

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

惑星科学 地学的研究

証拠に基づいて
考える

暗黒星雲の中で太陽が誕生



惑星の形成



地球の誕生: 45.6億年前

マグマオーシャン

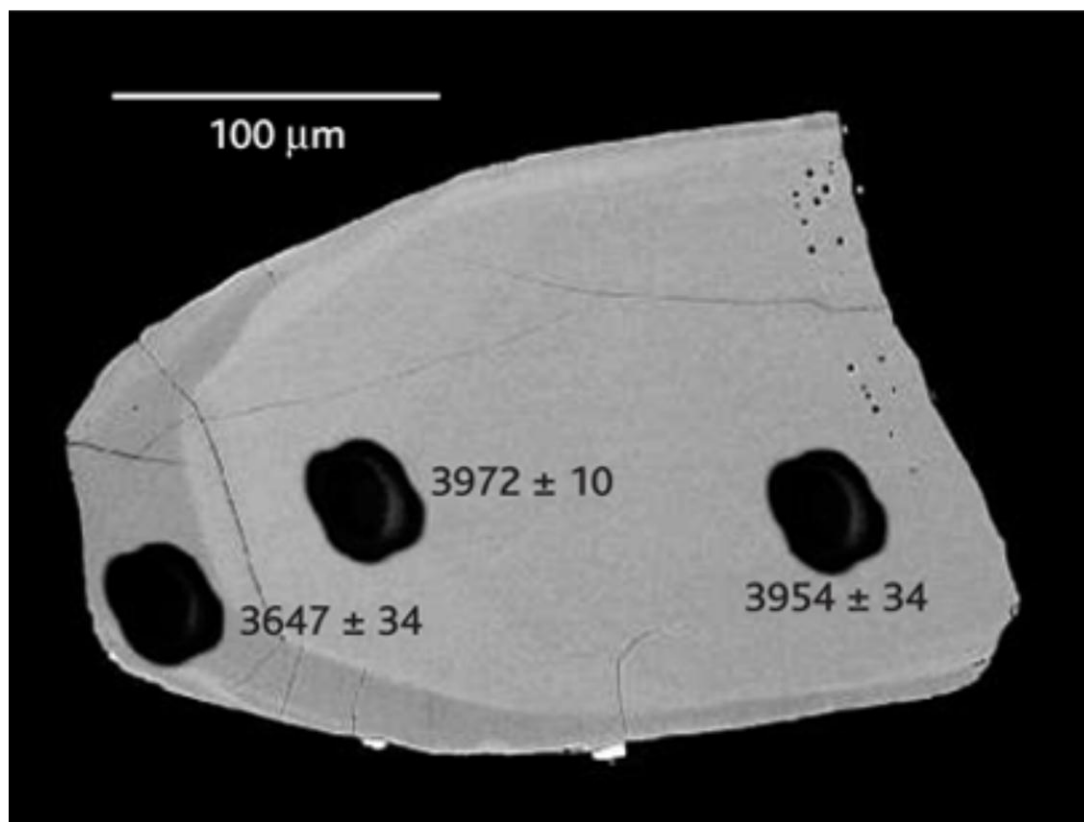


世界に知られる古い岩石（下山晃、月刊地球 17:44 1 より改変）

年代	産出地	岩石名
40 億年	カナダ、北西部	アカスタ片麻岩
38 億年	グリーンランド、イスア イスアーゴッドハブ	イスア緑色岩 アミツオーク片麻岩
37 億年	シベリア、アルダン盾状地 中国、河北省	片麻岩 グラニュライト
36 億年	カナダ、ラブラドアー	片麻岩
34 億年	オーストラリア、北西部	ピルバラ緑色岩

大陸地殻の形成：44－45億年前 岩石中ジルコニウムの解析から。

T. M. Harrison et al. (2005) Science 310, 1947-1950



原始海洋の形成：40-44億年前



初期地球環境は不明

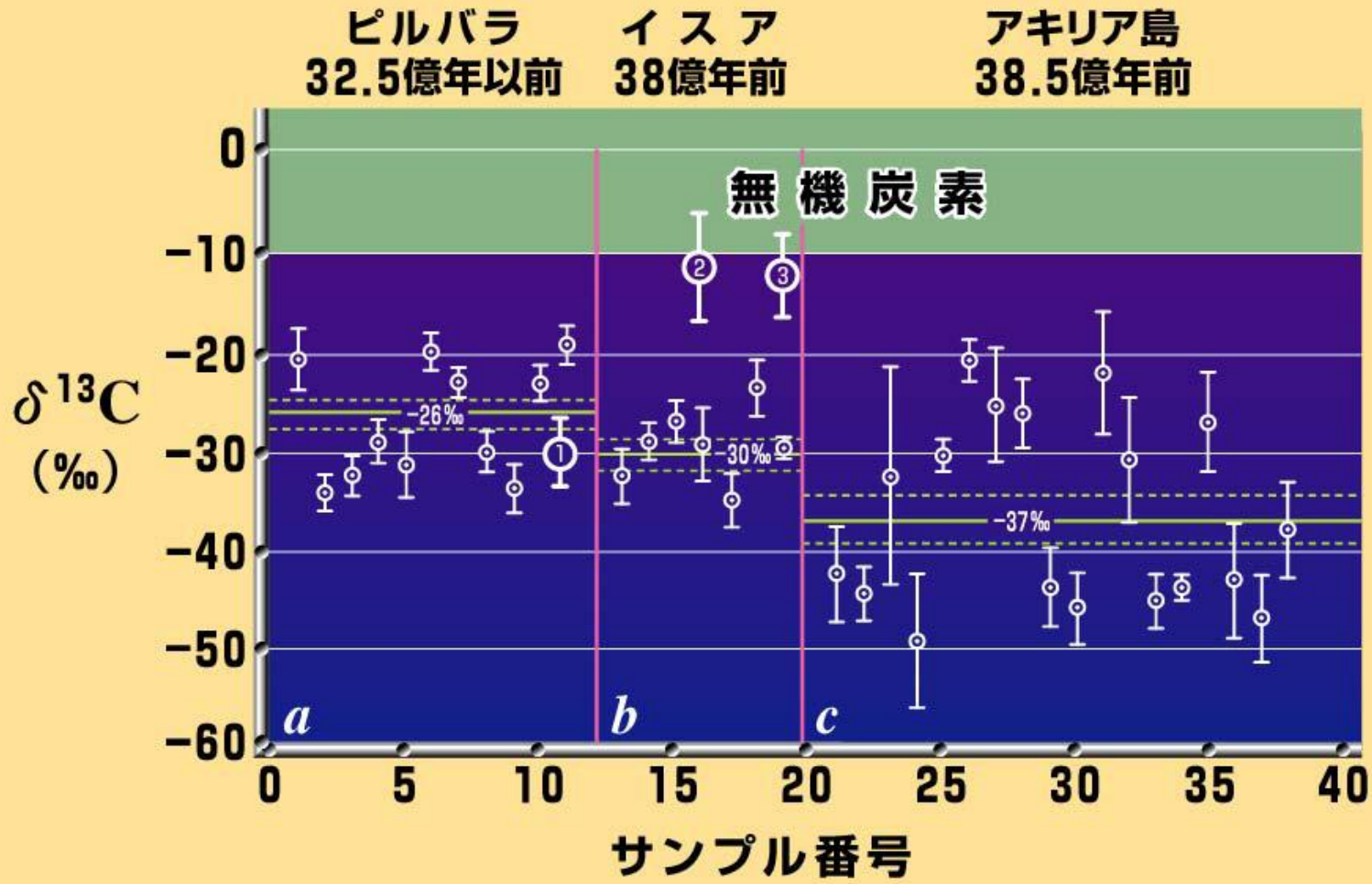
- 初期地球の大気組成: CO_2 , CO , H_2 , CH_4
- 初期地球の温度？
- 初期大洋の組成？
- 初期地球の大陸？
- 40億年前まで隕石重爆撃？
- 酸素は？

