

令和4年度
第1回海洋技術フォーラムシンポジウム
2022年6月28日

地球と太陽系の海洋における普遍的な生命 (ユニバーサルライフ)の誕生と存在

高井研
海洋研究開発機構
超先鋭研究開発部門

高井研ってナニモンなん？

日本を変える研究者30人wwwにして

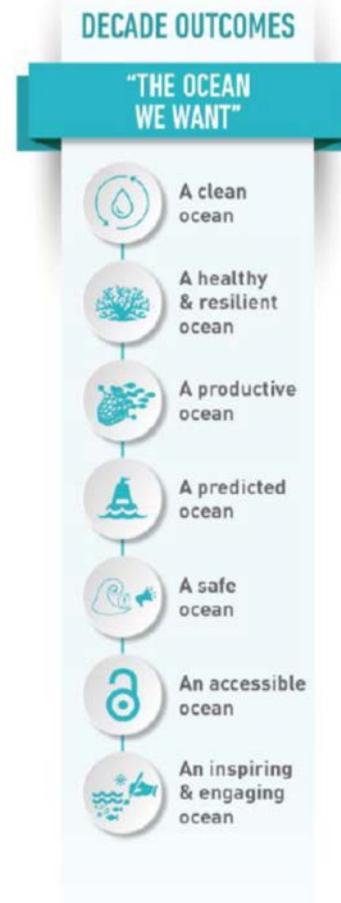
アバンギャルドな研究開発の守護神



我々は来る7年に（中略）我々の知性とプロフェッショナリズムの奥底から湧き出ずる、独創的なアイデア・計算し尽くされた戦略・抑えがたい情熱に支えられた**アバンギャルドな（超先鋭的）研究を行っていきます。「そんな抽象的なことを聞いているのではないのだよ。もっと具体的な研究の中身を教えてくれたまへ」**だと？「さてはおめー、〇〇省の**回し者だな**」。そんな冗談はさておき、前もって予測できない展開・成果を求めるからこそその超先鋭研究です。

国際連合(UN)様の金科玉条

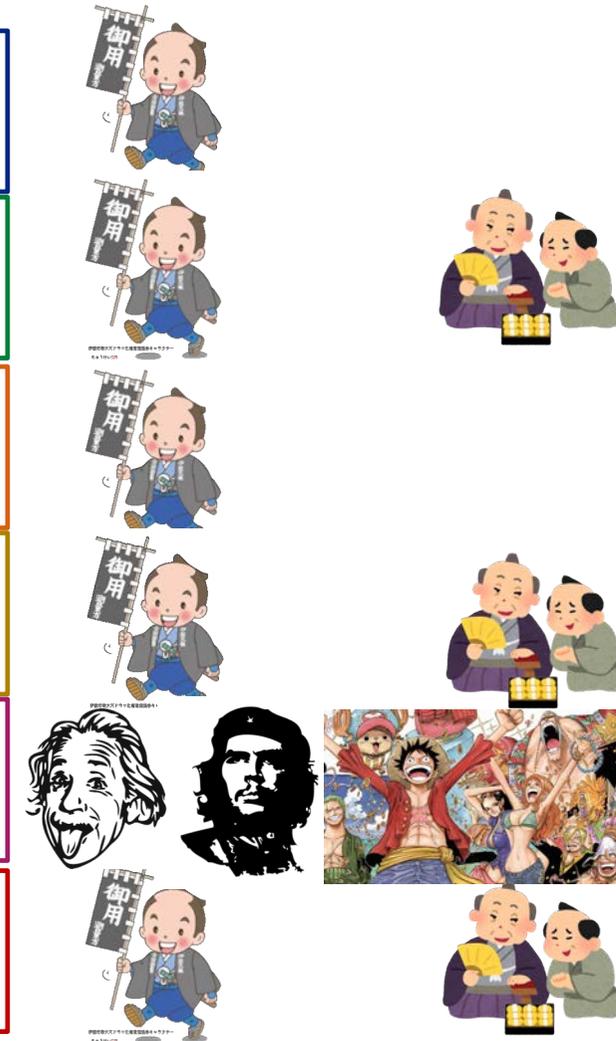
持続可能な開発のための国連海洋科学の10年（2021～2030）



ぼくたちわたしたちは
きれいで
健全で回復力のある
生産的で
予測できて
安全で
開かれた
魅惑的な
海にするため研究します

JAMSTEC海洋研究開発の7年（高井Ver.）

地球環境部門	地球環境の状況把握と変動予測のための研究開発
海洋機能利用部門	海洋資源の持続的有効利用に資する研究開発
海域地震火山部門	海域で発生する地震及び火山活動に関する研究開発
付加価値情報創生部門	数理科学的手法による海洋・地球情報の高度化及び最適化にかかる研究開発
超先鋭研究開発部門	挑戦的・独創的な研究開発
研究プラットフォーム運用開発部門	海洋調査プラットフォームにかかる先端的技術開発及び運用開発



JAMSTEC海洋研究開発の7年（国連Ver.）

地球環境部門	地球環境の状況把握と変動予測のための研究開発
海洋機能利用部門	海洋資源の持続的有効利用に資する研究開発
海域地震火山部門	海域で発生する地震及び火山活動に関する研究開発
付加価値情報創生部門	数理科学的手法による海洋・地球情報の高度化及び最適化にかかる研究開発
超先鋭研究開発部門	挑戦的・独創的な研究開発
研究プラットフォーム運用開発部門	海洋調査プラットフォームにかかる先端的技術開発及び運用開発

綺麗 健全 予測可能
生産的 オープン

生産的 健全 綺麗

安全 予測可能 オープン

予測可能 オープン 安全

魅惑の深海パーティー

すべてを支える技術・運用

「魅惑の深海パーティー」
from 映画バック・トゥ・ザ・フューチャー

1950年代の
アメリカにおいて
「深海」は
言葉の響きだけで
「うっとり」する程
ココロを揺さぶる
憧れだった

「アバター」を生み出した好奇心 by ジェームス・キャメロン TED Talk

actually seemed mirrored in the world around me,
そして私のSFに対する愛は

because what was happening, this was in the late '60s,
現実世界にも反映されているようでした

we were going to the moon,
この60年代後半の時代は

we were exploring the deep oceans.
人類は月を目指し

Jacques Cousteau was coming into our living rooms
深海を探索していました

with his amazing specials that showed us
ジャック・クストーの特別番組が放映され

animals and places and a wondrous world
私たちがそれまで想像もしなかった

that we could never really have previously imagined.
驚異的な生物や光景を

So, that seemed to resonate
見せてくれた時代でもあります

パパとママがダンスパーティーで結ばれるのも
壮大なスケールの面白くて儲かる映画が出来上がるのも

すべからく
「心揺さぶる魅惑的な海」

それを創り上げる出発点は
海のプロフェッショナル
特に未知に挑む研究者達

生命とは何か・・・ とくに普遍的な答え

そんな偉そうな事言ったら出てくるよ。いつもの定番が！！

**「生命とは何か」と問うと必ず出てくる
スノッブな科学者の定番・鉄板メニュー**

生命とは何か

「探しものは何ですか？ 見つけにくいものですか？」

(井上陽水・夢の中へ)

NASAの定義

Life is a self-sustained chemical system capable of undergoing Darwinian evolution.

生命とは、ダーウィン進化を受けることが可能な、自己保存的な化学系である

Joyce, G. in *Origins of Life: the Central Concepts* (eds Deamer, D. W. & Fleischaker, G. R.) xi-xii (Jones and Bartlett, Boston, 1994).

Life is the sum total of events which allows an autonomous system to respond to external and internal changes and to renew itself from which in such a way as to promote its own continuation.

生命とは、外的および内的変化に応答し、自己の存続を推進するような方法で自己を更新する自律系を可能にするような事象の総和である

Oliver, J. D. & Perry, R. S. Definitely life but not definitively. *Orig. Life Evol. Biosph.* 36. 515-521 (2006).

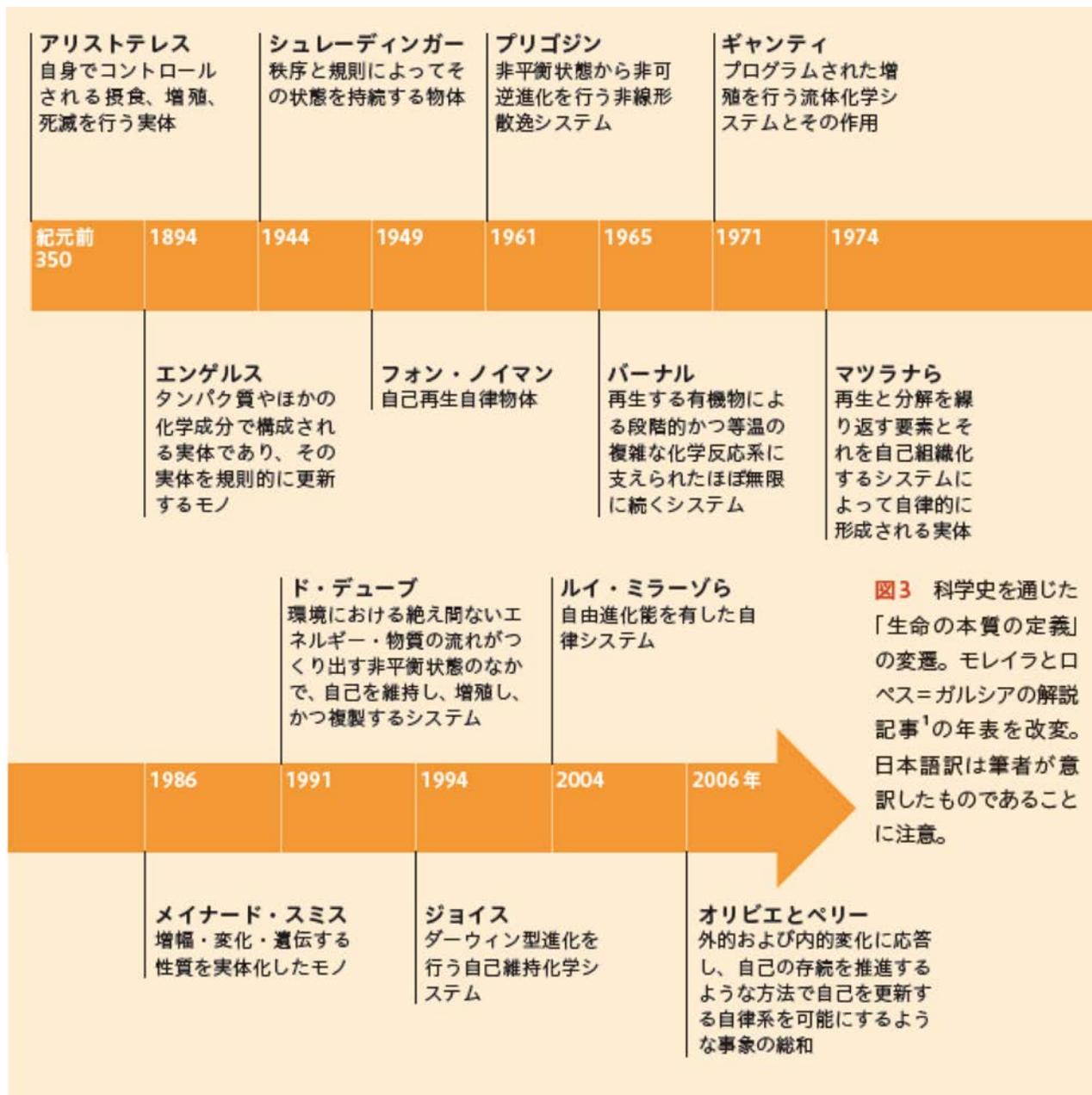


図3 科学史を通じた「生命の本質の定義」の変遷。モレイラとロペス＝ガルシアの解説記事¹の年表を改変。日本語訳は筆者が意識したものであることに注意。

突き詰めて生命を考えると

**生命（の起源や定義）には必ずしも
ダーウィン型進化いらんやろ！**

そう考えるきっかけは金子邦彦 & 古澤力の研究

生命(圏)限界探査→生命とは何か

生命という現象は、生物や細胞のような物体ではなく、生物が生命活動を営む環境そのもの

生命≡生命圏≡生命存在環境

生命が存在できること
と存在できないことの境目

生命圏と非生命圏の境界を知る事で
生命とは何かをリアルに感じる事が
できるのでは

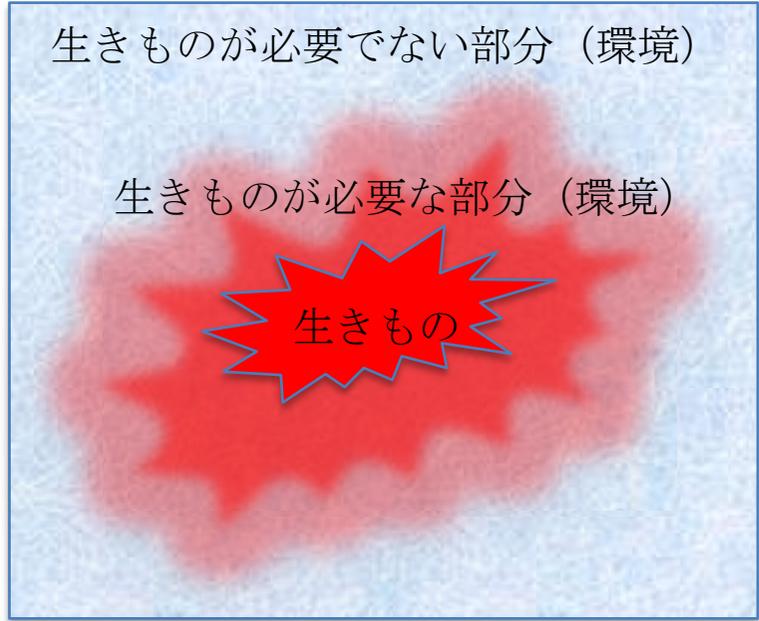
生きものじゃない部分 (環境)



生きもの

生きものが必要でない部分 (環境)

生きものが必要な部分 (環境)



生きもの

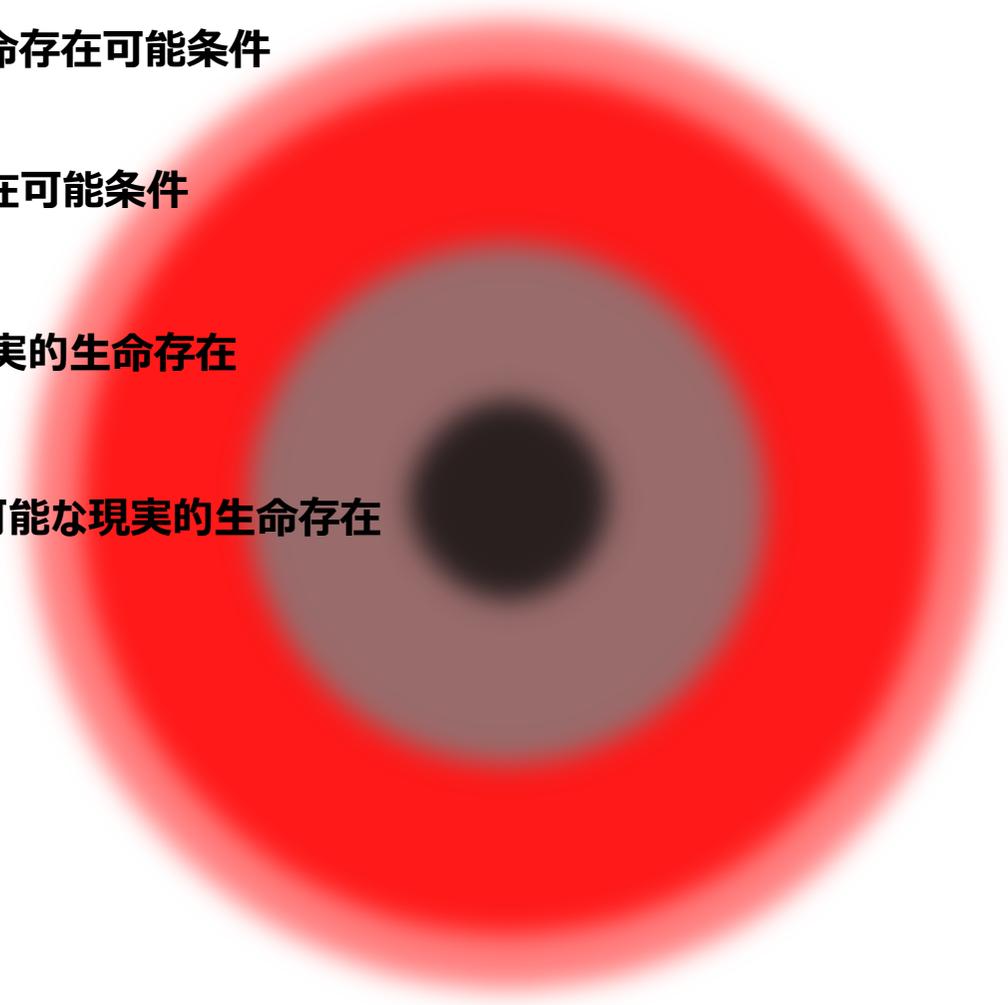
生命存在条件 = ハビタビリティとは？

理論的最大生命存在可能条件

現実的生命存在可能条件

現実的生命存在

観測可能な現実的生命存在



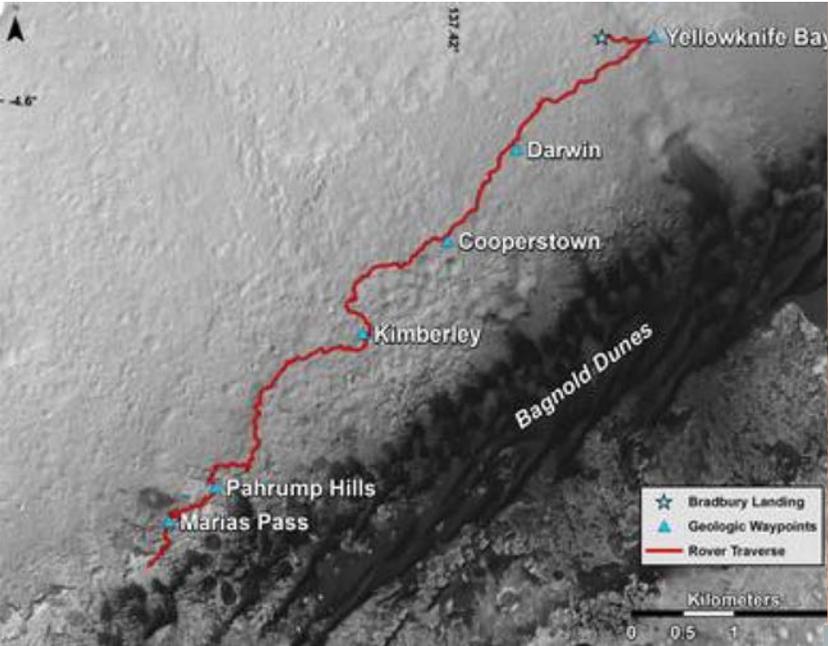
生命存在条件 = ハビタビリティとは？

生命存在条件 = ストライクゾーンとは？

我々の知る生命は地球生命のみ

- **地球生命から演繹される普遍的生命は真に普遍的とはいえない**
- **よって理論的**最大生命存在可能条件**というのも幻でしかない**
- **確実なのは観測可能な現実的**生命存在**、つまり**観察された地球生命の存在**、だけ**

All the photos from NASA.gov





JAMSTEC

<http://www.jamstec.go.jp/>



現実の生命圏の限界を地球深部に求めて



マリアナ海溝(= 1100 bar)



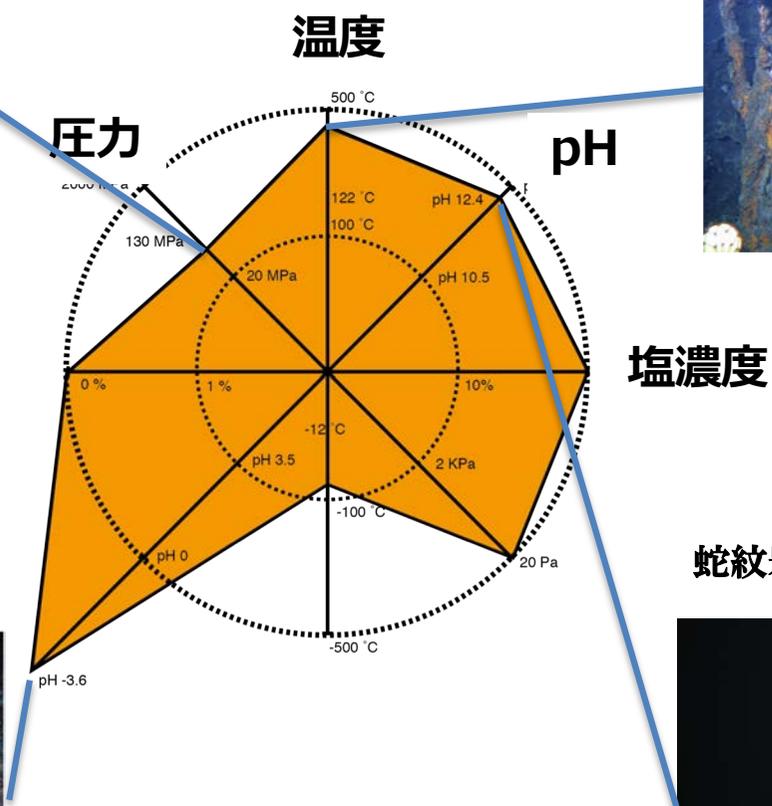
深海熱水(= 407°C)



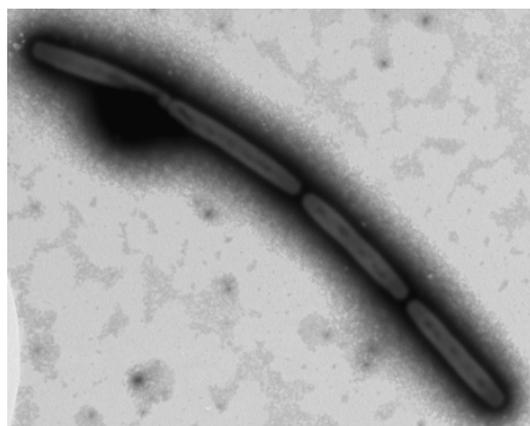
地下鉱山排水(=pH-3.6)



