

宇宙での生命の起原と進化

山岸明彦
東京薬科大学
生命科学部

Are we alone in the universe?

生命は、宇宙で我々だけか？

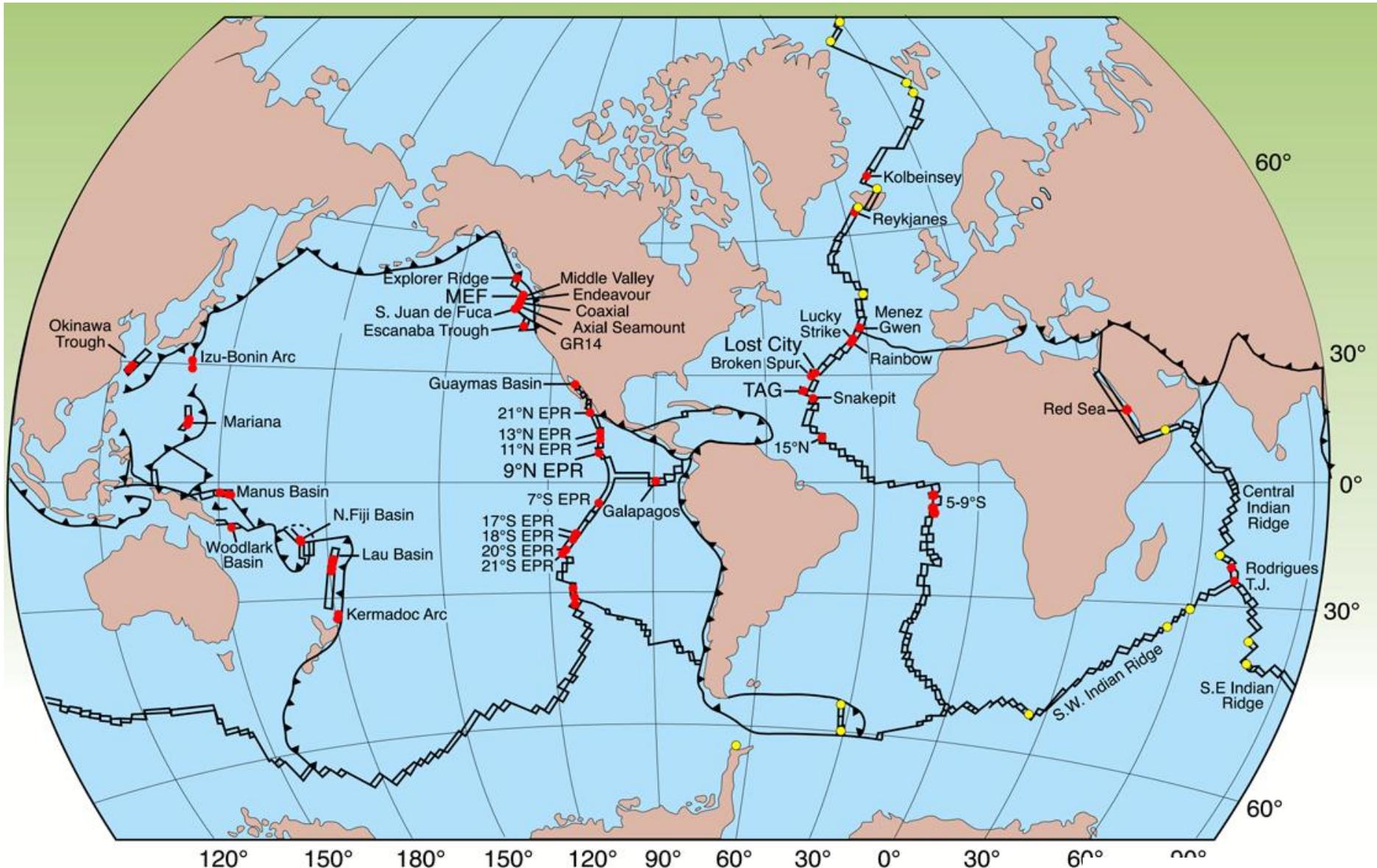
アストロバイオロジー

- 天文学
- 惑星科学、地球物理学
- 地球化学、化学進化
- 地学的証拠
- 生化学的研究
- 熱水地帯の微生物生態
- 遺伝子の証拠、分子進化学
- 宇宙での微生物探査
- 知的生命体探査