もう一度 地学

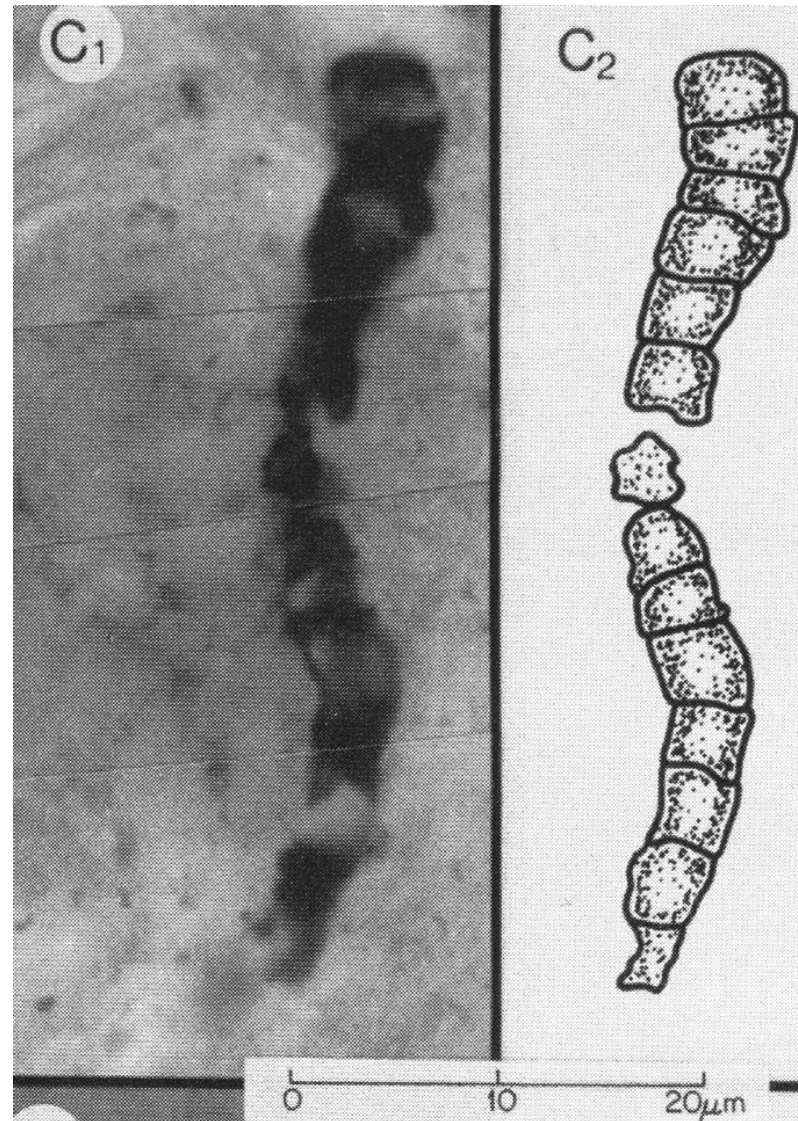
証拠に基づいて
考える

最古の生命の証拠

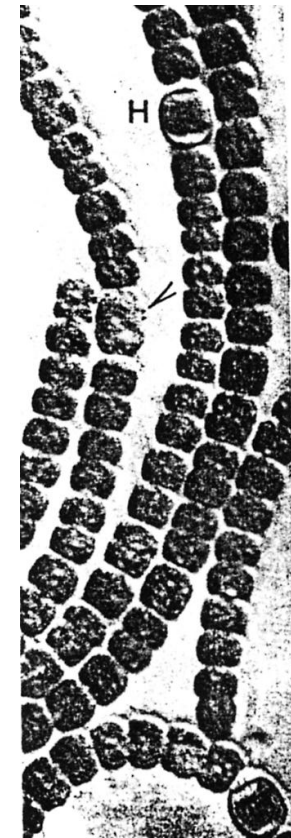
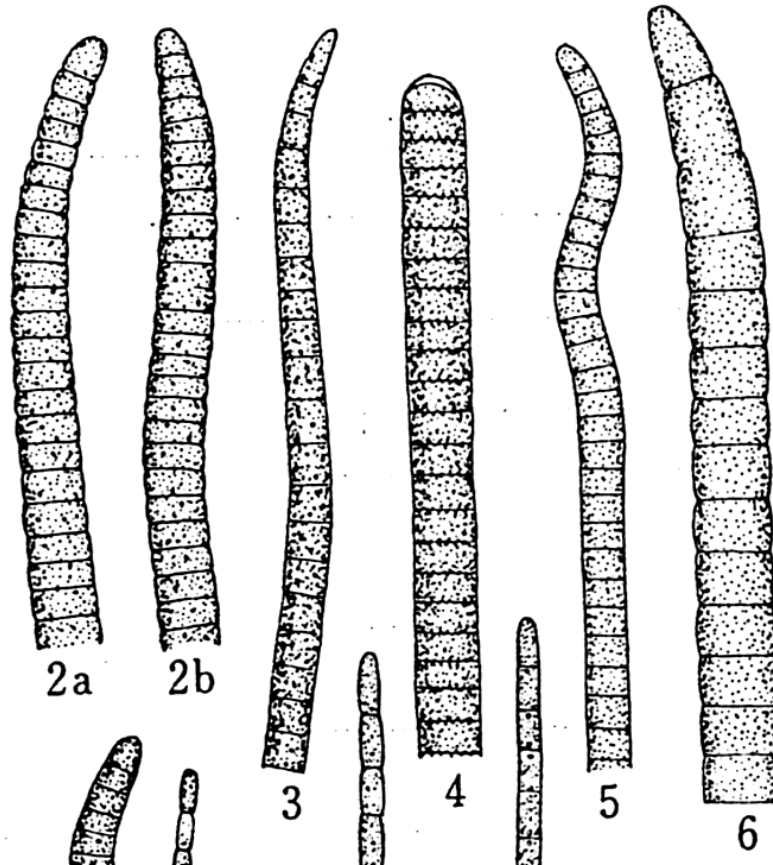
炭素微粒子中の ^{13}C の ^{12}C に対する量