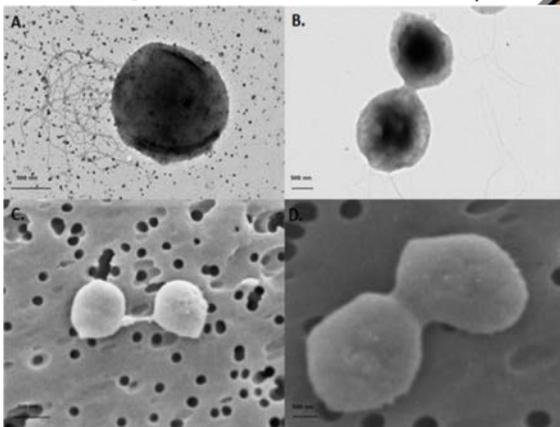
蛇紋岩海山地下(= pH13.1)



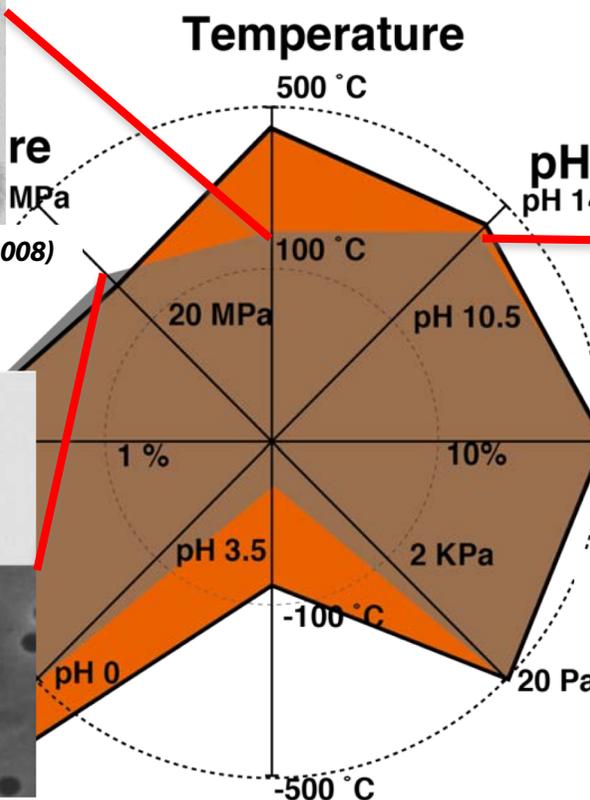
現実の生物の限界を地球深部に求めて



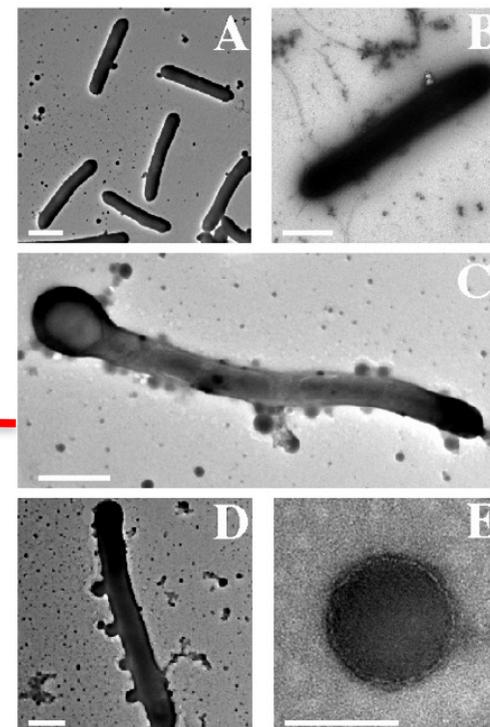
Methanopyrus kandleri 116 (Takai et al., 2008)
Growing at up to 122°C



Thermococcus piezophilus (Alain et al., 2016)
Growing at up to 130 MPa



Colwellia marinimarinae (Kusube et al., 2017)
Growing at up to 140 MPa



Alkaliphilus transvaalensis (Takai et al., 2001)

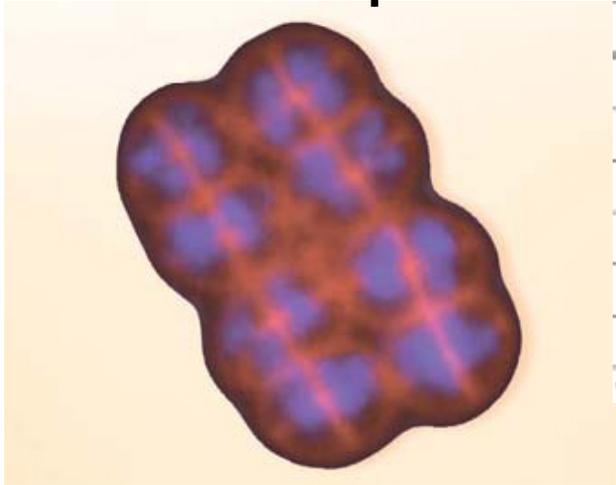
Growing at up to pH 12.4

Serpentinimonas maccroryi (Suzuki et al., 2014; Bird et al., 2021)

Growing at up to pH 12.5

その他の現実の生命圏限界(放射線)

Deinococcus peraridilitoris



Species	D ₃₇ value*	Phylum
<i>Deinococcus radiodurans</i>	7,000 Gy	Deinococcus-Thermus
<i>Deinococcus radiophilus</i>	13,000 Gy	Deinococcus-Thermus
<i>Rubrobacter radiotolerans</i>	16,000 Gy	Actinobacteria
<i>Methylobacterium radiotolerans</i>	2,300 Gy	Proteobacteria
<i>Chroococcidiopsis</i> spp.	3,400 Gy**	Cyanobacteria
<i>Escherichia coli</i>	40 Gy	Proteobacteria

*The D₃₇ values were obtained by gamma-irradiation. **This value was obtained by X-irradiation.

ヒト

2-3 Gy

クマムシ

2000-3000Gy

自然界に 10^8 細胞/cm³いたとして320000Gyでほぼ完全に消滅

地球環境で最大の放射線照射があったのはどこか

広島型原爆の爆心地 = 1000Gy

原発の使用済み核燃料棒の表面 = 100000Gy/h

宇宙空間 (月面) = 0.002Gy/day

地球環境で最大の放射線照射環境

オクロ鉱床：
約20億年前、
原子炉として
活動した痕跡
を残す鉱床。



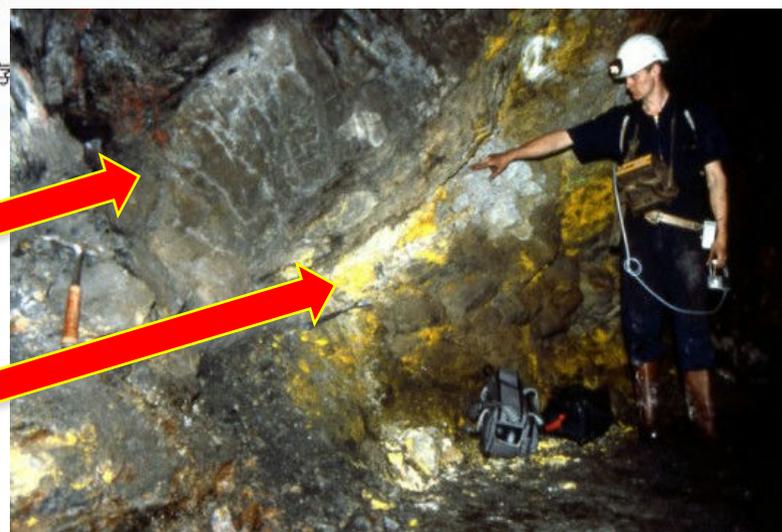
オクロの天然原子炉
20億年前

地球の大気中のO₂が上昇し
U²³⁵が地下水に溶けて
あるところで濃縮
勝手に臨界反応

原子炉ゾーン
付近では岩石
が熱により黒
く変質してい
る。



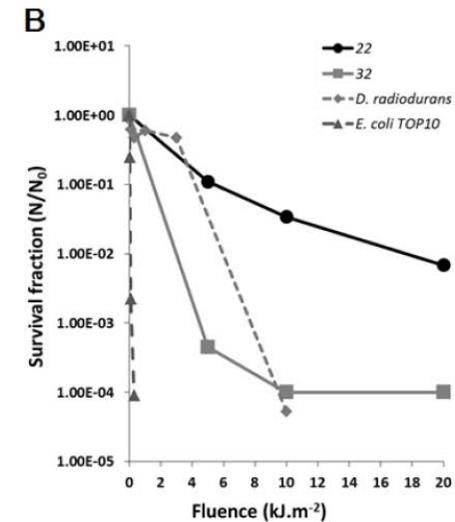
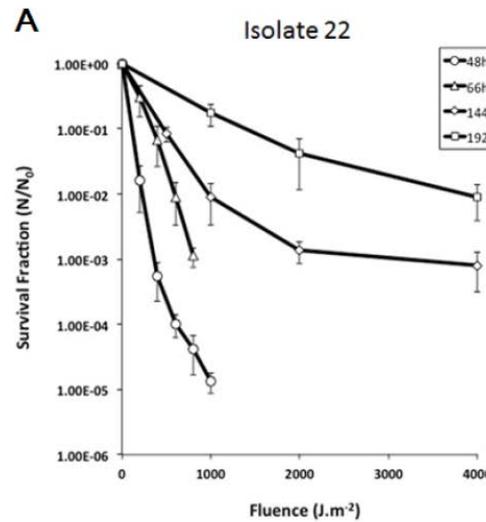
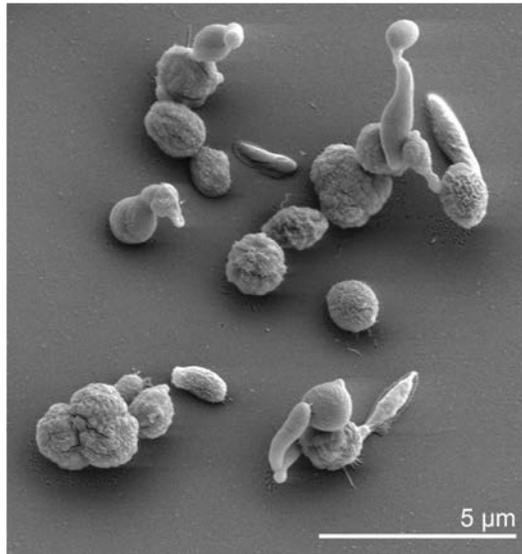
原子炉ゾーンの一部を保存



1000 Gy/h
2週間で絶滅

100000 Gy/h

その他の現実の生命圏限界(紫外線)



Geodermatophilus obscurus

自然界に 10^8 細胞/cm³いたとして16000J/m²でほぼ完全に消滅

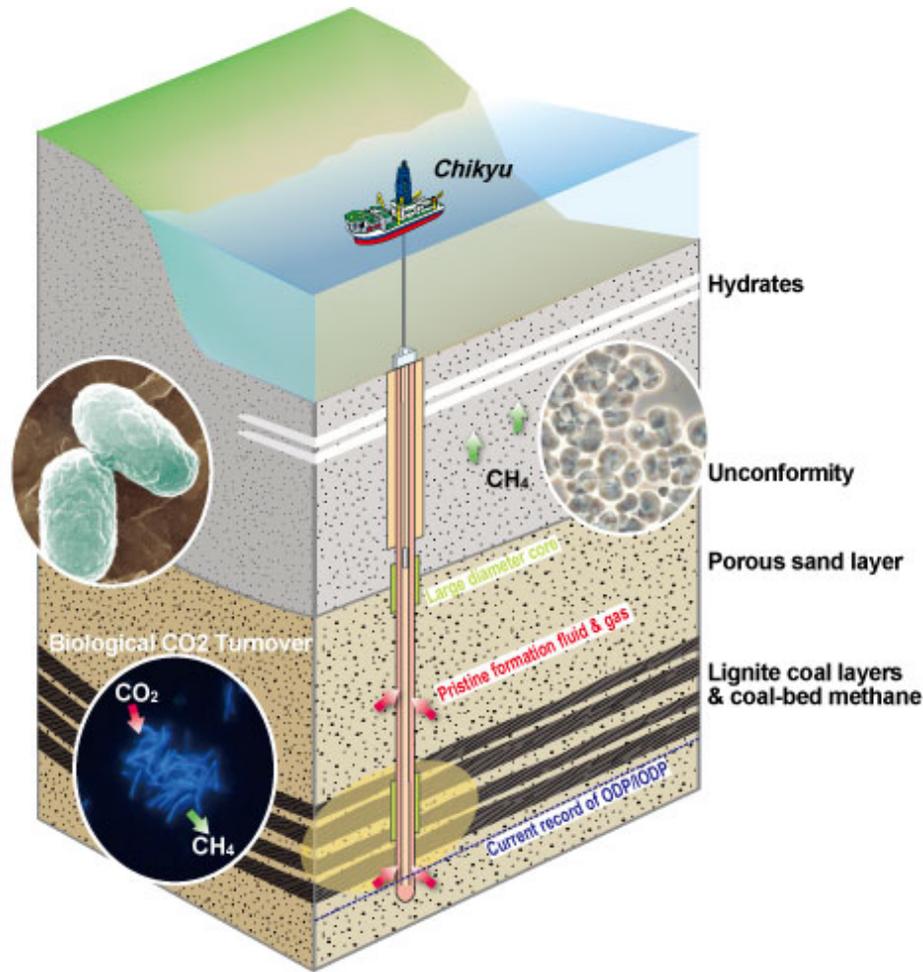
地球環境で最大の紫外線照射があったのはどこか

約40億年前の地球表面= $\sim 1\text{W}/\text{m}^2$ (1日)

宇宙ステーション= $6.4\text{W}/\text{m}^2$ (4時間)

リング内（実験室内） 温度最強伝説

IODP Exp. 337での最深の海底下生命圏探査

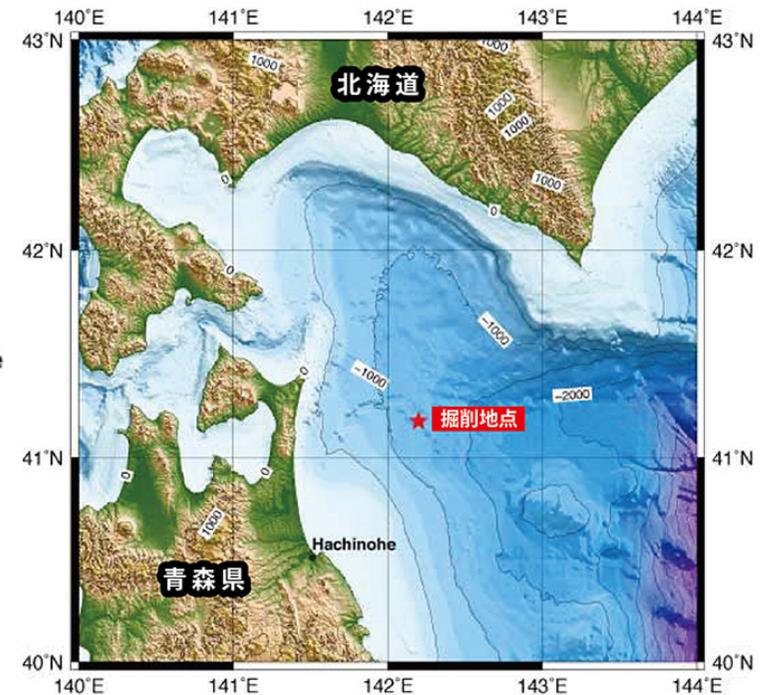


RESEARCH | REPORTS

DEEP BIOSPHERE

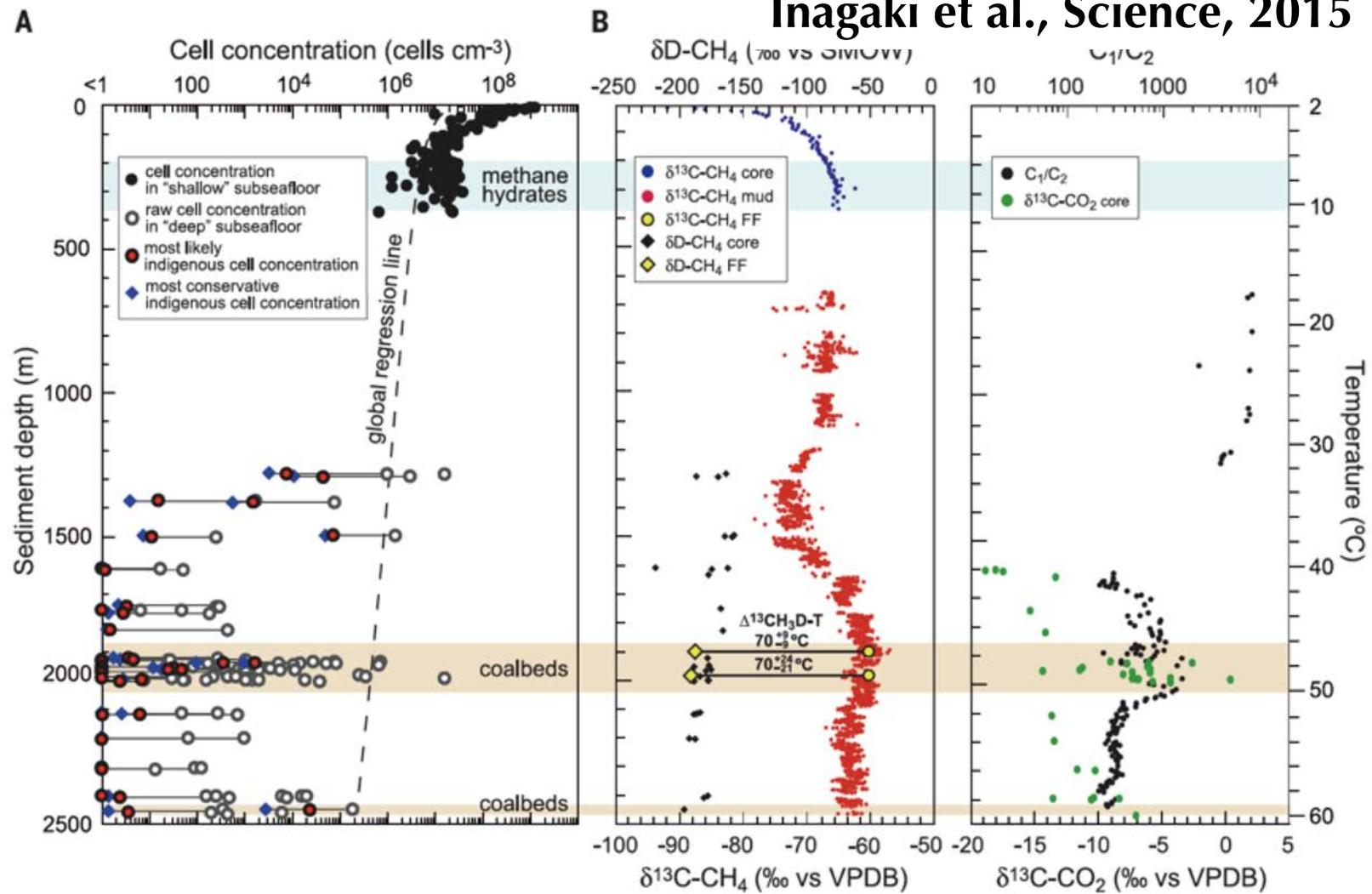
Exploring deep microbial life in coal-bearing sediment down to ~2.5 km below the ocean floor

F. Inagaki,^{1,2*} K.-U. Hinrichs,^{3*} Y. Kubo,^{4,5} M. W. Bowles,² V. B. Heuer,² W.-L. Hong,⁶ T. Hoshino,^{1,3} A. Ijiri,^{1,3} H. Imachi,^{3,7} M. Ito,^{1,2} M. Kaneko,^{3,8} M. A. Lever,² Y.-S. Lin,² B. A. Methé,¹⁰ S. Morita,¹¹ Y. Morono,^{1,2} W. Tanikawa,^{1,2} M. Bihan,¹⁰ S. A. Bowden,¹² M. Elvert,² C. Glombitza,² D. Gross,¹³ G. J. Harrington,¹⁴ T. Hori,¹⁵ K. Li,¹⁰ D. Limmer,¹¹ C.-H. Liu,¹⁶ M. Murayama,¹⁷ N. Ohkouchi,^{3,8} S. Ono,¹⁸ Y.-S. Park,¹⁹ S. C. Phillips,²⁰ X. Prieto-Mollar,² M. Purkey,²¹ N. Riedinger,^{22**} Y. Sanada,^{4,5} J. Sauvage,²³ G. Snyder,²⁴ R. Susilawati,²⁵ Y. Takano,^{3,8} E. Tasumi,⁷ T. Terada,²⁶ H. Tomaru,²⁷ E. Trembath-Reichert,²⁸ D. T. Wang,¹⁸ Y. Yamada,^{3,29}



