

## 우리 우주 및 다중 우주의 생명체 거주가능성에 관한 연구 동향

홍성욱 교수(서울시립대학교, 물리학)

### 요약

지구 바깥의 다른 행성에도 우리와 같이 지성을 가진 생명체가 존재할 수 있을까? 만약 그렇다면, 그런 생명체가 존재할 만한 환경은 어떤 것일까? 생명체가 존재할 만한 환경을 천문학적 관점에서 연구하는 방식을 “생명체 거주가능성(habitability)”라고 한다. 우리 은하에 있는 항성의 생명체 거주가능성, 그리고 우리 우주 전체의 생명체 거주가능성의 분포는 어떻게 될 것인가? 만약 우리가 살고 있는 우주 외에도, 물리 법칙이 전혀 다른 우주가 존재한다면, 그런 우주의 생명체 거주가능성은 우리 우주에 비해 얼마나 다를까? 본 발표에서는, 20세기 중후반부터 생명체 거주가능성에 관해 천문학 및 우주생물학적인 관점에서 어떠한 연구가 이루어졌는지를 간략하게 소개한다. 또 위와 같은 생명체 거주가능성을 기독교적인 관점에서 어떻게 바라볼 수 있을지에 대한 간략한 토의 및 질문을 제시한다.

주제어: 생명체 거주가능성, 우주생물학, 외계행성, 다중우주

### 1. 서론: 알려진 세계 바깥(terra incognita)의 영적/지적 피조물

창세기 1장에 나오는 하나님의 천지창조 기사에 따르면, 하나님은 특별히 인간을 “하나님의 형상대로 창조하시되(창1:27)” “보시기에 심히 좋았더라(창1:31)”고 하며, 이는 인간이 온 우주 가운데에서도 하나님이 특별한 관심을 갖고 창조하신 존재라는 것을 시사한다. 또한 로마서 8장에서는 “피조물이 허무한데 굴복하는 것은 자기 뜻이 아니요, 오직 굴복하게 하시는 이로 말미암음이라. 그 바라는 것은 피조물도 썩어짐의 종 노릇 한데서 해방되어 하나님의 자녀들의 영광의 자유에 이르는 것이니라(롬8:20)”이라고 되어 있는데, 이는 인간의 죄가 인간 뿐 아니라 전 우주에 악영향을 미친다는 것을 시사하며, 동시에 예수 그리스도를 통한 인간의 구원도 인간 뿐 아니라 전 우주의 회복을 이끌어 낸다는 것을 시사한다.

만약 인간이 우주 전체 중에서도 하나님이 특별한 관심을 가지고, 인간의 죄 여부가 우주 전체에 심각한 영향을 미친다고 하면, 과연 ‘알려진 세계 바깥’에도 인간처럼 영적인 피조물이 있을까? 만약 그렇다면, 그들은 인간처럼 죄에 물들어 있을까? 그들이 죄에 물들어 있다면, 누구의 잘못 때문인가 --- 인간과는 상관없는 그들 자신만의 ‘선악과 사건’이 있는 것일까, 아니면 한 번도 접촉해 본 적이 없는 인간이 그들에게 죄를 전가했다

말인가? 또 인간의 형태로 오신 예수 그리스도는 그들의 구원에 어떻게 연관지어질 수 있을까? 반대로 그들이 죄에 물들어 있지 않다면, 죄 없는 영적인 피조물을 만드실 수 있는 하나님이 인간은 왜 이렇게 창조하셨단 말인가? 알려진 세계 바깥에 영적인 피조물이 존재한다고 가정하면, 위와 같이 쉽게 대답하기 어려운 신학적 질문이 나타날 수 있다.

어쩌면 고대부터 중세까지 기독교인들이 인식한 세계의 크기는 현재 우리가 알고 있는 우주와 비교해 매우 작았기 때문에, (천국/지옥을 제외한) 알려진 세계 바깥에 대해 그다지 관심이 없었을지도 모른다. 특히 플라톤에게서 영향을 받은 천동설에 따르면, 이 세계는 지구 주변을 둘러싸고 있는 여러 겹의 천구(天球)로 되어 있고, 해, 달, 별과 같은 천체는 각각의 천구에 붙어 있다고 생각했다. 이에 도전한 사람 중 하나는 조르다노 브루노(Giordano Bruno)인데, 그는 코페르니쿠스의 지동설을 더욱 극단적으로 밀고 나가, 이 세계(또는 우주)는 무한히 크고, 인간과 같은 영적(또는 지적)인 피조물도 무한히 많을 수 있다고 주장하였다. (Bruno, 1584) 당시 가톨릭 교회에서는 브루노의 주장을 위험하다고 판단하였고, 이 때문에 결국 브루노는 화형당했다.