海底熱水系の 微生物生態系

太古の生態系

世界各地の海底熱水地帯

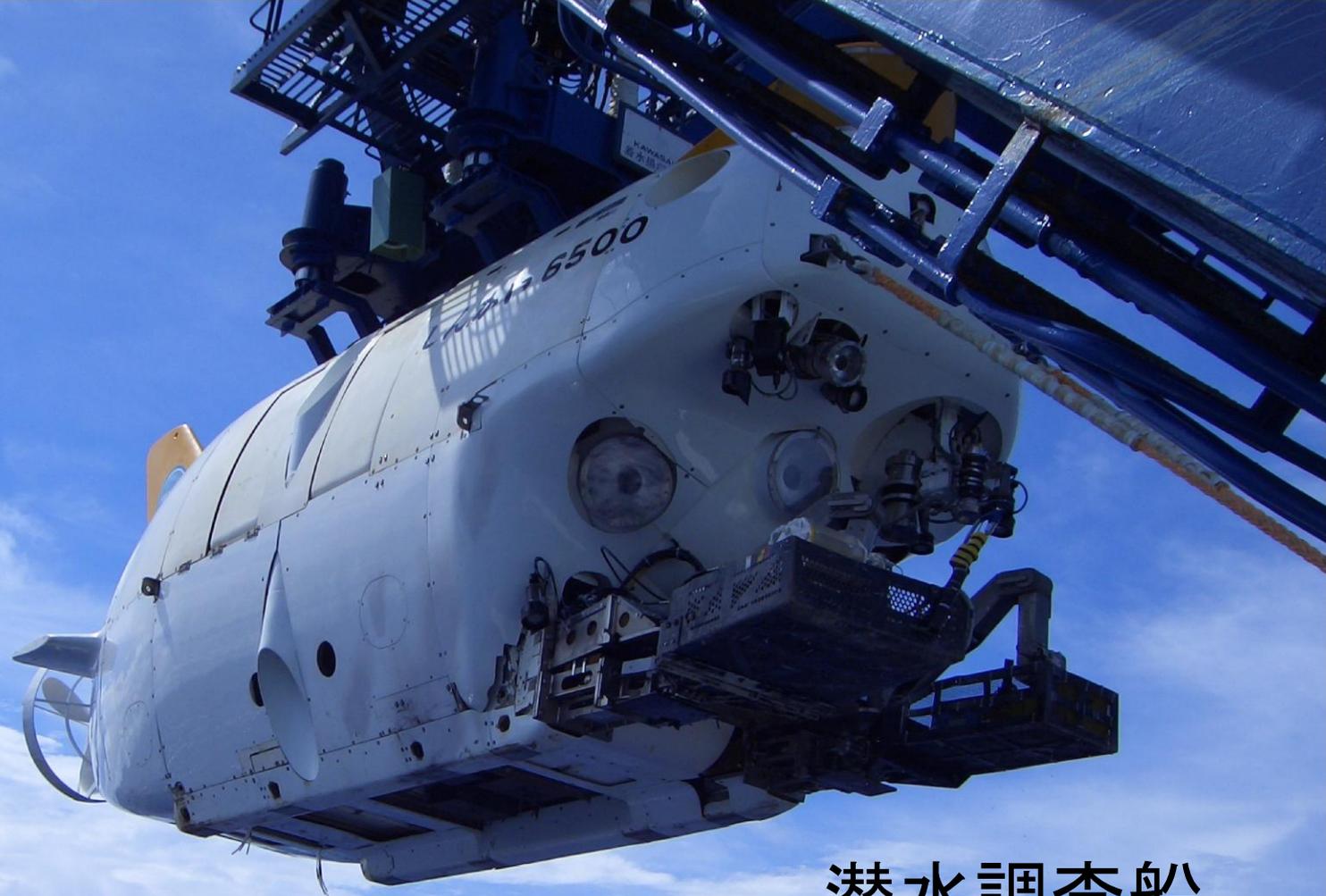


● 発見されている熱水地帯

Tivey et al., 2008