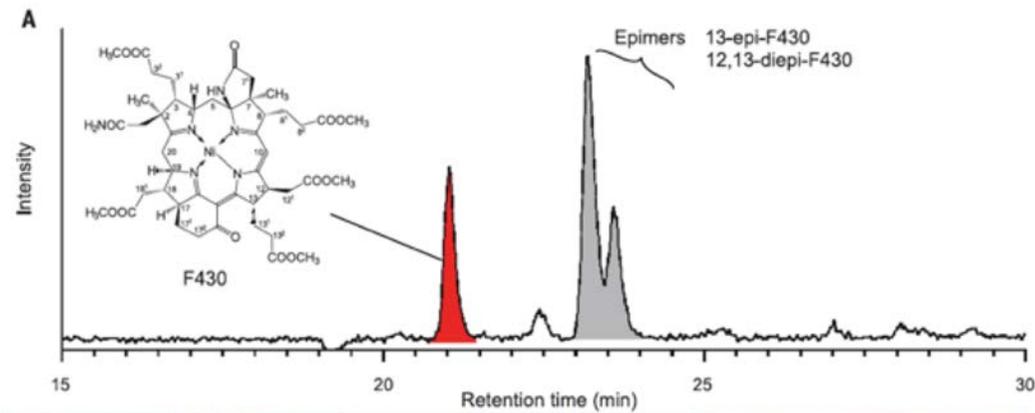
IODP Exp. 337での最深の海底下生命圏探査

Inagaki et al., Science, 2015

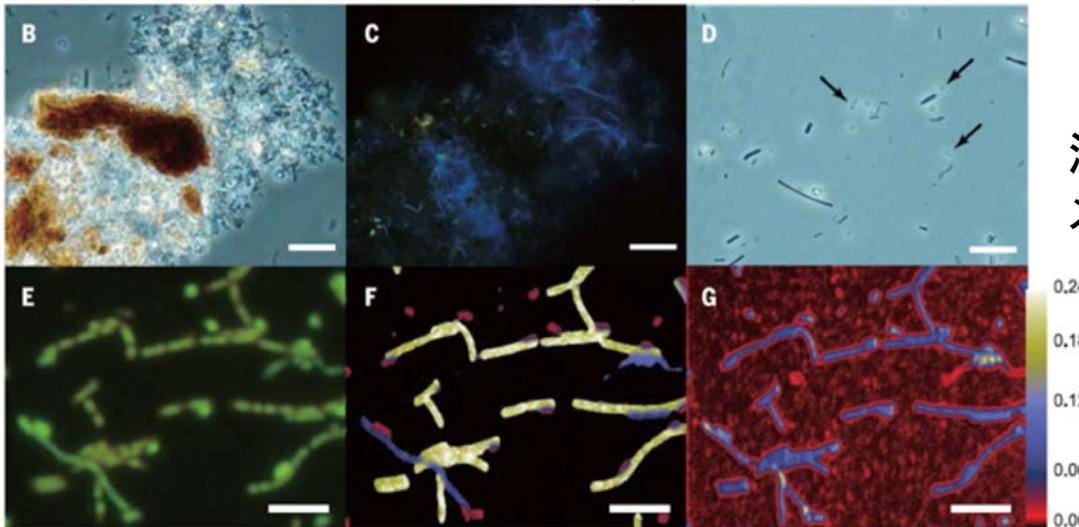


IODP Exp. 337での最深の海底下生命圏探査

Inagaki et al., Science, 2015



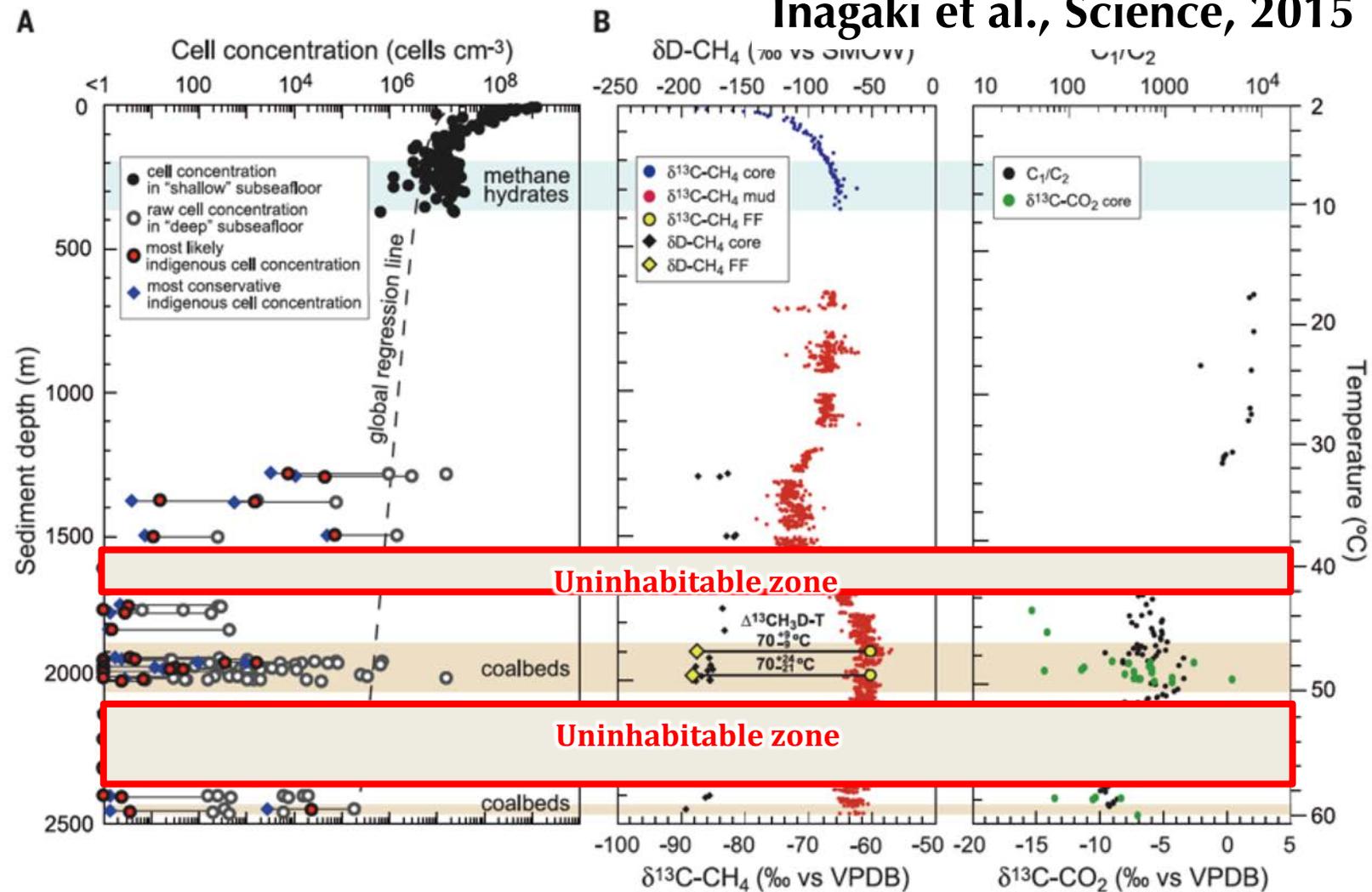
海底下2.4 kmの石炭層
F430というメタン菌のメタン生成
のライブバイオマーカー発見



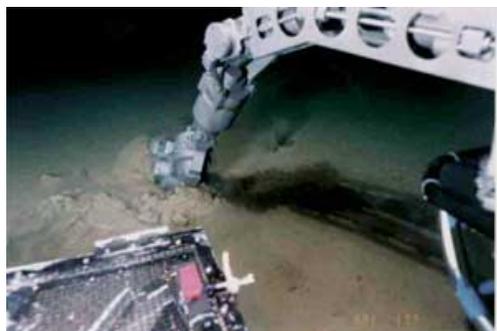
海底下2.4 kmの石炭層から
メタン菌を培養

IODP Exp. 337での生命圏限界

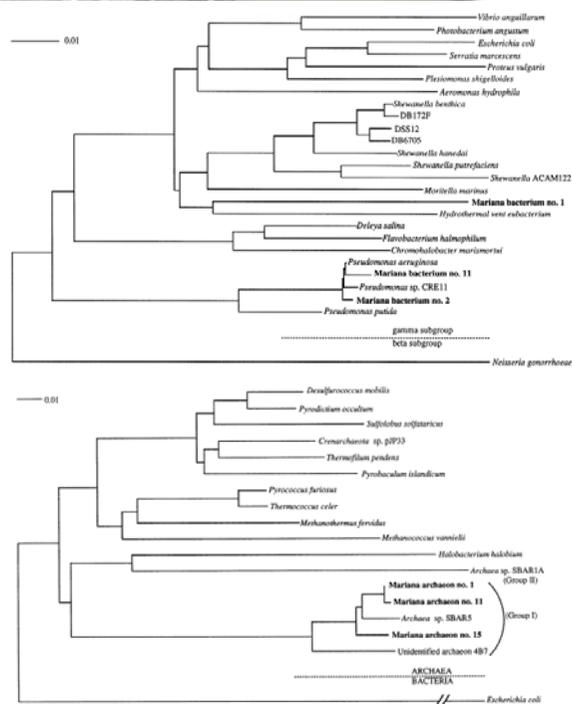
Inagaki et al., Science, 2015



ちなみに世界最深の生命圏の限界には まだ人類は到達していない



Kato et al., 1997, Takami et al., 1997, Goodfellow, 2006,
Nunoura et al., 2015; 2018

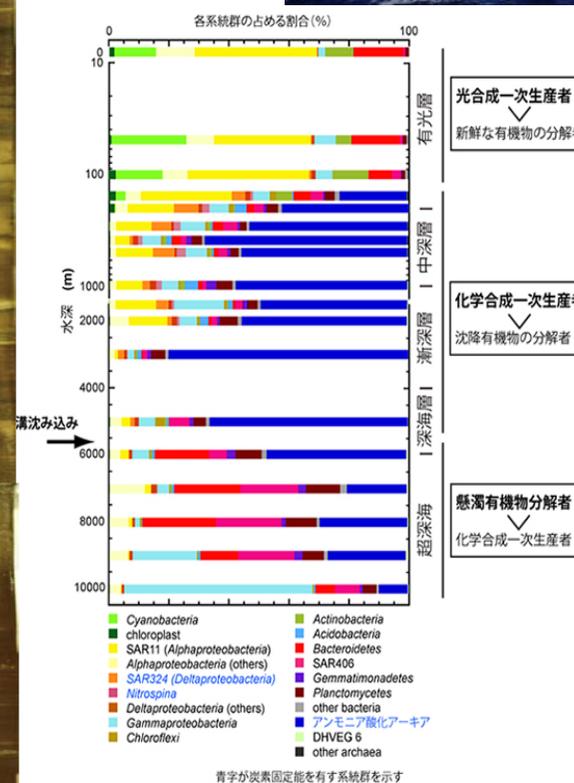


Proteobacteria >100株
Pseudomonas
Moritella
Alteromonas
Marinobacteria
Idiomarina

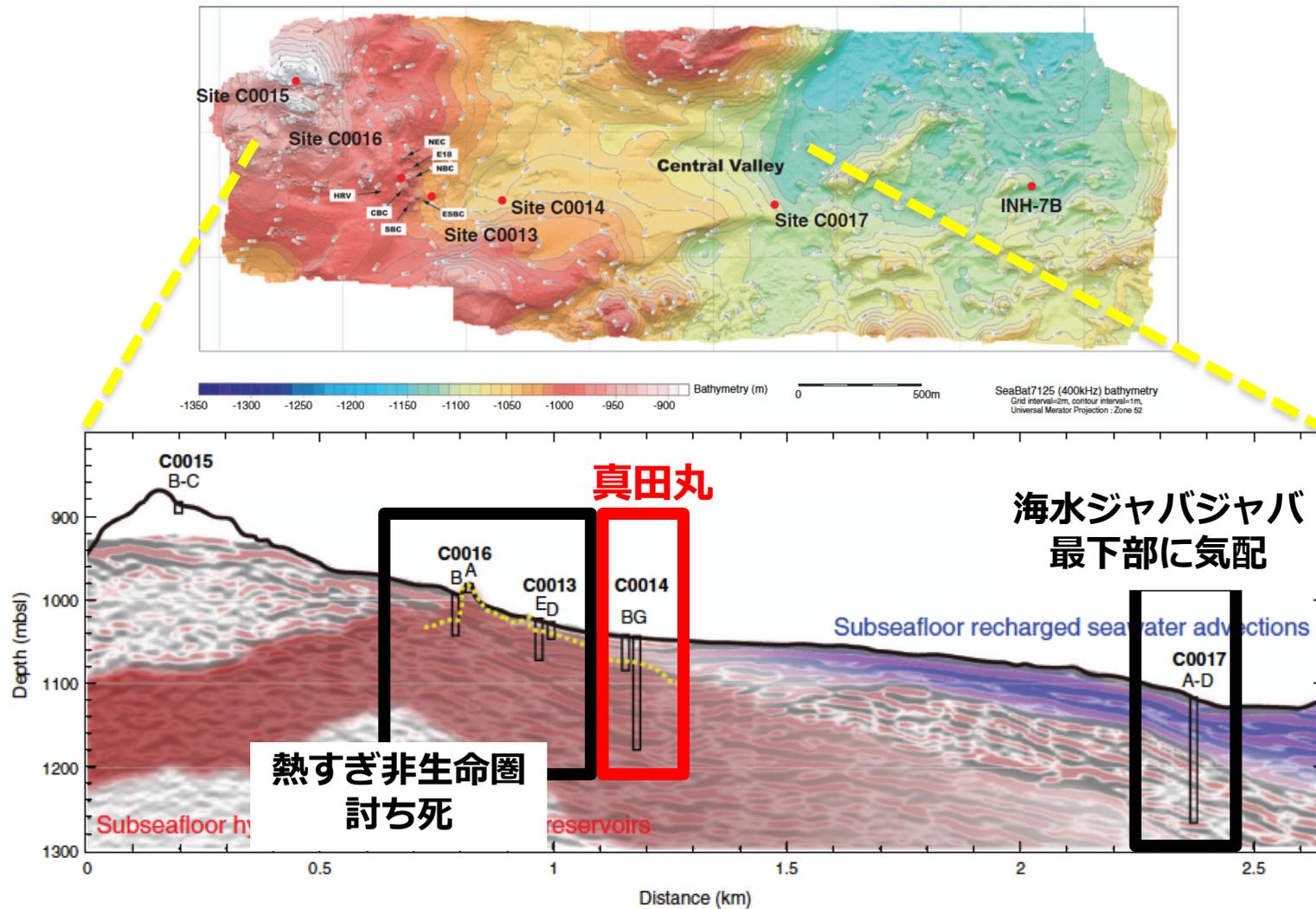
Actinobacteria >50株
Dermacoccus
Kocuria
Micromonospora
Streptomyces
Tsukamurella
Williamsia

Firmicutes >50株
Geobacillus
Bacillus
Thermaerobacter

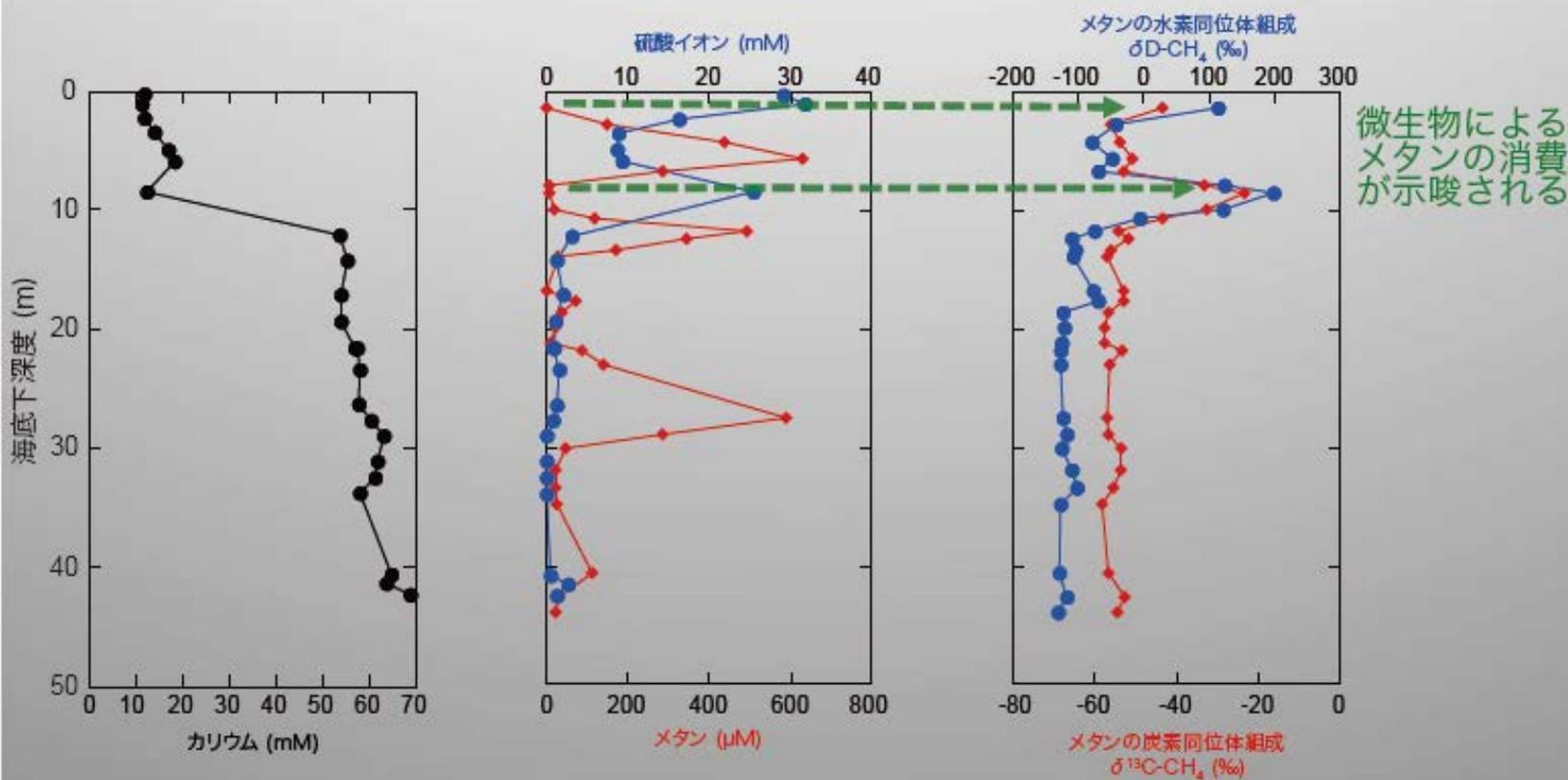
Thaumarcheota
Nitrosopumilus



沖縄トラフ熱水海底下生命圏

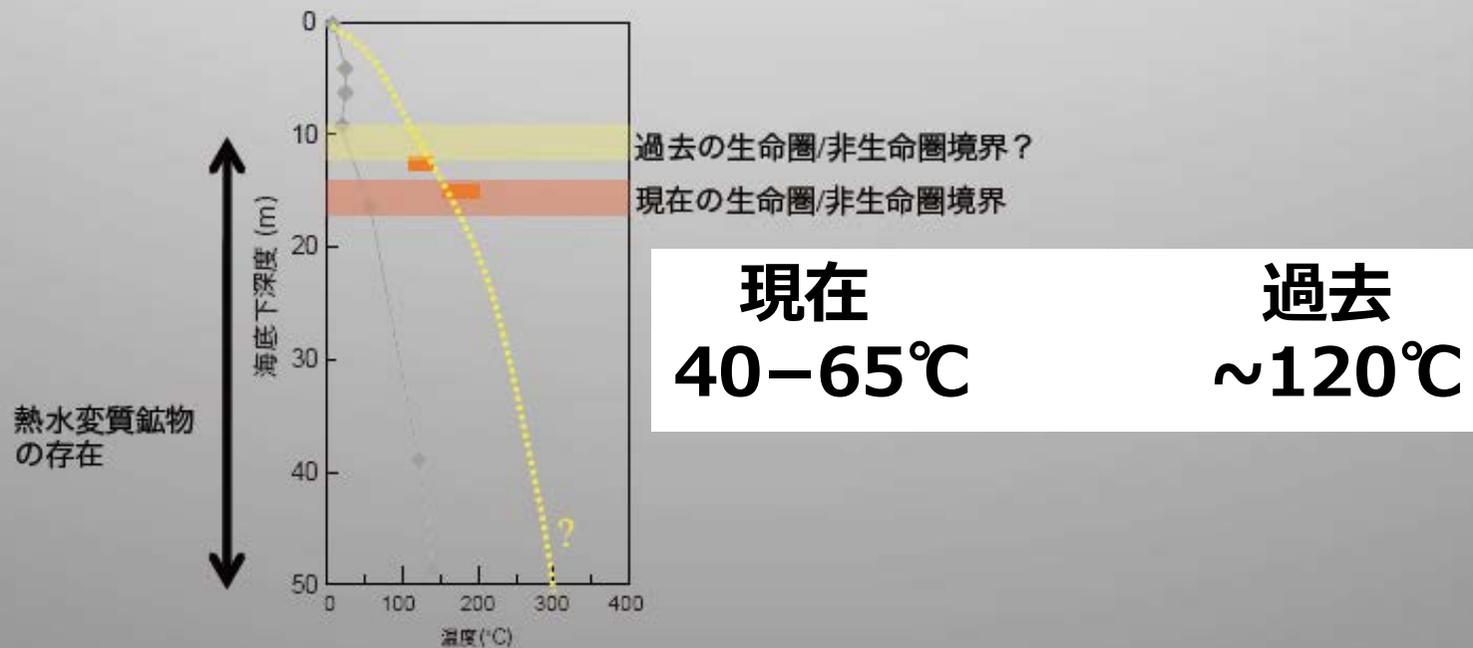


熱水孔下の複雑な水理構造と微生物反応の示唆



生命分布と温度の関係

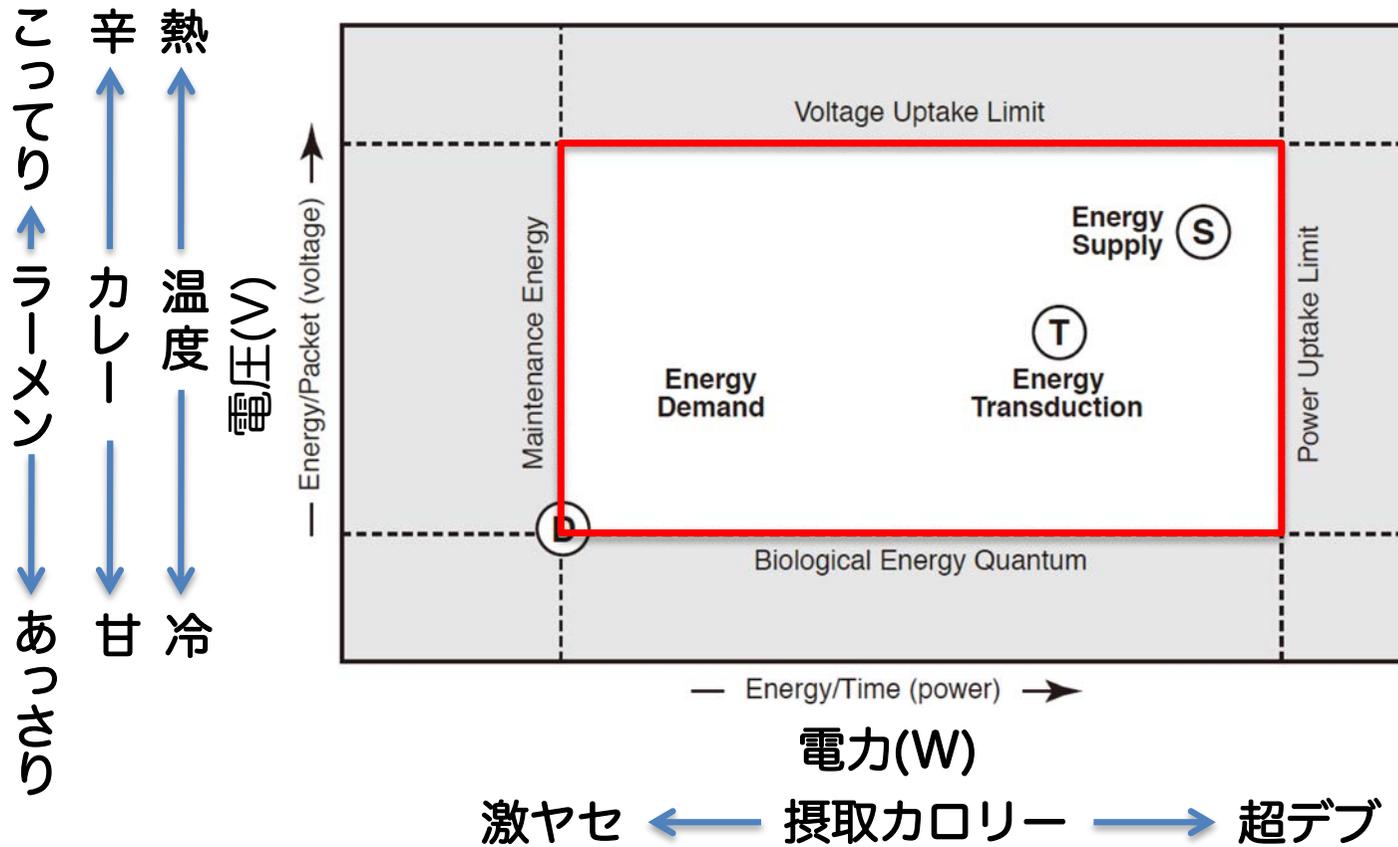
- 深度12mから熱水変質(カオリナイトやスメクタイト)が観察される。
- 熱水変質鉱物の酸素同位体比に基づく温度推定は、過去に高温環境であったことを示唆していた。