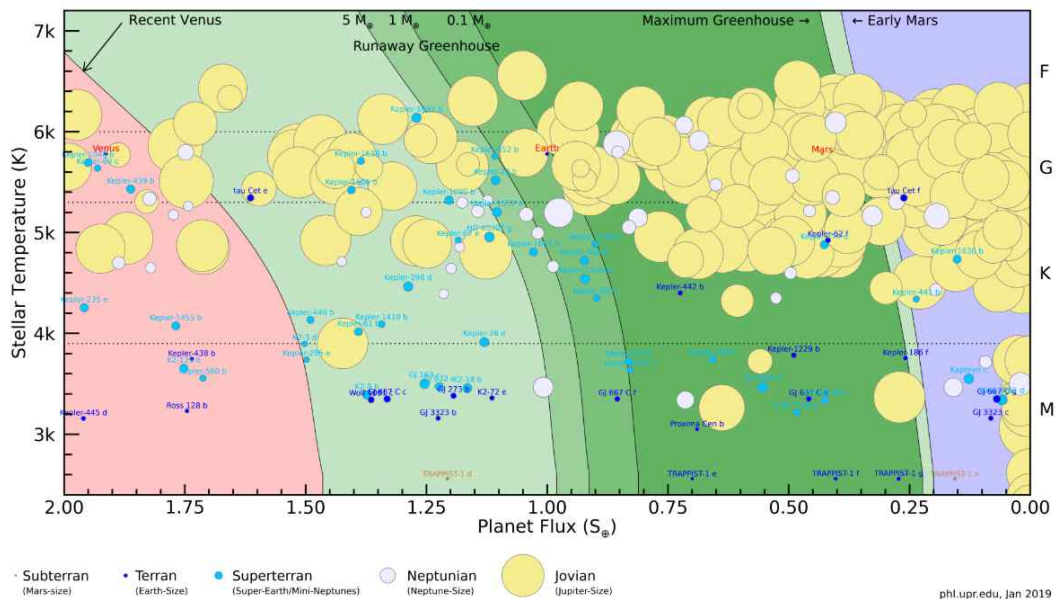
## II. 골디락스 영역(Goldilocks zone) 안의 외계생명체

근대에 들어와서 기독교가 과학계에서 미치는 영향이 크게 줄어들고, 특히 다윈의 진화론이 생물학계의 정설이 된 이후로는, 신학적 해석이 과학 이론의 형성에 주요한 영향을 미치지 못하게 되었다. 이에 따라, 지구 바깥에 인간 외의 지적인 생명체가 존재할지에 관한 질문도 대두되었다. 특히, 아래와 같은 두 개의 발견은 외계 생명체의 존재 가능성에 일종의 확신을 주게 되었다. 첫째로, 에드윈 허블(Edwin Hubble)이 우리 은하계 바깥에 있는 외부은하의 존재를 발견하면서, 알려진 우주의 크기가 최소 수백 배 이상 커지게 되었다. (Hubble, 1929) 둘째로, 밀러-유리(Miller-Urey) 실험에서 지구의 원시 대기에서 아미노산이 자연적으로 발생함을 보임으로써, 초기 생명체가 무생물에서 생겨날 가능성이 있음을 제시하였다. (Miller, 1953)

외계생명체의 존재 여부를 연구하는 방법에는 크게 두 가지가 있다. 하나는 지구 바깥에서 오는 빛/전파나 천체에서 직접 외계생명체의 흔적을 찾는 것이다. 예를 들어 화성에 탐사선을 보내 흙 속에서 생명체의 흔적을 찾거나, 지구에 떨어진 운석의 내부에서 생명체의 흔적을 찾거나, 전파망원경을 통해 외계문명이 보냈을 법한 인공적인 신호를 찾는 일이 이에 해당한다.