Pilbara緑色岩中（35億年前）の最古の微化石 (J. W. Schopf)



現存するシアノバクテリアの細胞構造



ストロマトライト

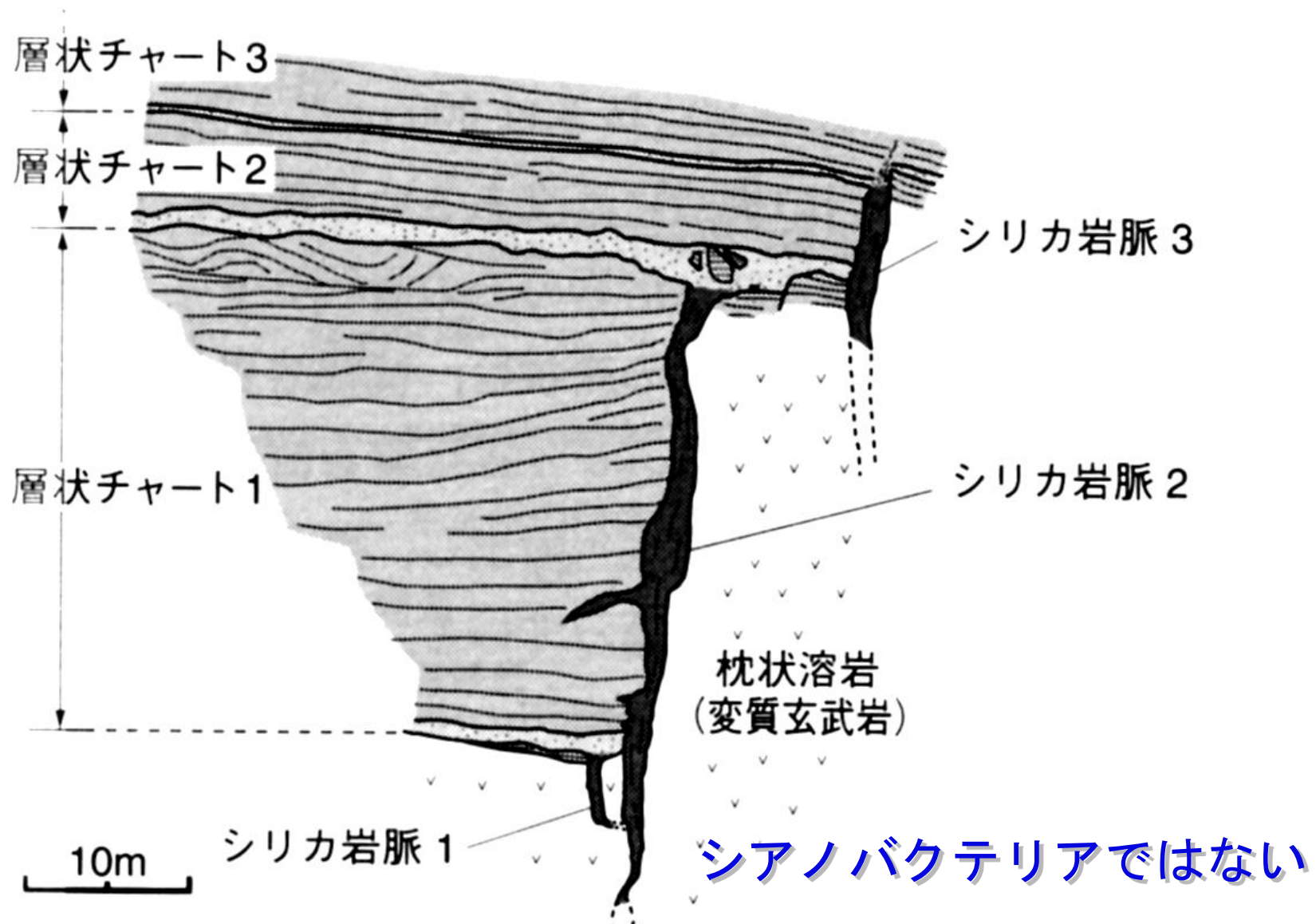


現在ストロマトライトのできている場所

