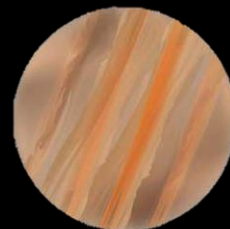
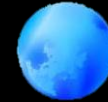
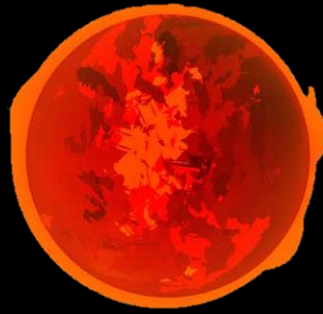


Re : 生命の絵本



自己紹介

名前：武田真城

所属：東北大学農学研究科（沿岸生物生産システム学分野）

卒論テーマ：環境DNAを用いたアユの河川内動態の解明

SOUに関わる経歴：GROUND副代表

SOU運営委員（3代目？）

発表2回



はじめに

はじめに

動画から分かること

1. 研究には目的(意義)がある
2. 大きな目標の達成には多くの人の理解が必要

研究の目的(意義)

左上:<https://www.pixiv.net/artworks/70900169>

右上:https://www.pinterest.jp/harukagrande_/?E3%83%9D%E3%83%97%E3%83%86%E3%83%94%E3%83%83%83%83%82%AF/

右下:<https://alu.jp/series/%E6%81%8B%E3%81%99%E3%82%8B%E5%B0%8F%E6%83%91%E6%98%9F/crop/re8WopqUNYef7WdBcMzl>

左下:Koi, (2015)



自分の勉強のため



先輩命令



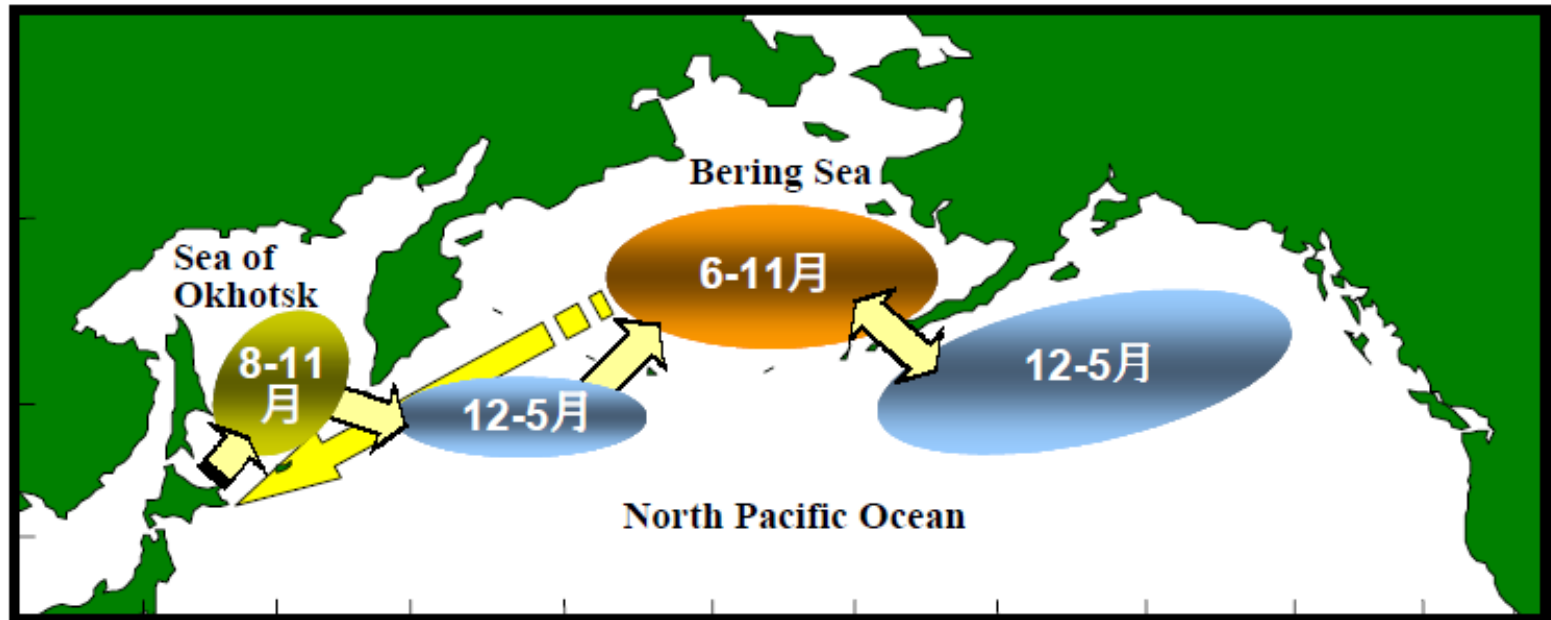
後輩に教えるため



天文が好きだから

理解してもらう必要性

国境のないものを守るには世界中の人に価値を理解してもらわないといけない



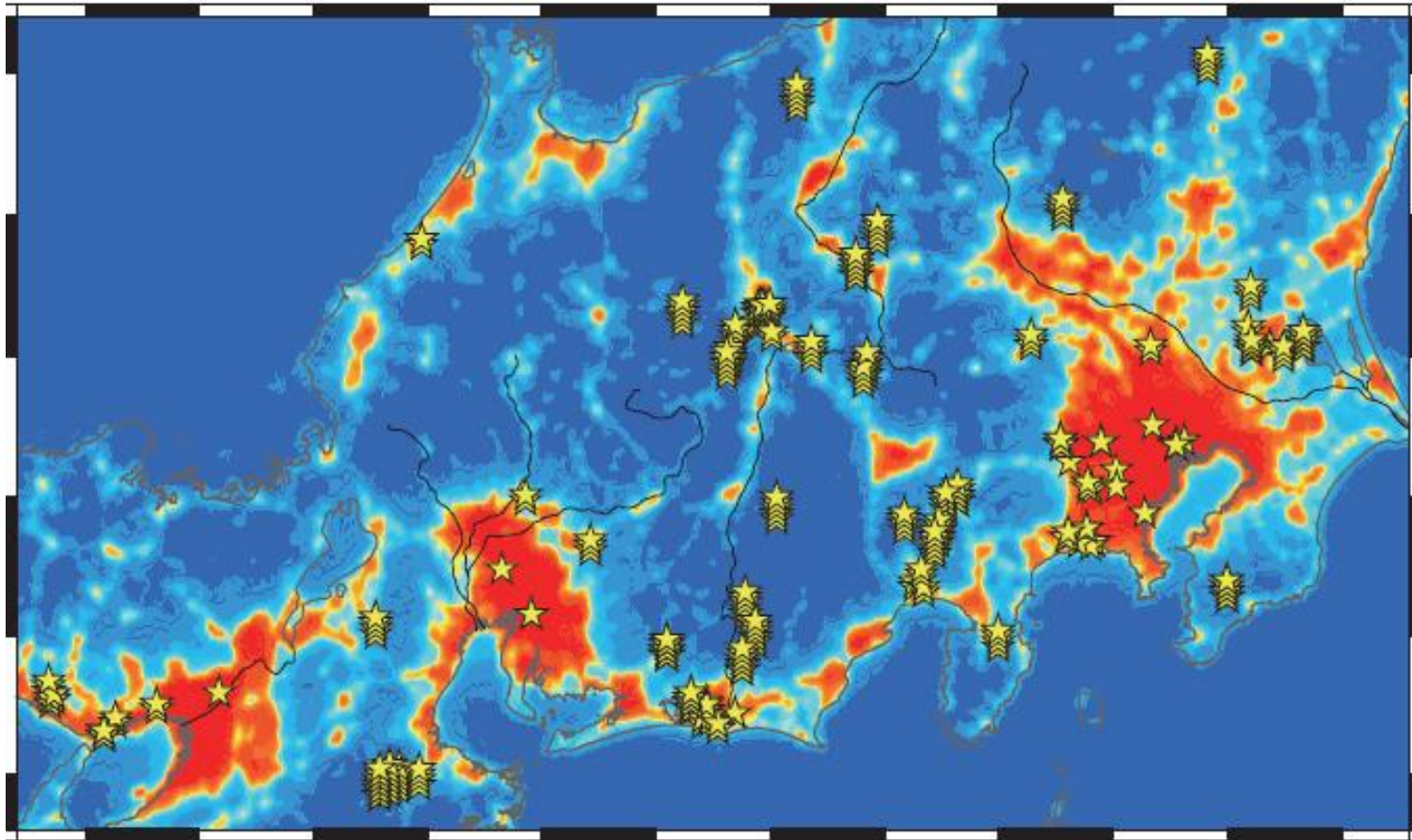
日本系サケの回遊経路推定図

浦和, (2000)

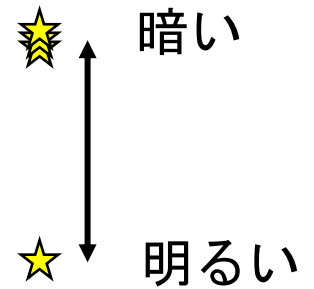
国際サーモン年：2つの国際機関 (NPAFC, NASCO) が協働

星だとうるか

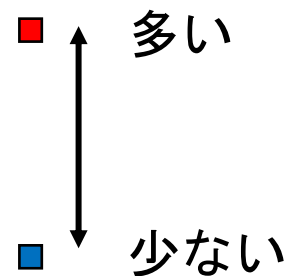
天文活動も多くの人によって影響をうけそう



星空の明るさ



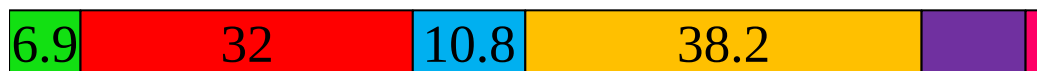
宇宙への光



僕たちにとっての理由

- 美しい星空で満足している
- 美しい星空とはいえない
- 星はほとんど見えない
- かつてに比べて見えにくくなっている
- 星は数えるほどしか見えない
- その他

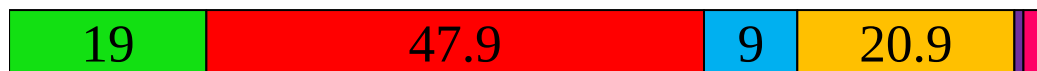
政令指定都市



人口30万人以上の都市



人口10万人以上の都市



人口10万人以下の市町村



(<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h08/10047.html>)より作成

左：Humanity Star

(<https://www.theverge.com/2018/3/22/17144208/rocket-lab-humanity-star-satellite-new-zealand-astronomy>)



右：宇宙看板

(<https://www.fashionsnap.com/article/2019-04-22/space-advertisement/>)



大切さを知ってもらう

学ぶ際にも意義を意識する必要がある

■ 肯定的な回答の割合(%)

■ 肯定的ではない回答の割合(%)

科学に関する全般的な興味・関心



理科学習に対する道具的な動機付け



科学における自己効力感



小倉, (2008)より作成

■ 関心がある(%)

■ 関心がない or 分からない(%)

理科が好きだった



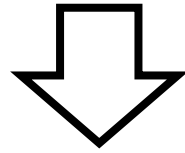
理科が嫌いだった



長沼, (2015)及び内閣府, (2008)より作成

学んだ目的(意義)