다른 하나는 망원경 등을 통해 발견한 외계행성이 과연 생명체가 진화하기에 적합한 환경을 갖추고 있는지를 간접적으로 알아내는 것이다. 하지만 '생명체가 진화하기에 적합한 환경'을 정의하는 것도 자명하지 않은데, 이유는 다음과 같다. 우선 기존의 정의에서 벗어난 생명체가 계속 발견됨에 따라, 과연 어디까지를 생명체로 정의할 수 있느냐가 자명하지 않다. 또 지구 내에도 매우 극단적인 환경에서도 살아가는 생물이 계속 발견되고 있어, 생명체가 존재할 수 있는 환경의 범위가 계속 늘어나고 있다. 하지만 대부분의 학자들은 고등 생명체의 몸이 다양한 형태의 화합물을 만들어 낼 수 있는 탄소(C) 기반으

로 만들어질 가능성이 크다고 동의한다. 또 이러한 탄소 기반의 생명체가 살기에 적합한 환경은 액체 상태의 물(H<sub>2</sub>O)이 존재하고, 단단한 지각이 존재하는 행성이라고 본다. 액체 상태의 물은 섭씨 0~100도 사이에서만 존재하므로, 항성 주변에 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 영역은 일부분에 불과하며, 그 영역의 범위는 항성의 온도에 따라 달라진다. 이와 같이 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 영역을 '골디락스 영역'이라고 한다. [그림 1]은 2019년 2월 1일 현재까지 발견된 외계행성 중, 골디락스 영역 근처에 존재하는 외계행성의 분포를 나타낸 것이다. 온도가 높은 항성(4,000도 이상) 주위에서 발견된 골디락스 행성은 대부분 목성이나 해왕성과 비슷한 가스형 행성인데, 이는 지구와 비슷한 지각형 행성은 크기가 작아서 항성과 구분해서 발견하기가 상대적으로 어렵기 때문이다. 현재까지 발견된 3,900여 개의 외계행성 중 32개가 지각형 골디락스 행성으로 추



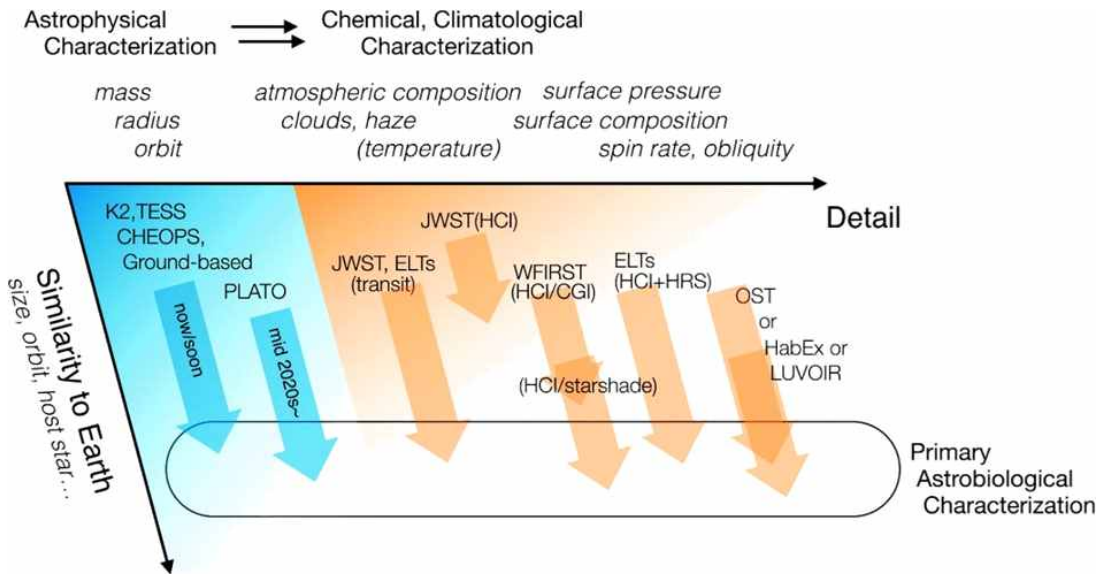
[그림 1] 2019년 2월 1일 현재 발견된 골디락스 영역 근처의 외계행성의 분포. 가로축은 행성에 도달하는 항성의 빛의 양. 세로축은 항성의 온도. 동그라미의 크기는 행성의 크기. 연두색에서 초록색 영역이 골디락스 영역에 해당함. (<http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog/>)

정되는데, 관측의 한계로 인해 이들 중 대부분은 M형 왜소성(온도 4,000도 이하) 주위에 존재한다. 하지만 이러한 M형 왜소성에서 골디락스 행성에 비추는 빛은 지구에서 받는 햇빛보다 X선의 양이 수백 배나 더 많으며, 이러한 다량의 X선은 골디락스 행성에 있는 생명체를 멸종시킬 수 있다.