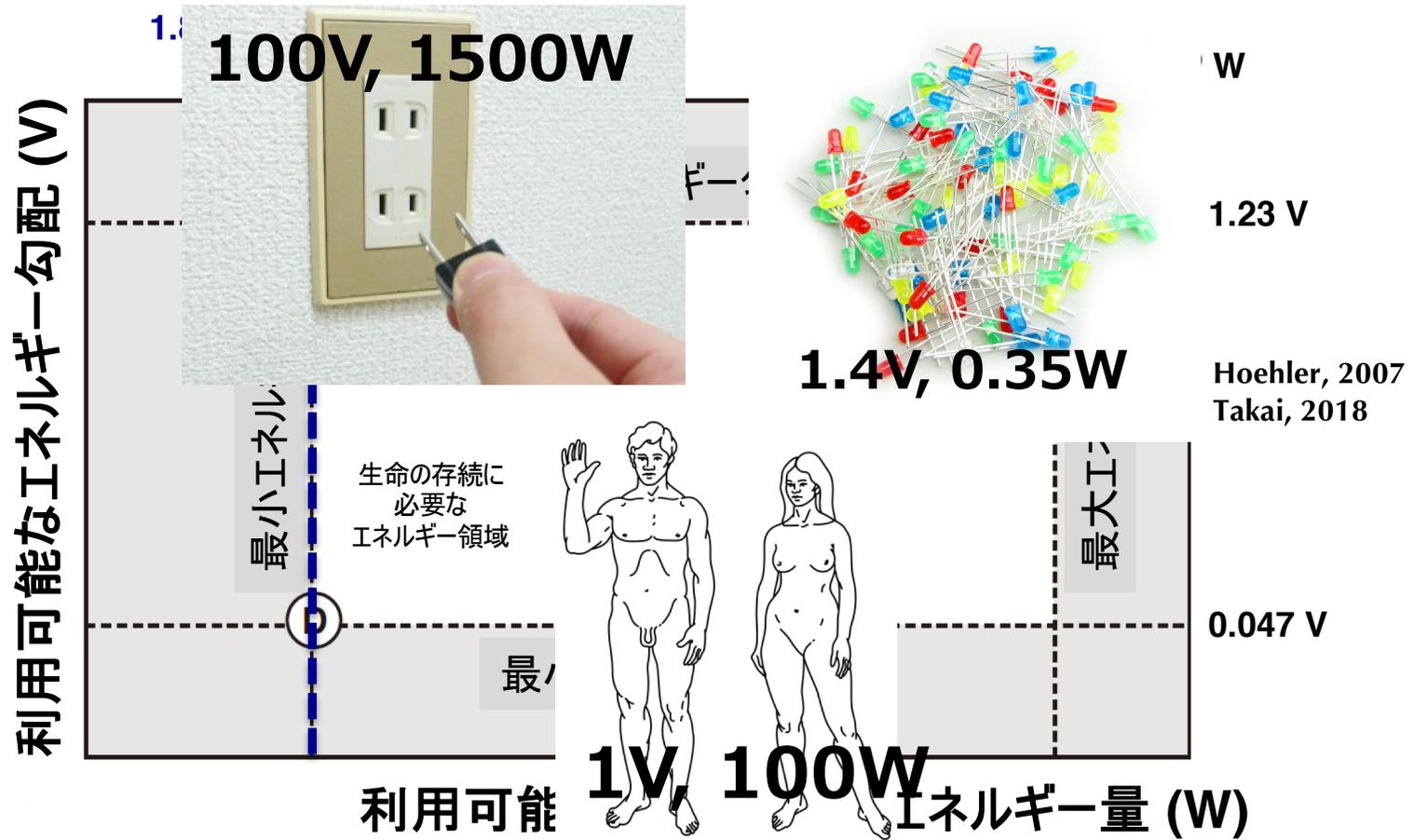
**環境（路上）でも
温度最強伝説**

宇宙における生命存在条件 Habitability

Tori Hoehler (2007)



地球生命のハビタビリティ たったこれだけ



地球におけるエネルギーマスバランス

最大のエネルギーインプット = 太陽放射

地球におけるエネルギー量の99.9% (174,000 Terawatts)

1日当たりのエネルギー = M11.5

地球外部エネルギー

光合成一次生産によって地球の生命活動のほぼすべてが支えられている

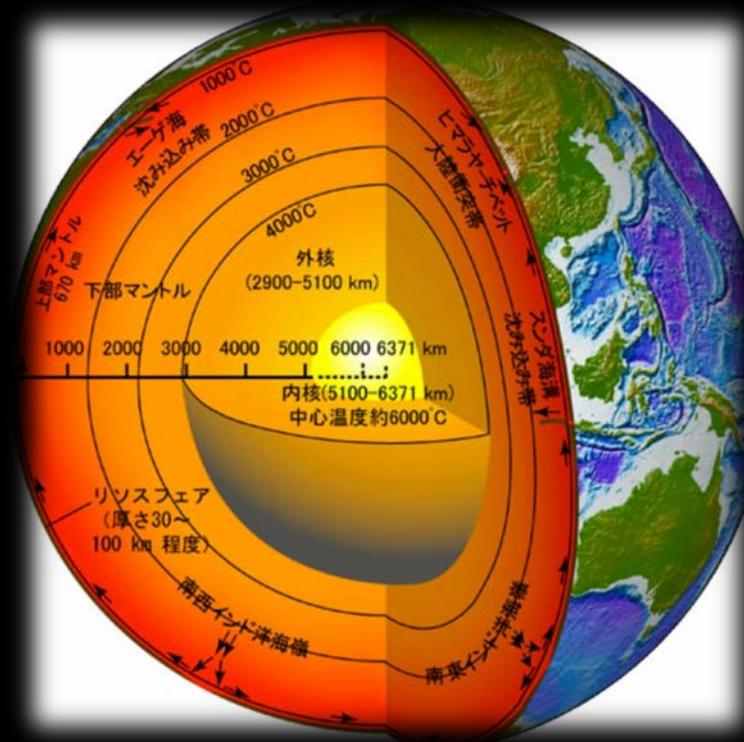
地球におけるエネルギーマスバランス

第二のエネルギーインプット=地球内部熱エネルギー

地球におけるエネルギー量の0.013% (23 Terrawatts)

1日当たりのエネルギー=M8.9

化学合成一次生産者 (独立栄養微生物) もいることはいる



地球におけるエネルギーマスバランス

第三のエネルギーインプット=月の潮汐力

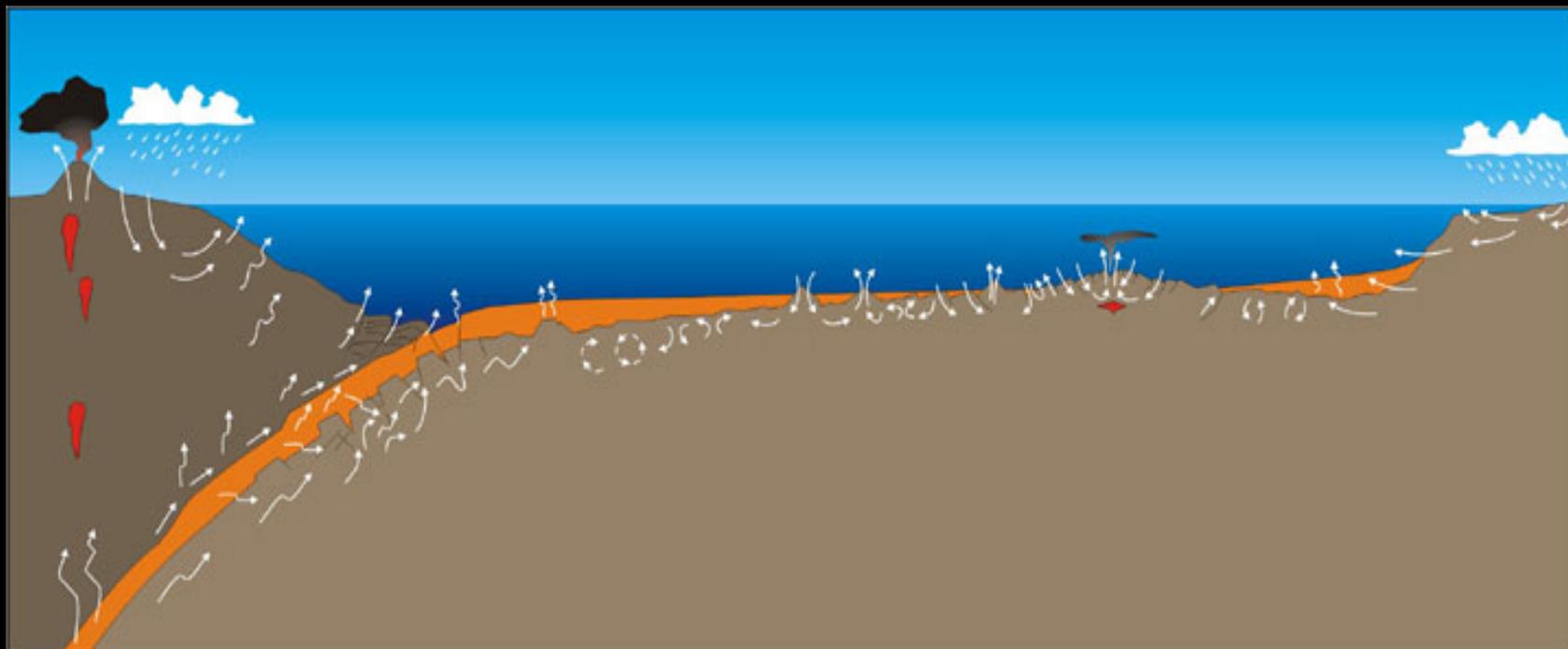
地球におけるエネルギー量の0.001% (2.4 Terawatts)

1日当たりのエネルギー=M8.2

潮汐力をエネルギー源とする生命は地球には見つかっていない



太陽エネルギーと惑星内部エネルギー の最大の違い



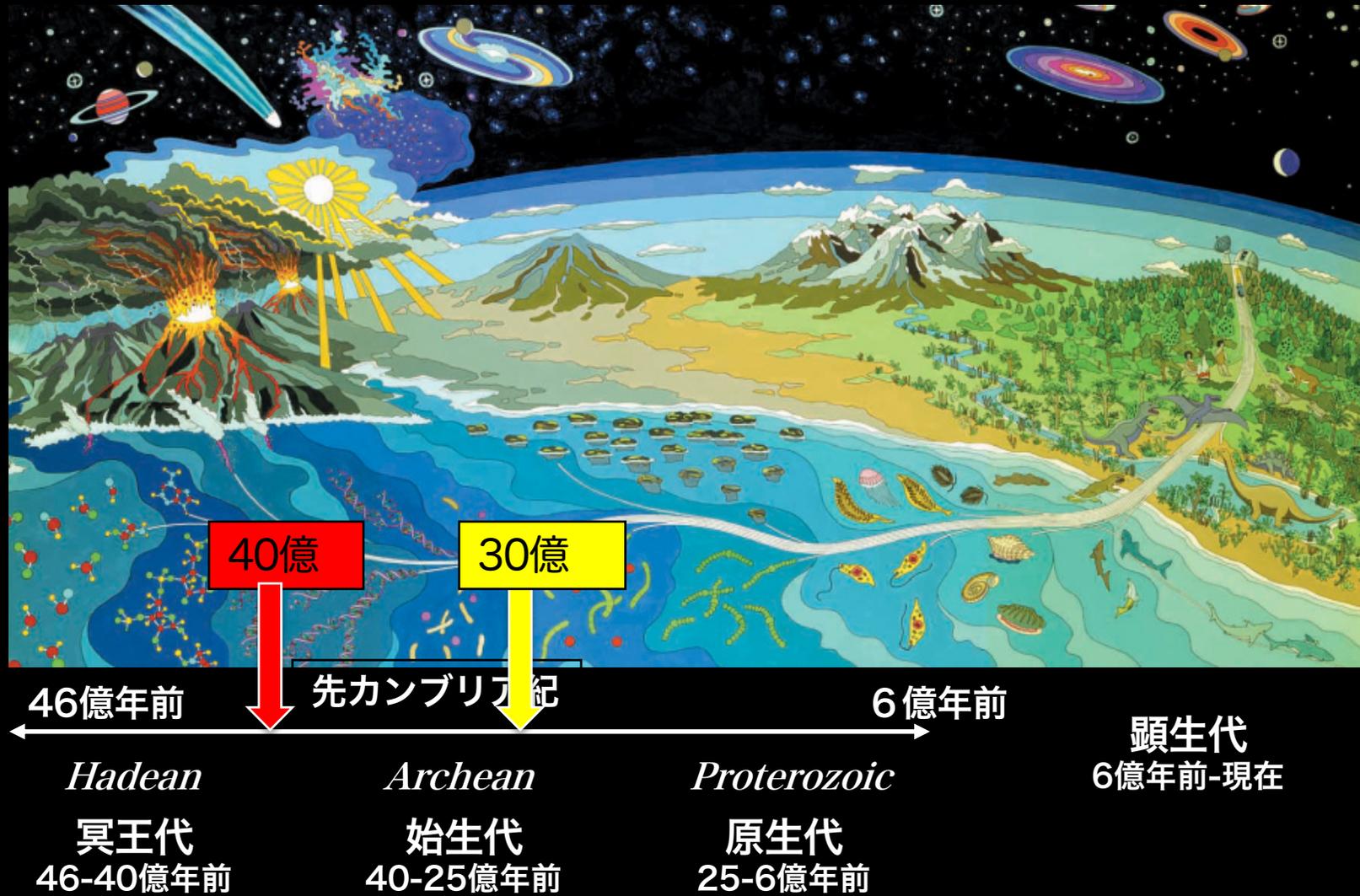
惑星内部エネルギーは熱拡散ではなく、
地殻内の熱水循環で運ばれる

惑星内部エネルギーに依存した (地球を食べる) 生命

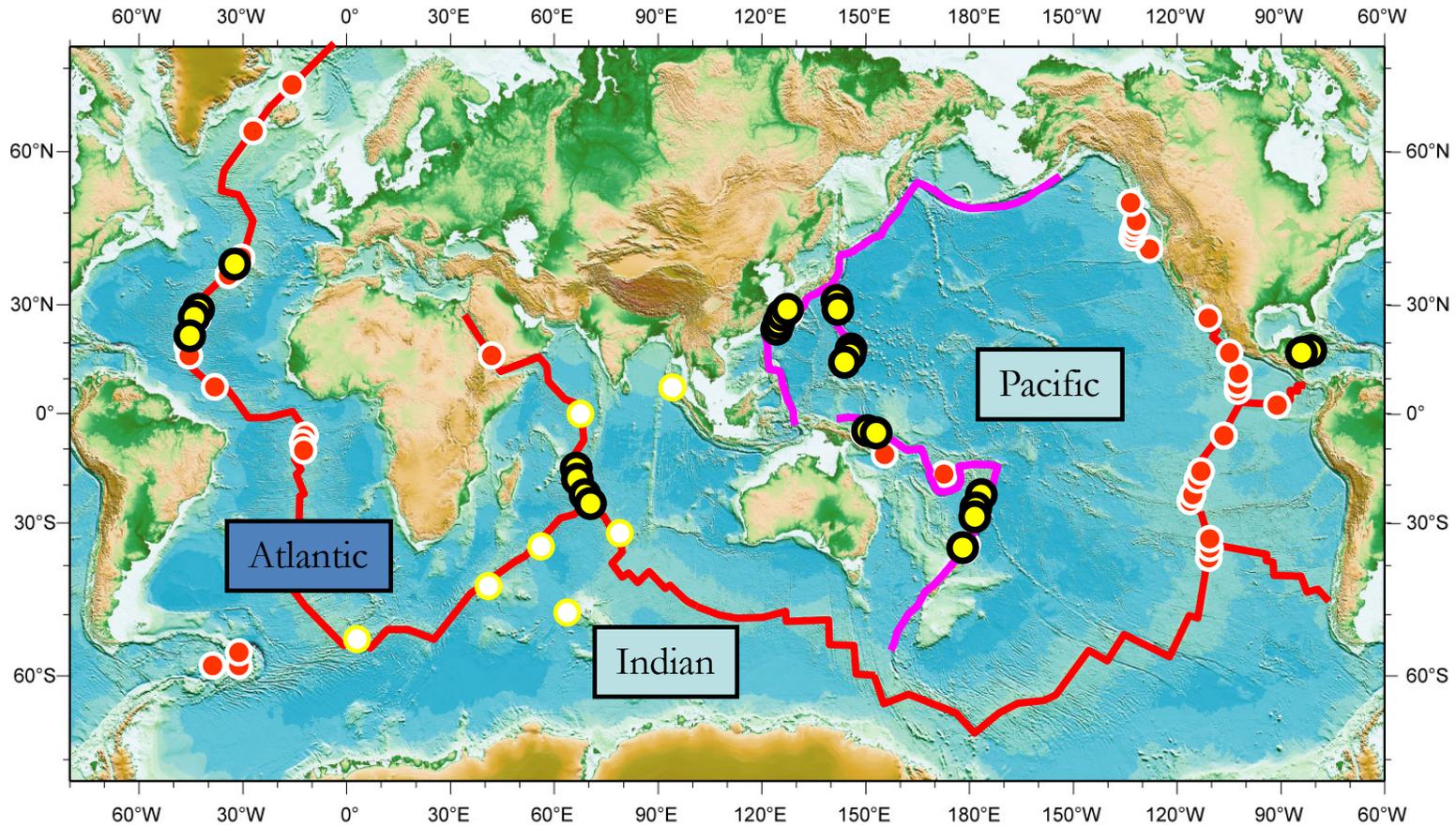
1977年、アメリカの有人潜水艇Alvinが深海底熱水噴出孔の周辺に地球内部エネルギーに依存した、「地球を食べる」生態系を発見



生命惑星地球の誕生とその進化



これまでに見つかった深海熱水



暗黒の生態系を支配するエネルギー論的原理

地質学的条件がその環境の化学環境を支配する



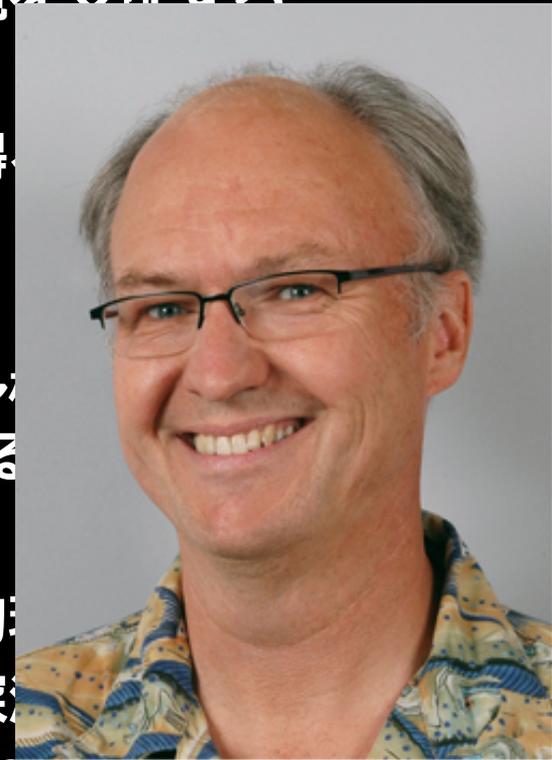
↓
環境がその環境に起こり得る
エネルギー代謝の多寡を支配する

↓
得るエネルギー代謝の多寡が
微生物生態系を支配する

得るエネルギー代謝は物理
化学で予想できる（特に深

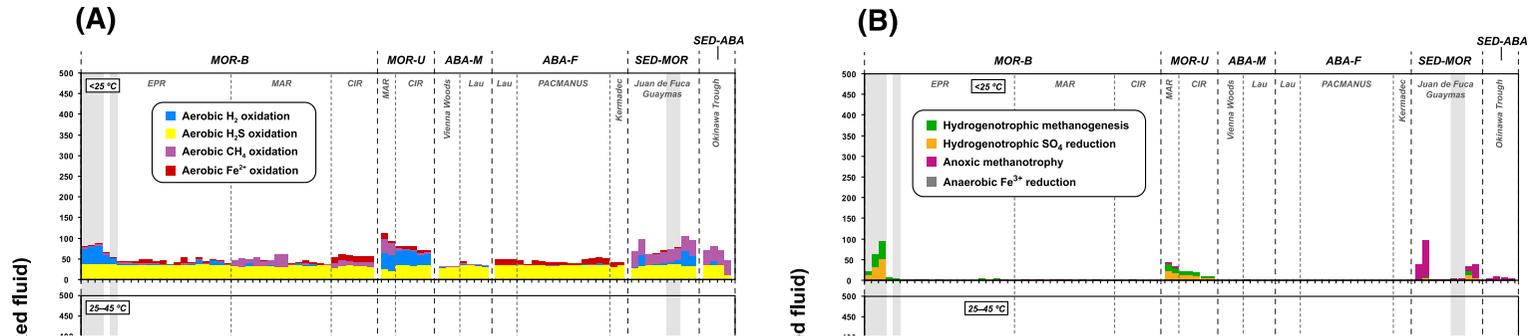
(McCollom & Shock, 1997)