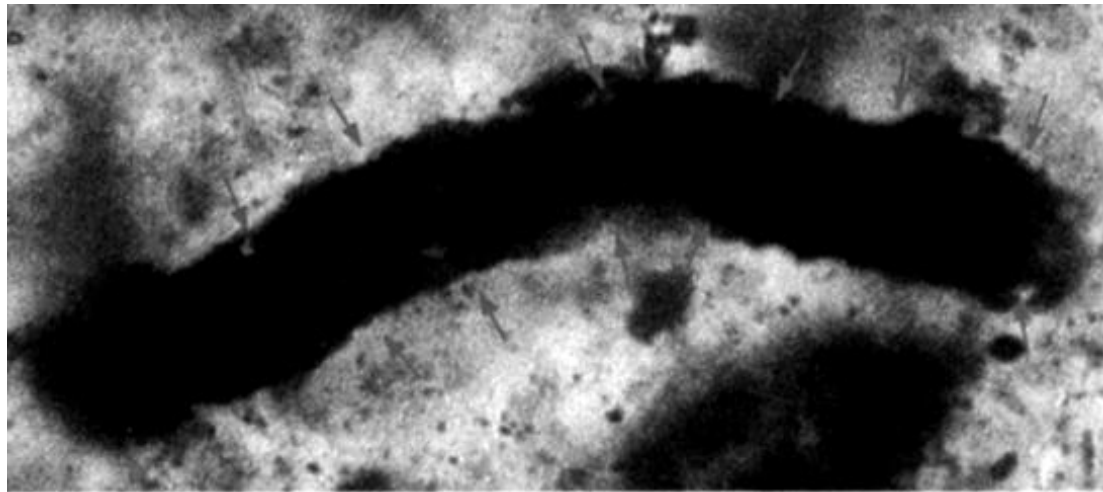


オーストラリア、ハメリンプール 17

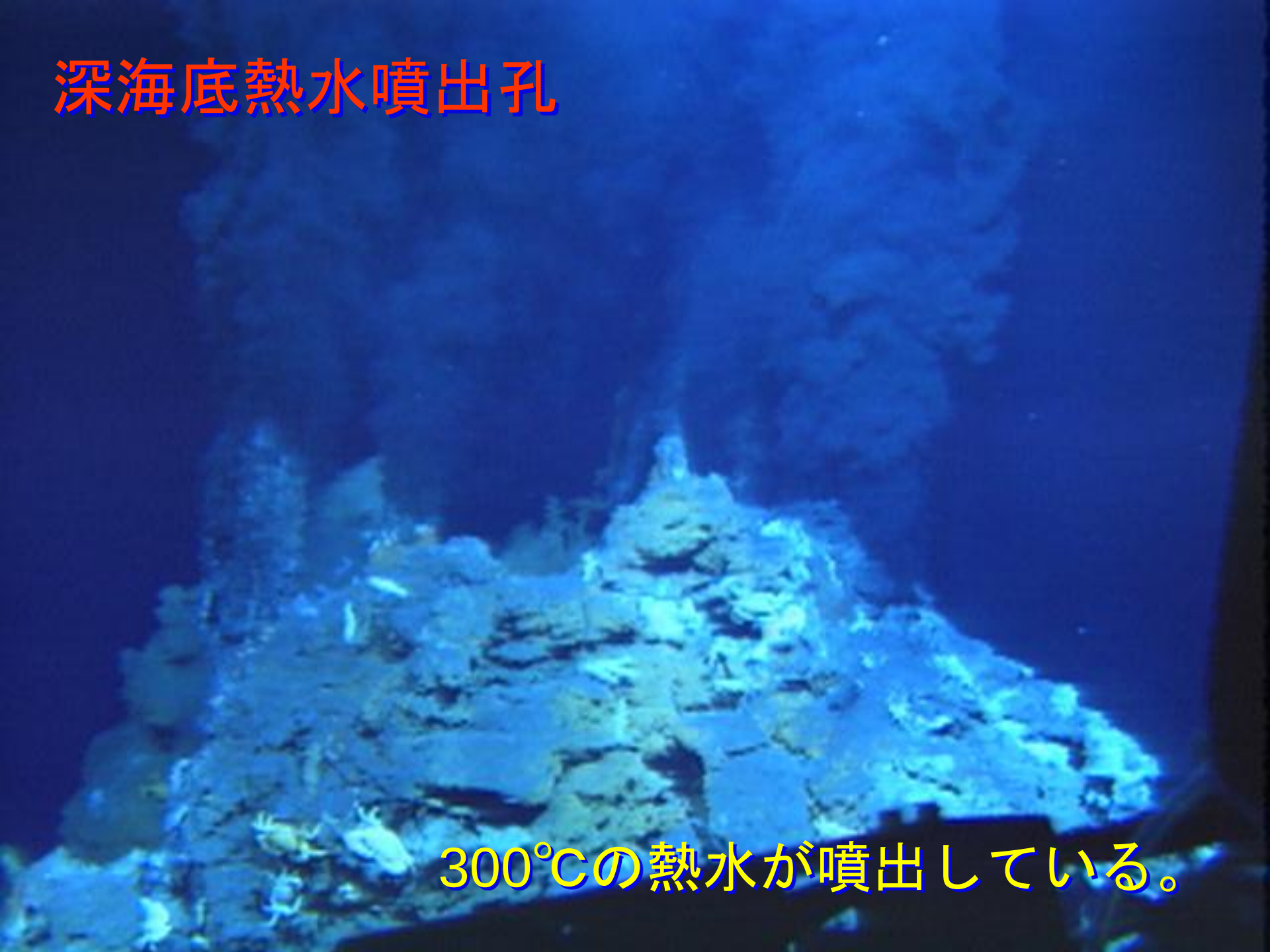
ノースポールのシリカ岩脈（磯崎行雄）



ノースポール(35億年前)の微小化石 (上野雄一郎)