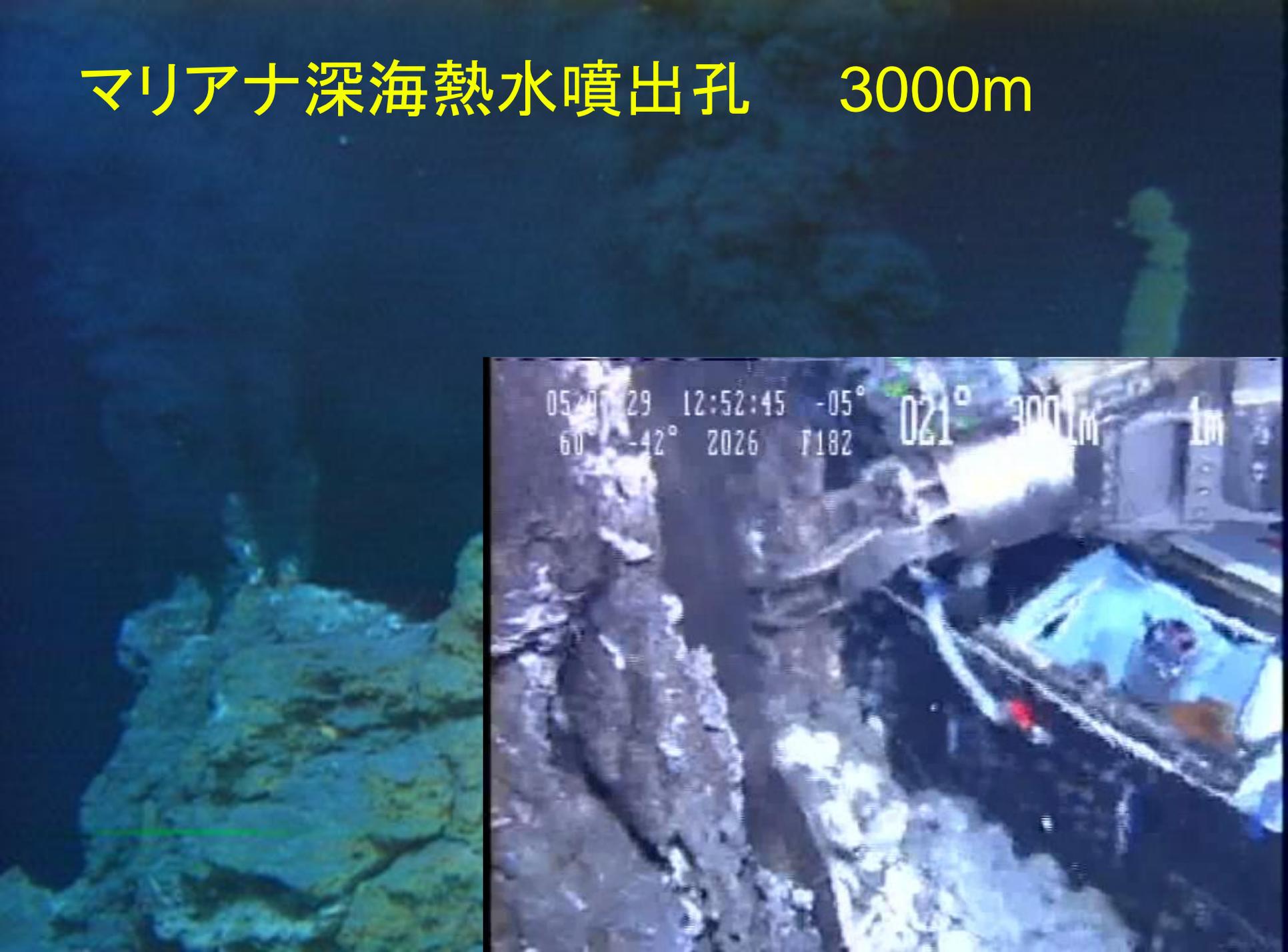
マリアナ航海



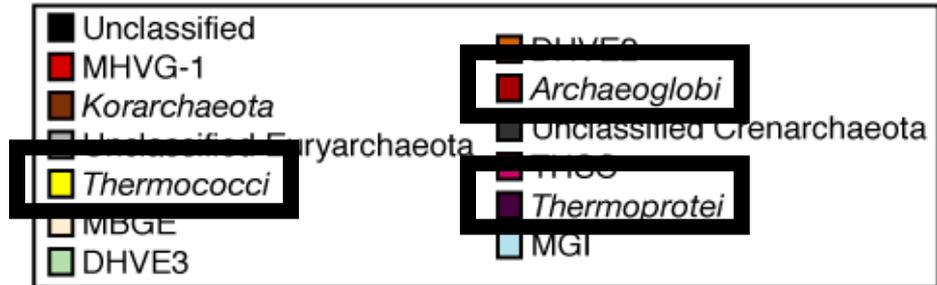