マツカラム・ショック予想

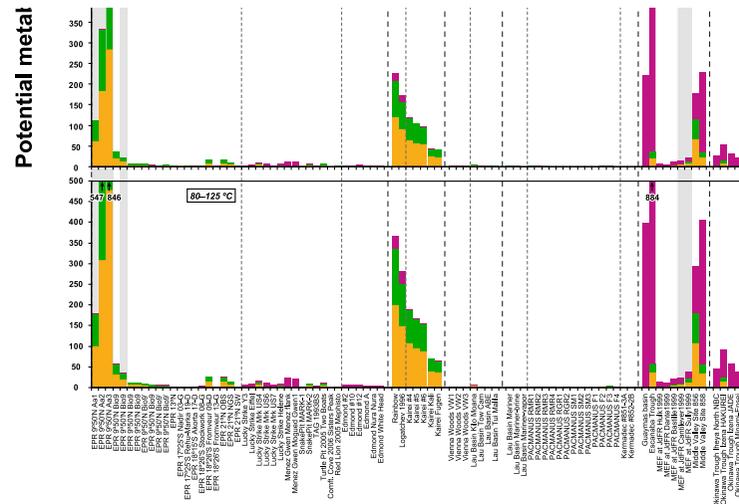
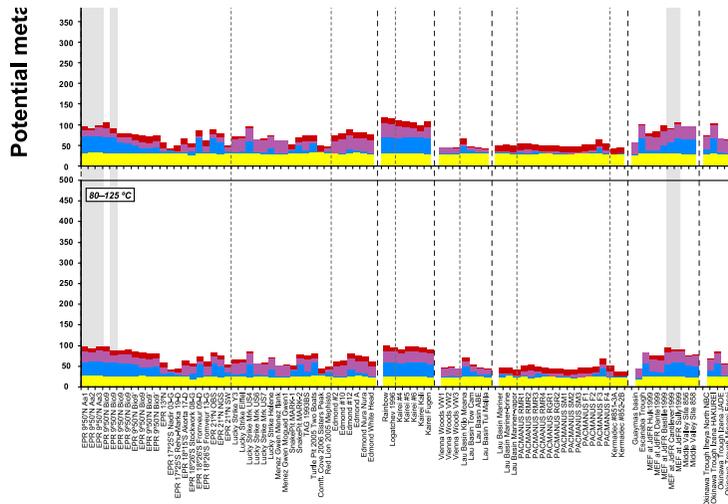


マツカラム・ショック予想の証明

(Takai & Nakamura, 2010; 2011; Nakamura & Takai, 2014; Takai et al., 2015)



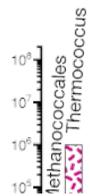
世界94箇所の深海熱水のデータを網羅
 ワイの12~13年の人生の時間を返せ！



マツカラム・ショック予想の証明

(Takai & Nakamura, 2010; 2011; Nakamura & Takai, 2014; Takai et al., 2015)

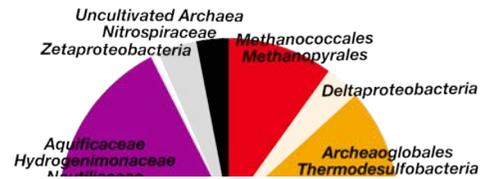
Analyzed



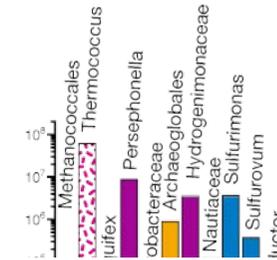
a

iles
inas

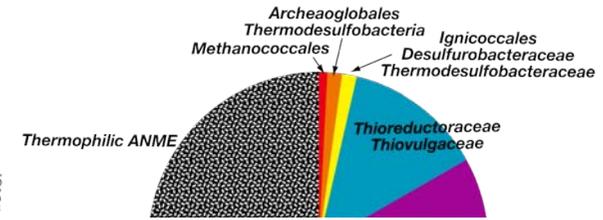
Theoretical



Analyzed

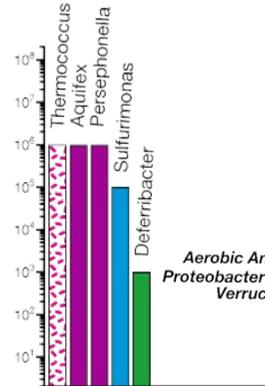


Theoretical



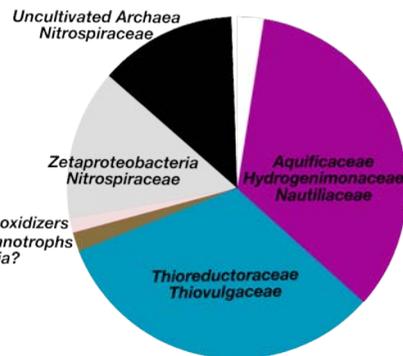
世界94箇所の深海熱水のデータを網羅
ワイの12~13年の人生の時間を返せ！

Analyzed

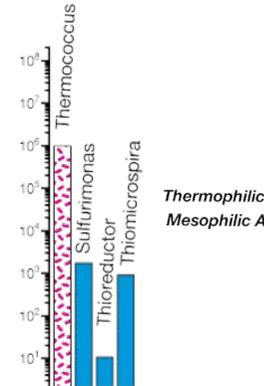


Aerobic Ammonia-oxidizers
Proteobacterial methanotrophs
Verrucomicrobia?

Theoretical

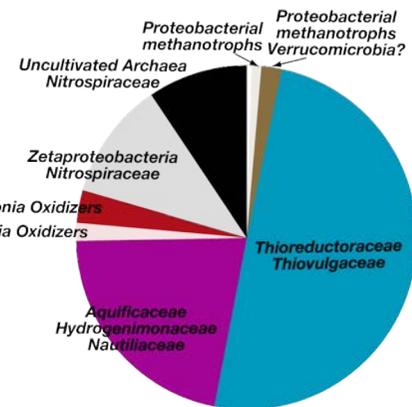


Analyzed



Thermophilic Ammonia Oxidizers
Mesophilic Ammonia Oxidizers

Theoretical



マツカラム・ショック予想の証明の衝撃

マツカラム・ショック予想はいかなる生命にも当てはまる物理法則、一般性原理が存在することを予想したもの

高井・中村によってそれが現世の地球の海でほぼ正しいことが現実になった

現世の海で正しいなら太古の海でも正しいじゃない（マリー・アントワネット風に）

40億年前の深海熱水活動

Shibuya et al., 2012; Russell et al., 2014;
Shinuya et al., 2016

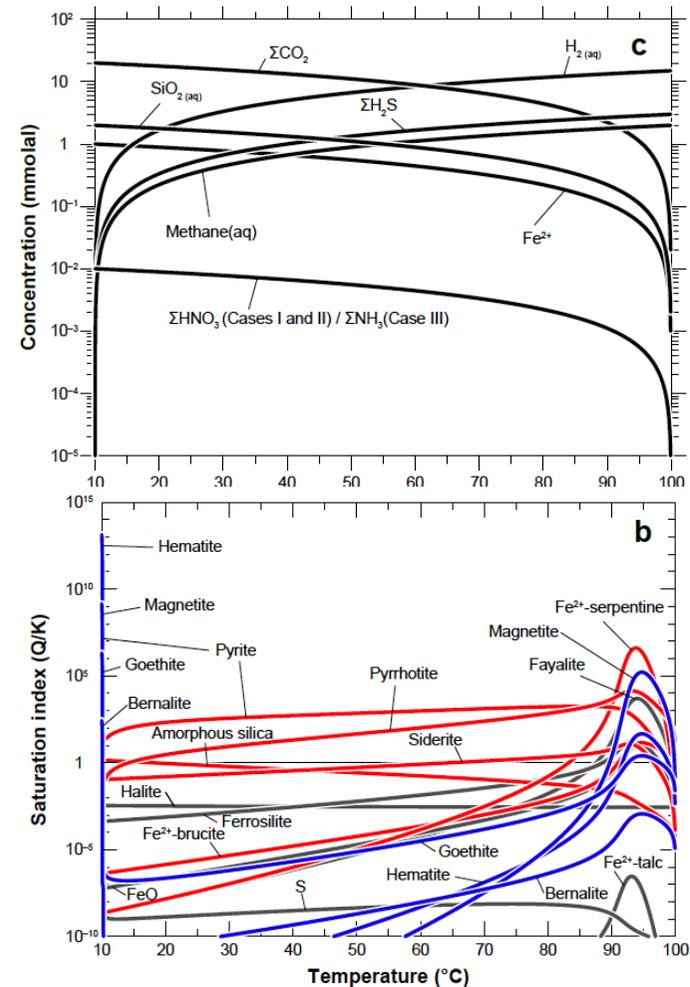


40億年前の冥王代海底熱水の マッカラム・ショック予想

Russell type =
Lost city type

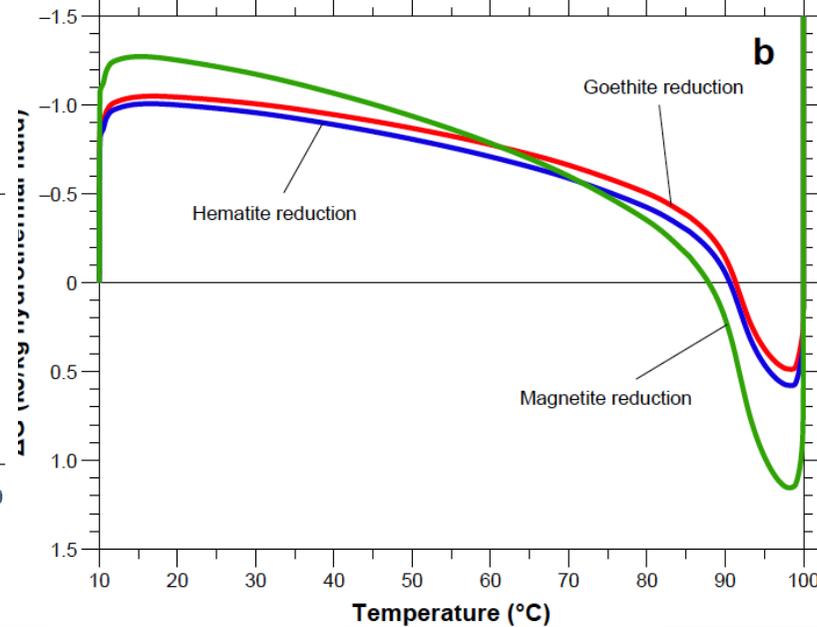
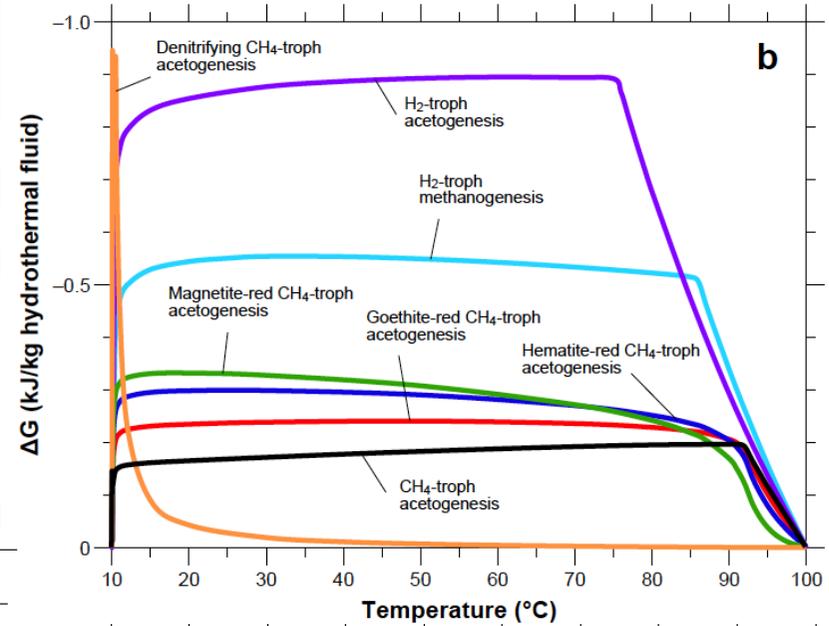
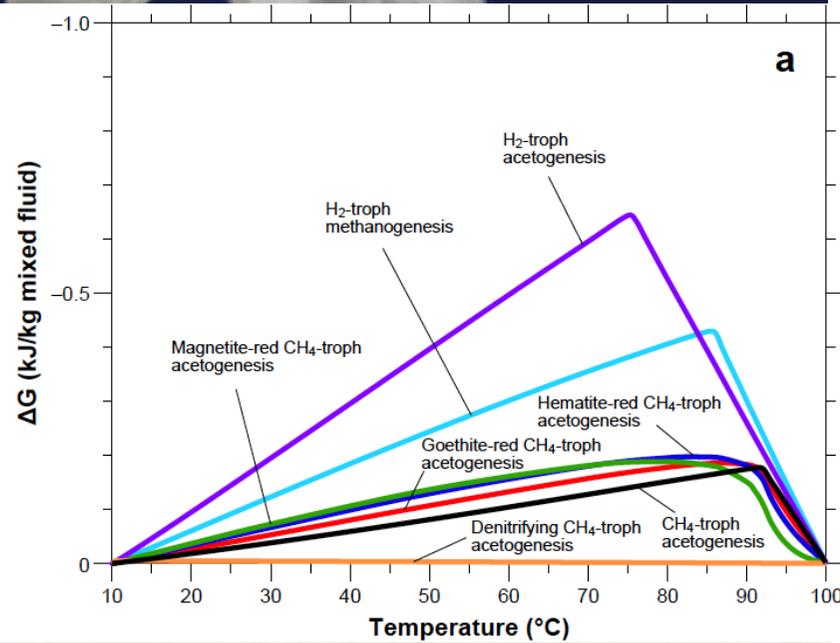
	Seawater	Vent fluid
T (°C)	10	100
pH _{25°C}	5.5	11
Na	600 (mM)	600 (mM)
Fe	1	0
Cl	600	600
SiO ₂	2	0
H ₂	0	15
CH ₄	0	2
ΣCO ₂	20	0
ΣH ₂ S	0	3
ΣHNO ₃	0.01	0

Shibuya et al., 2016

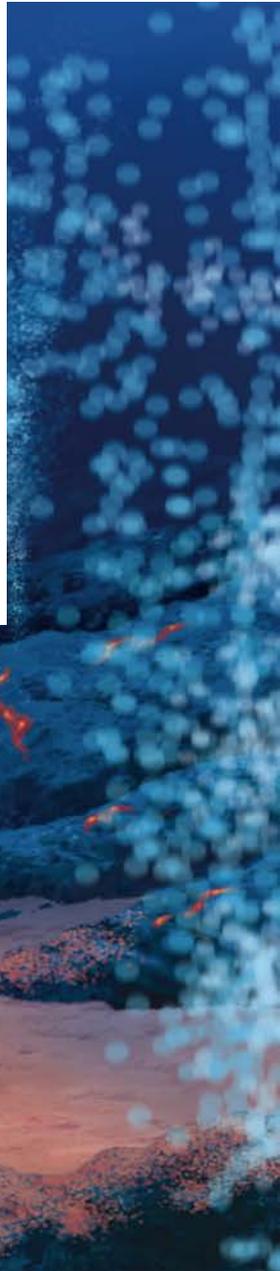


McCollom-Shock's Pro- most ancient chemol- ecosystem in the H

Thermophilic H₂-trophic acetogens
Thermophilic H₂-trophic methanogens
Mesophilic H₂-trophic Fe-reducers
Mesophilic CH₄-trophic acetogens