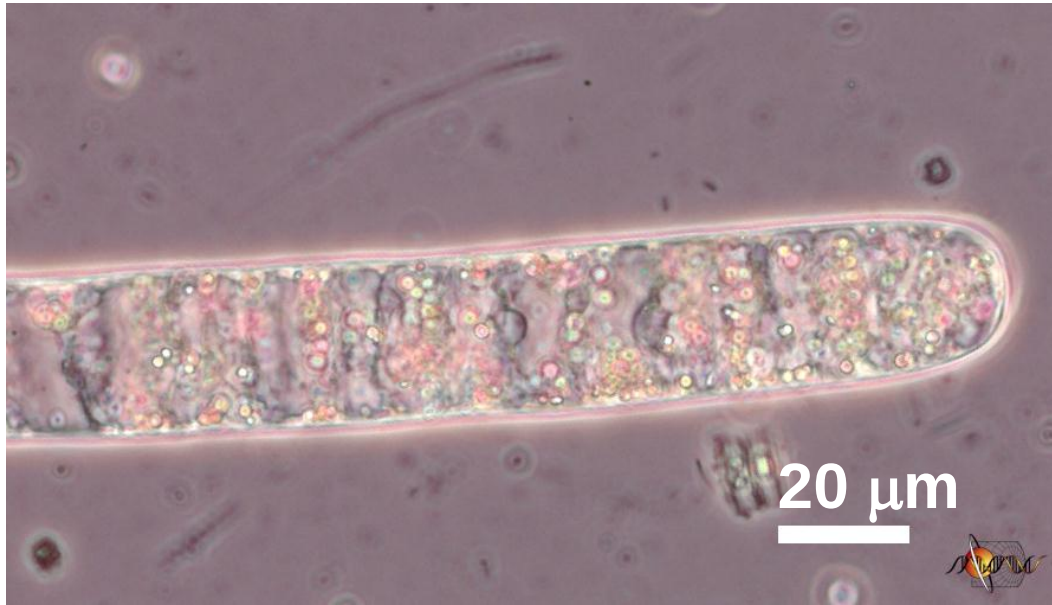


深海底熱水噴出孔

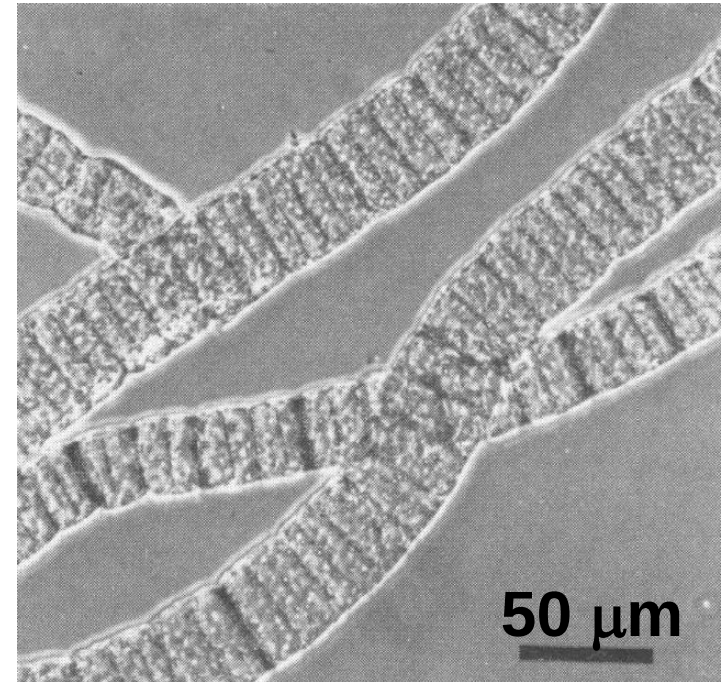


300°Cの熱水が噴出している。

さてそれでは35億年前の生物は？



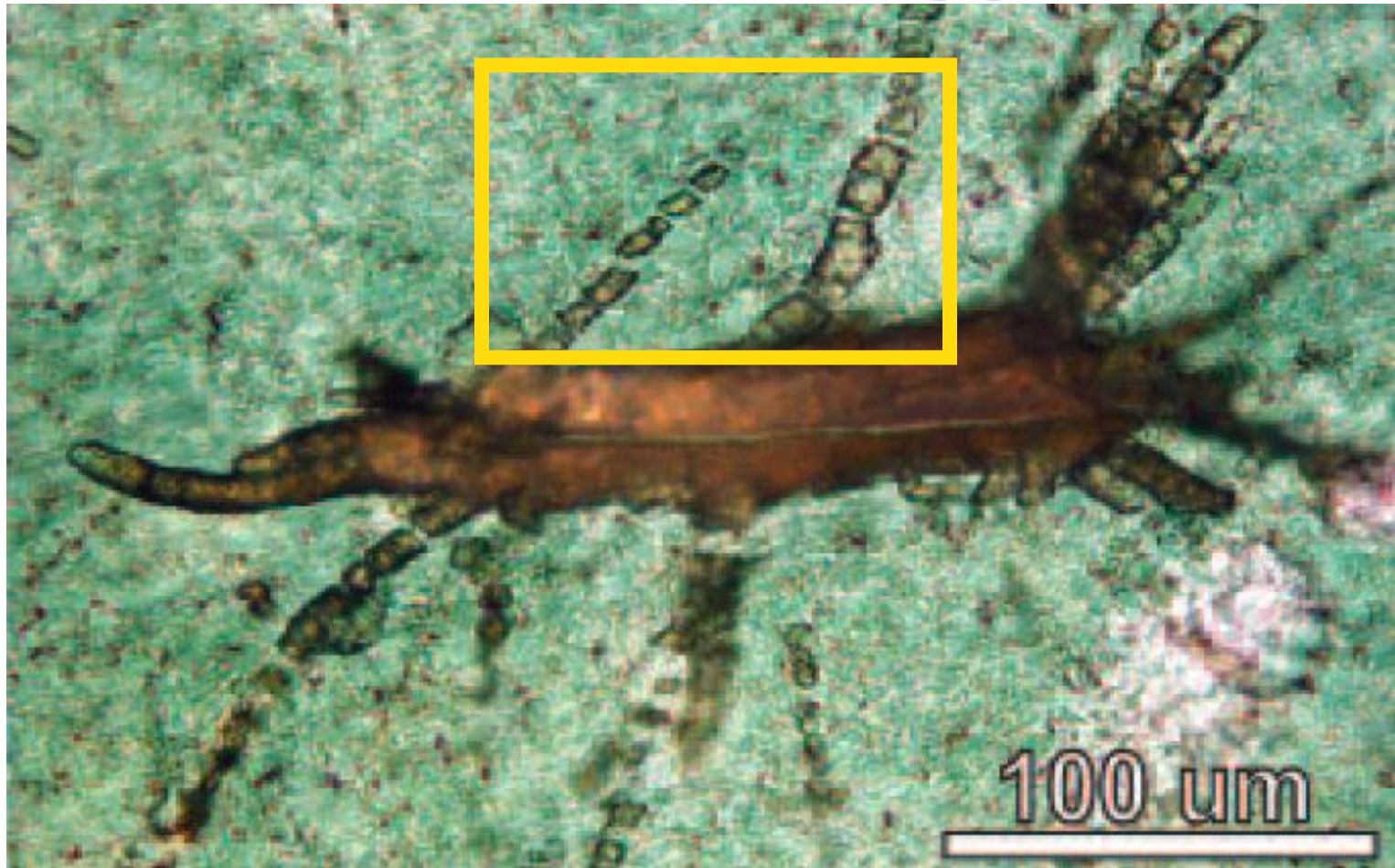
Beggiatoa (硫黄酸化菌) (Kalanetra et al., 2004)



海底熱水地帯で発見された*Beggiatoa*-like 繊維状生物 (Nelson et al., 1989)

- *Beggiatoa*
- 硫黄酸化細菌
- 海底熱水噴出地帯にも形状の似た生物が確認されている(右図)

35億年前の枕状溶岩から 発見された化石 *Beggiatoa*?