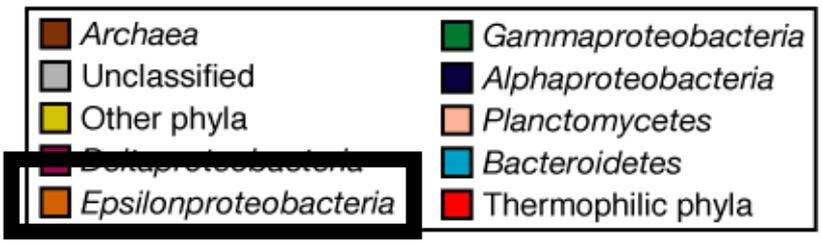
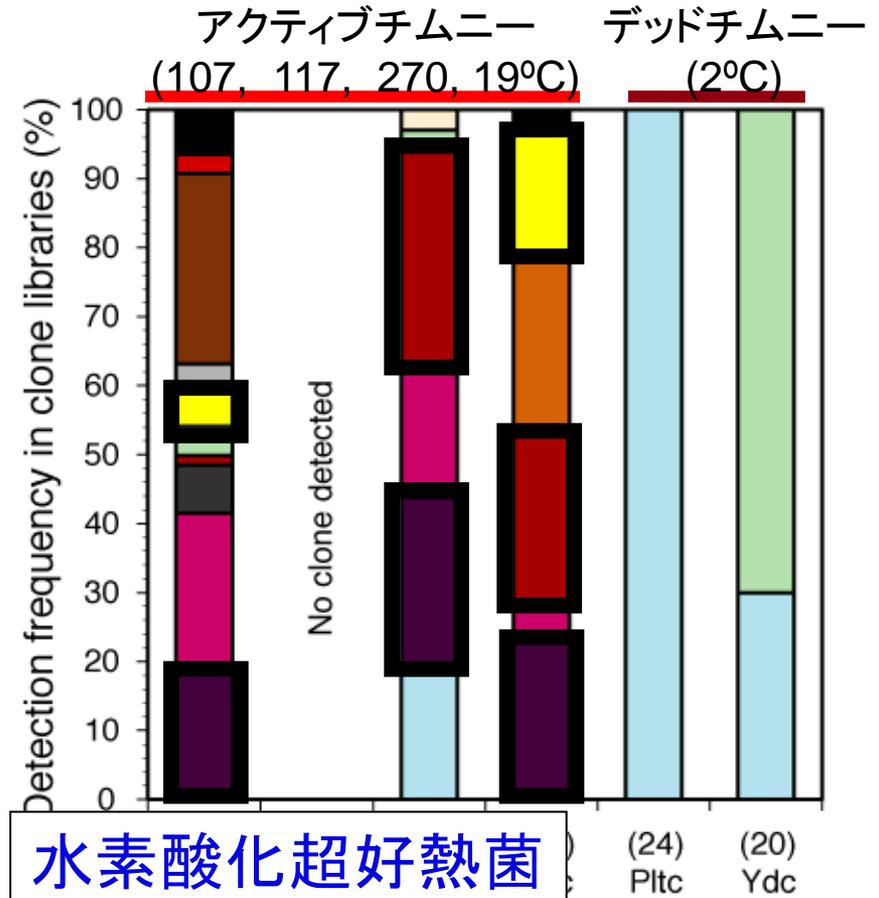
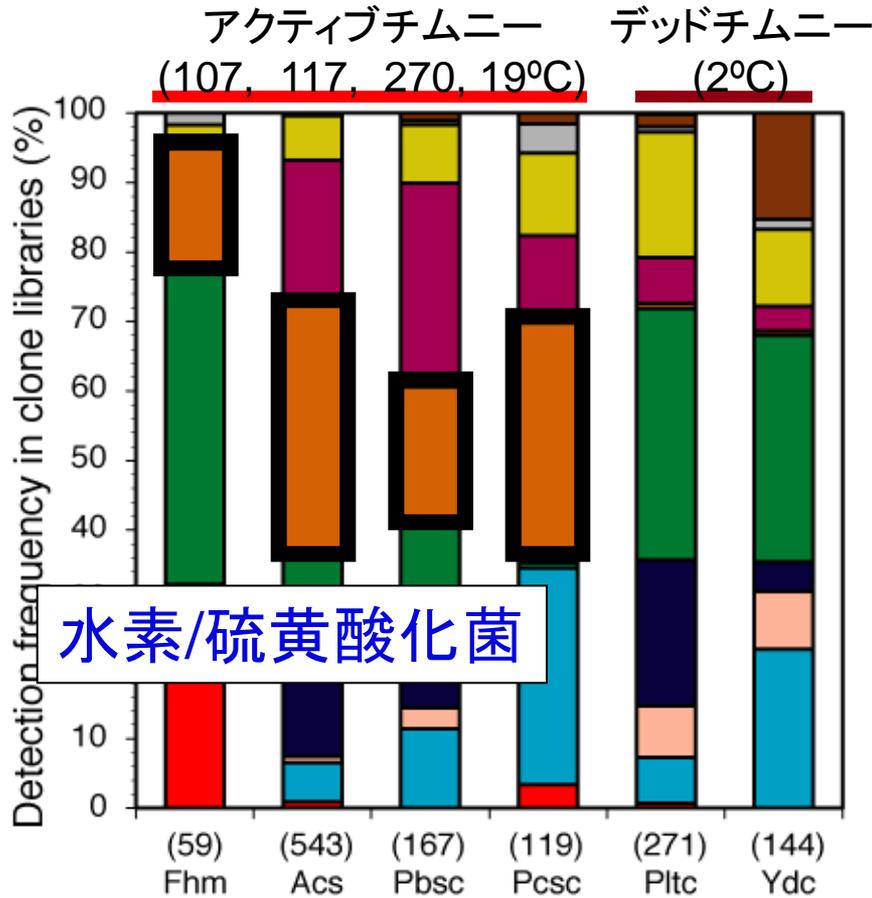