Shibuya et al., 2016





最古の生態系 = 水素、二酸化炭素、酸化鉄を利用する
好熱性メタン菌
好熱性酢酸菌
常温性水素酸化鉄還元菌

うおー、高井とか言う天才が2004年に論文に発表したハイパースライムと完全一致

Shibuya et al., 2016

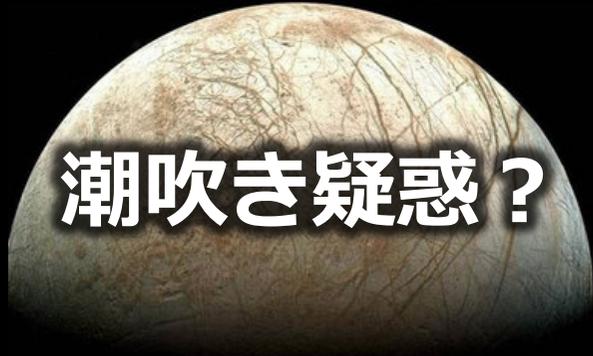
マツカラム・ショック予想の証明の衝撃

マツカラム・ショック予想はいかなる生命にも当てはまる物理法則、一般性原理が存在することを予想したもの

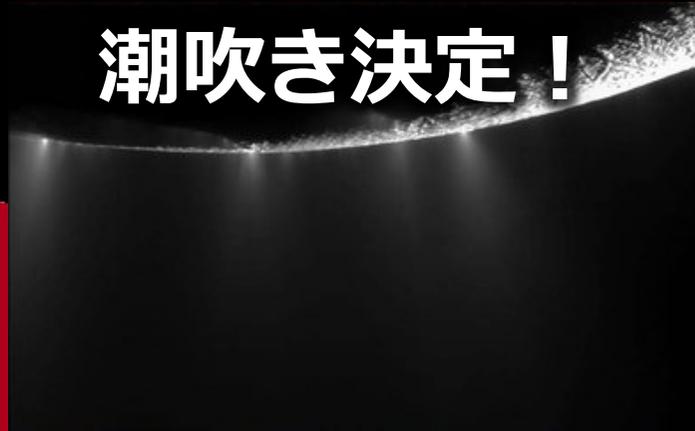
高井・中村によってそれが現世の地球の海でほぼ正しいことが現実になった

今の地球の海で正しいなら今の地球外惑星の海でも正しいじゃない（マリー・アントワネット風に）

オーシャンズX



Europa
Jovian Moon
USA - 1997 - Galileo



Enceladus
Saturn Moon
USA - 2005 - Cassini



Ganymede
Jovian Moon
USA - 1996 - Galileo

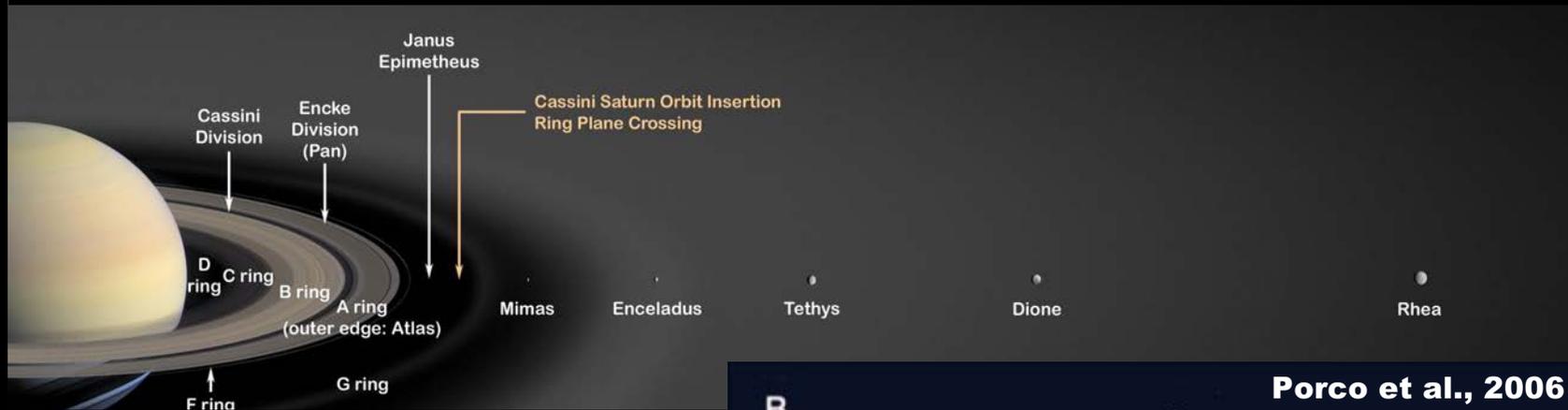


Callisto
Jovian Moon
USA - 1980 - Voyager I

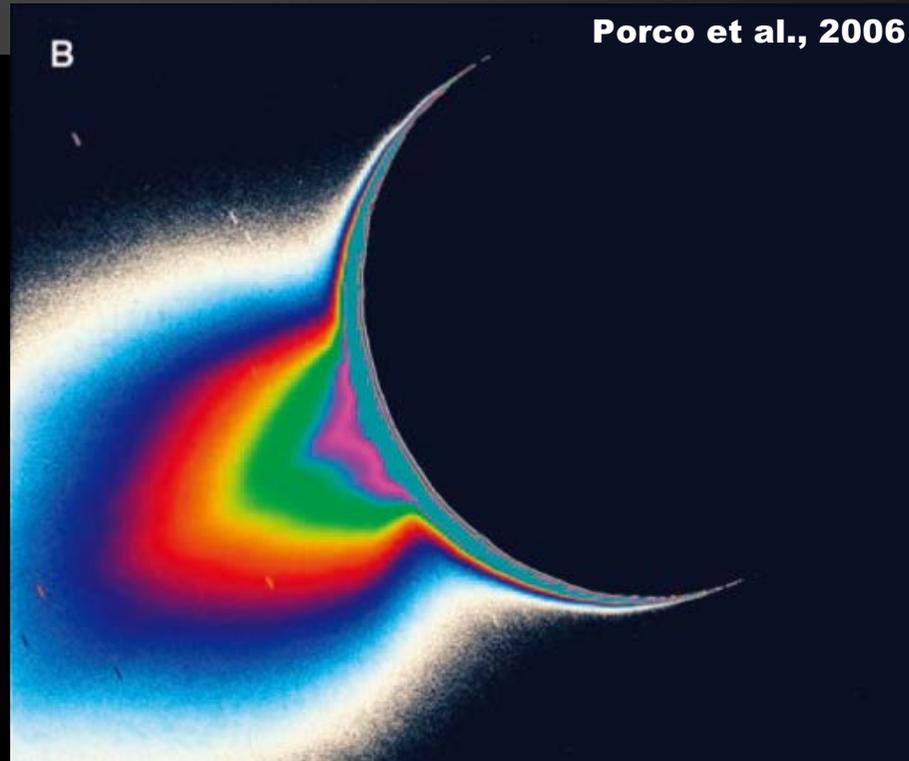


Ceres

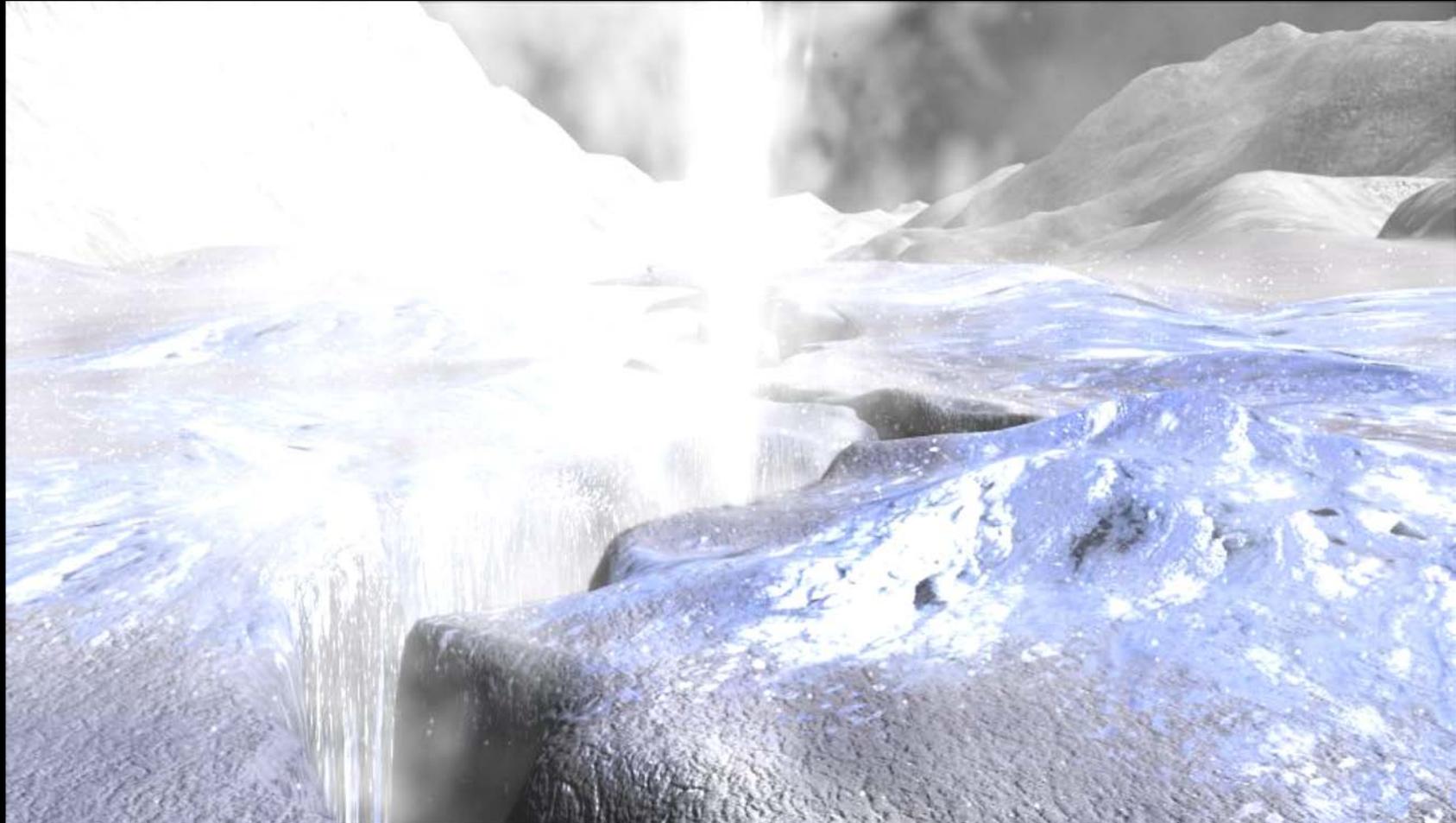
Enceladus



Credit: NASA/JPL/SSI



エンセラダスの南極から内部海水が潮吹き



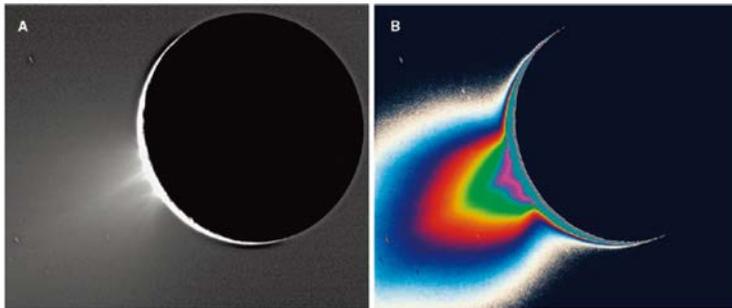
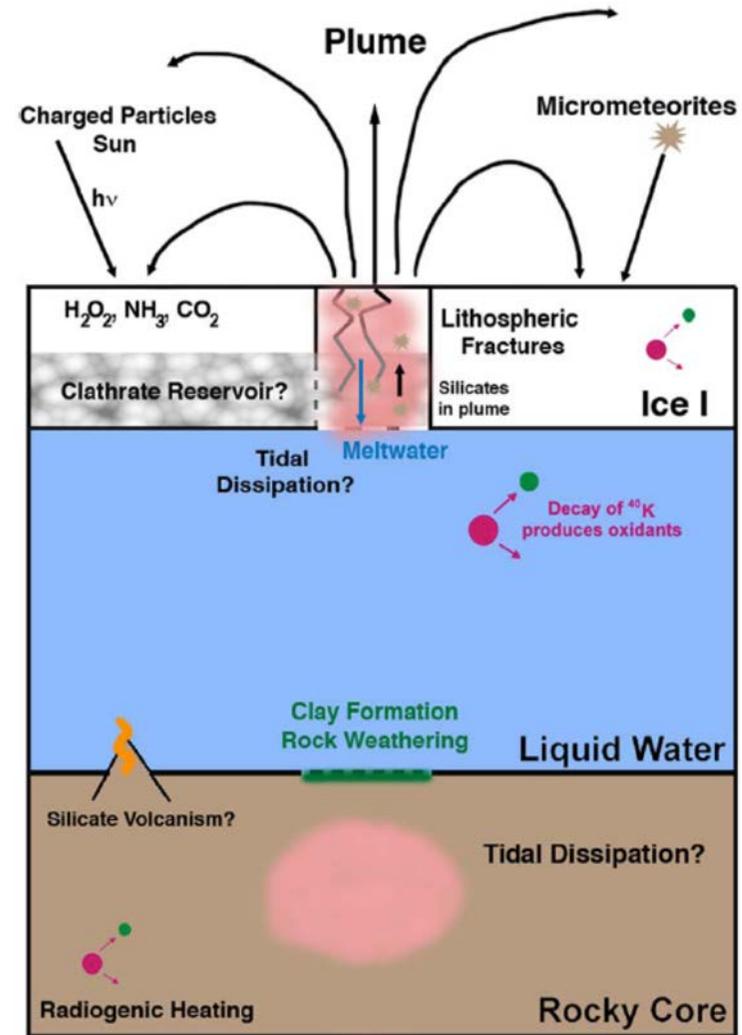
カッシーニによる潮吹きフライバイ探査



もう我慢できないっす 勝手にエンセラダスの内部構造描いたお

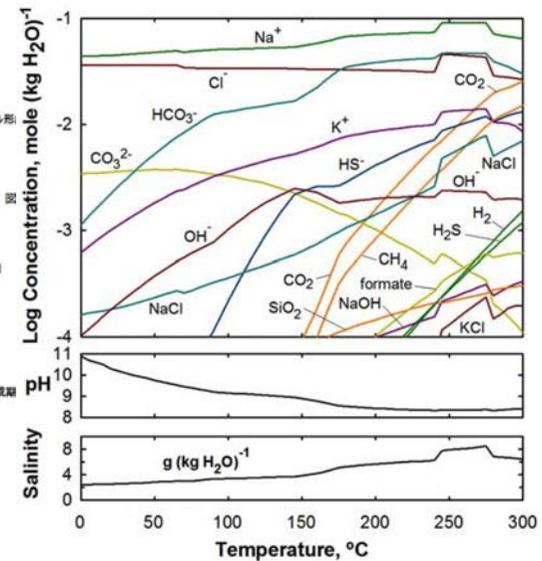
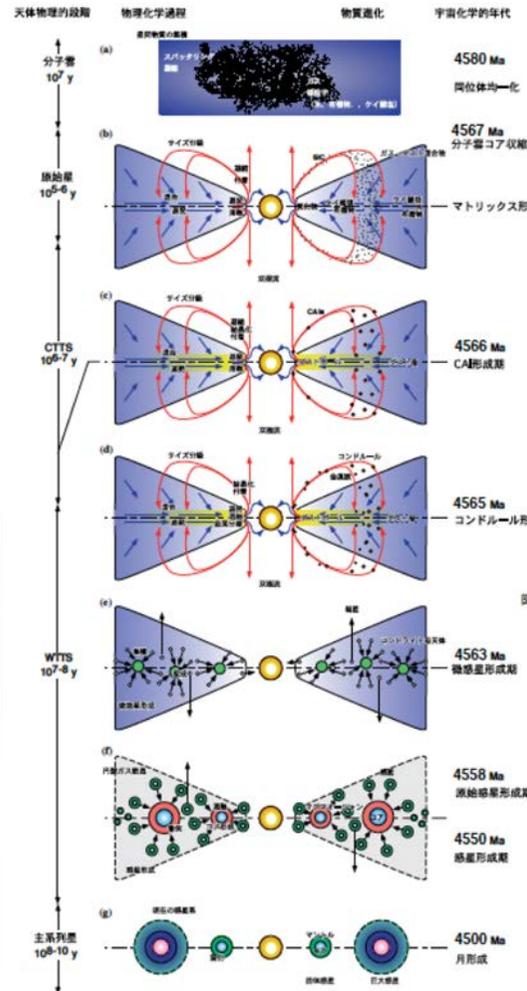
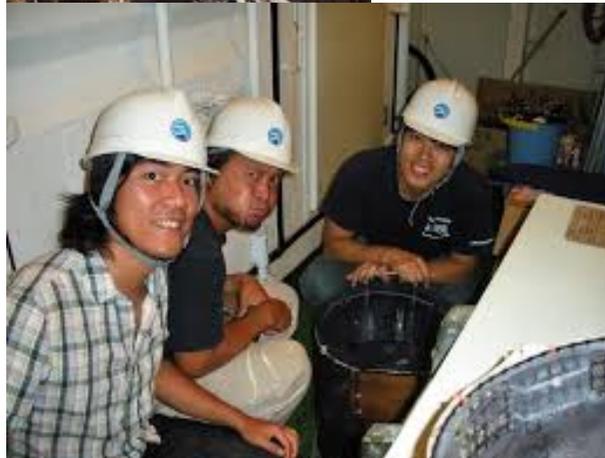
- 南極域のホットスポットの温度が摂氏マイナス93度であることと有機物
- エンケラドゥスの水蒸気に塩化ナトリウムや炭酸塩

岩石核の存在と海洋の存在が強く示唆されている

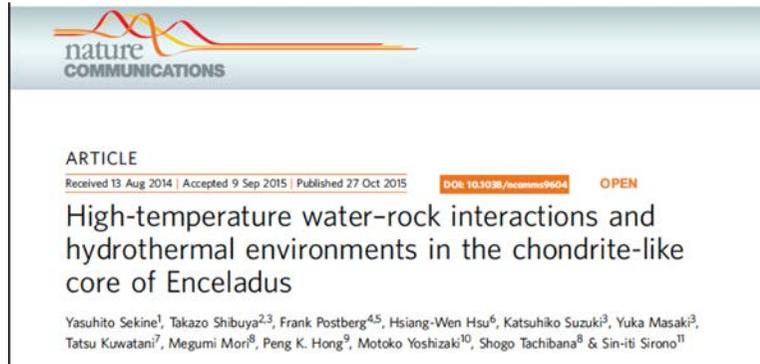


Porco et al., Science,

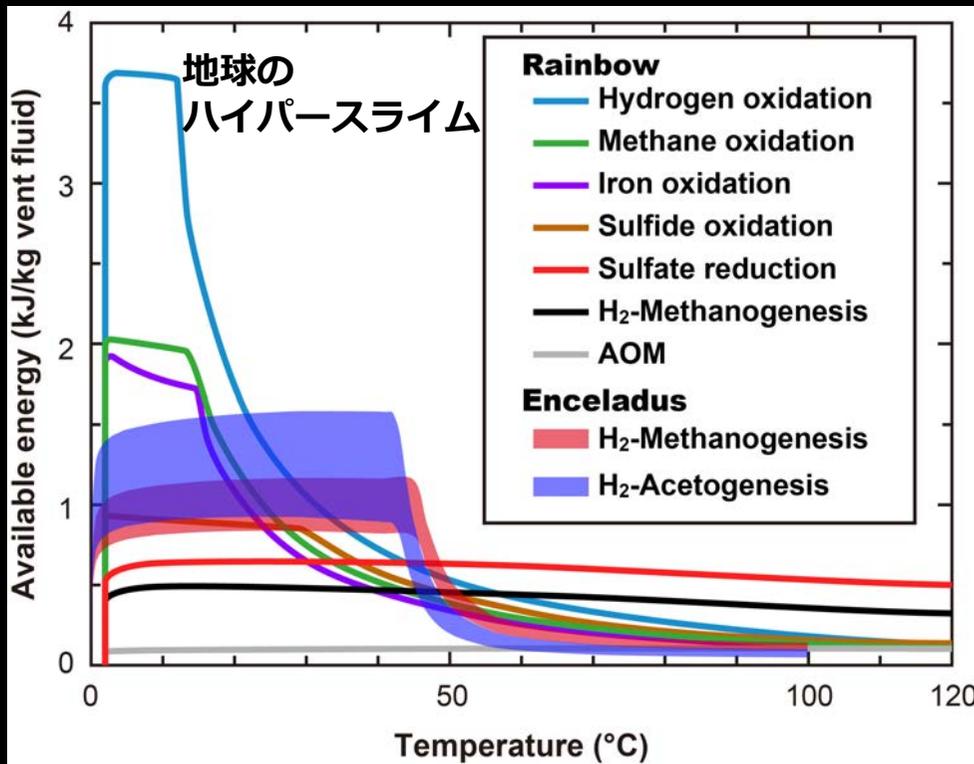
エンセラダス海水—深海熱水は理論的に コンピューター（エクセル）上で再現できる



エンセラダス海水—深海熱水は実験的に 実験室で再現できる



エンセラダス熱水生態系を予言！



エンセラ内部海生態系 =
水素、二酸化炭素、酸化鉄を
利用する
好熱性メタン菌
好熱性酢酸菌
常温性水素酸化鉄還元菌

うおー、高井とか言う天才が
2004年に論文に発表したハ
イパースライムと完全一致

東京湾の海水1滴にいる微生物量100000匹
エンセラダスの内部海1滴にいる微生物量1000000匹wwwwww

総生物量

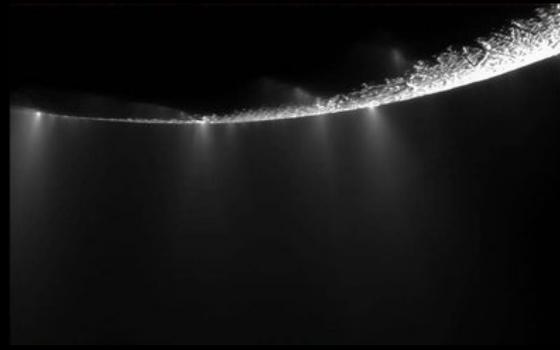
68300000000000000 kg



Europa
Jovian Moon
USA - 1997 - Galileo



3000000000000 kg



Enceladus
Saturn Moon
USA - 2005 - Cassini



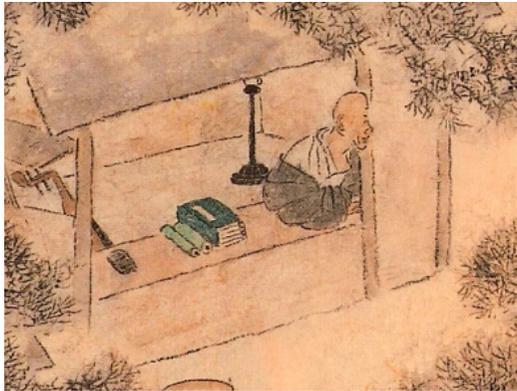
300000000 kg

**ワシらはすべてを理解してしまったンゴ
もう地球に残っている謎はないンゴ. . .
宇宙に旅立つしかないンゴ. . .**

マツカラム・ショック予想外の生態系



鴨長明(57)さんの投稿



鴨 長 明
ま ちやう ちやう
世 久 かつ
中 一 消 漫 中

時間・空間的に刹那的な現象ンゴwww

流れは絶えず
る水にあらず
はかばか
つたかたは
から結びて
りたる例を
いある人と物と
くものこ
文記 善母を

地球上の生物多様性 100億種に対して

生物の利用可能なエネルギー源

1. 化学エネルギー(パスツールやウィノグラドスキー)

科学的証明：有機物19世紀前半、無機物19世紀後半

化学合成エネルギー代謝 & 化学合成微生物

2. 光エネルギー(フォン・マイヤー)

科学的証明：19世紀中頃

光合成エネルギー代謝 & 光合成微生物・植物

「パンがないなら電気を食べればよいじゃない」 (electrotrophic)という概念の新しさ

化学合成 (chemolithotrophic)

エネルギー源：還元的分子と酸化分子

エネルギー変換場：電子伝達系



光合成 (phototrophic)

エネルギー源：光子 (ゲージ粒子)

エネルギー変換場：電子伝達系



電気合成 (electrotrophic)

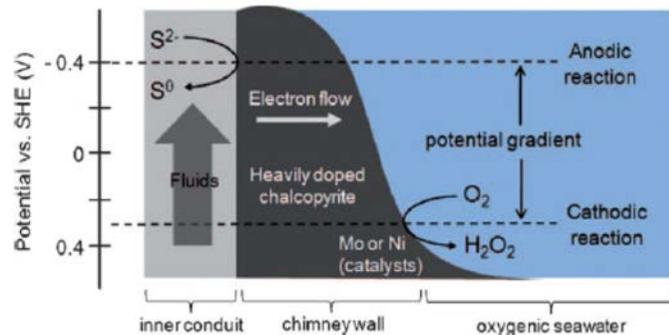
エネルギー源：電子 (レプトン)

エネルギー変換場：電子伝達系



地球上最強の自然発電所は 深海熱水活動域にあった

Nakamura et al., 2010



世界初のチムニー発電
「深海熱水発電」の証明

深海・地殻内生命圏システム研究チーム
と東京大学工学研究科応用化学専攻の
共同研究

熱水内外で800 mV程度の起電力

チムニーの電気抵抗は10Ω/cm以下

高さ1mのチムニー1本のナマの発電量=
>100 W

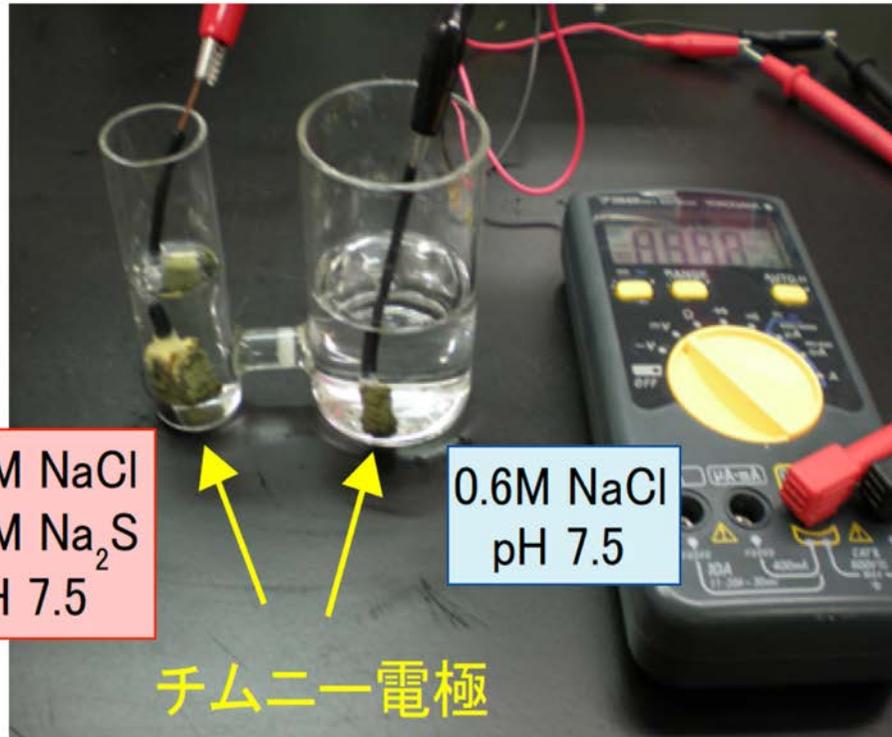
ちゃんとした電池系を導入すればその10-
100倍の発電量が期待

地球上最強の自然発電所は 深海熱水活動域にあった

電気伝導性

電極（触媒）

電位差



0.538 V



2.31 mA

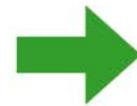
2 W/m²

特許申請済み 人工熱水噴出孔発電

実験室での実験
年間の生産電力量

54 W/m² (変換効率 60% で試算)
473 kWh/m²

電極表面積の増加



200 倍

94,600 kWh/200 m²

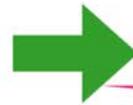
電極素材の工夫
海底下熱水のフル活用



200 倍

約 2,000 万 kWh/ 熱水フィールド

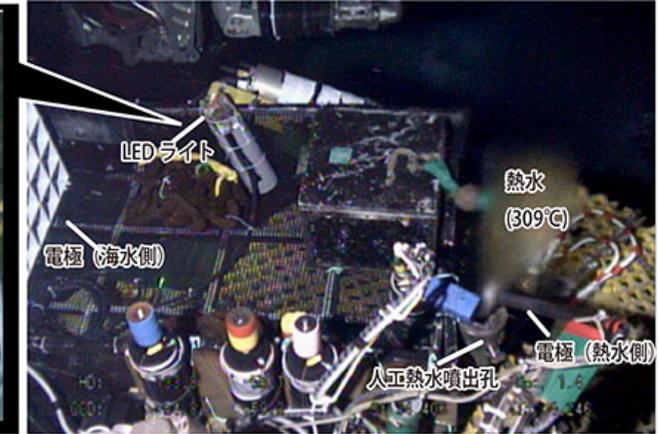
日本近海熱水のフル活用



100 倍

約 20 億 kWh/ 日本

「翼よ、あれが深海の灯だ！」



地球上最強の自然発電所は 深海熱水活動域にあった

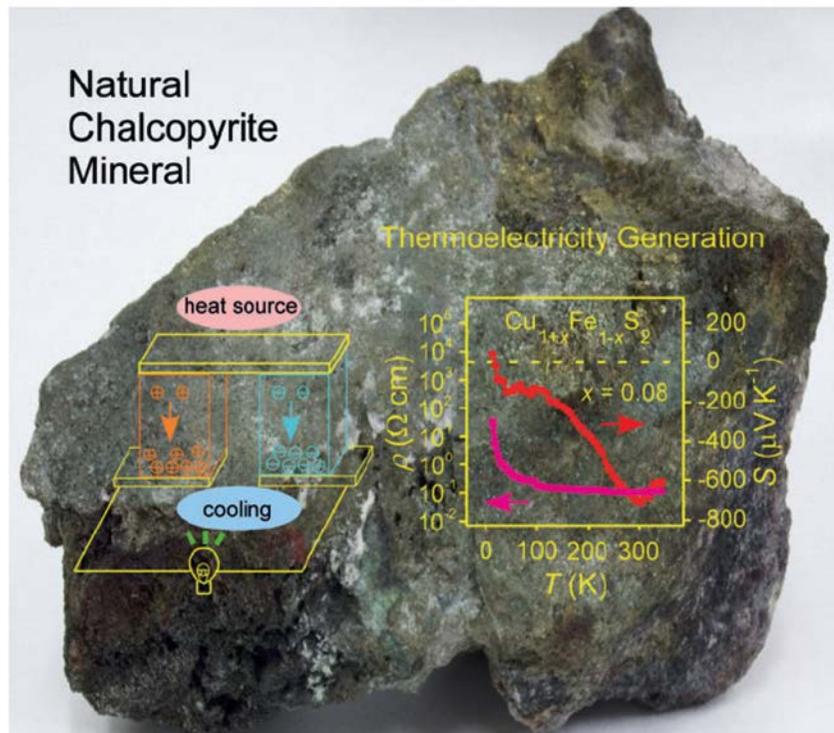
Angewandte
Chemie

Thermoelectrics

International Edition: DOI: 10.1002/anie.201505517
German Edition: DOI: 10.1002/ange.201505517