なぜ太陽系について勉強したのか



“生命” とは何か理解するため

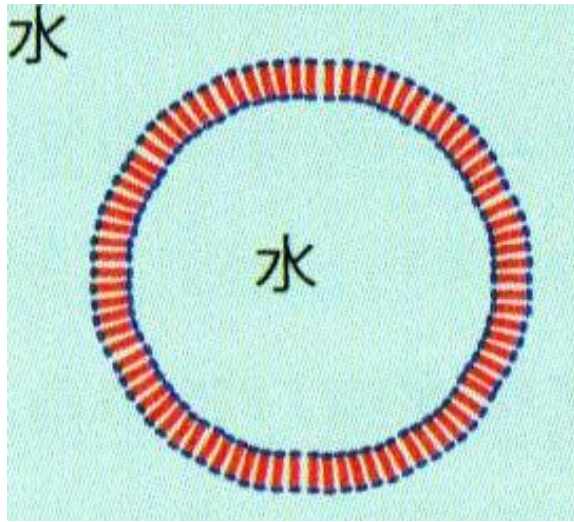
生命について

1. 地球での生命について

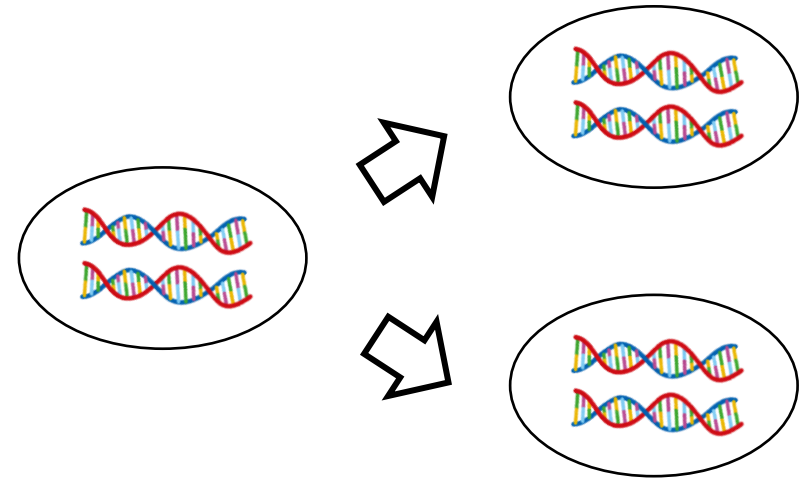
2. 地球以外の生命について

地球型生命の定義

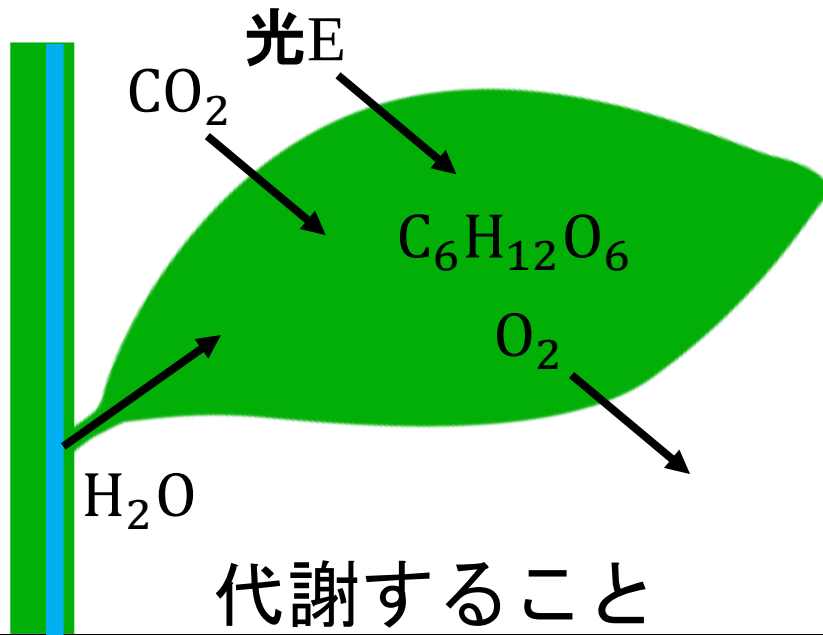
左上:海部ら(2015)より



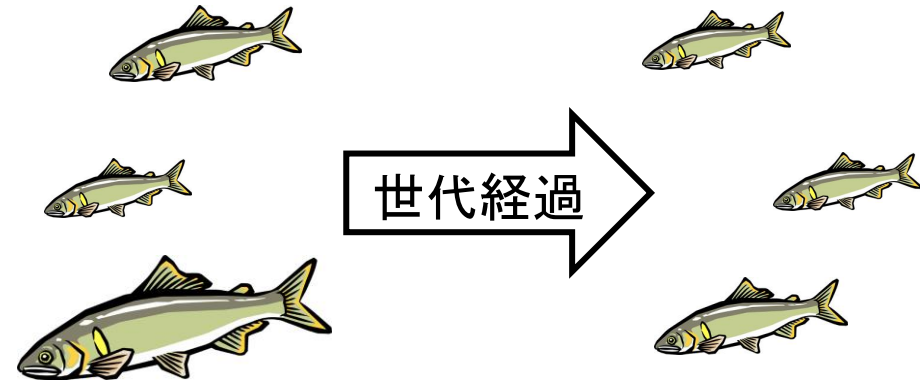
境界を持つこと



複製すること

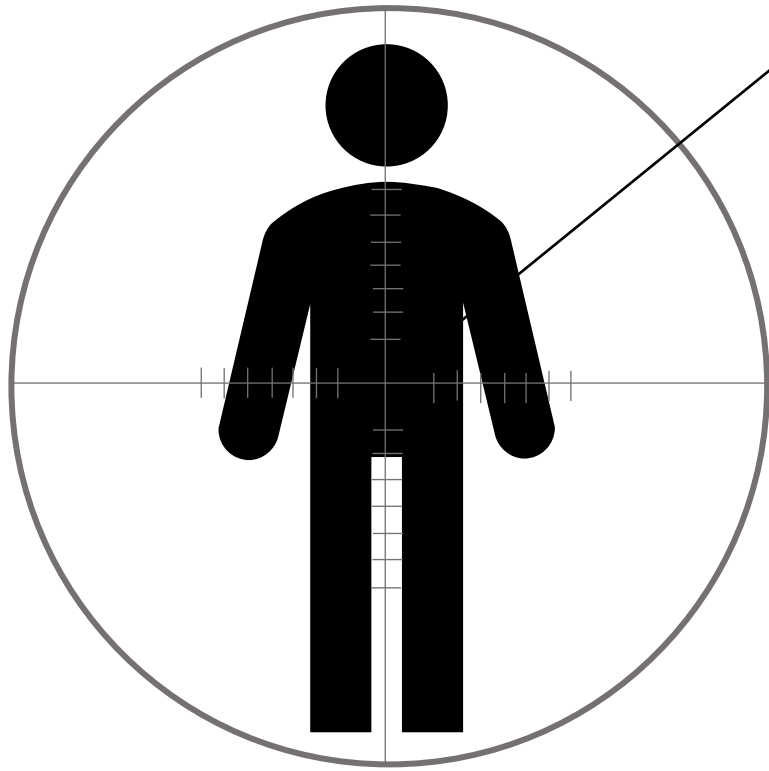


代謝すること



進化すること

地球型生命の材料

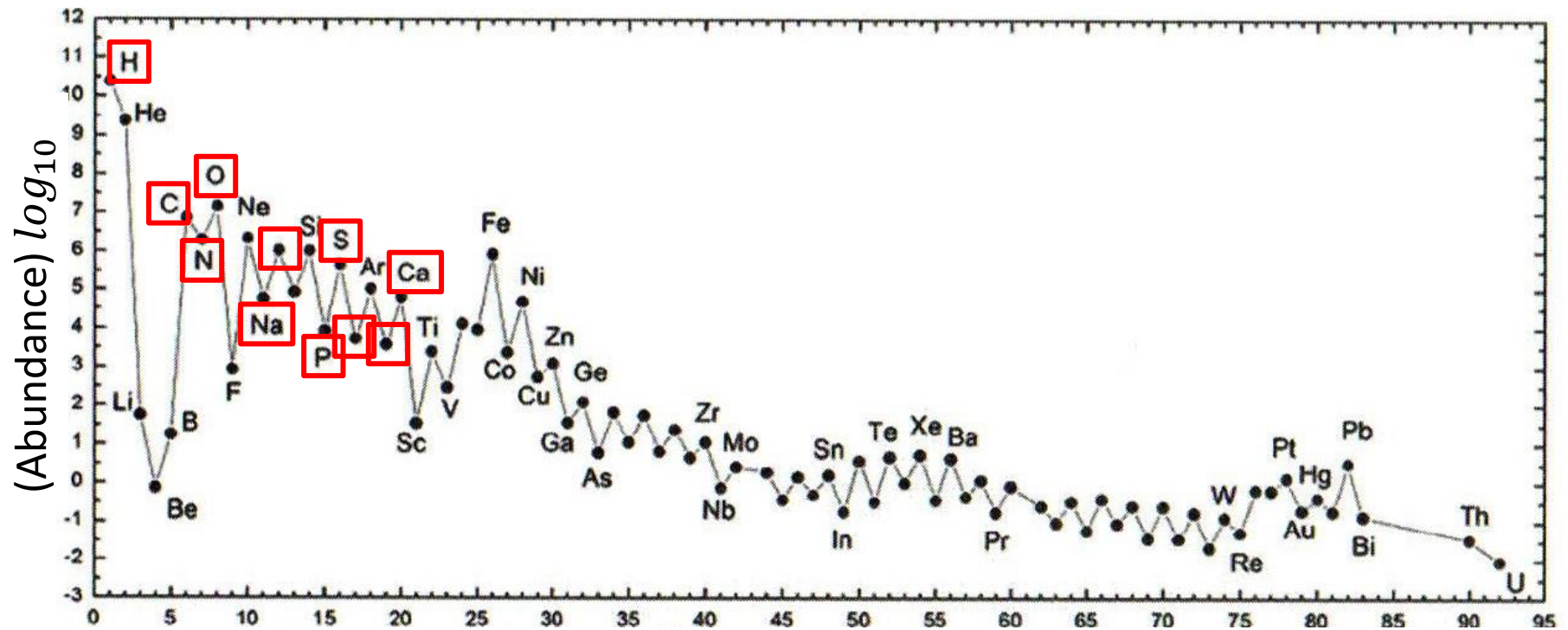


元素	人体(%)
H	63
O	25.5
N	1.4
Na	0.03
C	9.5
Mg	0.01
S	0.05
Ca	0.31
P	0.22
Cl	0.03
K	0.06

海部ら, (2015)より作成

宇宙での存在割合

地球型生命の主要元素は宇宙でありふれたもの



元素番号

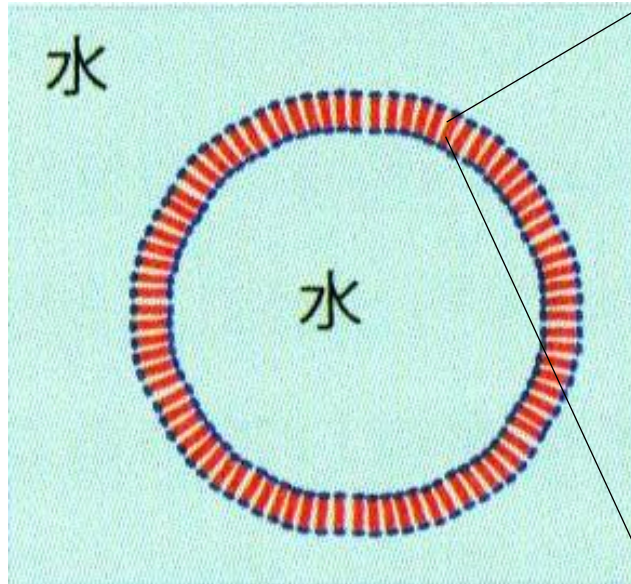
海部ら, (2015)より作成

地球での存在割合

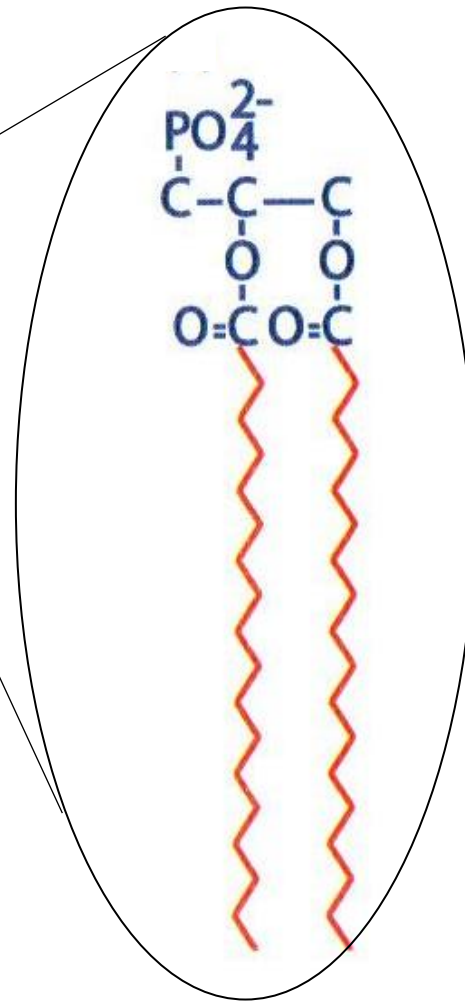
元素	人体(%)	海水(%)	地殻(%)
H	63	66	0.22
O	25.5	33	47
N	1.4	-	-
Na	0.03	0.28	2.5
C	9.5	0.0014	0.19
Mg	0.01	0.033	2.5
S	0.05	0.017	-
Ca	0.31	0.006	3.5
P	0.22	-	-
Cl	0.03	0.33	-
K	0.06	0.006	2.5
Si	0.003	-	28
Fe	-	-	4.5

海部ら, (2015)より作成

水中での境界



海部ら(2015)より

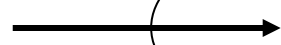


親水性部分

疎水性部分

半透性

必要な物質



反応



不要な物質

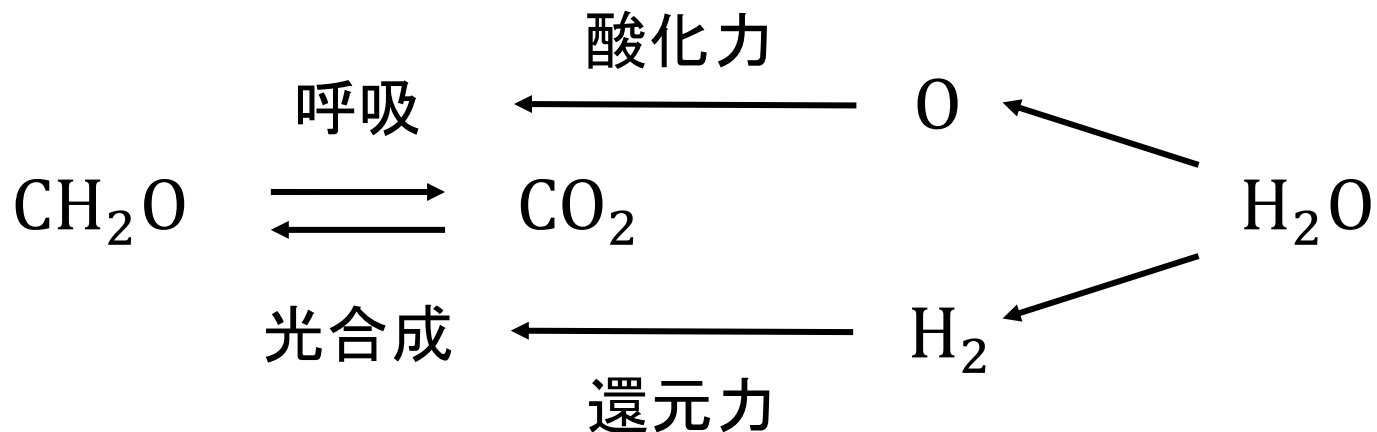
細胞

代謝の意味

生命は1種の「動的平衡」状態である



例) 植物



生物の代謝と遺伝

生物の代謝にはタンパク質が必要

〈タンパク質の作り方〉



DNAとタンパク質はお互いに必要

RNAワールド仮説

(最初の) 地球型生命は膜に包まれたRNAだった?