潜水調査船
しんかい6500

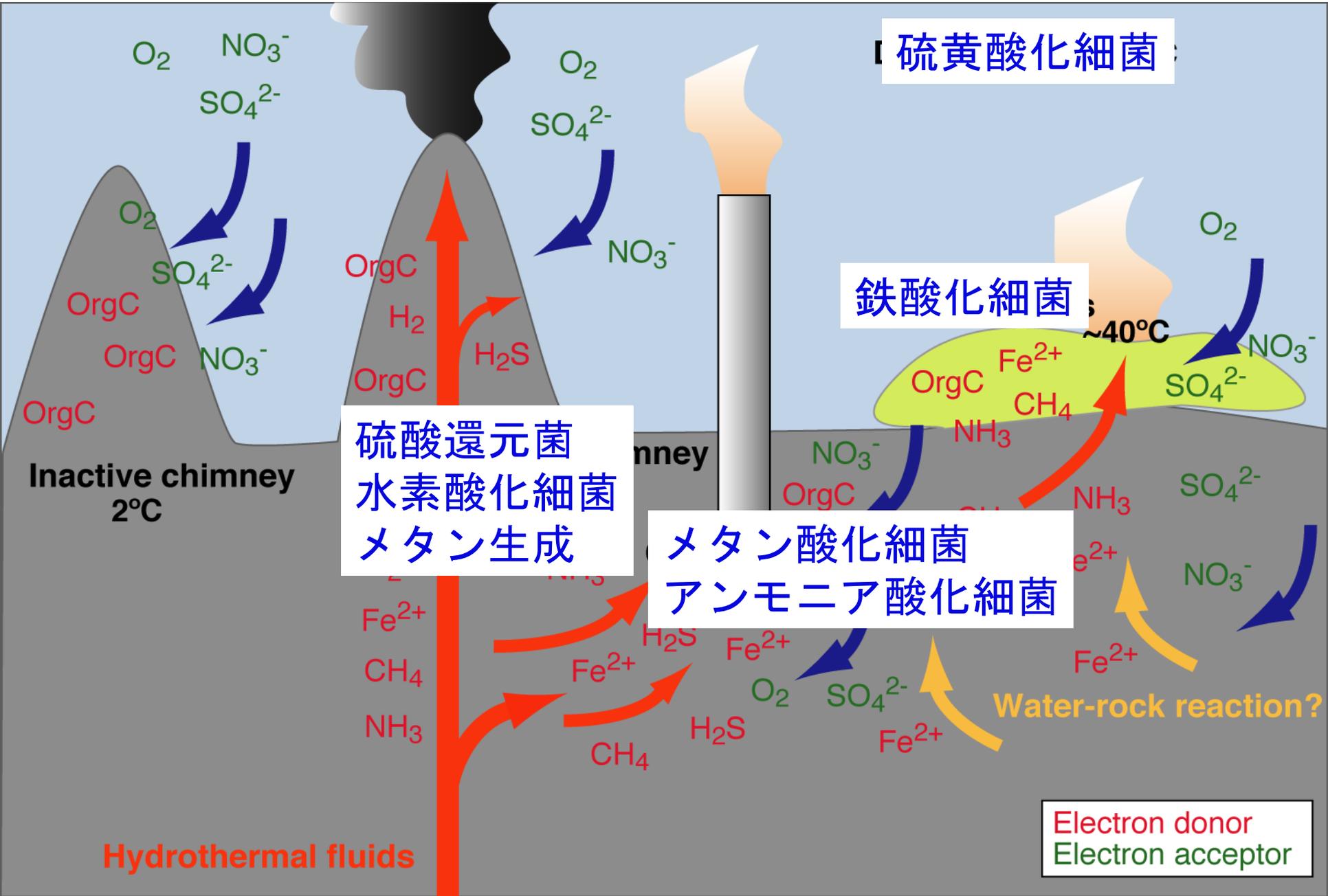
マリアナ深海熱水噴出孔 3000m



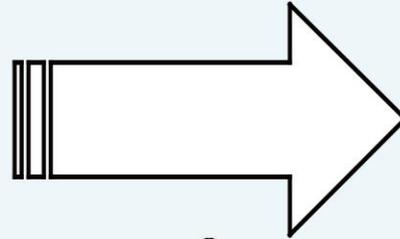
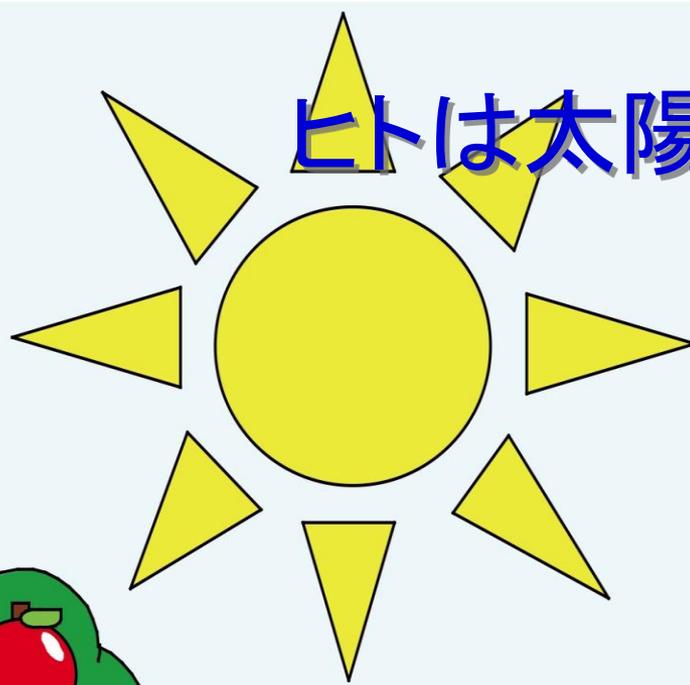