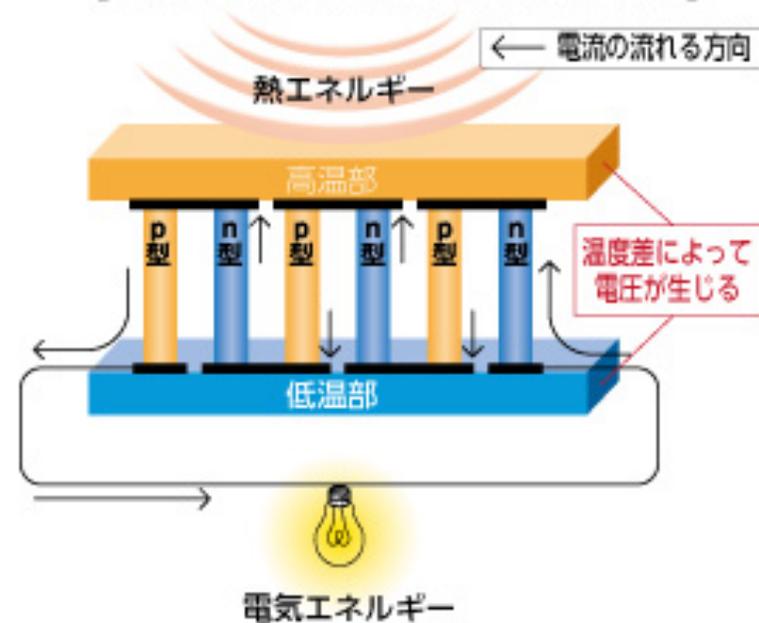
Thermoelectricity Generation and Electron-Magnon Scattering in a Natural Chalcopyrite Mineral from a Deep-Sea Hydrothermal Vent

Ran Ang,* Atta Ullah Khan, Naohito Tsujii, Ken Takai, Ryuhei Nakamura,* and Takao Mori*

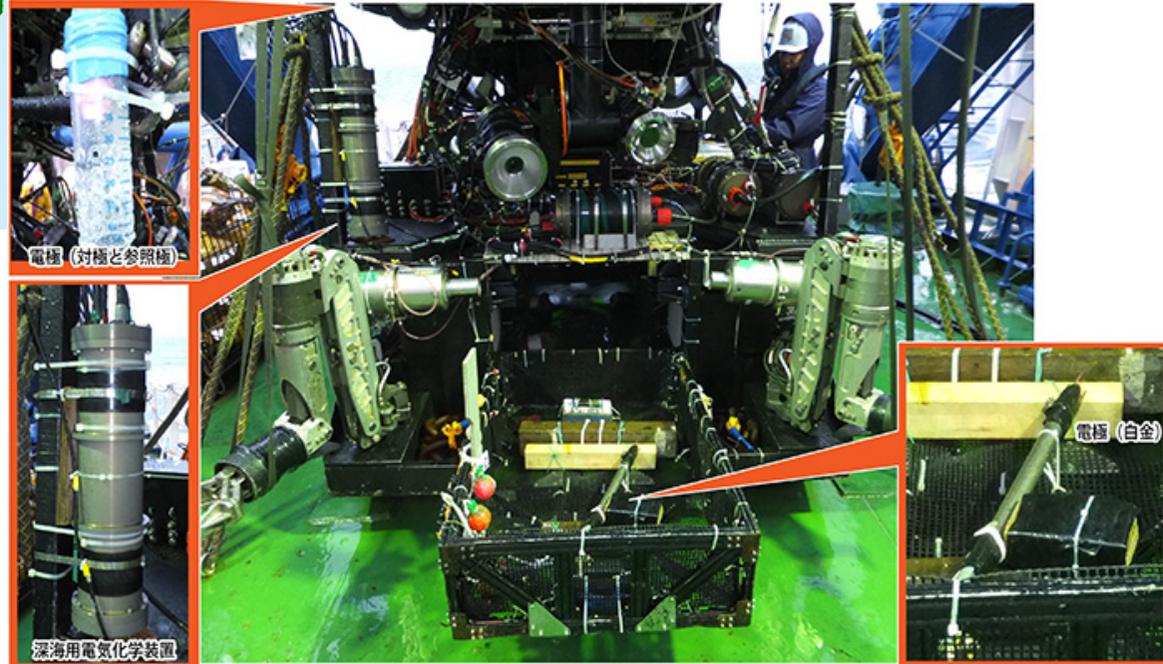


やべえ
チムニー＝
天然熱電素子！

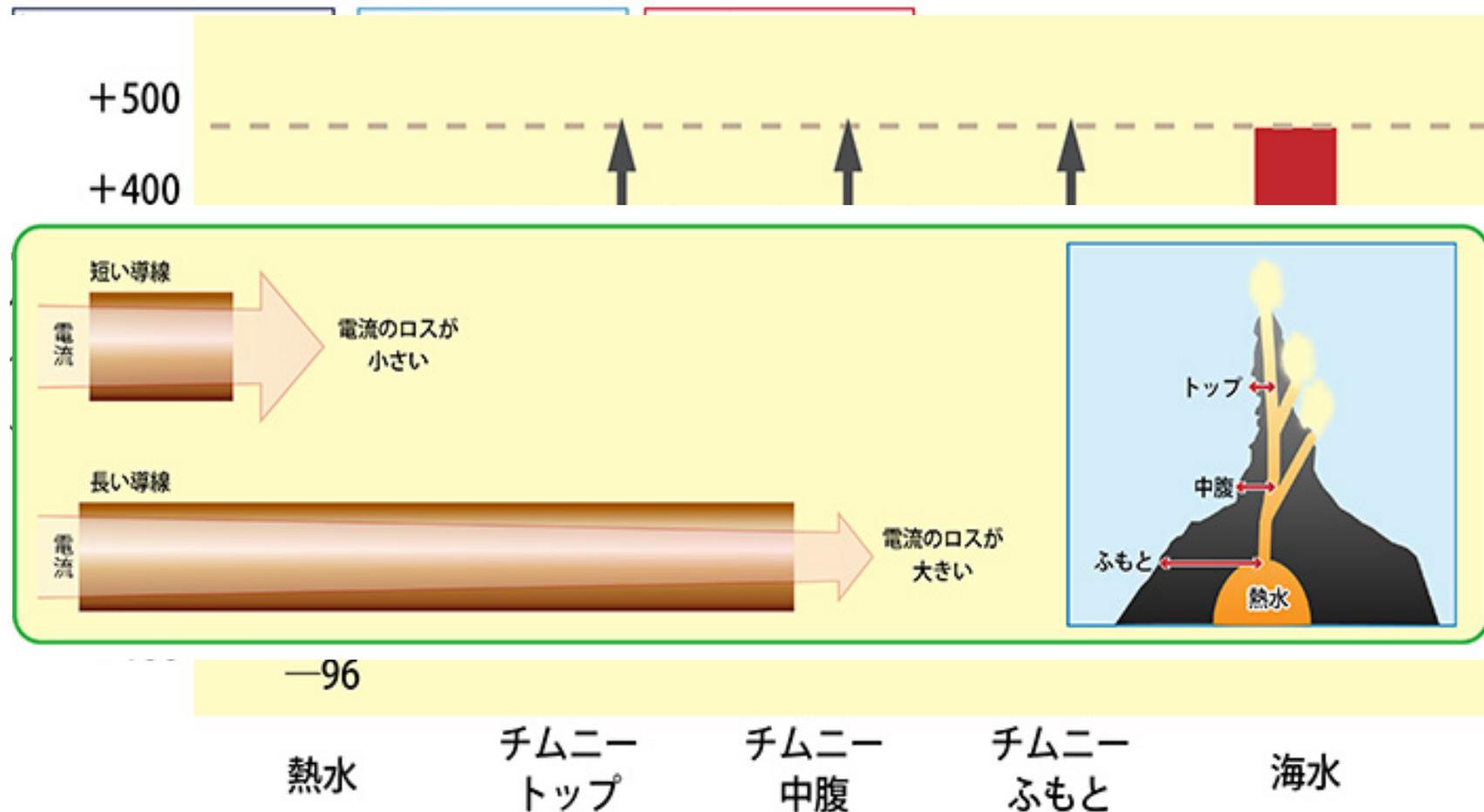
【熱電変換素子を用いた発電の方法】



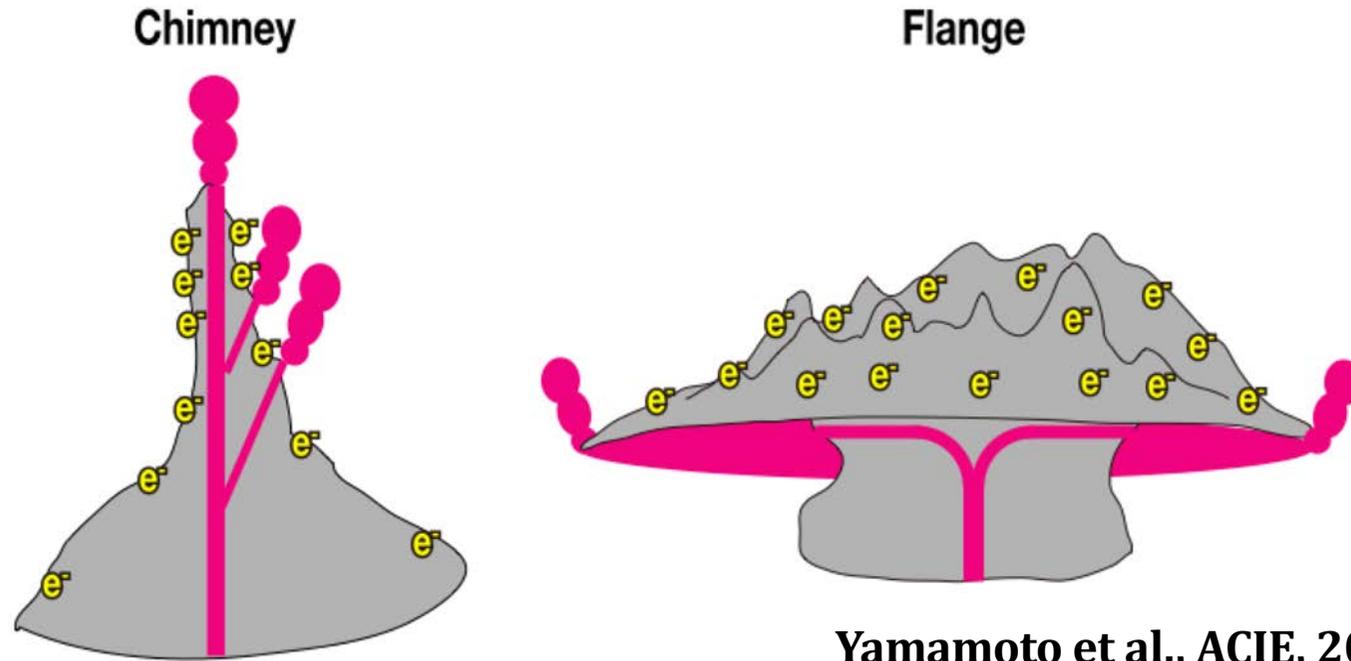
地球上最強の自然発電所は 深海熱水活動域にあった



地球上最強の自然発電所は 深海熱水活動域にあった



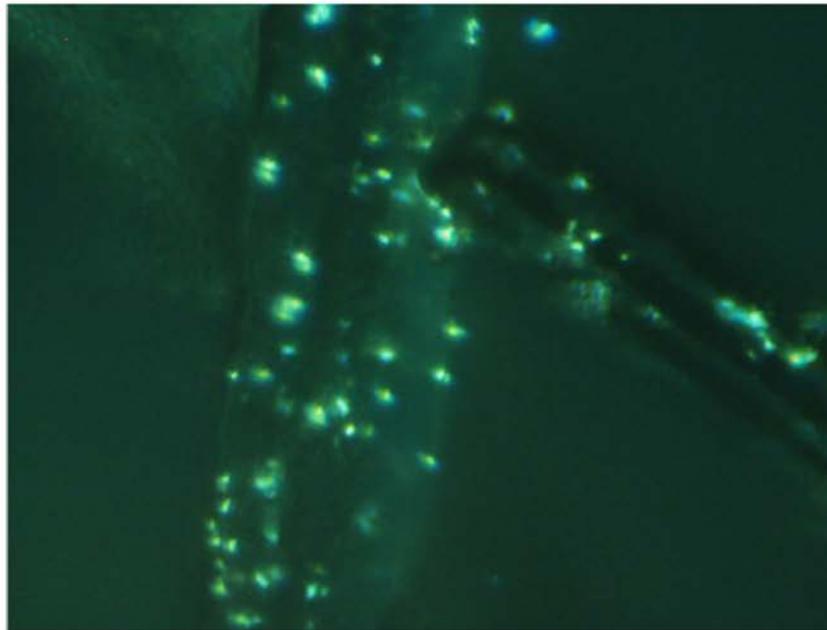
地球上最強の自然発電所は 深海熱水活動域にあった



時間・空間的に
全然刹那的な現象じゃないンゴ

**単離株 *Thiomicrospira thermophila* の電気培養
カーボンフェルトの光学顕微鏡写真
(DAPI 染色)**

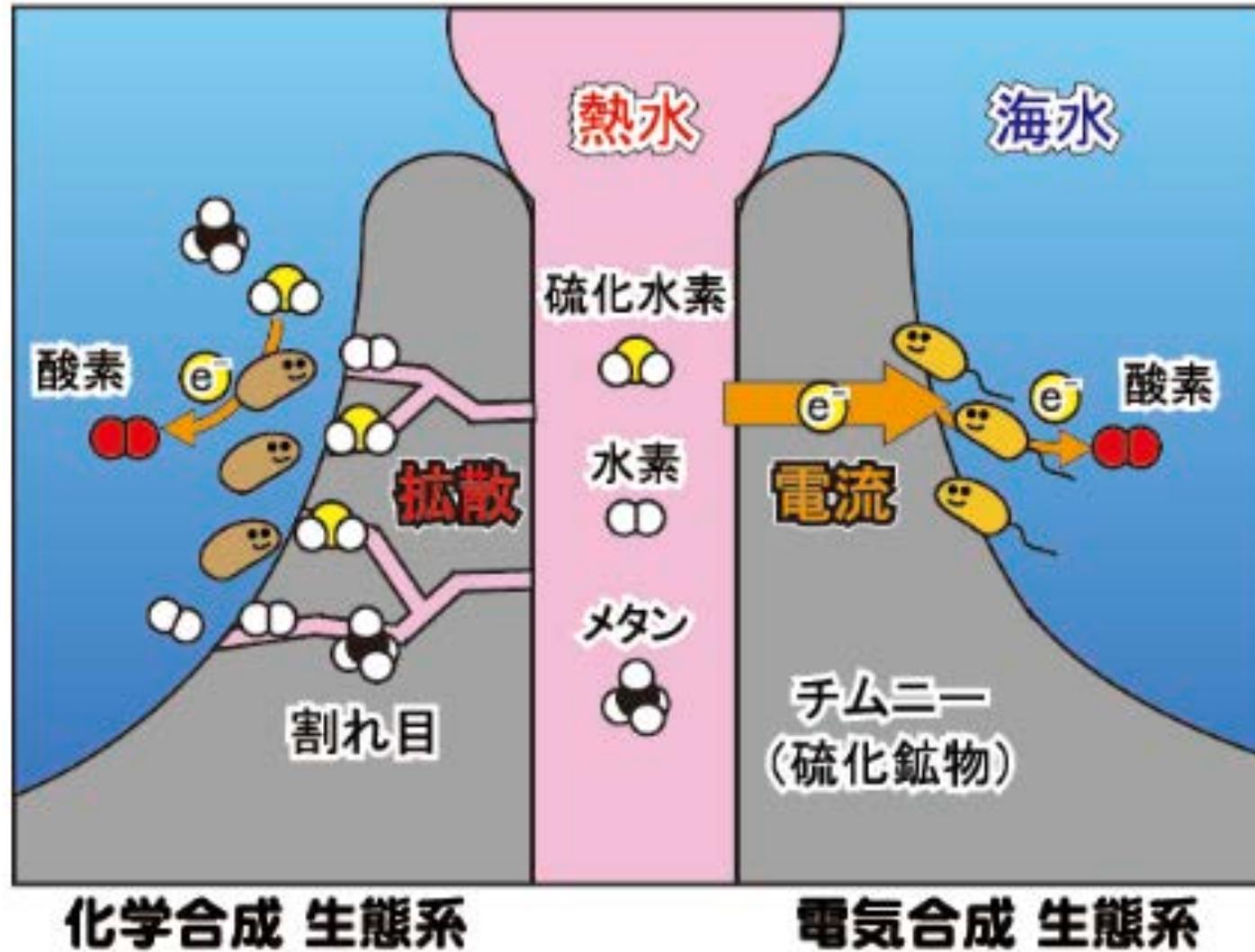
電気あり



電気なし



マツカラム・シヨック・ヤマモト・タカイ予想



**エンセラダス生命探査に行くしかない
たったの500-1000億円！！**

私の主張：

地球生命は地球でできた有機物を使って深海熱水で誕生した

ストロングポイント：

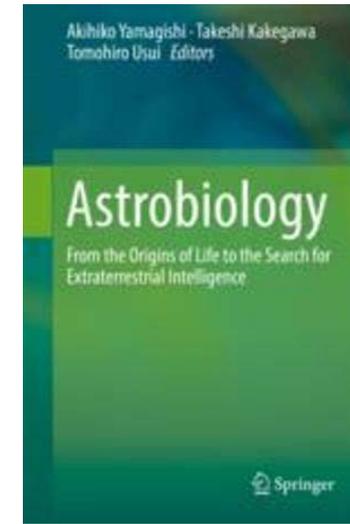
- 約40億年前の地球には陸地がほとんどない (Max. 10%程度?)
- 陸地は西之島新島みたいな感じで安定感ゼロ。すぐ無くなる
- 深海熱水は今の10倍以上。普遍性と安定性から生命生存確率は陸地の>1億倍
- 深海熱水チムニーでの電気化学・触媒化学によるCO₂+NO₃ or NH₃からの非酵素的原始代謝 (rTCA回路やアセチル酢酸生成やアミノ酸生成) が実証済
- LUCA (最後の共通祖先) は深海熱水に棲んでた説有力

ウィークポイント：

- 化学進化の実験的証拠少ないンゴ (実験例が少ないだけ：アミノ酸、有機酸、ポリペプチドは実証済み)
- リボヌクレオチドできないンゴ (実験例がないだけかも：液体・超臨界二酸化炭素と海水の境界に期待)
- すぐRNA分解するンゴ (液体・超臨界二酸化炭素と海水の境界に期待)
- 両親媒性脂質が塩水ではうまく膜をつくらぬンゴ (海水リポソーム作成成功by 車研究員 in JAMSTEC)
- 核酸・脂質の高分子化が難しいンゴ (実験例がないだけかも：液体・超臨界二酸化炭素と海水の境界とか原始代謝に期待)

私の主張：

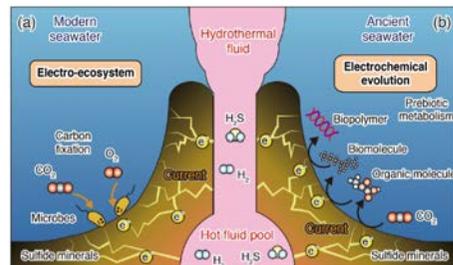
地球生命は地球でできた有機物を使って深海熱水で誕生した



ChemPubSoc Europe DOI: 10.1002/celc.201800394 CHEMELECTROCHEM Minireviews

Deep-Sea Hydrothermal Fields as Natural Power Plants

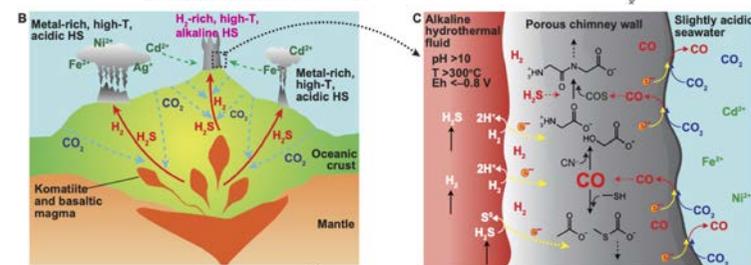
Masahiro Yamamoto,^[a] Ryuhei Nakamura,^[b, c] and Ken Takai^[a]



SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE
GEOCHEMISTRY
Geoelectrochemical CO production: Implications for the autotrophic origin of life

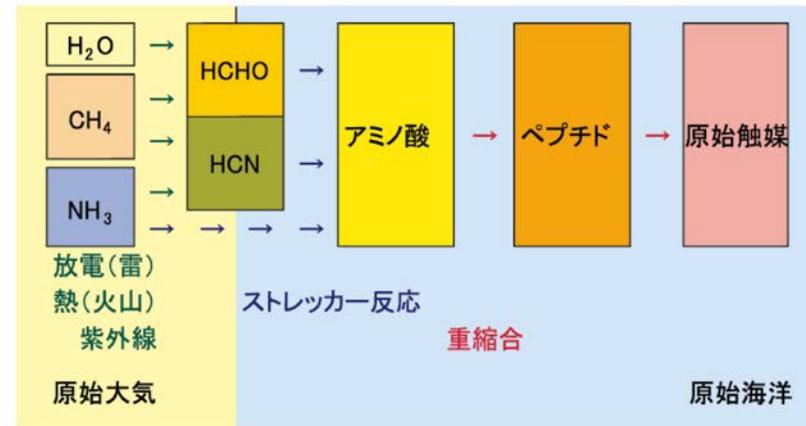
Norio Kitadai,^{1*} Ryuhei Nakamura,^{1,2} Masahiro Yamamoto,¹ Ken Takai,^{1,3} Yamei Li,² Akira Yamaguchi,⁴ Alexis Gilbert,^{5,6} Yuichiro Ueno,^{1,2} Naohiro Yoshida,^{1,6} Yoshi Ono⁷

Wächtershäuser's proposal of the autotrophic origin of life theory and subsequent laboratory demonstrations of relevant organic reactions have opened a new gate for the exploration of the origin of life. However, this scenario remains controversial because, at present, it requires a high pressure of CO as a source of carbon and reducing energy, although CO must have been a trace C species on the Hadean Earth. We show that, simulating a geoelectrochemical environment in deep-sea hydrothermal fields, CO production with up to ~40% Faraday efficiency was attainable on GES in CO₂-saturated NaCl solution at ~-1 V (versus the standard hydrogen electrode). The threshold potential is readily generated in the H₂-rich, high-temperature, and alkaline hydrothermal vents that were probably widespread on the early Hadean and basaltic ocean crust. Thus, Wächtershäuser's scenario starting from CO₂ was likely to be realized in the Hadean ocean hydrothermal systems.