RNA



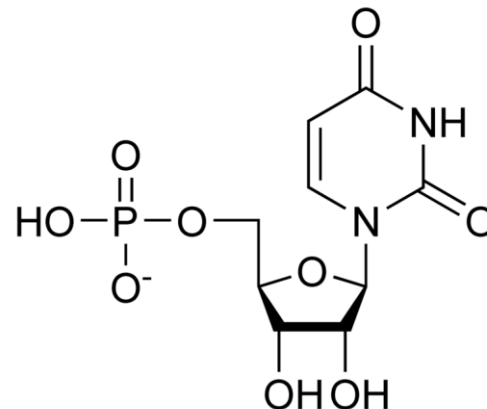
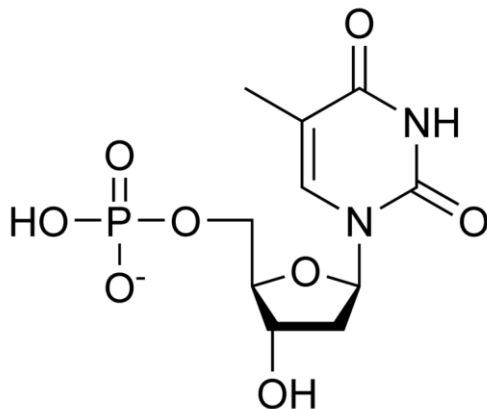
遺伝物質



タンパク質の働き

捕捉) RNAとは？

CGCTTTTGTTATAATCTTCTTCATAGTAATGCCAATTATAA

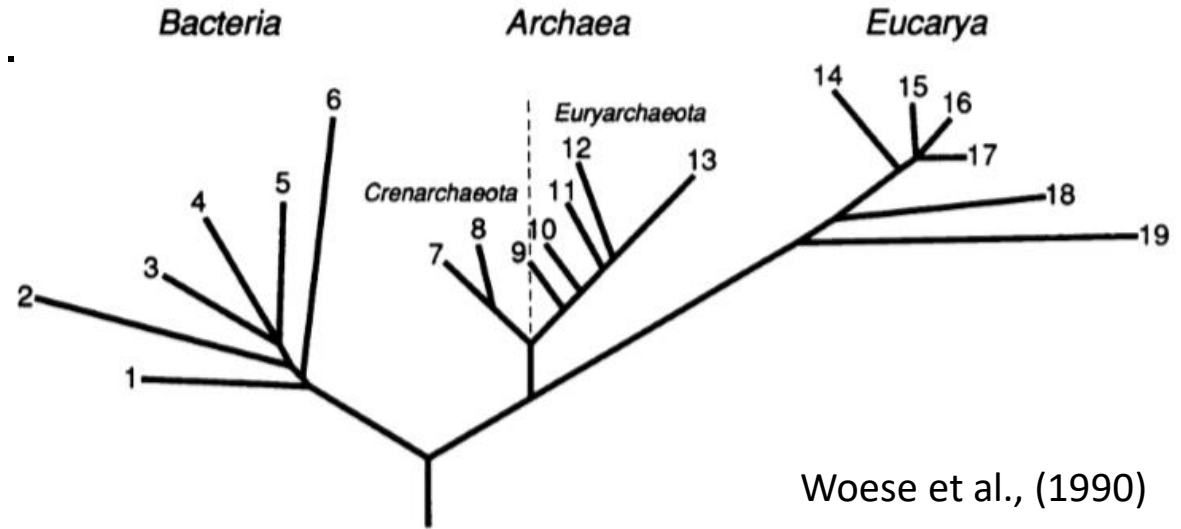


左：チミジル酸
右：ウリジル酸
Wikimedia

最古の地球型生命

最古の地球型生命は...

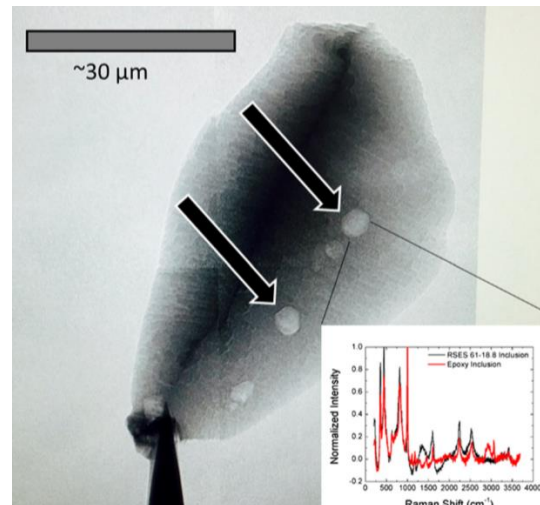
- 約40億年前に誕生
Woese et al., (1990)
- 好熱細菌かも
赤沼, (2016)



〈最古の生命の痕跡(候補)〉

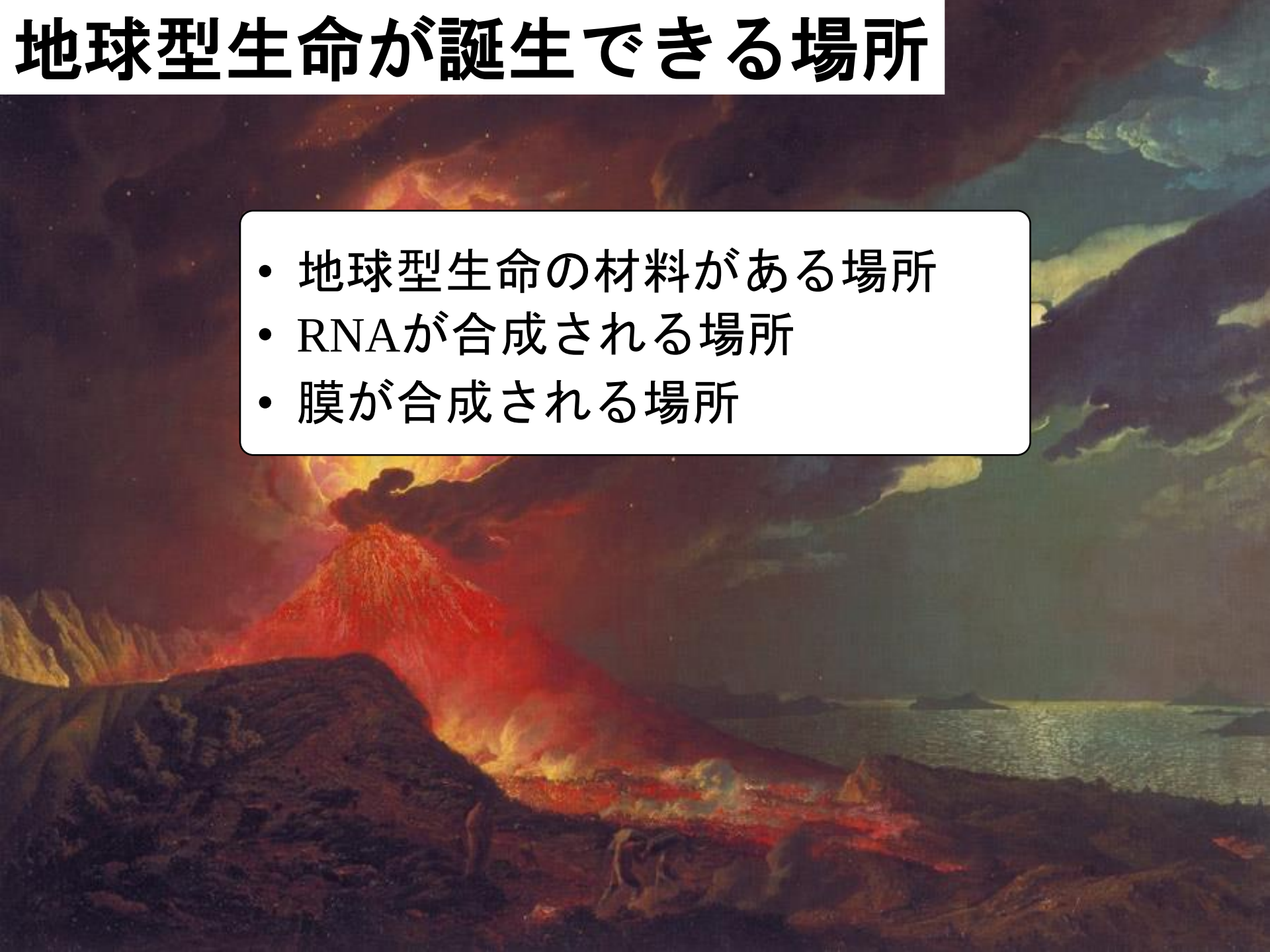
左：炭素片 Bell et al., (2015)

右：赤鉄鉱のチューブ
Dodd et al., (2017)



地球型生命が誕生できる場所

- 地球型生命の材料がある場所
- RNAが合成される場所
- 膜が合成される場所





地球の海はいつ形成されたか

約38億年前までには海が形成されていた

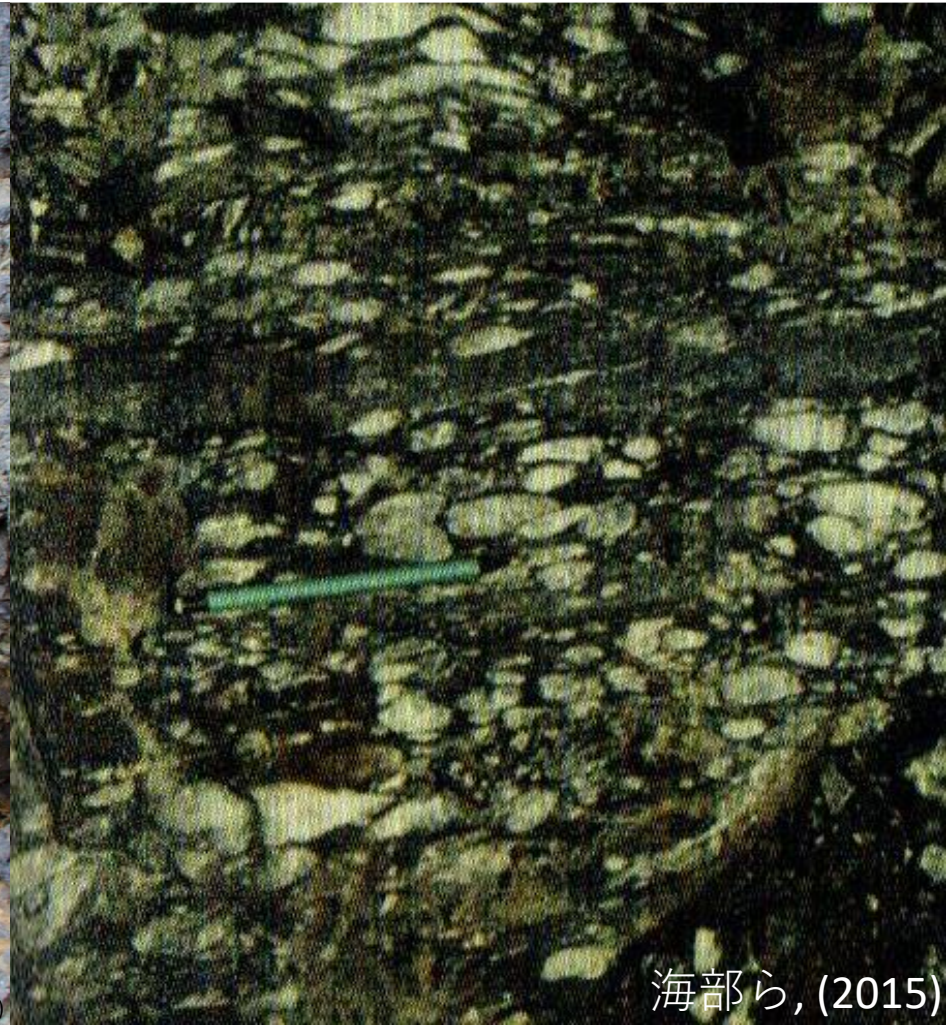
海部ら, (2015), Wilde et al., (2001)

枕状溶岩と言語野

38億年前の堆積岩



(<http://houground.blog.fc2.com/blog-category-56.html>)