(<https://www.ewass.ras.ac.uk/10-x-rays-could-sterilise-alien-planets-in-otherwise-habitable-zones>)

[그림 2]는 미국을 중심으로 한 우주생물학계에서 계획하고 있는 향후 외계생명체 탐사

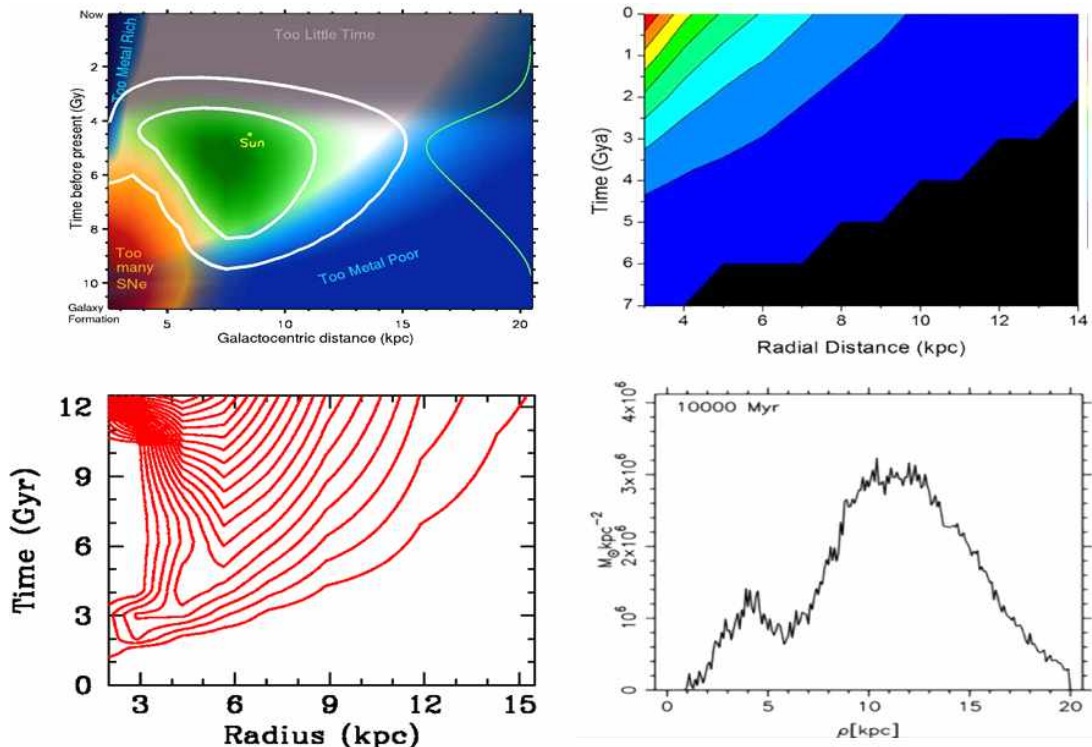
방향을 보여준다. 최근까지는 행성이 항성 앞을 지나갈 때 항성의 빛을 일부 가리는 것을 이용하여, 비교적 부피가 큰 행성의 질량과 공전 궤도 등 행성의 기초적인 정보만을 얻을 수 있었다. 하지만 2020년대 중후반 이후 건설되는 거대한 천문관측시설을 이용하면, 행성을 이루고 있는 대기 성분에도 대해서도 알 수 있으리라 기대된다. 이 때 고등생명체의 존재를 암시하는 대기 성분으로 가장 유력한 것은 산소(O<sub>2</sub>)이다. (Kiang et al., 2018)



[그림 2] 미국을 중심으로 한 우주생물학계에서 계획하고 있는 향후 외계생명체 탐사 방향. 가로축은 외계행성에서 얻을 수 있는 정보의 양이 증가하는 양상을 보여줌. 세로축은 얼마나 지구와 흡사한 외계 행성을 관측할 수 있는가를 보여줌. (Fujii et al., 2018)