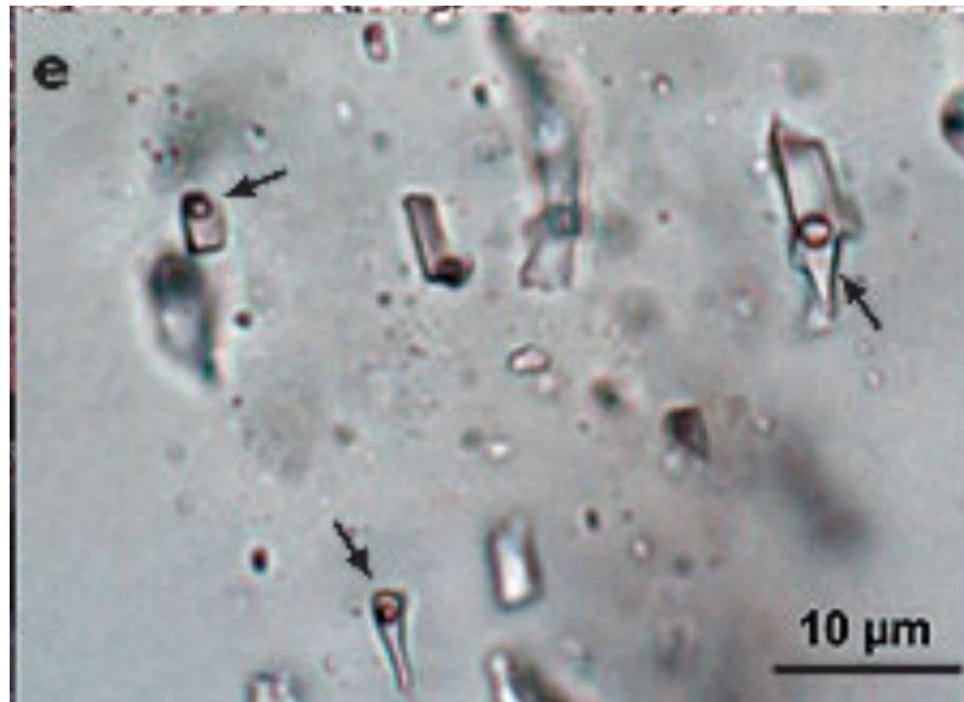
当時、酸素があったか？

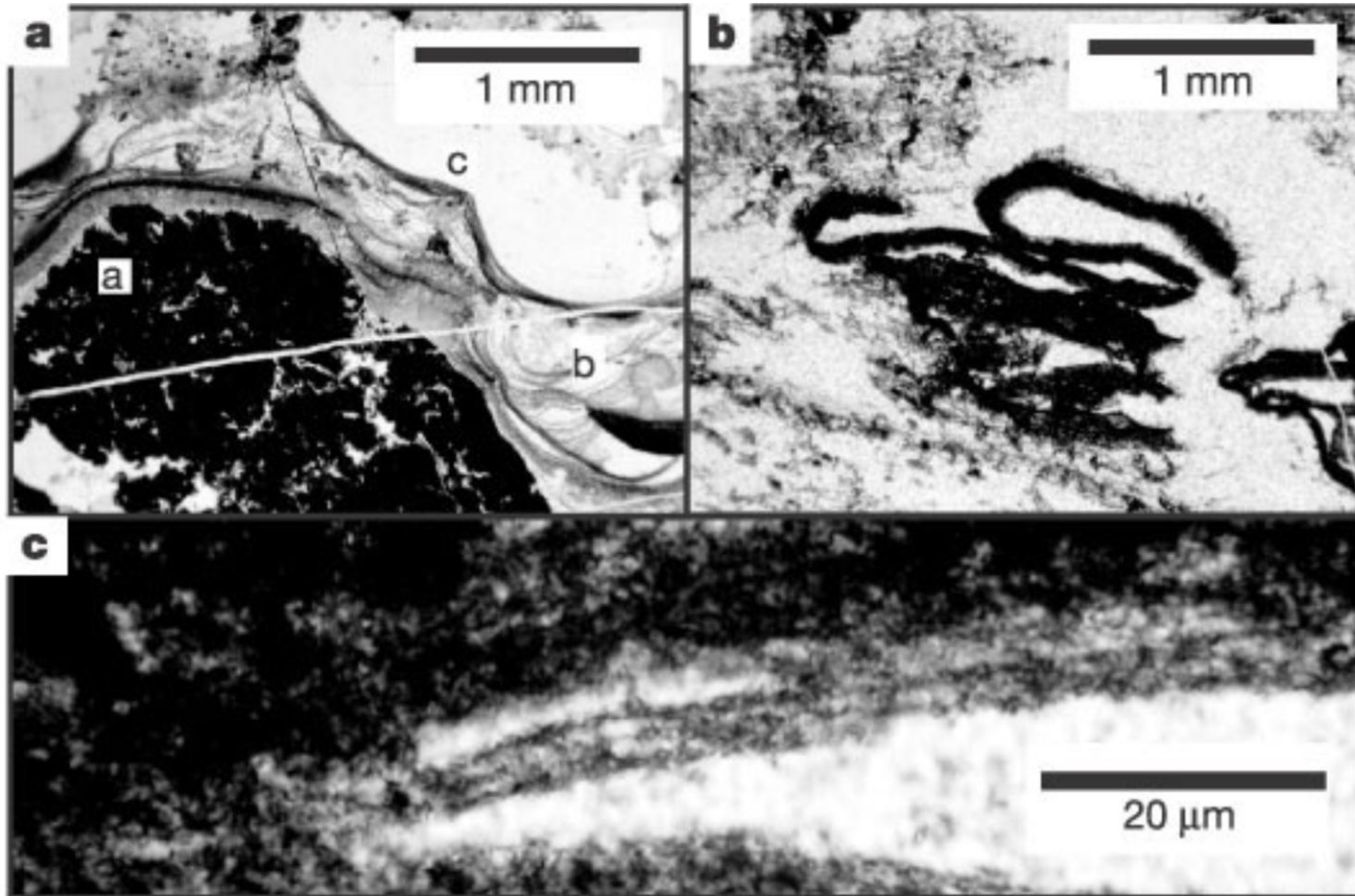
(Furnes et al. 2004)