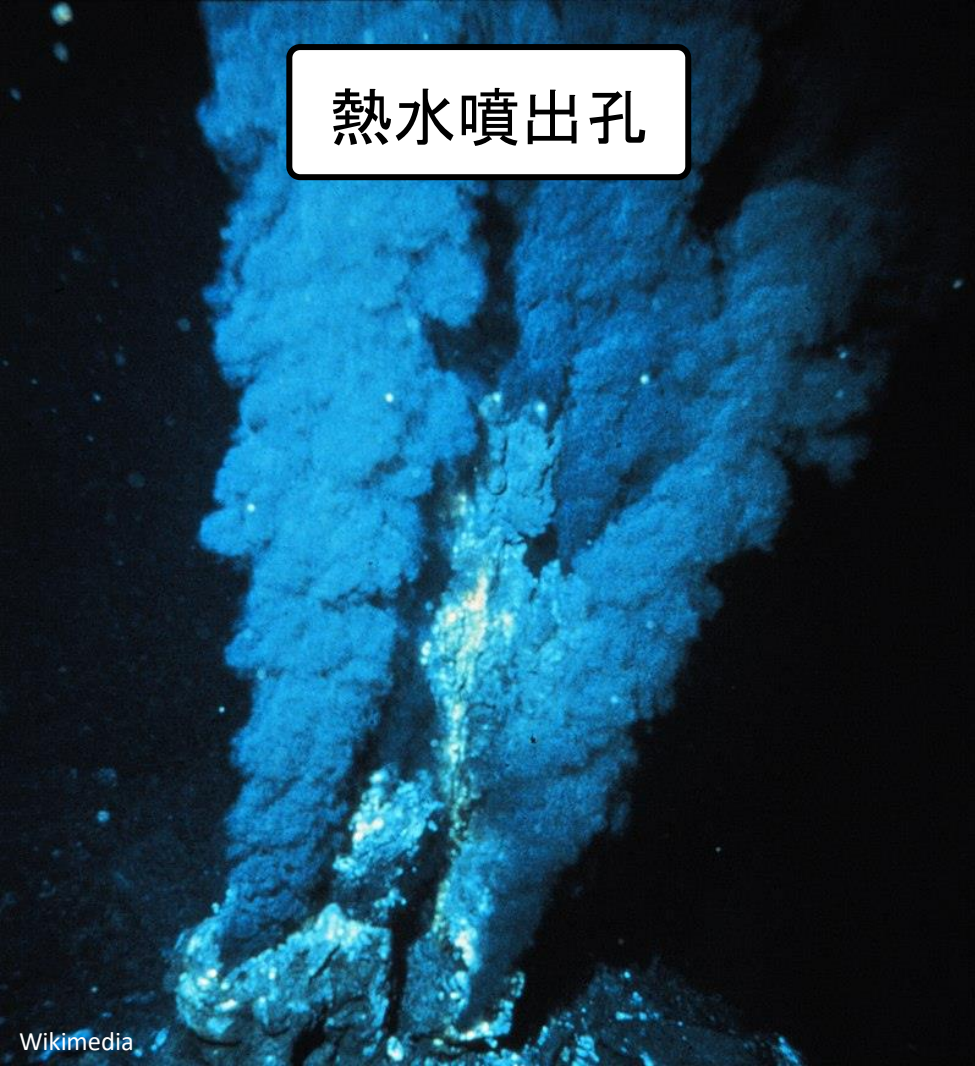


海部ら, (2015)

反応のエネルギー源

有機物の合成にはエネルギーが必要

水中のエネルギー源は…

A photograph of a hydrothermal vent, showing a bright blue, mineral-rich plume of superheated water rising from a dark, rocky seafloor. The plume has a textured, almost fibrous appearance.

熱水噴出孔

A landscape illustration of a hot spring area. It features a calm, brownish-orange body of water reflecting the hazy, orange-tinted sky. Dark, jagged rock formations line the shore, and the foreground is covered in reddish-brown soil and scattered rocks.

温泉

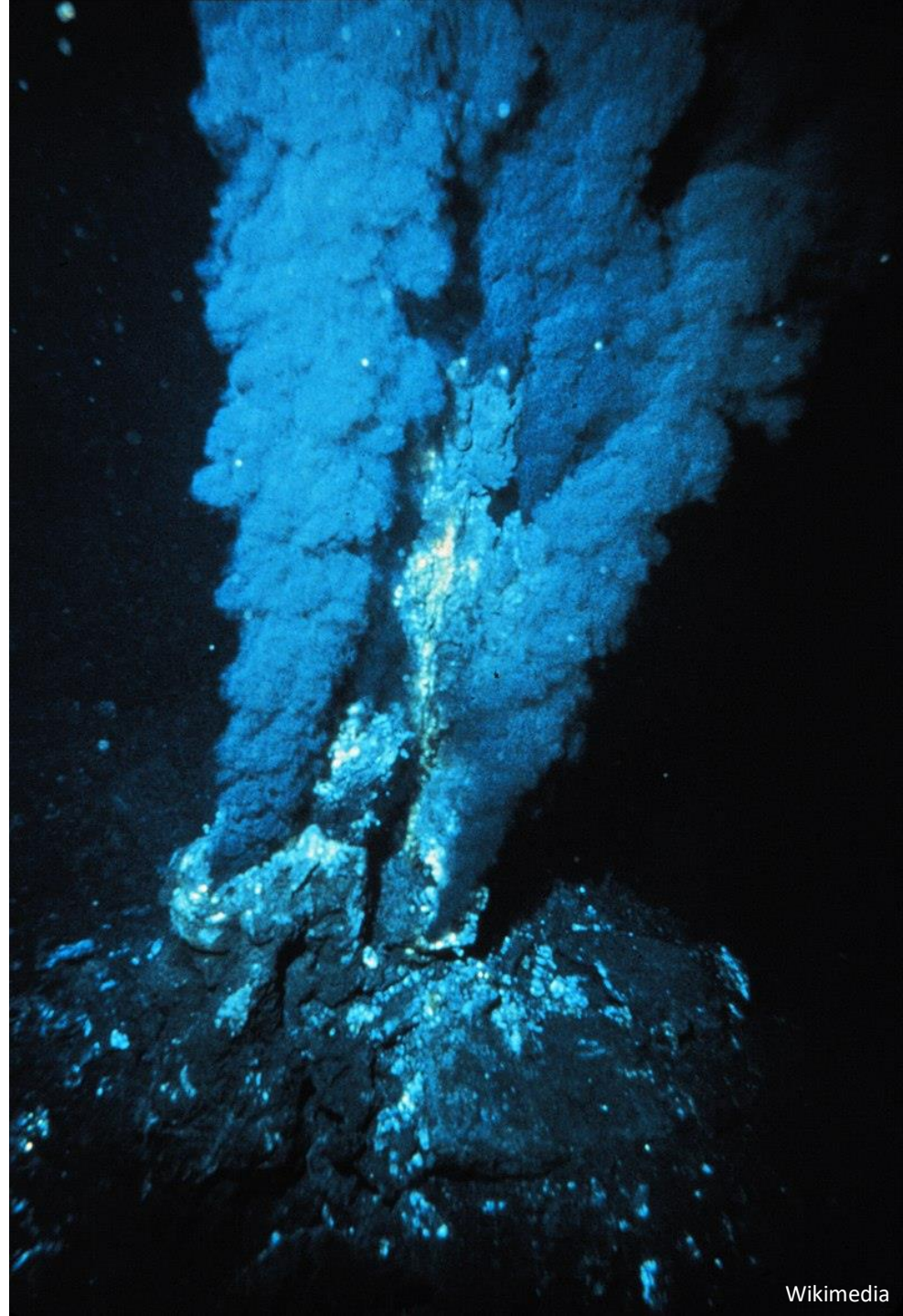
熱水噴出孔

〈メリット〉

- 還元的な環境
- 反応エネルギーの存在
- 生成物の冷却による保護
- 触媒候補が豊富
- マリグラニューールの合成

〈デメリット〉

- 脱水反応が生じにくい



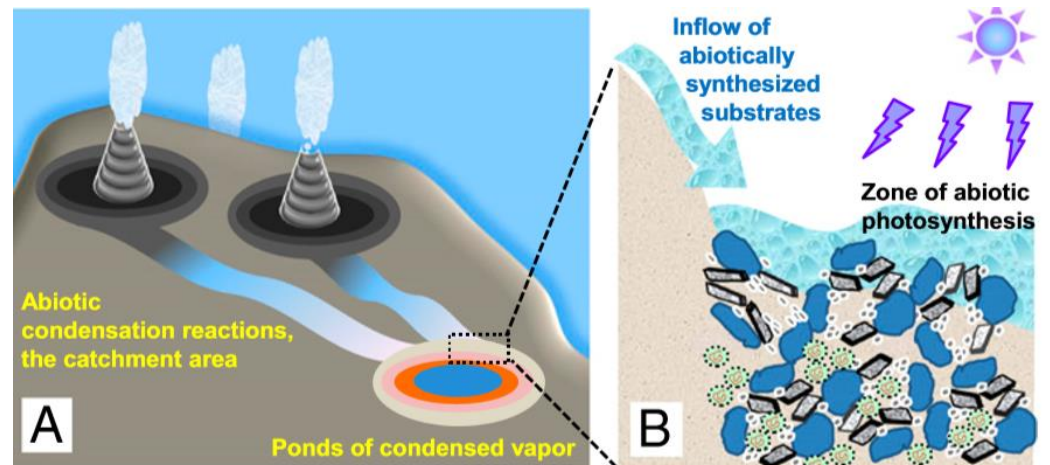
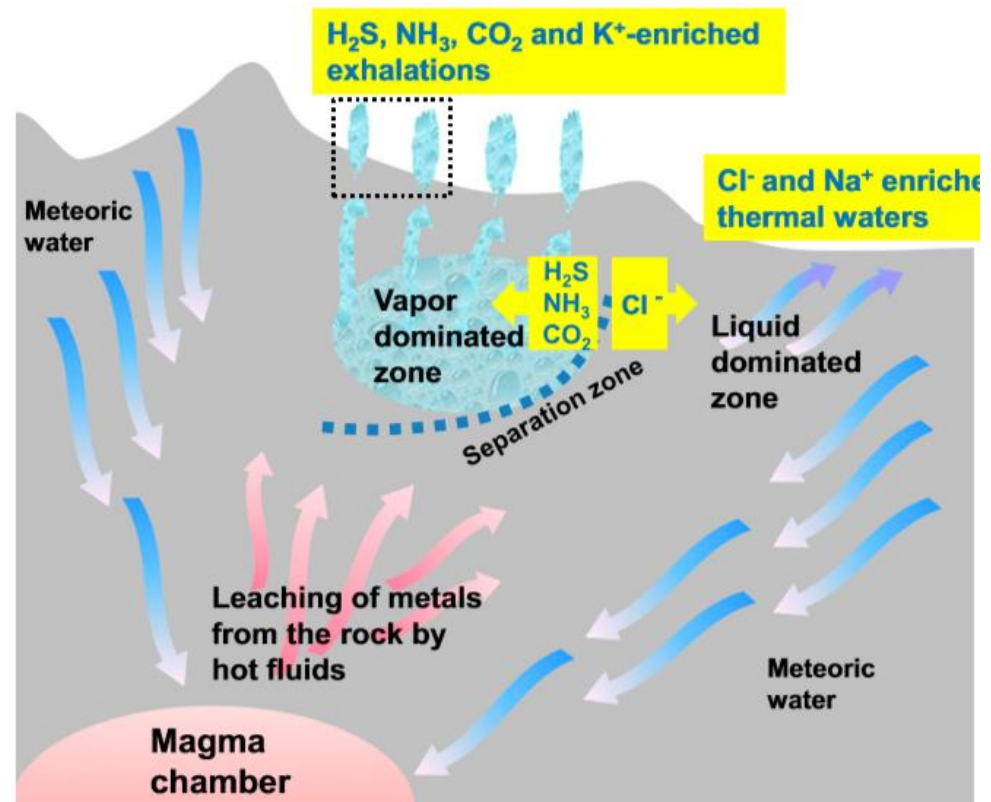
温泉

〈メリット〉

- K^+ / Na^+ の割合が細胞に類似
- 乾燥による脱水反応
- 反応エネルギーの存在
- 触媒候補が豊富
- プロティノイドの合成

〈デメリット〉

- K^+ / Na^+ の理論が不明
- 検証不十分



Mulkidjanian et al., (2012)