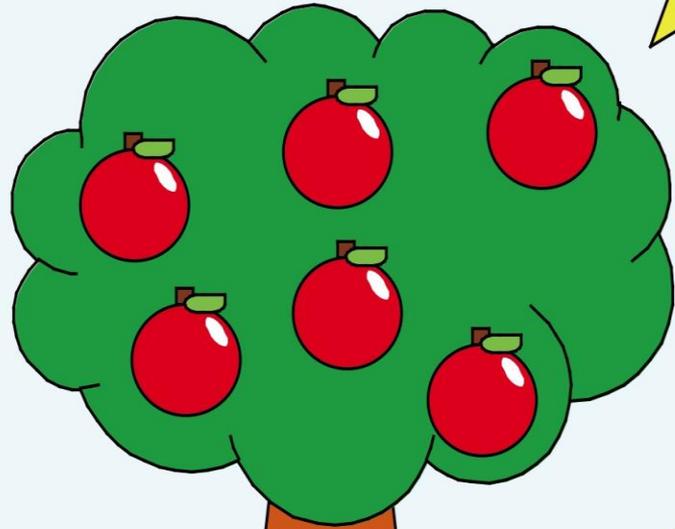
遺伝子を調べると、色々な菌が見つかる



熱水系の微生物群集

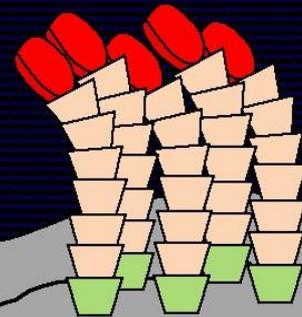
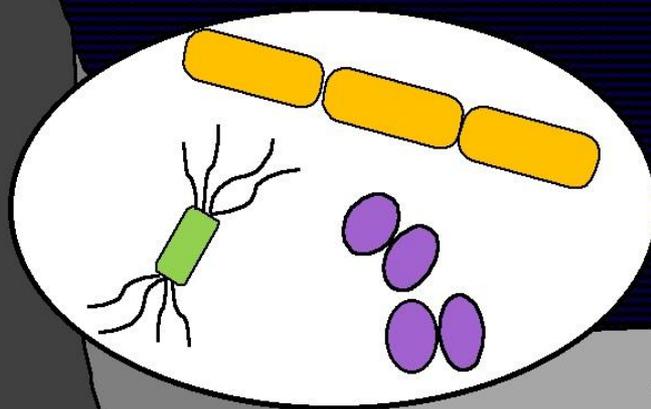