### III. 우리 은하의 생명체 거주가능성 (Galactic habitability)

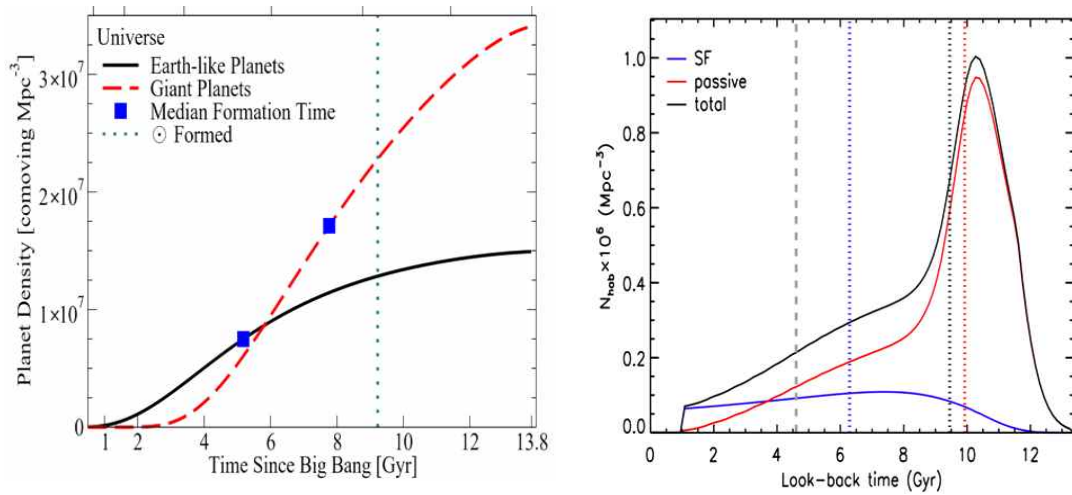
기예르모 곤잘레스(Guillermo Gonzalez)는 2001년에 '은하계의 생명체 거주가능성'이라는 개념을 제창하면서, 항성계 뿐 아니라 은하계에도 골디락스 영역에 해당하는 것이 있다고 주장하였다. (Gonzalez et al., 2001) 그에 따르면, 은하계의 중심부에는 별이 너무 많이 있어서 초신성(supernova)이나 감마선 대폭발(gamma ray burst; GRB)이 자주 일어나고, 여기서 나오는 복사광이 주변에 있는 생명체를 멸종시킬 수 있다. 반면에 은하계의 바깥 부분에는 지각형 행성의 형성에 필요한 무거운 원소가 적어서, 생명체가 생겨나기 어렵다. 따라서 고등 생명체가 살기에 적합한 환경은 은하계의 중심에서 적당하게 떨어진 고리 모양의 영역이고, 지구를 포함한 태양계가 이곳에 존재한다고 주장하였다. 곤잘레스는 더 나아가, 고등 생명체가 살기에 적합한 환경이 우주 전체를 과학적으로 연구하는데 적합한 환경이라고 주장하였고, 이는 인류가 존재하는 장소에 대한 일종의 지적 설계를 암시한다고 주장하였다. (Gonzalez & Richards, 2004)



[그림 3] 우리 은하의 생명체 거주가능성의 분포. 왼쪽 위부터 시계방향으로 Lineweaver et al. (2004), Gowanlock et al. (2011), Vukotic et al. (2016), Prantzos (2008). 가로축은 은하 중심으로부터의 거리. 세로축은 시간 (Vukotic et al. 제외) 또는 나선은하 평면으로부터의 거리 (Vukotic et al.).

곤잘레스의 주장이 옳은지 알아보기 위해서는, 우리 은하의 생명체 거주가능성을 계산하면 된다. 은하계의 생명체 거주가능성을 연구하기 위해서는 별의 밀도와 무거운 원소의 비율이 필요하다. 이를 통해서, 먼저 다양한 온도를 가진 별의 분포를 모사한다. 그 다음 무거운 원소의 비율을 이용하여, 각각의 별 주위에 지각형 행성이 있을 확률을 계산한다. 또 주어진 지각형 행성의 궤도가 별의 골디락스 영역에 안정적으로 존재할 확률을 계산한다. 마지막으로, 별의 밀도를 이용하여 주변에서 초신성 폭발이 일어날 확률을 계산하고, 주어진 지각형 행성이 적당한 기간 동안 초신성 폭발의 영향을 받지 않을 확률을 계산한다.