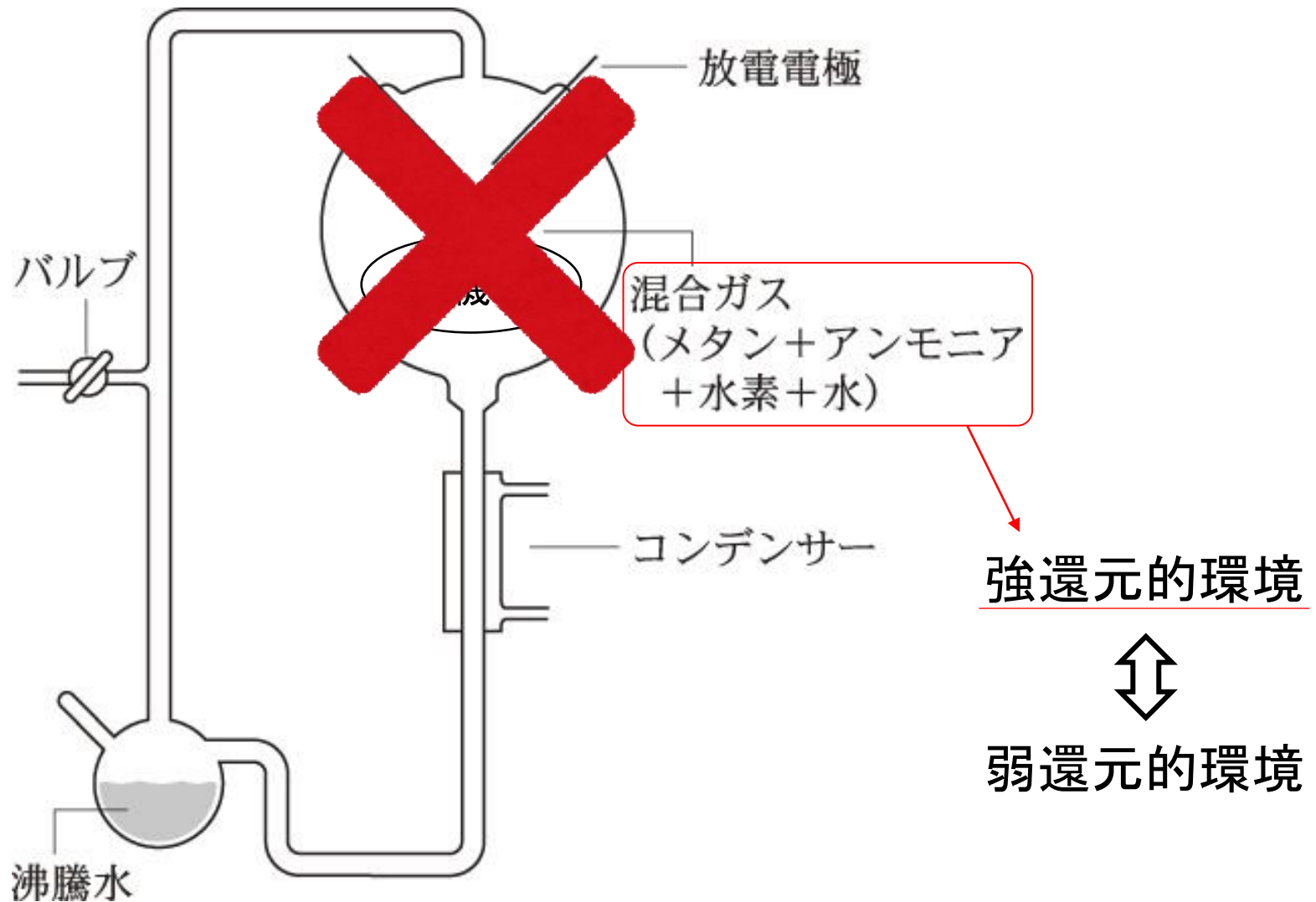
UV-protected habitat of protocells

結論？

最初の地球型生命は地球の温泉で生まれた

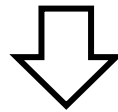


ミラーの実験



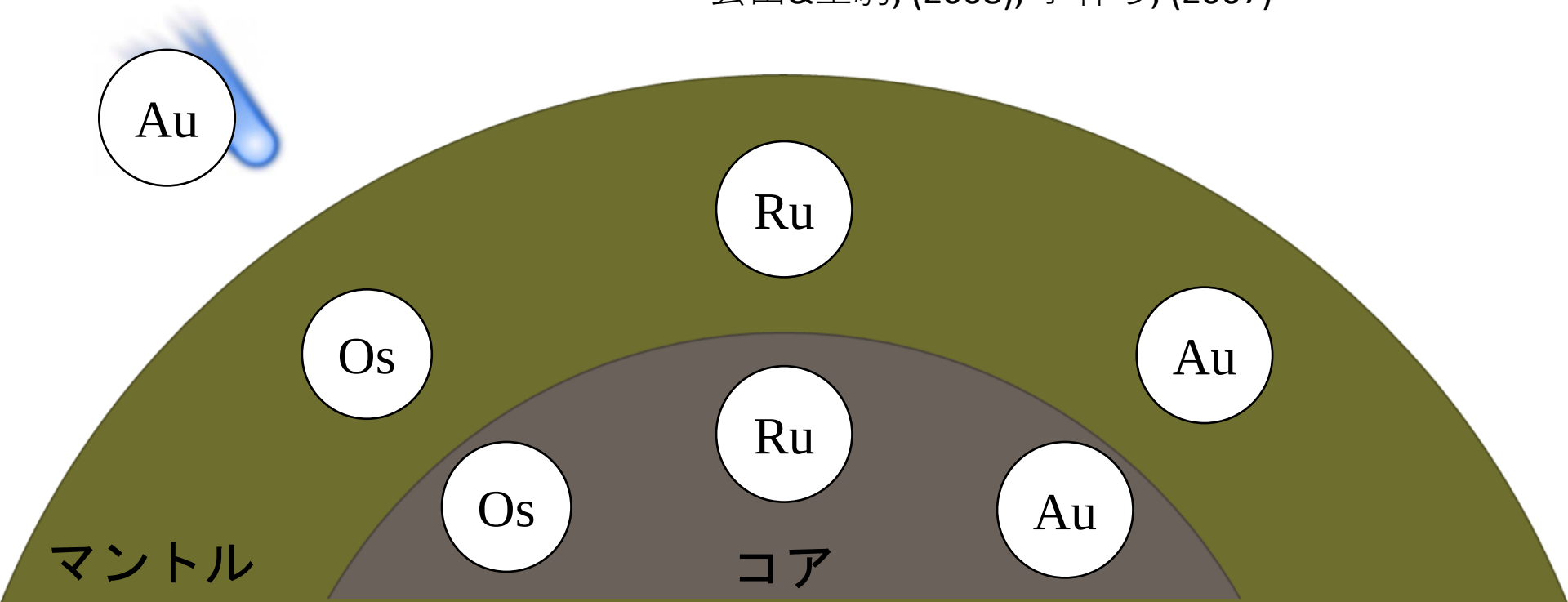
レイトベニア仮説

地球が現在の大きさになった後に天体から材料が供給



水 (H_2O) や有機物は宇宙からも供給される

玄田&生駒, (2008), 小林ら, (2007)



宇宙の有機物

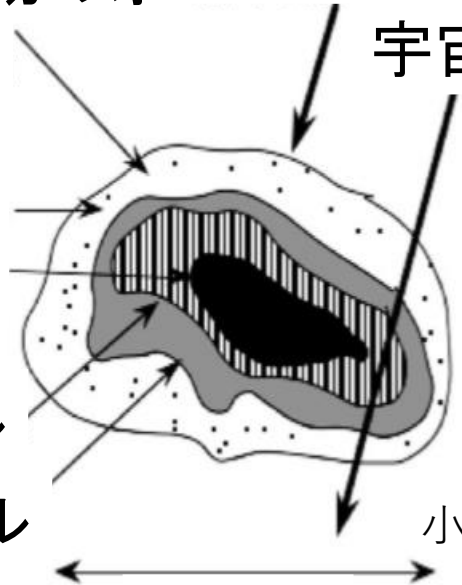
〈星間での有機物生成機構〉

Greenberg&Li, (1998)

小さな炭素質粒子
ケイ酸塩のコア

難揮発性有機物のマントル
新たに付着した有機物マントル

揮発性化合物の氷 紫外線 宇宙線



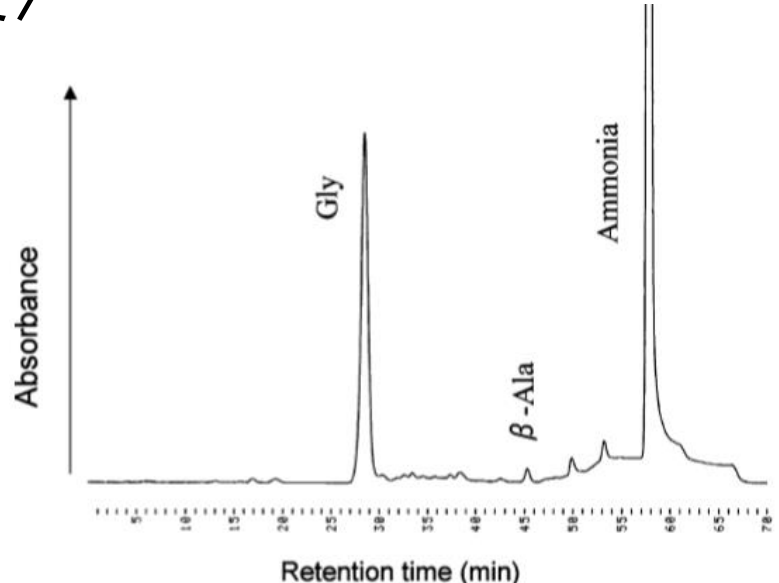
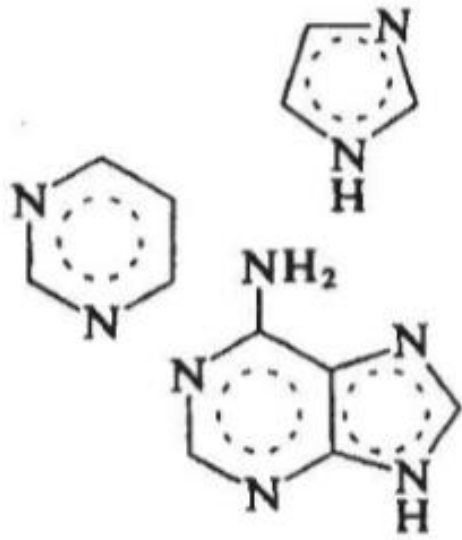
小林ら, (2007)

0.5 μ m

〈宇宙で形成される可能性のある物質〉

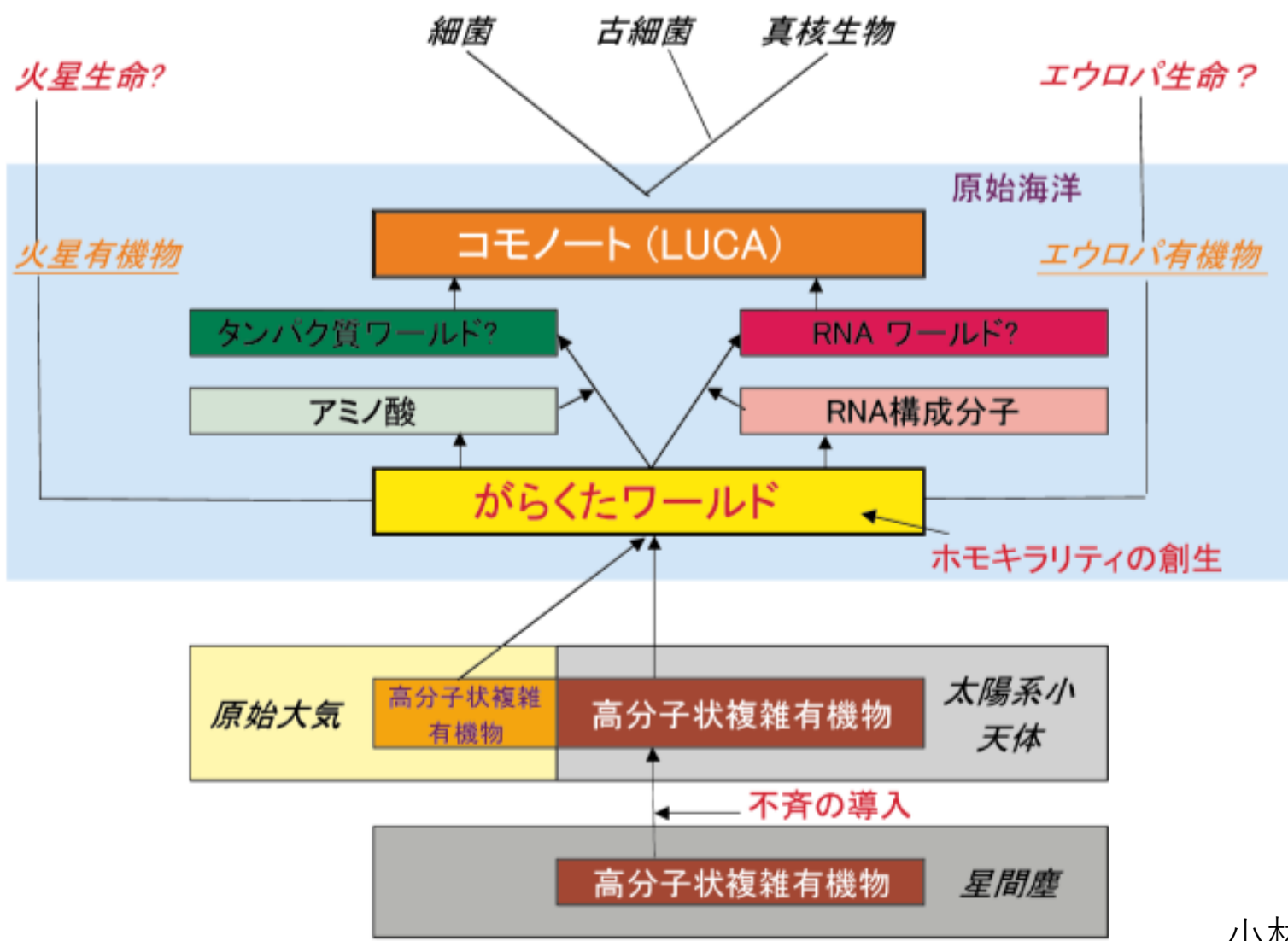
左：ハレー彗星中に
推定された化合物
Kissel&Krueger, (1987)

右：実験により
合成された化合物
小林ら, (2007)



宇宙由来の有機物による生命

原始海洋中での「ゴミ袋」が地球型生命の由来？



地球型生命のまとめ

- 液相の水は反応の場及び生命の材料として有力
- 反応の駆動力として惑星内部の熱も重要
- 宇宙には有機物を惑星に供給する仕組みがある
- 地球型生命の誕生場所や有機物の由来は不明



