of Exobiology. *J. Biosci.* 32(6), September 2007, 1083-1087
9. www.nobelprize.org
10. http://www.njhn.org/Humanist_Candle_in_the_Dark.html
11. Sagan to Lederberg, 1959, Lederberg Papers, National Library of Medicine.
출처: <http://profiles.nlm.nih.gov/BB/Views/Exhibit/narrative/exobio.html>
12. 허블 우주 망원경 촬영 사진 "5 퀘이사 중력렌즈" 사진 제공: K. Sharon (Tel Aviv U.) 및 E. Ofek (Caltech), ESA, NASA. 출처: www.hubblesite.org 및 www.nasaimages.org
13. 울브 비슈니악이 개발한 울프 트랩은 이후에 NASA의 바이킹 화성 탐사선에 탑재된 네 장치 중 하나가 됩니다.
14. 미 해군 NAS가 1936년 5월 1일 촬영한 항공사진. 현재는 이 자리에 NASA/에임스 연구 센터가 자리잡고 있습니다. 현재에도 캘리포니아 하이웨이 101을 타고 캘리포니아주 마운틴뷰에 위치한 NASA 에임스 연구 센터 옆을 지나면, 사진에 뚜렷이 보이는 커다란 비행선 격납고를 볼 수 있습니다. Ames Research Center Image Library Collection, Image A93-0073-8.
15. NASA의 후원으로 초기 천문생물학 프로젝트를 진행한 노벨상 수상자로는 렌더버그, 캘빈, 유리, H.J. 윌러, 프리츠 리프먼, 조지 월드, M. 케퍼 하트라인, 만프레드 아이젠 등이 있습니다(Dick and Strick 2005, p. 30).
16. Dick, S.J. and Strick, J.E. (2005) *The Living Universe: NASA and the development of Astrobiology*. Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey, and London
17. 바이킹 궤도선 촬영 이미지: (1) 바이킹 1이 촬영한 화성 표면 이미지 (1976) (2) 바이킹 2가 촬영한 화성의 위성 데이모스 (1977) (3) 바이킹 1이 촬영한, 그 약명 높은 화성의 '사람얼굴' (1976) (4) 화성의 운하와 크레이터 바이킹 2 촬영 (1976)
18. 나사 딥 임팩트 탐사선에서 바라본 템펠 1 혜성 (2005).