- *Beggiatoa*ではなく、硫酸還元菌：
Kato, Yamagishi unpublished

メタン生成菌の存在：35億年前

Y. Ueno et al. (2006) Nature 440, 516-519
岩石中のあわのメタンの同位体解析。

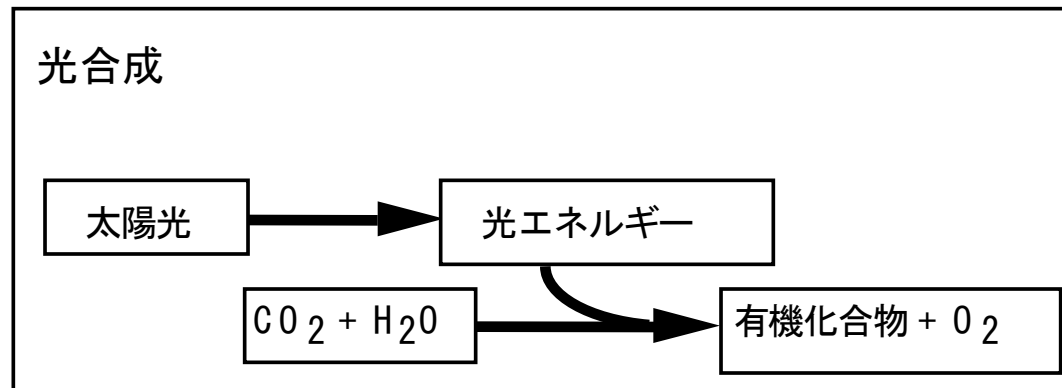




非酸素発生光合成細菌

Tice and Lowe (2004) Nature 431, 549-552

光合成にも色々ある



生物の種類	水素(電子) 供与体	酸化生成物
植物	水	酸素分子
シアノバクテリア	水	酸素分子
光合成細菌	硫化水素	硫酸

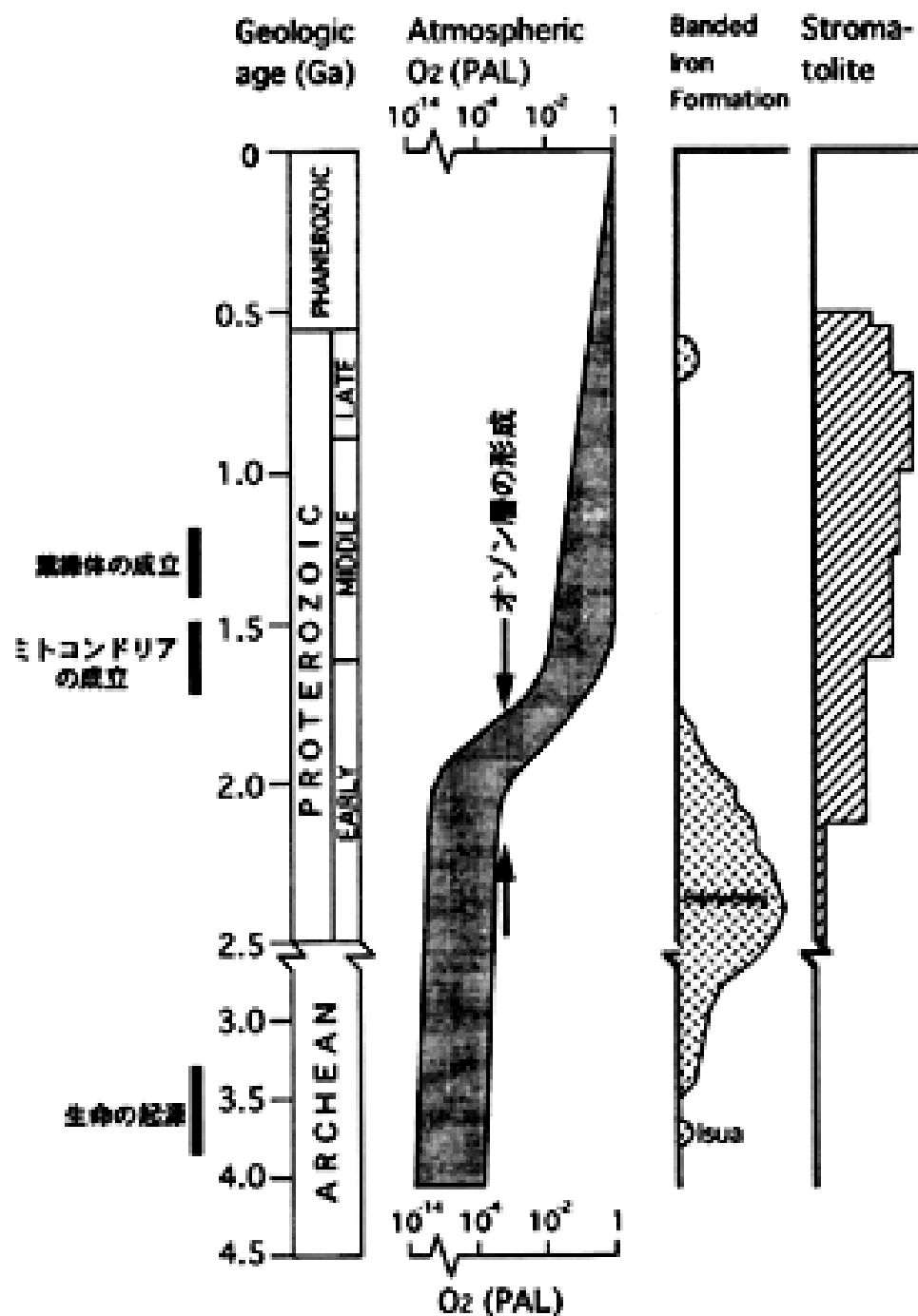
35億年前

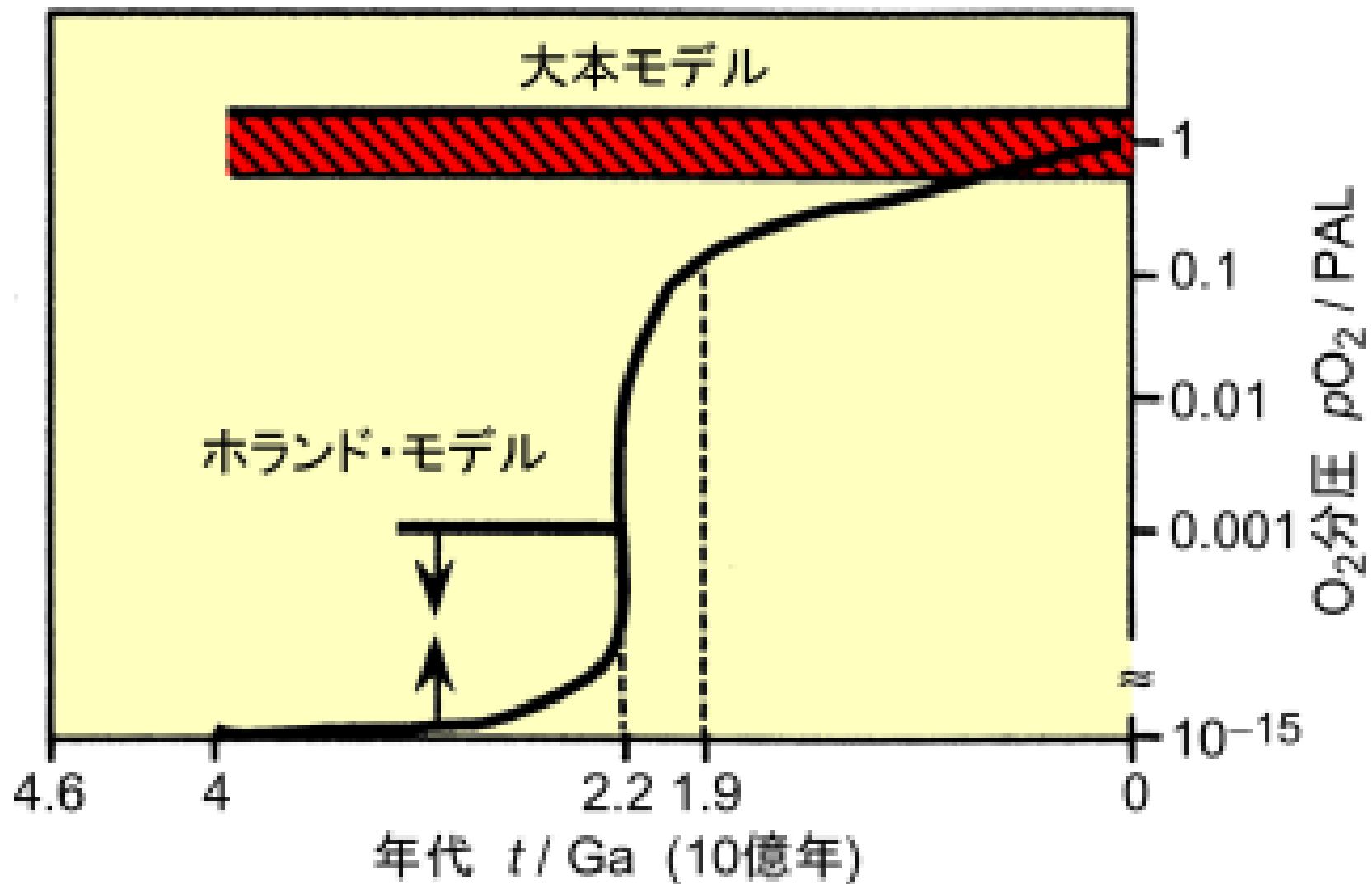
- 熱水活動はあった。
- 温度は。液体の水はあった。
- 生物はいた。
 - シアノバクテリア
 - 化学合成細菌（硫黄酸化菌、硫酸還元菌、メタン生成菌）
 - 光合成細菌？
- どんな生き物がまだわからない。

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

酸素の歴史は
生命の初期進化
を考える上で
大変重要







These oxidized sedimentary rocks formed at a time when the atmosphere is thought to have been oxygen-free. They may have arisen in special ways, such as at localized 'oxygen oases' where photosynthesizing organisms enriched waters with oxygen. But they could indicate problems, also raised by Ohmoto and colleagues' data¹, with the consensus that Earth's atmosphere was oxygen-free until 2.4 billion years ago. **a**, Strelley Pool chert at Pilbara Craton, Western Australia, is 3.43 billion years old, and is draped over older cherts holding oxidized iron. **b**, Sedimentary jasper beds in the Barberton Mountains, South Africa, are 3.227 billion years old.

Nature **442**, 873-874(2006) L. Paul Knauth

硫酸はあった？

3.4-Billion-Year-Old Biogenic Pyrites from Barberton, South Africa: Sulfur Isotope Evidence

Hiroshi Ohmoto,* Takeshi Kakegawa, Donald R. Lowe

Laser ablation mass spectroscopy analyses of sulfur isotopic compositions of microscopic-sized grains of pyrite that formed about 3.4 billion years ago in the Barberton Greenstone Belt, South Africa, show that the pyrite formed by bacterial reduction of seawater sulfate. These data imply that by about 3.4 billion years ago sulfate-reducing bacteria had become active, the oceans were rich in sulfate, and the atmosphere contained appreciable amounts ($>>10^{-13}$ of the present atmospheric level) of free oxygen.