[그림 3]은 우리 은하의 생명체 거주가능성의 분포를 연구한 주요 결과를 정리한 것이다. 4개의 연구 결과 중 가장 오래된 Lineweaver et al. (2004)는 태양계의 위치 및 형성 시기가 고등 생명체가 탄생하기에 가장 적합한 위치 및 형성 시기임을 시사하는데, 이는 위에서 살펴 본 곤잘레스의 주장에 부합한다. 반면에 Prantzos (2008)과 Gowanlock et al. (2011)은 우리 은하 중심부가 태양계보다 고등 생명체가 탄생하기에 더 적합한 위치라고 주장하였다. 이와 같은 차이는 무거운 원소의 양이 지각형 행성을 만드는데 얼마나 관련이 있는지, 또 초신성 폭발이 얼마나 먼 외계문명을 멸종시킬 수 있는지에 대해 학



[그림 4] (왼쪽) 우리 우주 내의 지각형 행성과 가스형 행성의 밀도와 시간과의 상관관계. (Behroozi & Peeples, 2015) (오른쪽) 우리 우주 내의 다양한 은하의 생명체 거주가능성과 시간과의 상관관계. (Gobat & Hong, 2016)

자들 간에 의견 일치가 이루어지지 않았기 때문이다. 또 Gobat & Hong (2016)에서는 우리 은하 내의 대부분의 골디락스 행성이 지구보다도 15억 년 이상 전에 태어났을 것이라 주장하였다. 더 나아가, 만약 지구가 우리 은하 내의 유일한 문명이라면, 지구에서 고등 생명체가 나타나는데 걸리는 시간(약 45억 년)은 다른 골디락스 행성에서 고등 생명체가 나타나는데 걸리는 시간보다 약 40억 년 이상 빠른 것이라는 결론을 내렸다.

#### IV. 우리 우주 안의 생명체 거주가능성

우리 우주에는 우리 은하 이외에도 약 천억 개 정도의 은하계가 있을 것으로 예상되며, 각각의 은하계는 별의 밀도, 무거운 원소의 분포 등이 모두 다르다.

(<http://www.space.com/25303-how-many-galaxies-are-in-the-universe.html>) 앞서 태양계의 위치가 우리 은하 안에서 고등 생명체가 나타나기에 가장 적합한지를 점검해 본 것과 비슷하게, 우리 은하가 우리 우주에 있는 수많은 은하계 중 고등 생명체가 나타나기에 가장 적합한지를 점검해 볼 수도 있다.

우리 우주 안의 생명체 거주가능성에 관한 연구는 2010년대 중반에 들어서서야 본격적으로 이루어지기 시작했다. Dayal et al. (2015)는 은하의 별의 질량, 별탄생률(star formation rate), 그리고 별에 있는 무거운 원소의 비율 사이의 상관관계를 이용하여, 간단한 모형을 이용해 각각의 은하에 대해 생명체 거주가능성을 계산하였다. 그 결과 무거운 타원은하일수록 생명체 거주가능성이 높으며, 우리 은하와 같은 나선은하는 상대적으로 생명체 거주가능성이 낮은 편이라는 결과를 얻었다. 다만 이들이 사용한 생명체 거주가능성 모형에서는 초신성에 의한 효과를 과대평가하고 있어서, 실제 타원은하의 생명체

거주가능성은 이들의 예상보다는 적을 가능성이 있다.

Behroozi & Peebles (2015)는 지각형 행성과 가스형 행성이 우주 전체에서 시간에 따라 얼마나 많이 만들어지는지 계산하였다. 그 결과 지구는 우주의 역사 전체를 통틀어 존재할 지각형 행성 중 상위 8% 정도로 일찍 태어난 것으로 예상된다. 다만 여기서 구한 지각형 행성에는 골디락스 행성이 아닌 것도 다수 섞여 있다는 점을 주의해야 한다.