不明とかふざけるなクマ
とっとと解決策を示せクマ



生命の理解に向けて

- 地球で得られる生命誕生時の情報は限られる
- 生命の例は地球型生命のみ
- 生命の誕生には宇宙由来物質が関与している可能性



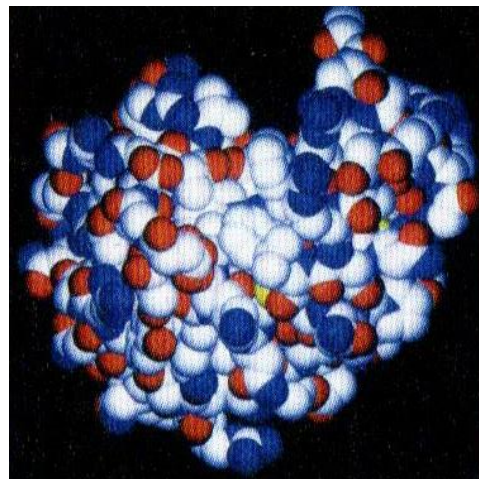
地球以外の惑星にこれらの答えを求める

地球型生命のいる環境候補

- 液相の水が存在する
- 地球型生命の材料がある
- エネルギーが存在する

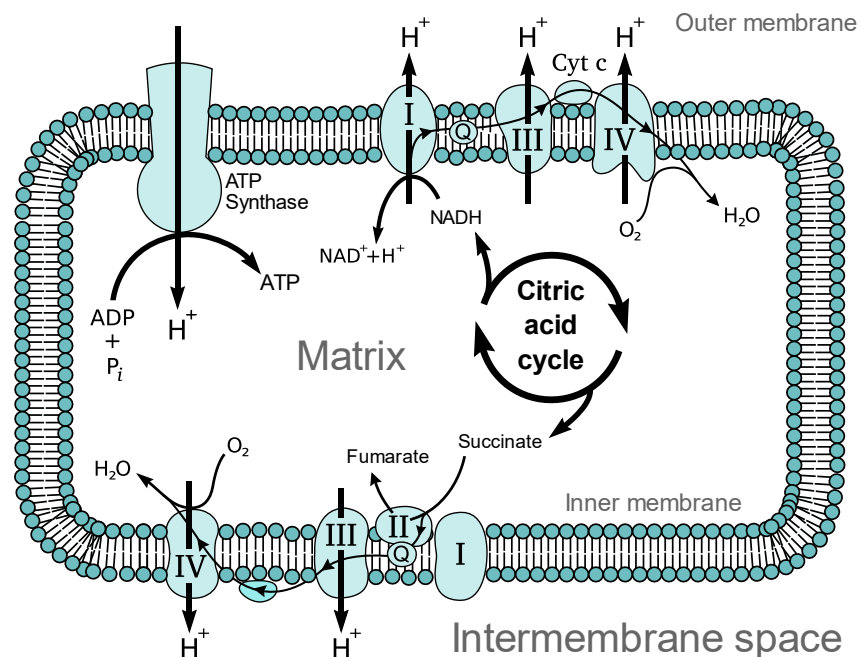
地球型生命にとっての水

疎水性相互作用

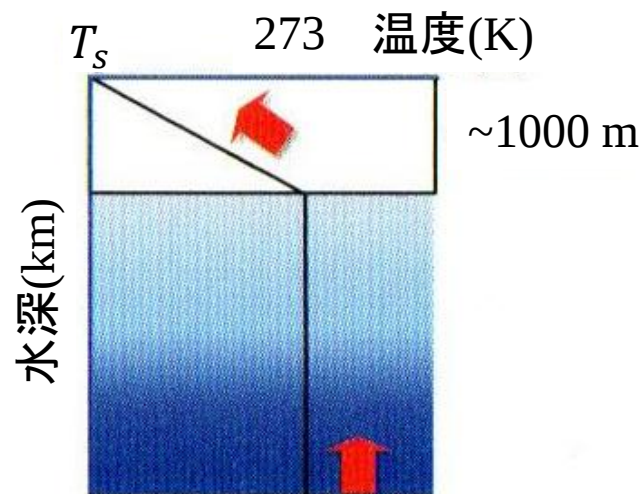


海部ら, (2015)

OH^- や H^+ が多く反応に関係



特殊な密度変化



地殻熱流量 $\sim 100 \text{ mW/m}^2$

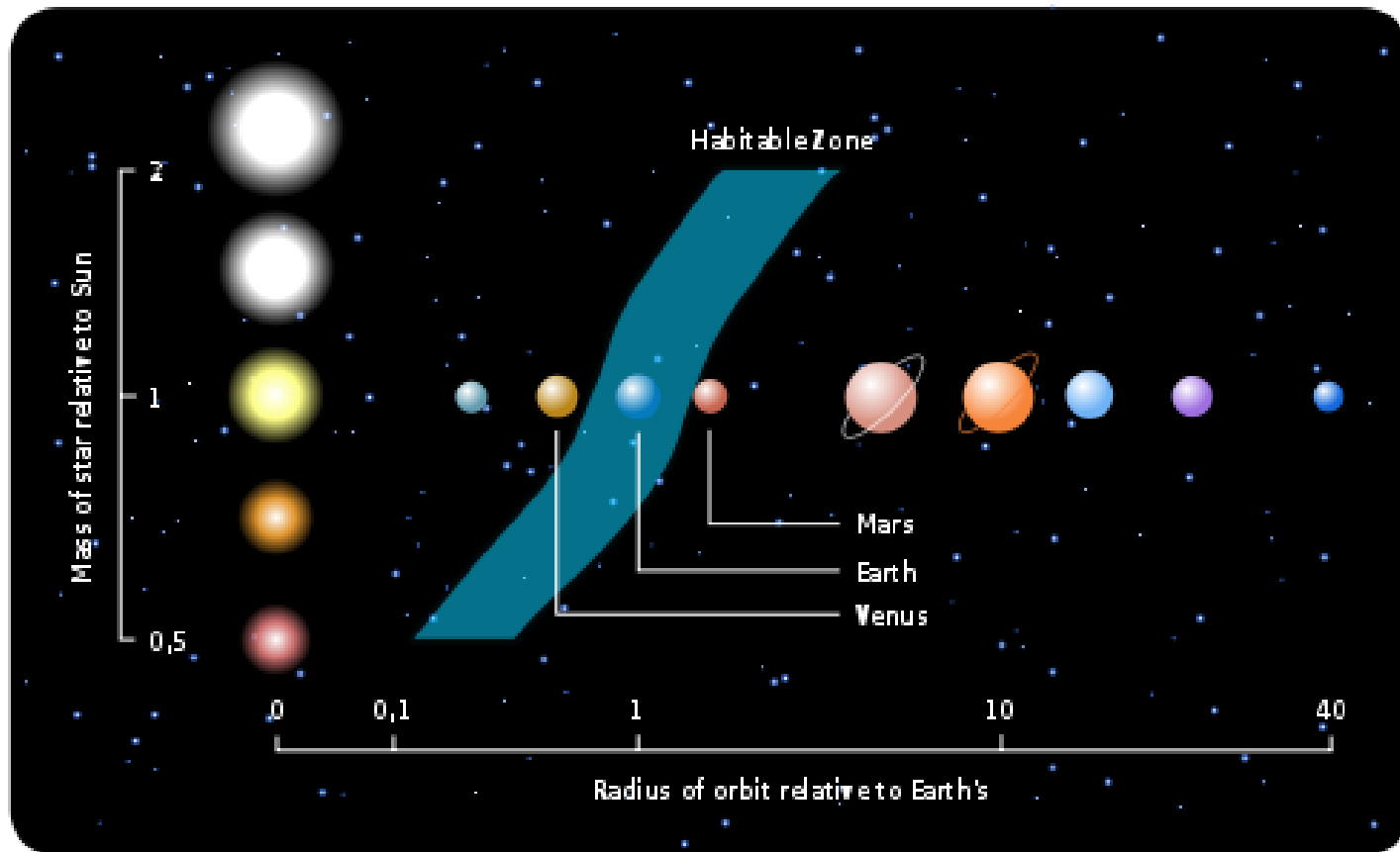
海部ら, (2015)

液体の水の存在条件

ハビタブル・ゾーン(ゴルディロックス・ゾーン)

中心の恒星から一定の軌道幅で惑星の表面に
水が存在できる領域

海部ら, (2015)