人は太陽を食べている



H_2, H_2S, CO_2

地球を食べる生物もいる

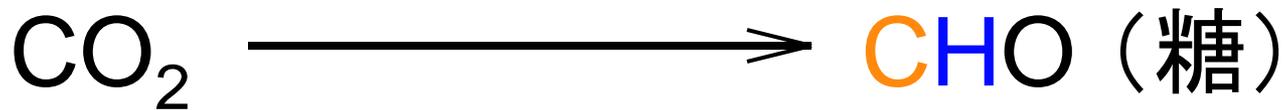


すべてをまとめると
光エネルギーと水の水素で炭素を還元

光エネルギー



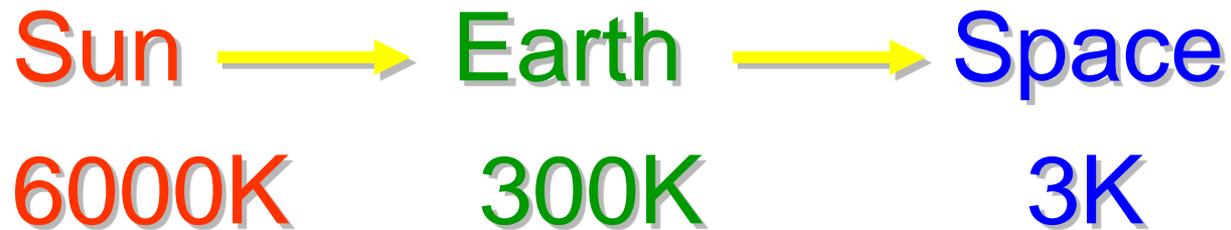
ATP + NADPH



光合成のまとめ

光エネルギーを糖にためる

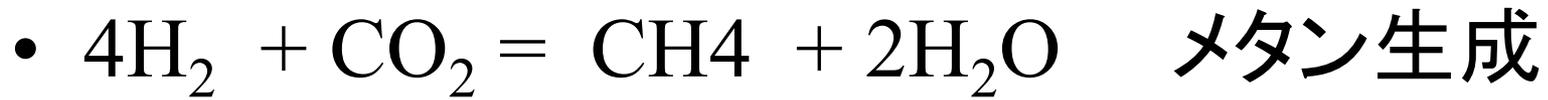
クロロフィルが光吸収するためにはクロロフィルの温度は低温



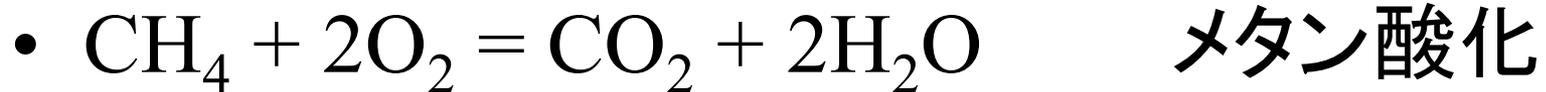
$$\Delta G = Q/T_L - Q/T_H$$

光合成のためには
太陽と低温の宇宙が必要。

自由エネルギーは化学反応で良い(非平衡)



メタン酸化鉄還元



自由エネルギーを獲得して、ATP合成
二酸化炭素を還元して糖を作る(化学合成)

化学合成細菌

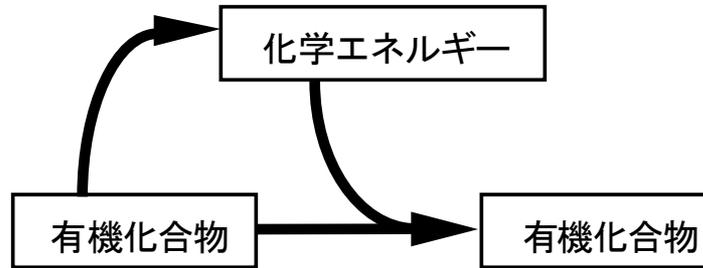
酸化型の物質（電子供与体）と
還元型の物質（電子受容体）
の化学反応でエネルギーを獲得している生物

化学合成細菌	電子供与体	電子受容体
硫黄酸化	還元型硫黄	酸素
硫酸還元	水素分子	硫酸
メタン生成	水素分子	二酸化炭素

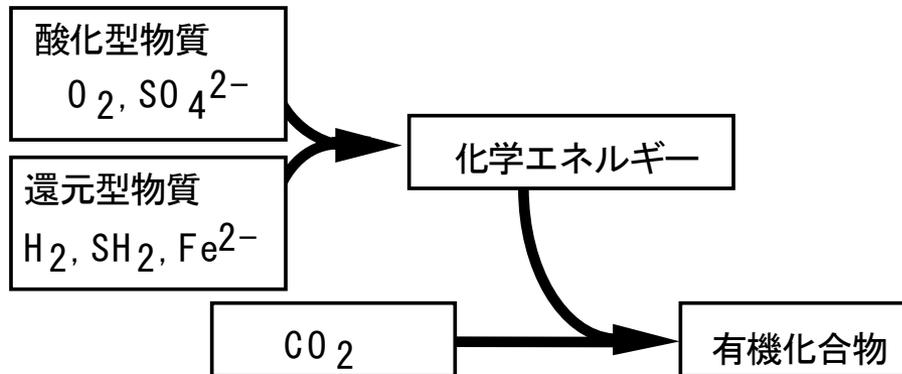
Disequilibria around hydrothermal system

Earth crust	Ocean	Atmosphere
Reduced		Oxidized
Today		
H_2 , S^{2-} , Fe^{2-}	O_2	Photosynthesis
Achaean		
H_2 , S^{2-} , Fe^{2-}	SO_4^{2-} , CO_2	Photolysis H_2O