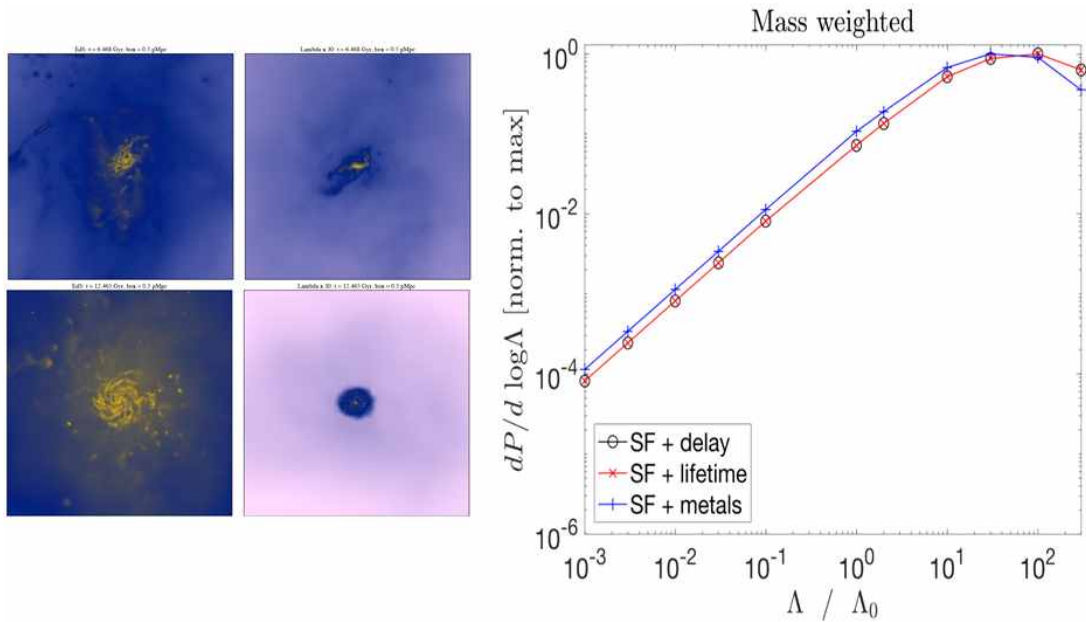
Gobat & Hong (2016)은 나선은하와 타원은하를 나누어 정교한 생명체 거주가능성 모형을 적용하였다. 이에 따르면, 우리 은하 안의 골디락스 행성 중 대부분은 지구보다 15억 년 이상 먼저 태어난 것으로 예상된다. 만약 지구가 현재까지 우리 은하 안의 유일한 문명이라면, 지구에서 고등 생명체가 나타나기까지 걸린 시간(약 45억 년)은 외계행성에서 일반적으로 고등 생명체가 나타나기까지 걸린 시간보다 약 40억 년 더 빠른 것이다.

#### V. 다중 우주(multiverse)?

우주의 시공간의 끝이 존재하는지는 알 수 없지만, 우리가 천문학적으로 관측할 수 있는 우주의 시공간(우리 우주)에는 한계가 존재한다. 이는 우리가 아는 우주에는 시작이 존재하고, 빛의 속도에는 한계가 있기 때문이다. 앞서 브루노가 제시했듯, 우리 우주 바깥에 무한한 시공간을 가정하는 것이 논리적으로 불가능한 것은 아니기에, 일부 학자들은 다중 우주의 가능성을 염두에 두고 있다.

지적 설계 이론가인 윌리엄 뎀스키(William Dembski)는 주요한 다중 우주 이론으로 네 가지를 꼽고 있는데, (Dembski 2008) 이는 우주 가속팽창, 초끈 풍경이론(string landscape), 양자적 다중세계(quantum many-world), 우주론적 자연선택(cosmological natural selection)이다. 특히 지적 설계의 입장에서는 하나님과 같은 설계자의 설계 행위를 추론하기 위해, 우연으로는 절대로 설명할 수 없는 확률 한계를 도입한다. 이 확률 한계는 우리 우주의 나이, 우리 우주 안의 입자의 개수 등으로 계산할 수 있는데, 이 경우  $10^{-150}$ 이라는 작지만 0이 아닌 값을 얻게 된다. 하지만 무한히 많은 다중 우주를 도입할 경우 확률 한계는 항상 0이며, 따라서 설계 행위를 추론하는 것은 불가능하게 된다.

반면에, 다중 우주의 존재를 일단 가정하면, 현재 우리 우주의 특징이 인간과 같은 지적인 생명체에게 얼마나 유리하게 되어 있는지를 계산하는 것이 가능해진다. 스티븐 와인버그(Steven Weinberg)는 현재 우리 우주의 공간 팽창을 가속화하는 암흑 에너지(dark energy)의 양이 현재보다 500배 이상 더 클 경우, 공간 팽창이 너무 빨리 일어나서 은하계나 별, 행성, 생명체가 만들어질 수 없다는 것을 보였다. (Weinberg 1980) 최근에는 최첨단 컴퓨터 시뮬레이션인 EAGLE 시뮬레이션을 이용하여, 암흑 에너지의 양을 바꾸어가며 우주 내의 생명체 거주가능성이 어떻게 바뀌는지를 계산하였다. (Barnes et al. 2018; 그림 5] 참조) 비록 이들이 단순한 생명체 거주가능성 모형을 사용하긴 했지만, 결과적으로 고등 생명체는 대체로 우리 우주의 암흑 에너지보다 10~30배 정도 더 높은



[그림 5] 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여, 암흑 에너지의 양을 바꾸어 가면서 우주 내의 생명체 거주가능성을 조사한 결과. (Barnes et al. 2018)

암흑 에너지를 가진 다중 우주에 있을 가능성이 제일 높다는 결론을 얻었다.