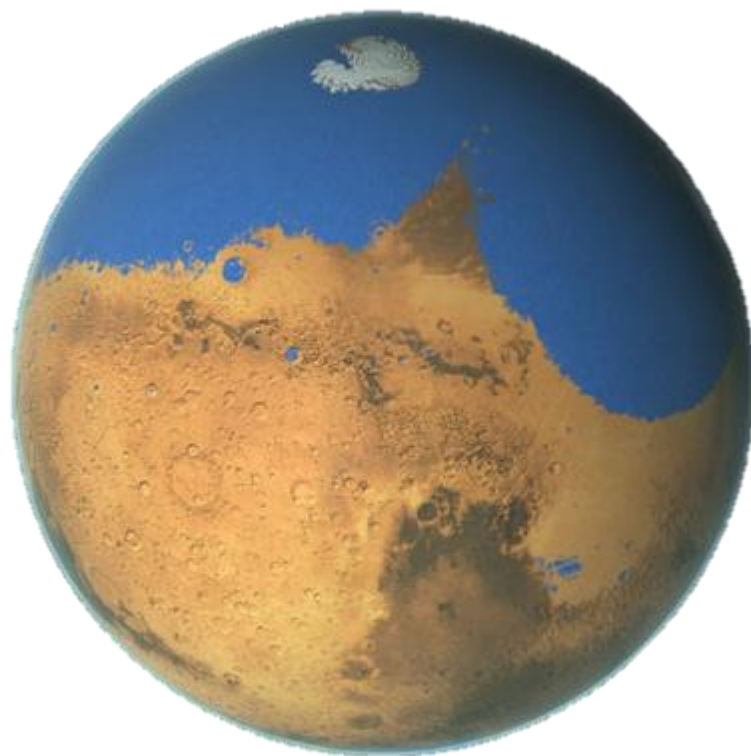


水の存在時間

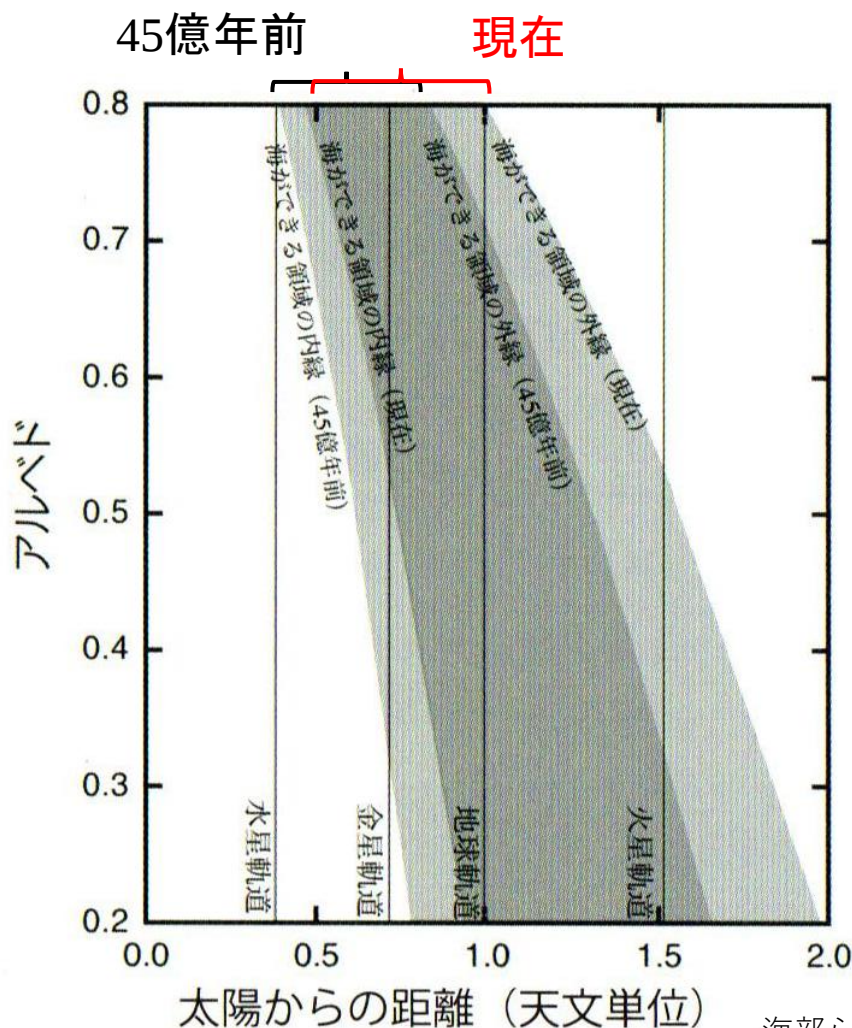
連続的ハビタブル条件

生命が進化できる程度の長時間ハビタブル条件が維持される条件

H₂Oの散逸



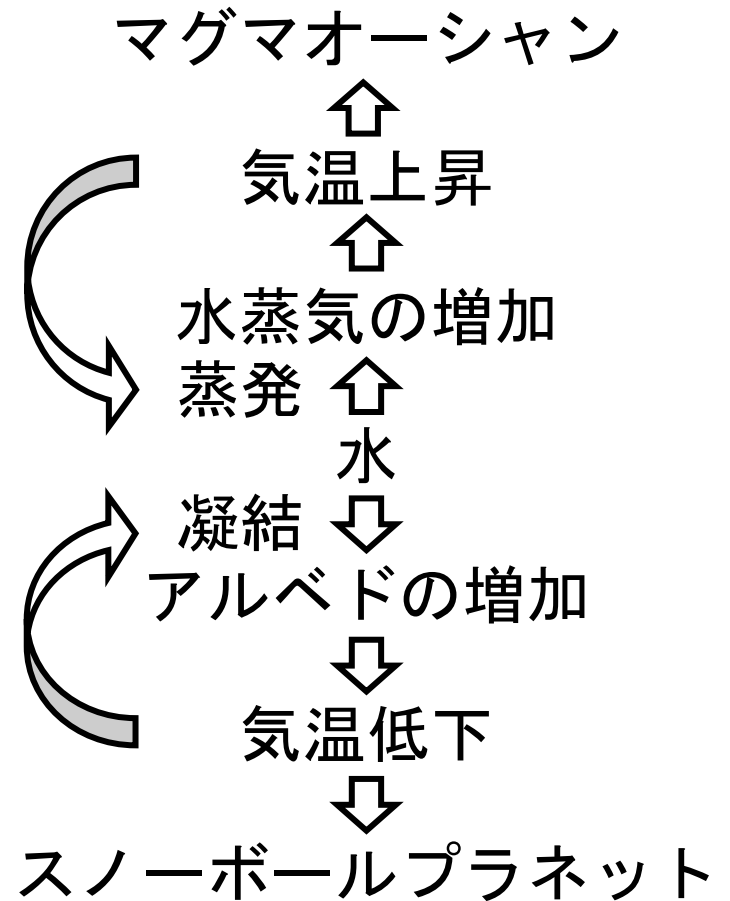
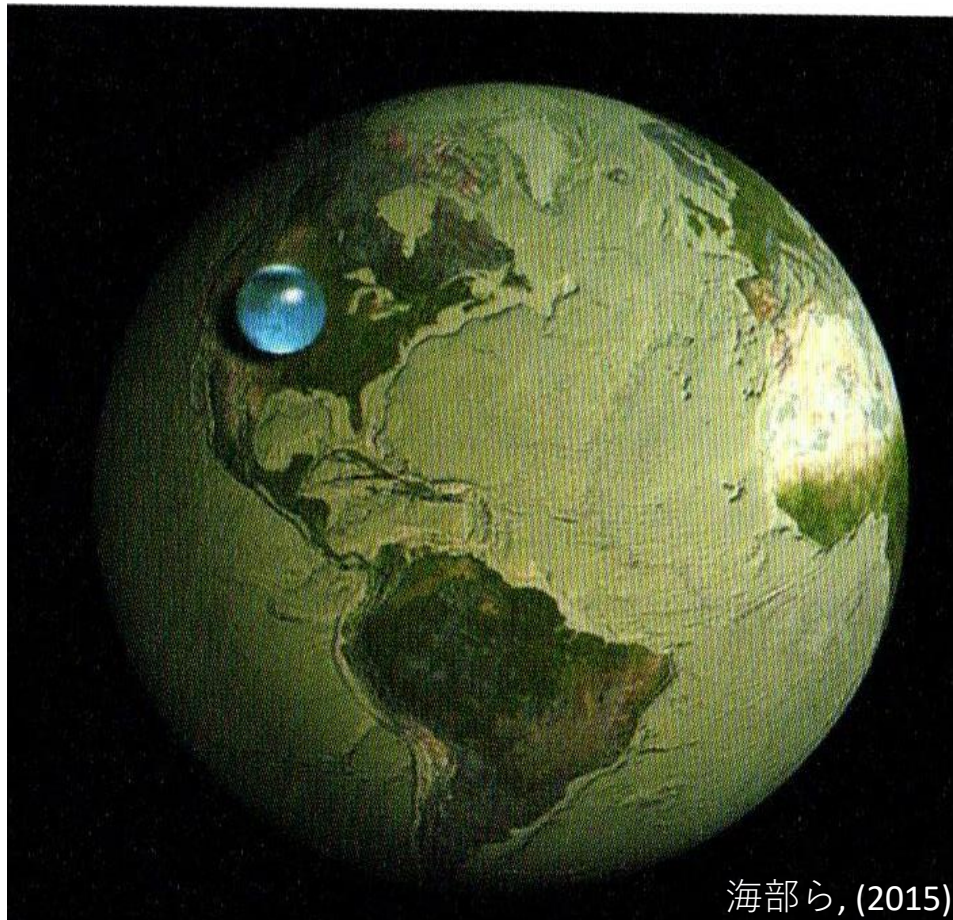
(https://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/235_mars)



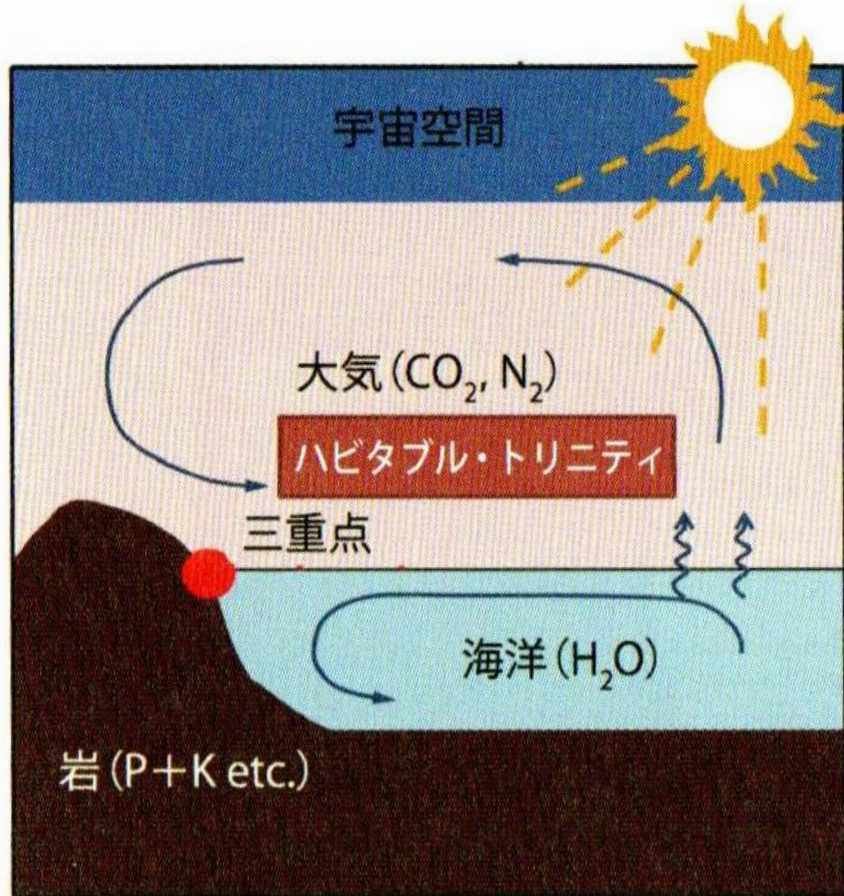
水の量

- 少なすぎる
→ プレート運動による
惑星内部への取り込み

- 多すぎる
→ 水による環境の不安定化
→ 陸地の消失



地球型生命が誕生しやすい環境



海部ら, (2015)

- 液相の水 (海洋)
- 材料の供給源 (大陸)
- 環境を保つシステム (大気)

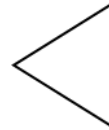
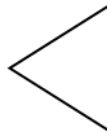
生命探査の新たな指標

生命誕生のためのエネルギー

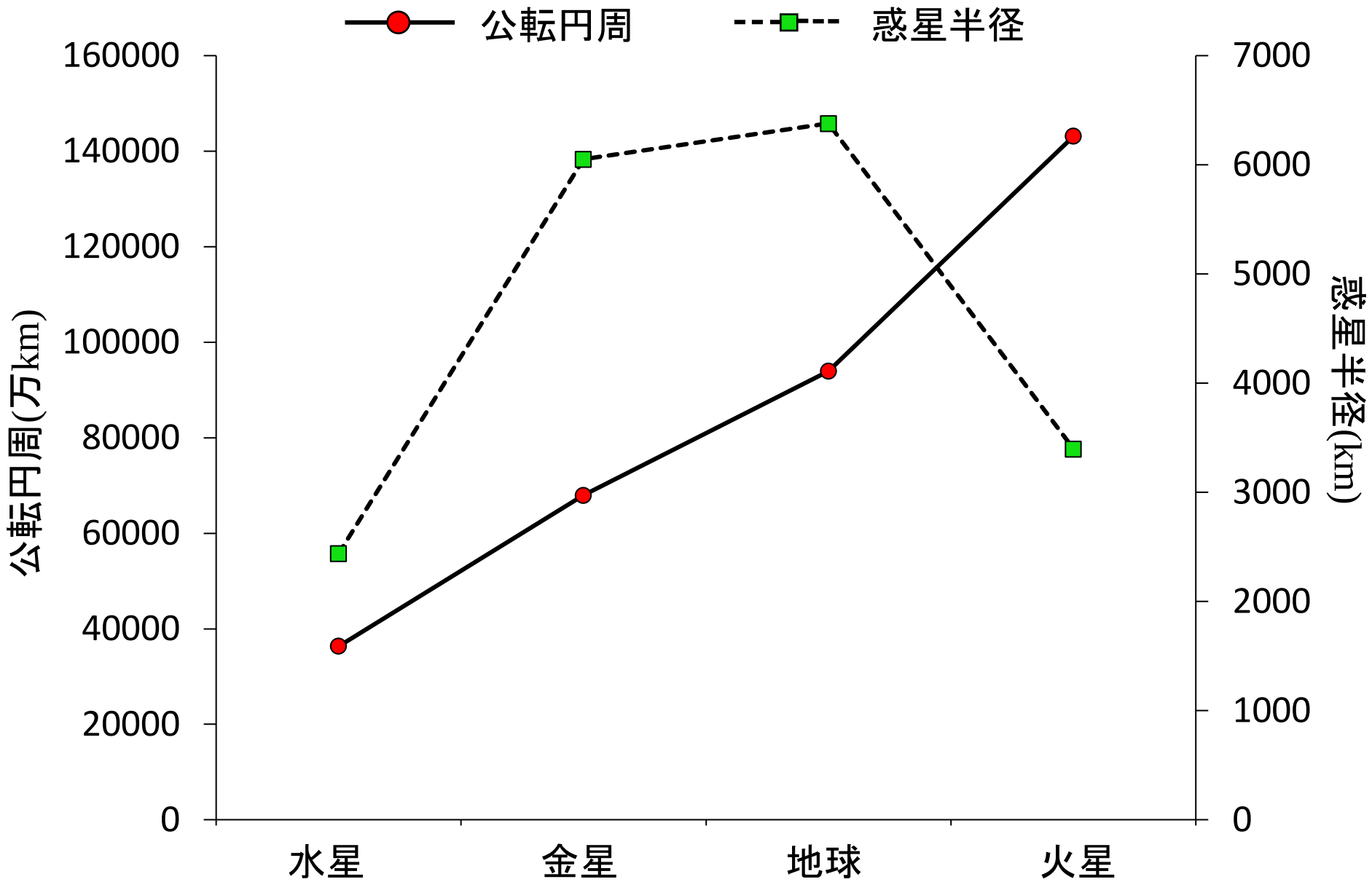
惑星内部の熱エネルギー = 惑星形成時に蓄えた熱量



生命誕生の可否は惑星質量にも依存する



火星(地球より小さい惑星)

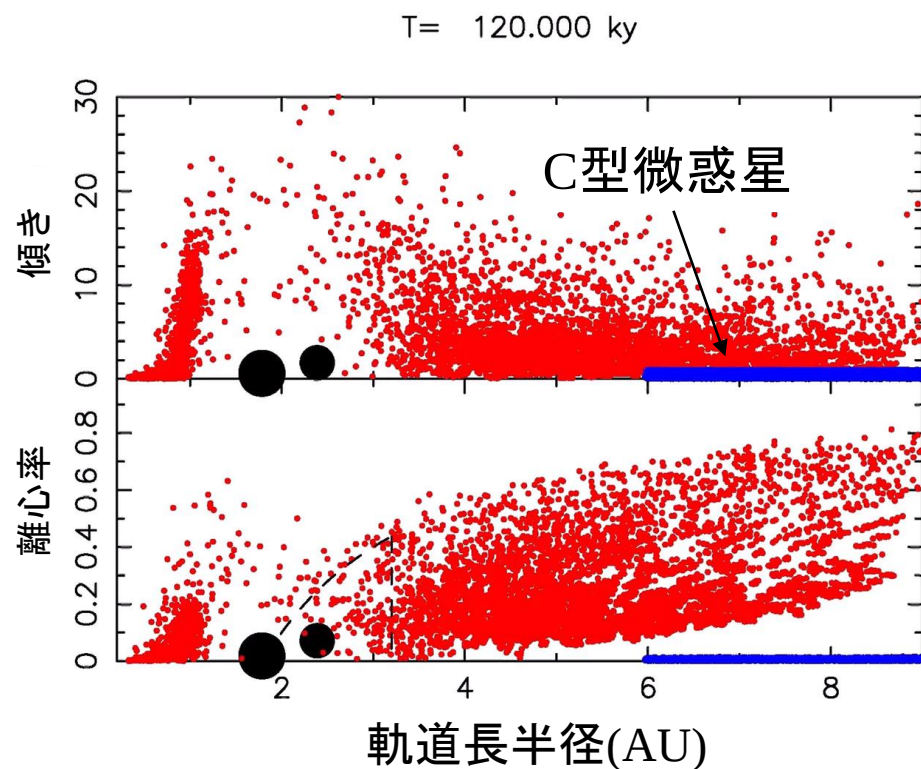
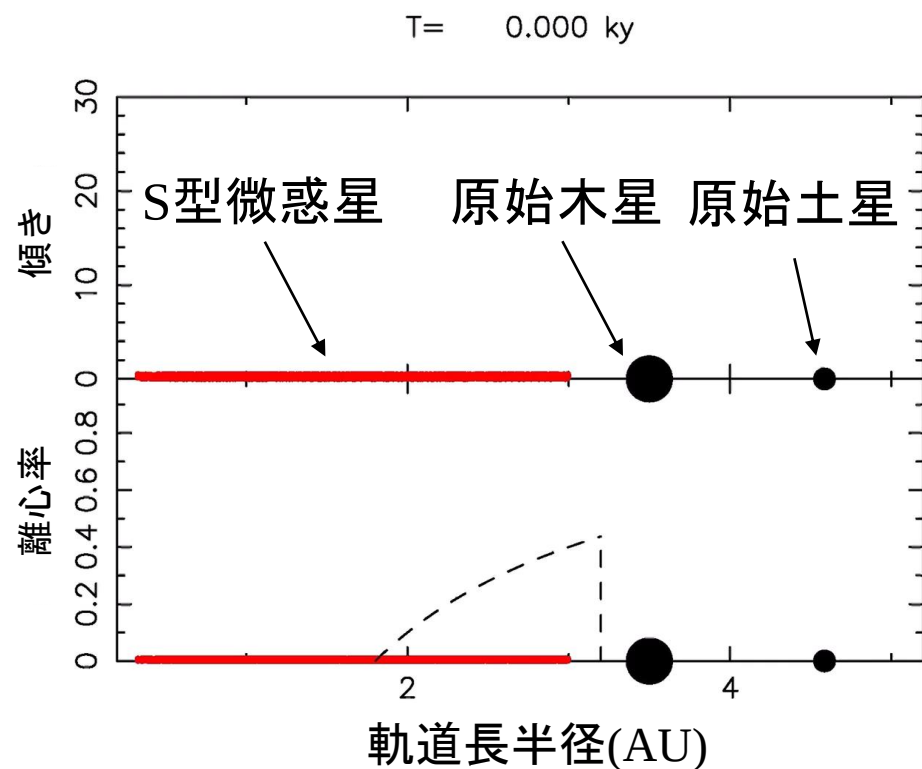