従属栄養



化学合成



光合成



化学反応理論計算との比較

Metabolic energy potentially available

T. M. McCollom and E. L. Shock (1997) *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61: 4375-4391

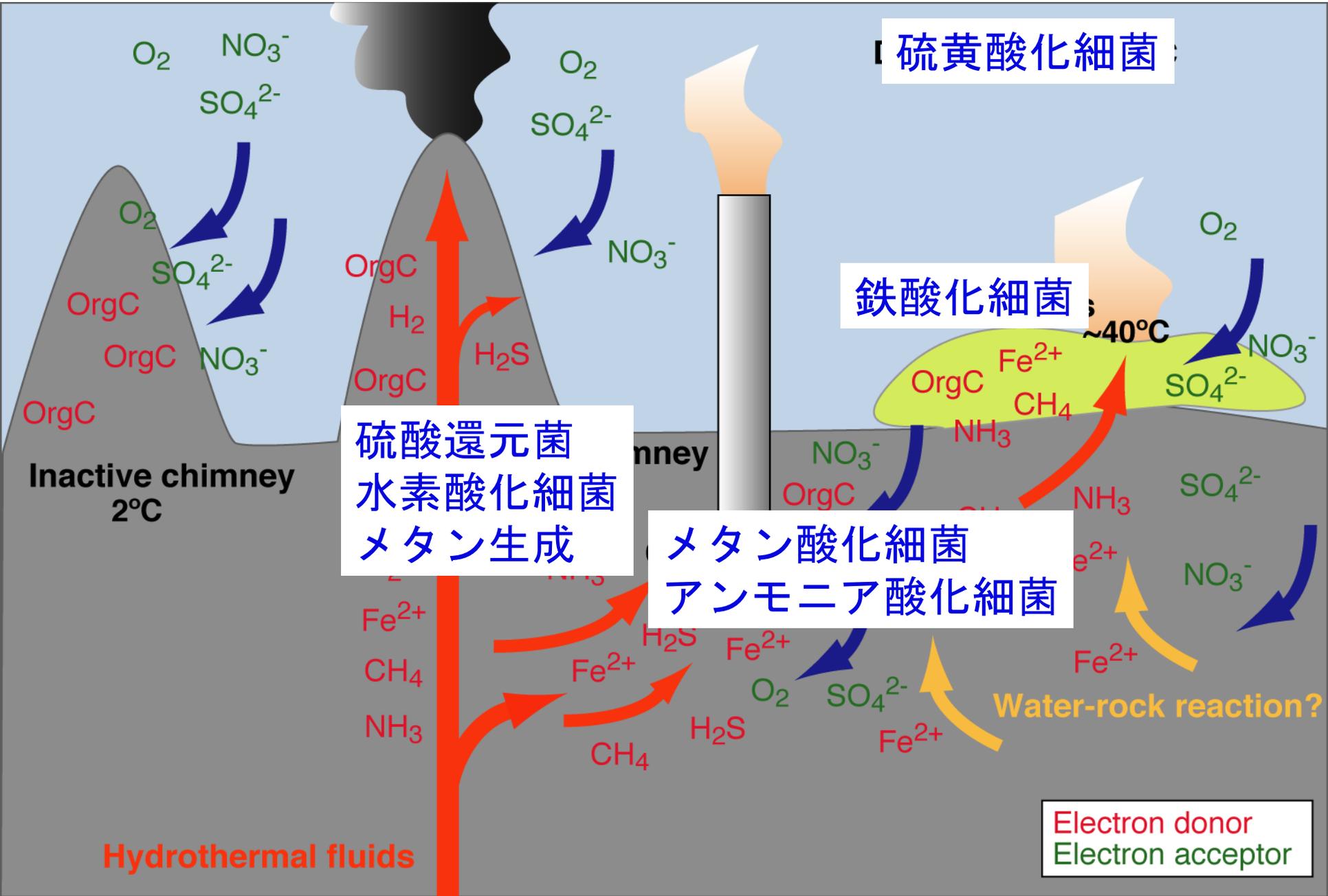
	Conc(mM)		T(°C)	cal /kg vent fluid	
H ₂	1.7	methanogenesis	>40	10	subsurface mixing zone
SO ₄	28	sulfate reduction	>40	10	subsurface mixing zone
H ₂ S	7.3	oxidation	<40	760	plumes or diffuse mixing
Fe	1.7	oxidation	<40	10	plumes or diffuse mixing
CH ₄	0.07	oxidation	<40	10	plumes or diffuse mixing
Mn ²⁺	0.96	oxidation	<40	10	plumes or diffuse mixing

APSK04: *Methanococcales, Archaeoglobales*

APSK10: *Thiomicrospira*

APSK07: *Methylobacterium*

熱水系の微生物群集



結論と示唆

熱水噴出孔周辺には化学合成細菌に依存した生態系が存在した。

同様の生態系が光合成が誕生する以前の地球にあった可能性がある。

生物にとって最も重要なもの

自由エネルギー

= 食べ物(還元型) + 酸素(酸化型)

参考文献

- Tivey, M.K., 2007: Generation of seafloor hydrothermal vent fluids and associated mineral deposits, *Oceanography*, 20, 50-65
- McCollom, T. M.; Shock, E. L., 1997: Geochemical constraints on chemolithoautotrophic metabolism by microorganisms in seafloor hydrothermal systems, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 4375-4391