## VI. 맺음말

생명체 거주가능성에 관한 연구를 통해, 과연 인간이 우주 안에서 위치하고 있는 환경이 지적/영적 피조물에게 가장 적합한지를 어렵잡아 볼 수 있다. 개인적으로 어쩌면 가장 행복한 시나리오는, 인간이 태양계, 우리 은하, 우리 우주, 더 나아가 (가상의) 다중 우주 안에서 가장 영적 피조물에게 적합한 환경에 위치해 있다는 결론을 얻고, 이를 하나님의 창조의 증거로 돌리는 것일지 모르겠다.

하지만 동일한 과학적인 결과에 대해서도, 얼마든지 다른 신학적/철학적 결론을 내는 것이 가능하다. 만약 무한히 많은 다중 우주가 존재한다면? 만약 인간이 태양계, 우리 은하, 우리 우주, 다중 우주에서 유일한 지적/영적 피조물이 아니라면? 그렇다면 위에서 구한 결론은 단순히, 현재 처해 있는 환경이 우연히 적합하기 때문에 인간이 자연 발생한 결과라고 해석할 수도 있을 것이다.

2019년 현재 생명체 거주가능성에 관한 연구 현황을 보면, 인간은 우리 은하에서도, 우리 우주에서도, 더 나아가 다중 우주 안에서도 영적/지적 피조물에게 최적의 환경에 위치했다고 보기 어려운 것 같다. 이는 무엇을 뜻하는가? 수많은 다중 우주 중에 인간은 통계적으로 이상치(outlier)에 지나지 않는다는 것을 의미하는가? 아니면, 만약 다중 우주



가 없고 우리 우주만 존재한다면, 이는 하나님의 기묘한 섭리를 의미하는가?

## 참고문헌

- Barnes, L. A. et al. (2018), "Galaxy formation efficiency and the multiverse explanation of the cosmological constant with EAGLE simulations," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 477 (3), 3727-3743.
- Behroozi, P. and Peeples, M. S. (2015), "On the history and future of cosmic planet formation," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454 (2), 1811-1817.
- Bruno, G. (1584), *De l'Infinito Universo et Mondi*
- Dayal, P. et al. (2015), "The Quest for Cradles of Life: Using the Fundamental Metallicity Relation to Hunt for the Most Habitable Type of Galaxy," *The Astrophysical Journal Letters* 810 (1), L2.
- Dembski, W. A. (2001), *No Free Lunch: Why Specified Complexity Cannot Be Purchased without Intelligence*
- Fujii, Y. et al. (2018), "Exoplanet Biosignatures: Observational Prospects," *Astrobiology* 18 (6), 739-778.
- Gobat, R. and Hong, S. E. (2016), "Evolution of galactic habitability," *Astronomy & Astrophysics* 592, A96.
- Gonzalez, G. et al. (2001), "The Galactic Habitable Zone: Galactic Chemical Evolution," *Icarus* 152 (1), 185-200.
- Gonzalez, G. and Richards, J. (2004), *The Privileged Planet: How Our Place in the Cosmos Is Designed for Discovery*.
- Gowanlock, M. G. (2011), "A Model of Habitability Within the Milky Way Galaxy," *Astrobiology* 11 (9), 855-873.
- Hubble, E. (1929), "A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 15 (3), 168-173.
- Kiang, N. Y. et al. (2018), "Exoplanet Biosignatures: At the Dawn of a New Era of Planetary Observations," *Astrobiology* 18 (6), 619-629.
- Lineweaver, C. H. et al. (2004), "The Galactic Habitable Zone and the Age Distribution of Complex Life in the Milky Way," *Science* 303 (5654), 59-62
- Miller, S. L. (1953), "Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions," *Science* 117 (3046), 528-529.
- Prantzos, N. (2008), "On the "Galactic Habitable Zone"," *Space Science Reviews* 135 (1-4), 313-322.
- Vukotic, B. et al. (2016), "'Grandeur in this view of life': N-body simulation models of the Galactic habitable zone," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 459 (4), 3512-3524.
- Weinberg, S. (1987), "Anthropic bound on the cosmological constant," *Physical Review Letters* 59 (22), 2607-2610.