Science 262, 555 (1993)

海洋中酸素、硫酸の存在？

- いつごろ？
- どの位の濃度？
- 局所的？
- 生物の種類、生態系を考える上で重要

参考文献

- 下山晃, 1995: 原始地球と化学進化, 月刊地球, 海洋出版, 17, 440-447
- , T. M.; Blichert-Toft, J.; Müller, W.; Albarede, F.; Holden, P.; Mojzsis, S. J., 2005: Heterogeneous Hadean Hafnium: Evidence of Continental Crust at 4.4 to 4.5 Ga, *Science*, 310, 1947-1950
- Mojzsis, S. J.; Arrhenius, G.; McKeegan, K. D.; Harrison, T. M.; Nutman, A. P.; Friend, C. R. L., 1996: Evidence for life on Earth before 3,800 million years ago, *Nature*, 384, 55-59
- Karen M. Kalanetra, Sherry L. Huston, and Douglas C. Nelson, 2004: Novel, Attached, Sulfur-Oxidizing Bacteria at Shallow Hydrothermal Vents Possess Vacuoles Not Involved in Respiratory Nitrate Accumulation, *Appl Environ Microbiol*, 70, 7487-7496
- Nelson, D. C., Wirsén C. O., Jannasch H. W., 1989: Characterization of large, autotrophic *Beggiatoa* spp. abundant at hydrothermal vents of the Guaymas Basin, *American Society for Microbiology*, 55, 2909-2917
- Ueno, Yuichiro; Yamada, Keita; Yoshida, Naohiro; Maruyama, Shigenori; Isozaki, Yukio, 2006: Evidence from fluid inclusions for microbial methanogenesis in the early Archaean era, *Nature*, 440, 516-519
- Tice, Michael M.; Lowe, Donald R., 2004: Photosynthetic microbial mats in the 3,416-Myr-old ocean, *Nature*, 431, 549-552
- Knauth, L. Paul, 2006: Earth Sciences: Signature required, *Nature*, 442, 873-874
- Ohmoto, Hiroshi; Kakegawa, Takeshi; Lowe, Donald R., 1993: 3.4-Billion-Year-Old Biogenic Pyrites from Barberton, South Africa: Sulfur Isotope Evidence, *Science*, 262, 555-557