

特別講演**極限環境生命圏の生命の生き様から学ぶ
地球生命の起源や地球外生命の存在**

高井 研



特別講演

略歴

1992 年京都大学農学部水産学科卒。1994-1995 年米国ワシントン大学客員研究員，1997 年京都大学大学院農学研究科博士課程修了。1997 年日本学術振興会博士特別研究員，1997 年科学技術振興事業団科学技術特別研究員を経て，1999 年海洋科学技術センター（JAMSTEC）極限環境フロンティア研究員。2002 年 JAMSTEC 地殻内微生物研究プログラムグループリーダー，2005 年同プログラムディレクター。2009 年独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）海洋・極限環境生物圏領域深海・地殻内生物圏研究プログラムディレクターおよびプレカンブリアンエコシステムラボユニットリーダー。2012 年独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所学際系領域客員教授，独立行政法人東京工業大学地球生命研究所主任研究者兼務。2014 年独立行政法人自然科学研究機構新分野創成センター客員教授兼務。2014 年独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）深海・地殻内生物圏研究分野，分野長。

研究分野

超好熱菌の微生物学，極限環境の微生物生態学，深海・地殻内生命圏における地球微生物学を経て，現在は地球における生命の起源・初期進化における地球微生物学および太陽系内地球外生命探査にむけた宇宙生物学。

研究受賞歴

- 2002 年 第 1 回極限環境微生物学会奨励賞
- 2004 年 第 1 回 JAMSTEC 分野横断研究アワード
- 2006 年 第 1 回 JAMSTEC システム地球アワード
- 2012 年 第 8 回日本学術振興会賞
- 2012 年 第 8 回日本学士院学術奨励賞
- 2012 年 Change Maker of the Year 2012 研究者部門グランプリ（日経 BP）

極限環境生命圏の生命の生き様から学ぶ 地球生命の起源や地球外生命の存在

高井 研

国立研究開発法人海洋研究開発機構 深海・地殻内生物圏研究分野 分野長

私は割と真面目に、「生命の起源」を解明するためには、地球生物以外の生物を理解することが最も合理的な方法論であると思っています。それは「人類の起源」の解明に人間以外の生物との相対的な比較が必要なと同じように、地球生物と地球外生命との比較によって初めて、「生命とは何か」とか「生命の起源」についての一般解と特殊解のような本質的な理解に辿り着くことができると思うからです。とは言うものの、それでも多くの先端的な研究者の中には、あるいは一般の人々の中にも、そしてもちろん私の中にも、なんとなく「生命とは何か」とか「生命の起源」についての漠然とした一般的共有イメージがあるような気がします。

今の地球の暗黒の深海には、400℃を超えるような熱水が噴出している場が500か所以上見つかっています。最近では、こうした深海熱水は銅や貴金属やレアメタルといった海底資源の宝庫として注目されていますが、発見以来、深海熱水研究の一番の原動力になってきたのは、「そこで地球生命が誕生した」のではないかという人間の好奇心をかきたてる根源的な科学興味でした。これまでにわかってきた深海熱水を巡る様々な研究分野の成果から、「少なくとも我々の祖先はすべて、約40億年前の深海熱水という場所の洗礼を通じて地球全域に適応進化・伝播し、今に至った」ことは間違いのないようです。

一方、深海熱水の発見と時を同じくして、太陽系の他の惑星や小惑星起源の隕石から、地球生命の細胞の原材料となる有機物が見つかり、それ以降たくさんの有機物が太陽系や太陽系の宇宙に存在することがわかってきました。しかも、それらの有機物は地球にもたくさん届けられている可能性があることもわかってきました。「もしかして宇宙で作られた有機物から地球生命は誕生したのではないか」と考える研究者も増えてきました。そして「地球生命が宇宙の有機物から生み出されるのなら、他の惑星の生命も宇宙の有機物からドンドン生み出されるのではないか」とも考えられるようになってきました。

実は、「地球生命が地球でできた有機物から生み出される」シナリオと「地球生命が宇宙でできた有機物から生み出される」シナリオでは、「生命がどのように誕生してゆくか」という過程が大きく異なってくるのです。私は当初、「宇宙でできた有機物が深海熱水で加工されて地球生命が生み出されたのではないか」と考えていました。ところが最近では、「地球生命は地球で（深海熱水で）できた有機物から生み出される」という地産地消シナリオの方が正しいと考えるようになりました。その理由についてお話しします。

Possible occurrence of extraterrestrial living forms and origin of life in the Earth: Lessons from extremobiosphere in the Earth

Ken Takai

Director, Department of Subsurface Geobiological Analysis and Research
(D-SUGAR), Japan Agency for Marine-Earth Science & Technology

Over the past 35 years, researchers have explored seafloor deep-sea hydrothermal vent environments around the globe and studied a number of microbial ecosystems there, which is now called as Dark Energy Ecosystems. Bioinformatics and interdisciplinary geochemistry-microbiology approaches have provided new ideas on the diversity and community composition of microbial life living in deep-sea vents. In particular, recent investigations have revealed that the community structure and productivity of chemolithotrophic microbial communities in the deep-sea hydrothermal environments are controlled primarily by variations in the geochemical composition of hydrothermal fluids. This was originally predicted by a thermodynamic calculation of energy yield potential of various chemolithotrophic metabolisms in a simulated hydrothermal mixing zone. The prediction has been finally justified by the relatively quantitative geomicrobiological characterizations in various deep-sea hydrothermal vent environments all over the world. Thus, there should be a possible principle that the thermodynamic estimation of chemolithotrophic energy yield potentials could predict the realistic chemolithotrophic living community in any of the deep-sea hydrothermal vent environments in this planet. Once such a principle is realized, the principle can be applied not only to exploration of extant dark energy ecosystem but also to understanding of the most ancient dark energy ecosystem in the Earth and even the likely extraterrestrial dark energy ecosystems in our solar system.

Thermodynamic calculations of mixing between Hadean seawater and hydrothermal fluid predict distribution of mineral precipitates and redox reactions that could occur in Hadean submarine alkaline hydrothermal systems associated with the serpentinization of ultramafic rocks. The modeling indicates that hydrogenotrophic methanogenesis and acetogenesis - long considered the most ancient forms of biological energy metabolisms - are able to achieve higher maximum energy yield than those in the modern serpentinization-associated seafloor hydrothermal systems (e.g., Kairei and Rainbow fields).

In 2005, a spacecraft Cassini discovered a water vapour jet plume from the sole pole area of the Saturnian moon Enceladus. The chemical composition analyses of Cassini's mass spectrometer strongly suggested that the Enceladus could host certain extent of extraterrestrial ocean beneath the surface ice sheet and possible ocean-rock hydrothermal systems. Based on these findings, we attempt to build a model of possible hydrothermal fluid/rock reactions and bioavailable energy composition in the mixing zones between the hydrothermal fluid and the seawater in the Enceladus subsurface ocean. The results indicate that the pH of fluid should be highly alkaline and H₂ concentration in the fluid is elevated up to several tens mM through the water/rock reaction. The physical and chemical condition of the extraterrestrial ocean environments points that the abundant bioavailable energy is obtained maximally from redox reactions based on CO₂ and H₂ but not from with other electron accepters such as sulfate and nitrate. Our model strongly suggests that the abundant living ecosystem sustained by hydrogenotrophic methanogenesis and acetogenesis using planetary inorganic energy sources should be present in the Enceladus hydrothermal vent systems and the ocean.