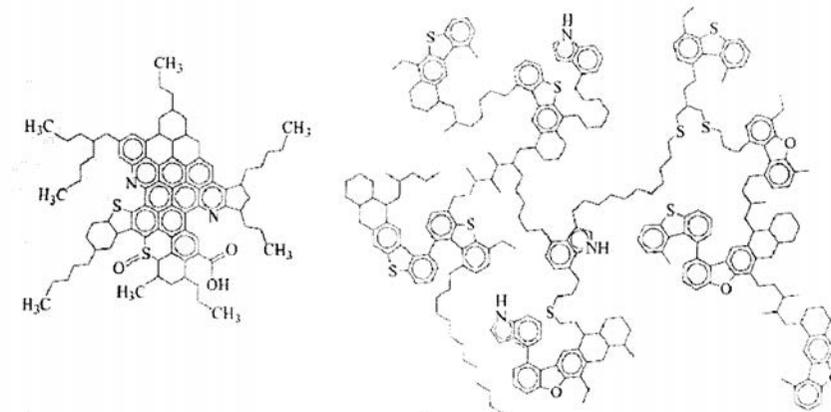
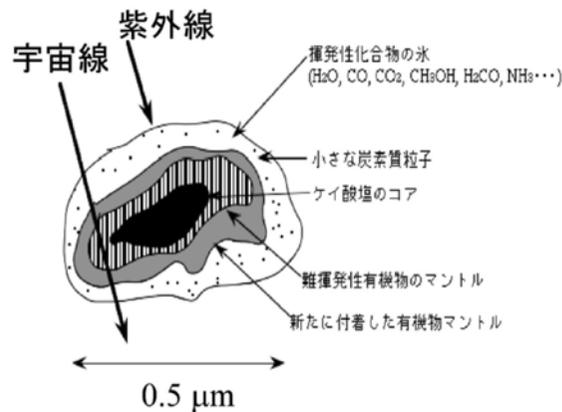


宇宙有機物と地球有機物の決定的な違い

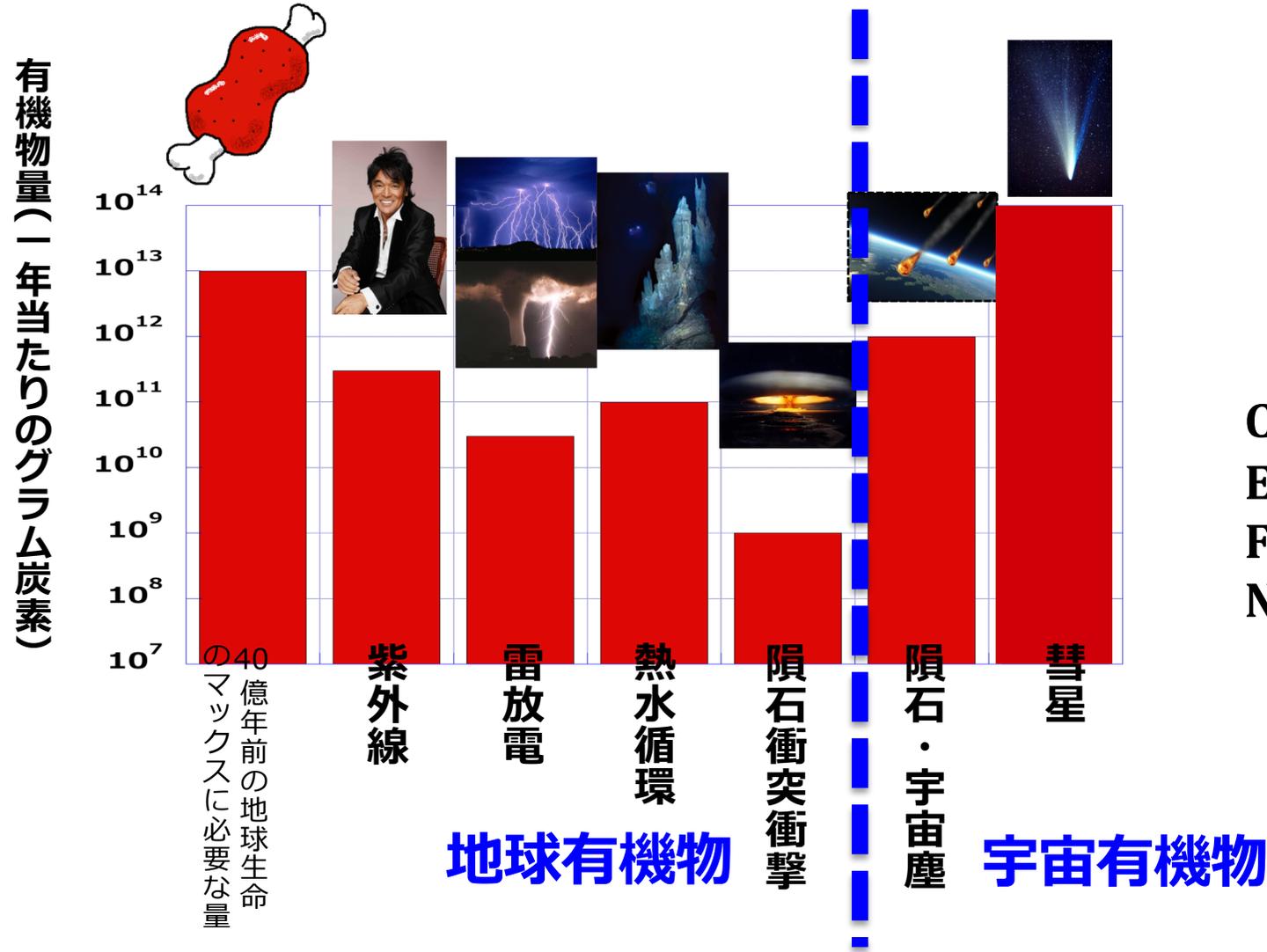
地球での有機物合成（大気-水圏相互作用による化学進化）



宇宙での有機物合成（高エネルギー線による難溶複雑有機物）



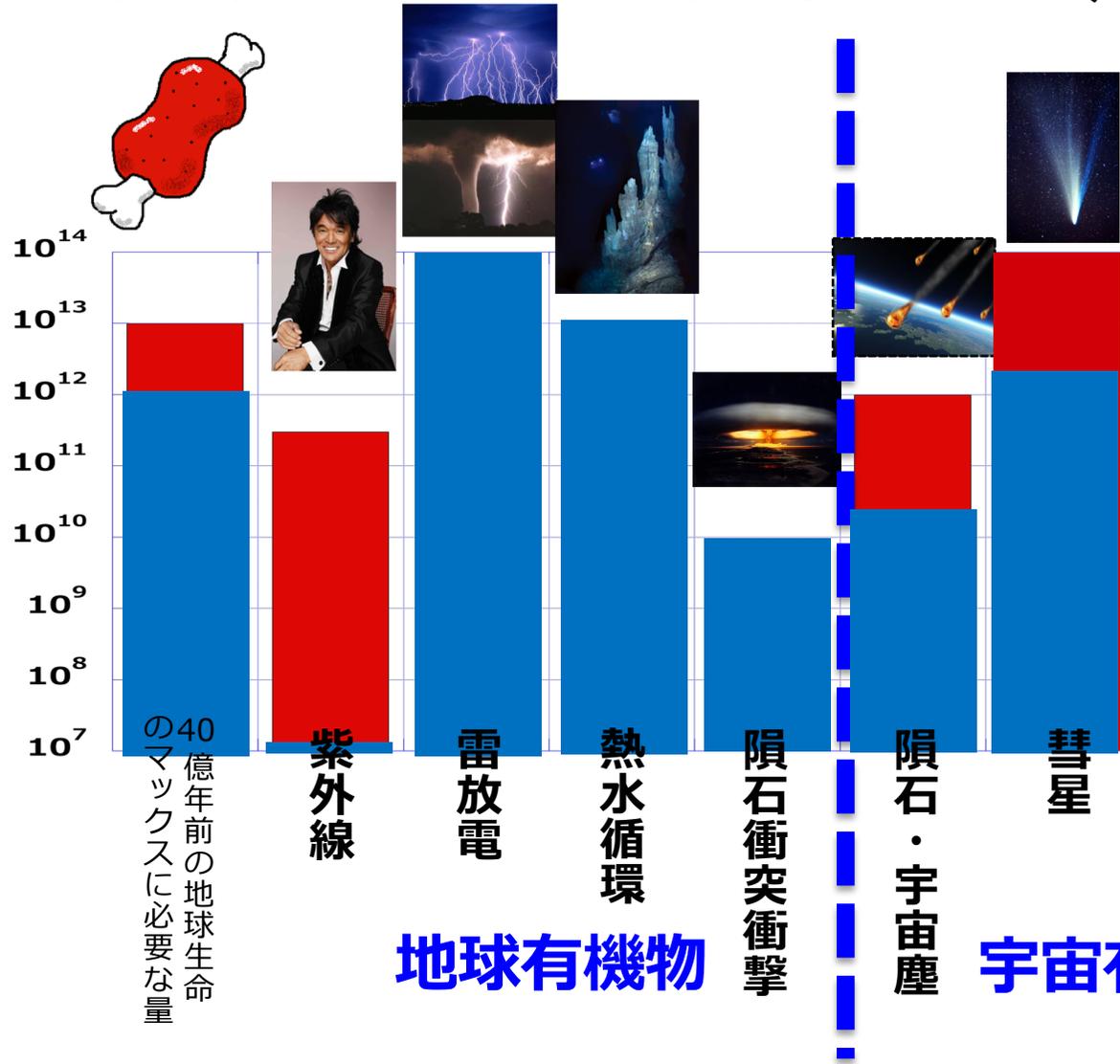
宇宙有機物と地球有機物の（炭素）フラックス



Chyba & Sagan, 1992
 Ehrenfreud et al., 2002
 Furukawa et al., 2009
 Nakamura & Takai, 2015

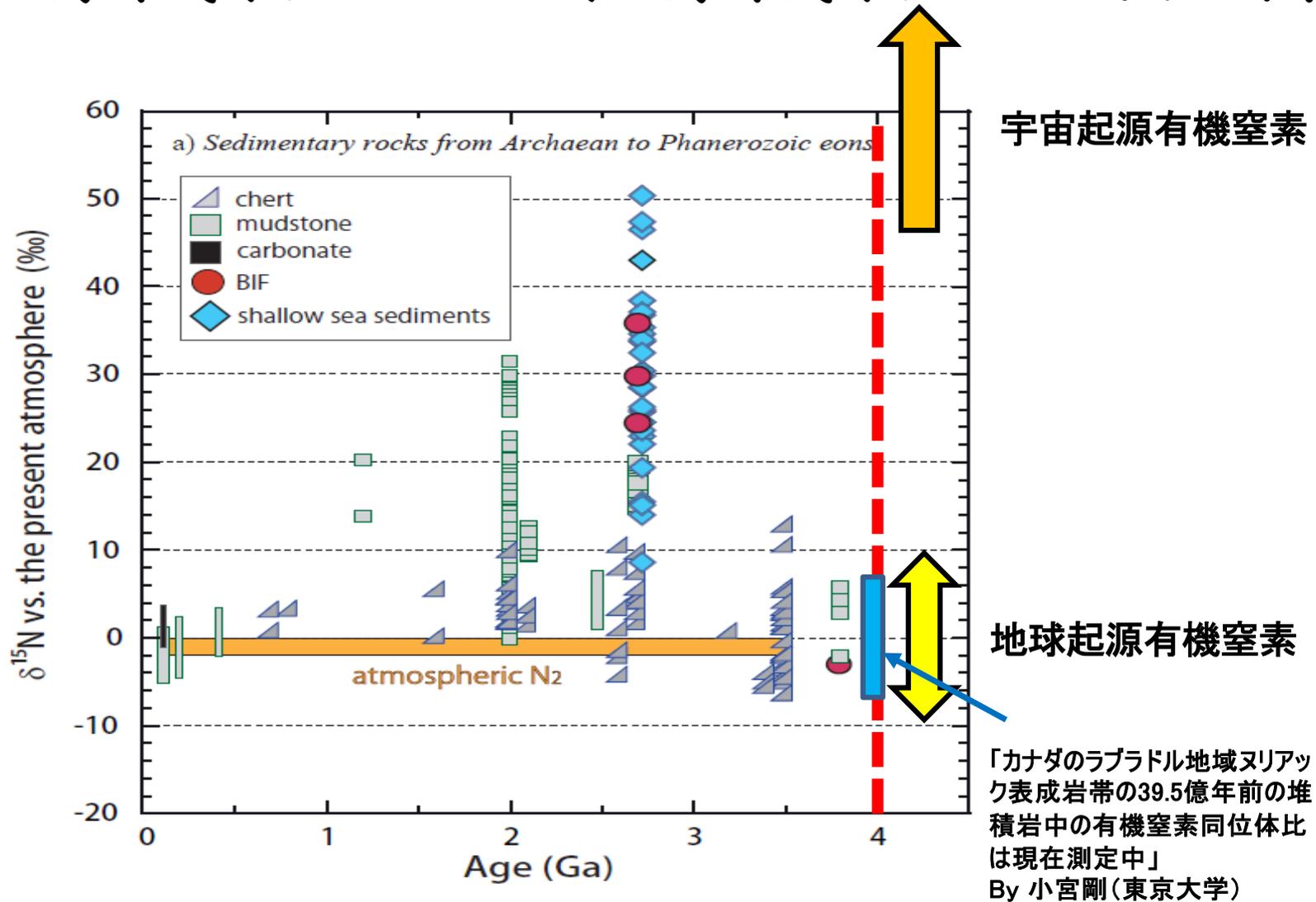
宇宙有機物と地球有機物の（窒素）フラックス

窒素量（一年当たりのグラム窒素）



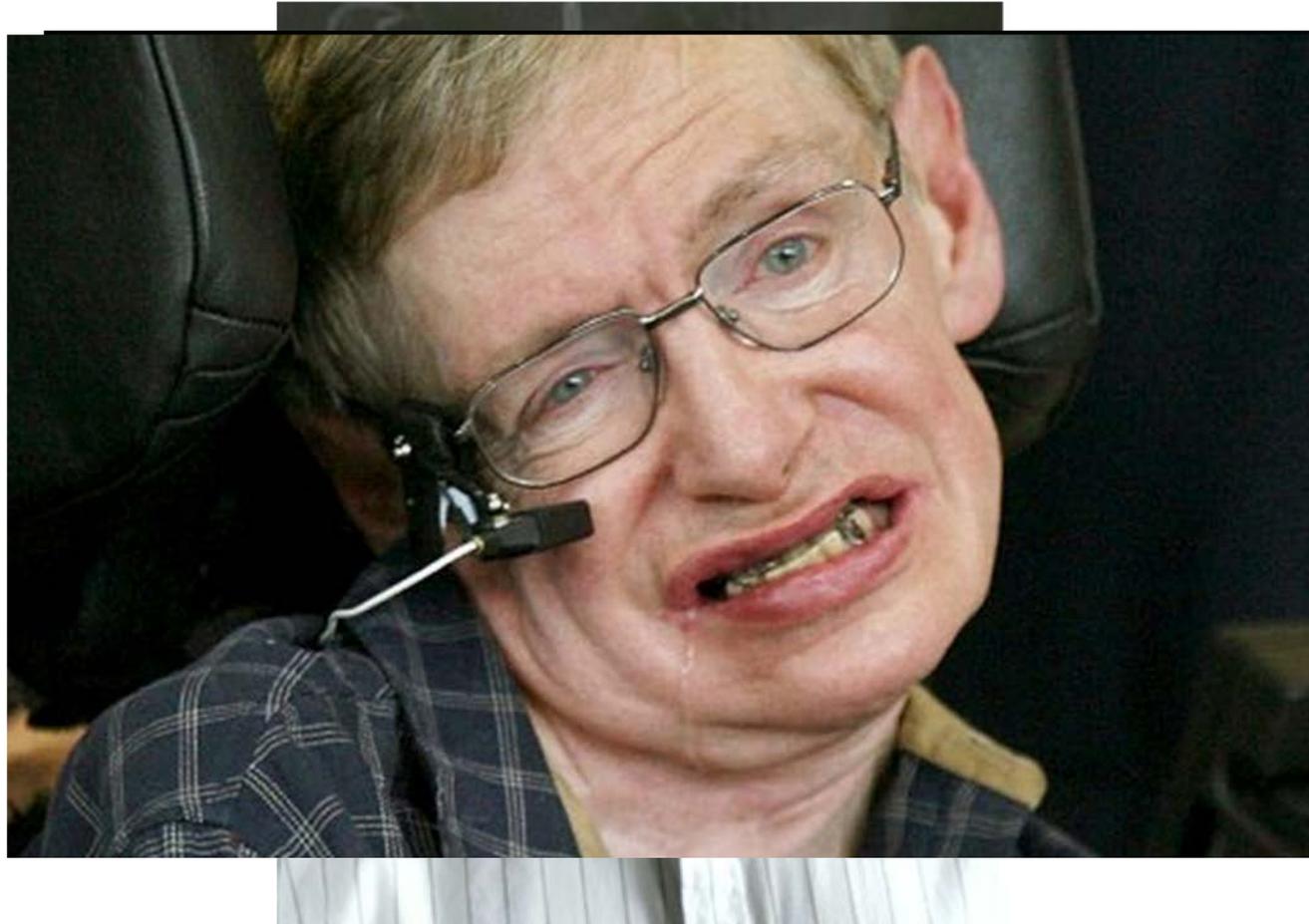
Ehrenfreud et al., 2002
 Navaro-Gonzalez et al., 2001
 Summer & Chang et al., 1993
 Dorr et al., 2003
 Nishizawa et al., in prep

宇宙有機物と地球有機物の同位体比



地(球)産・地(球)消
異論は許さない！

生命誕生を巡る多神教派 vs 一神教派



2400年間、人類が誰も解けなかった最大の謎が解けるんです！

観測可能な現実的生命存在の拡張

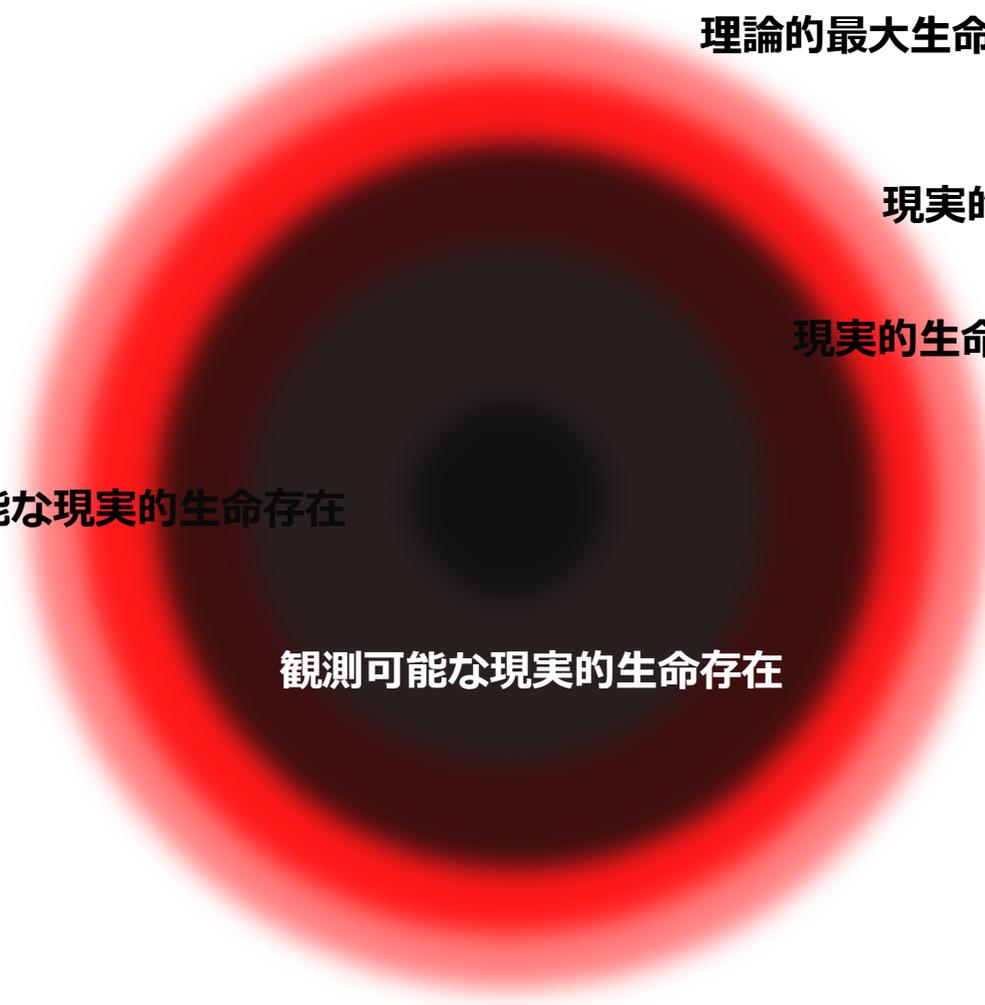
理論的最大生命存在可能条件

現実的生命存在可能条件

現実的生命存在

観測可能な現実的生命存在

観測可能な現実的生命存在



観測可能な現実的野球選手の拡張