グランド・タック・モデル

ガス円盤・原始木星・原始土星の相互作用による移動



木星が火星の材料を吹き飛ばした Walsh et al., (2011)



火星から分かること

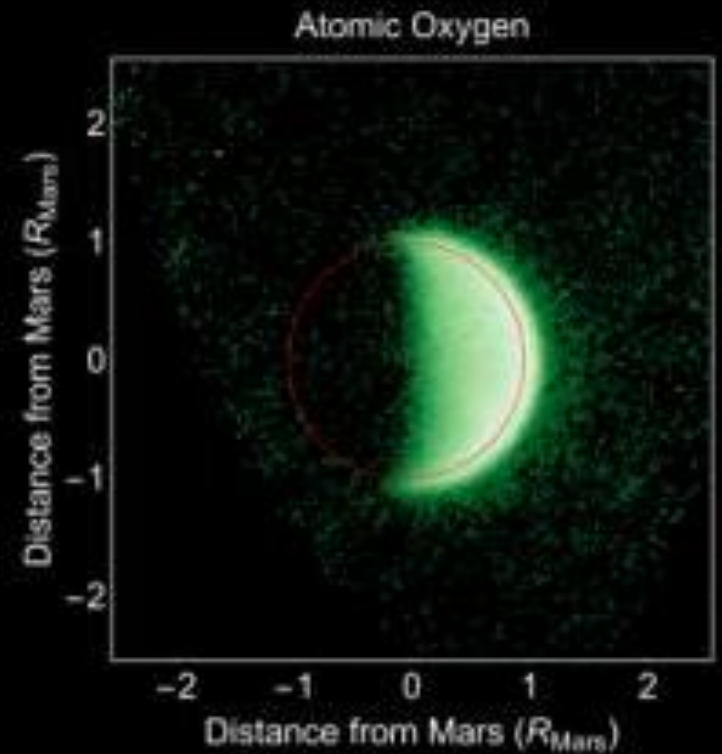
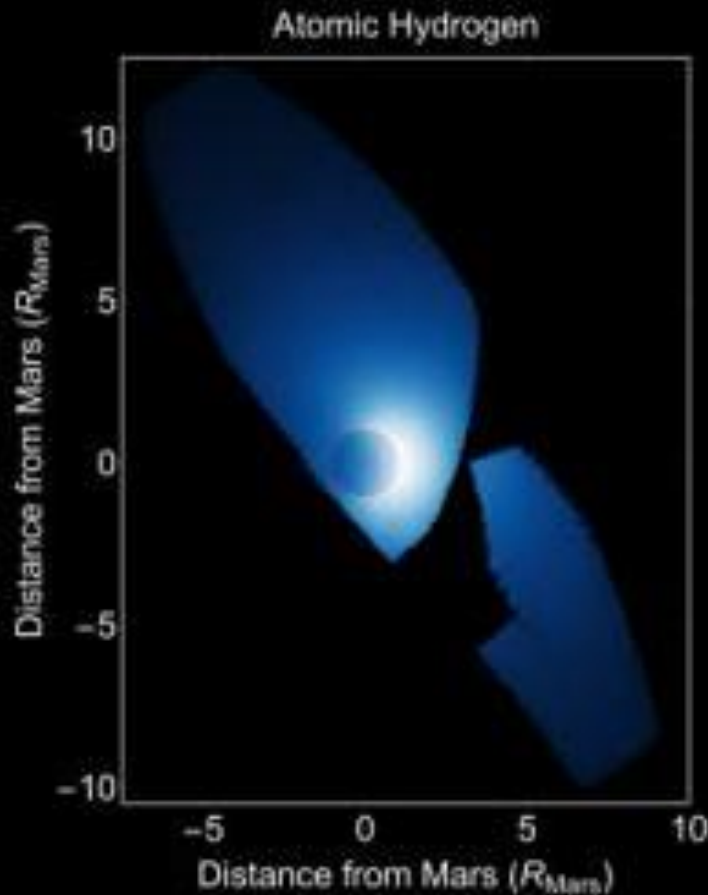
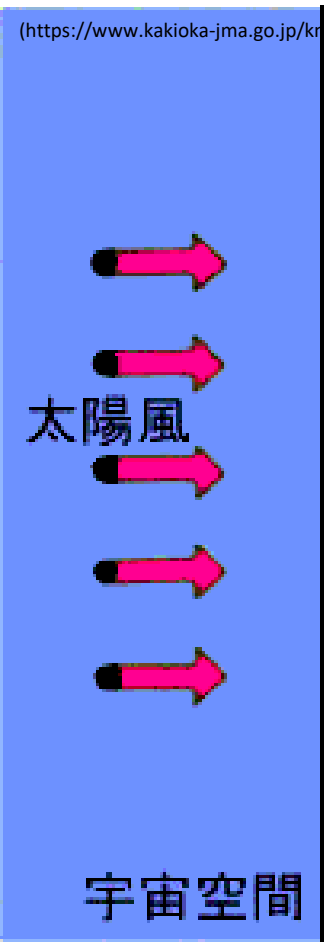
惑星が小さい(惑星移動の結果?)と水喪失



生命誕生には土星に相当する惑星が必要?

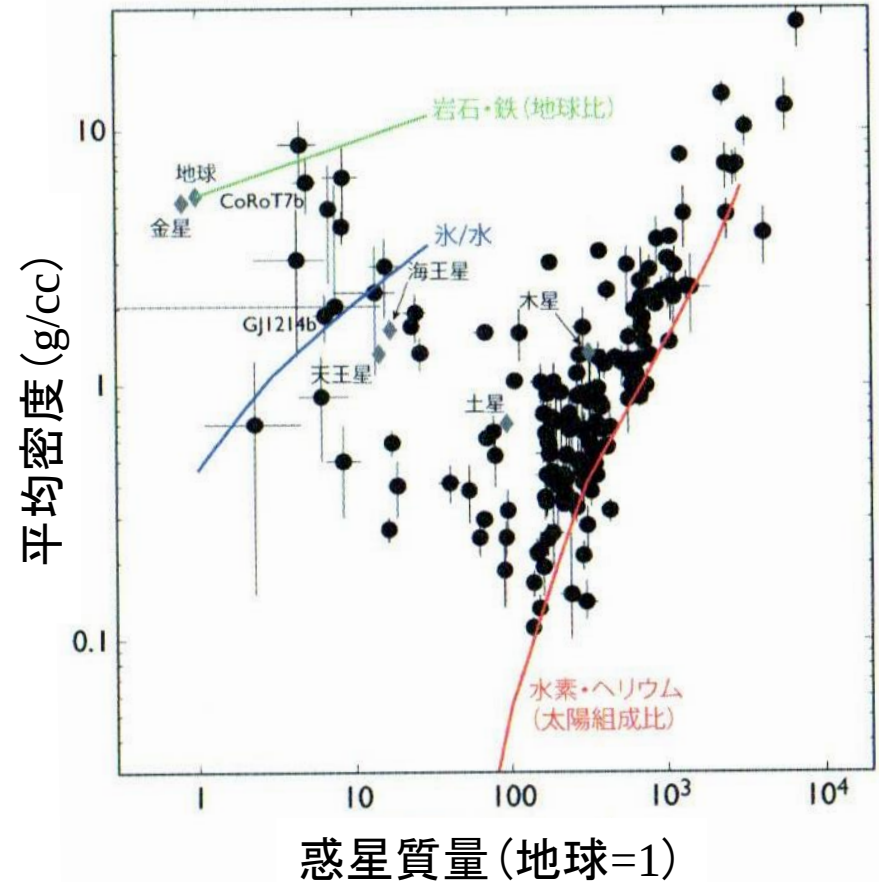
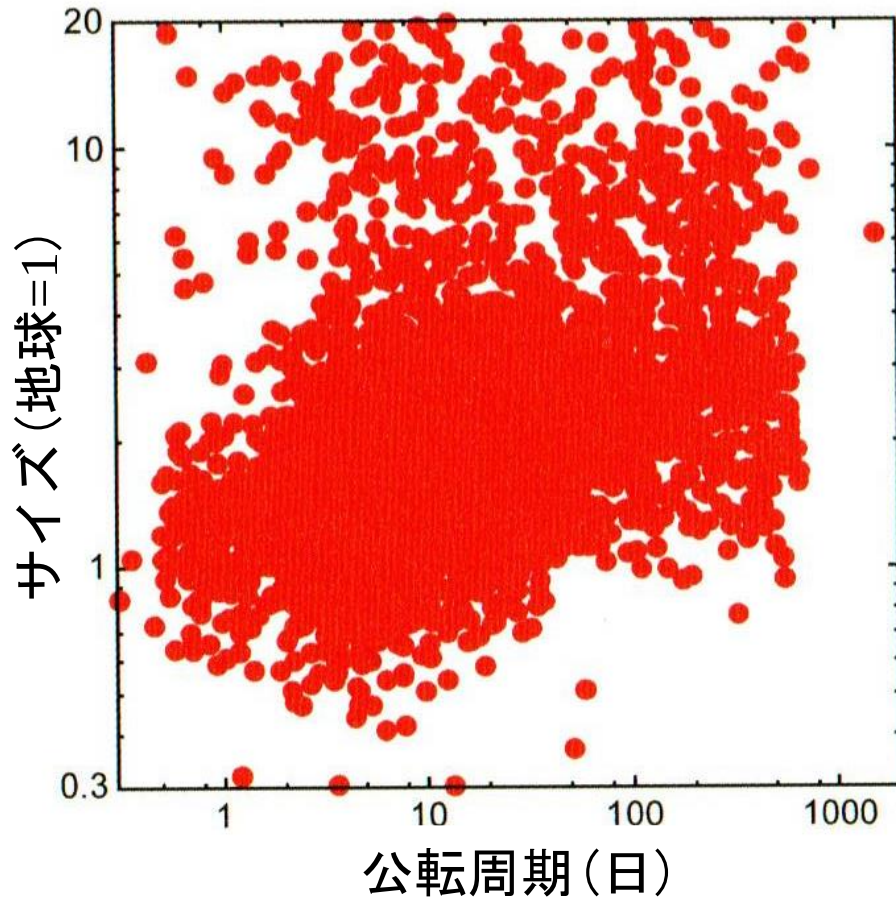
(<https://www.kakioka-jma.go.jp/kr>)

(<https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA18613>)



スーパーアース(地球より大きい惑星)

地球の1~10倍程度の質量・地球の1~4倍程度の半径



スーパーアースから分かること

Q.惑星って太陽系だけにあるの？

A.惑星は宇宙にたくさんあるようだ

Q.惑星の性質は公転半径だけで決まるの？

A.他のメカニズムも働いてそうだ

Q.惑星が動くって現実にあるの？

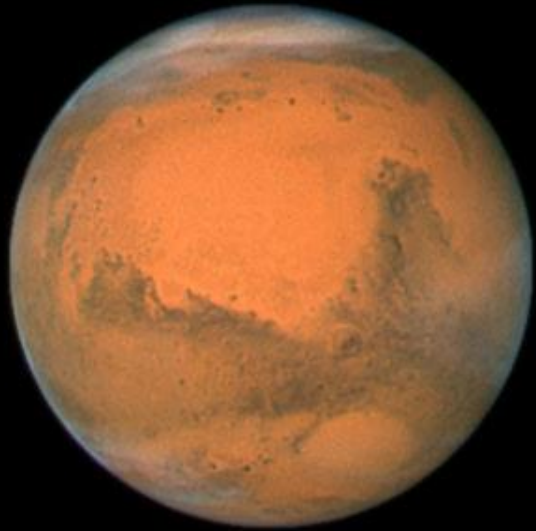
A.あり得るかもしれない惑星が見つかった

太陽系以外の比較対象ができる



太陽系の普遍性・特殊性が議論できる

地球型生命以外の生命の可能性



(<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/mars.html>)

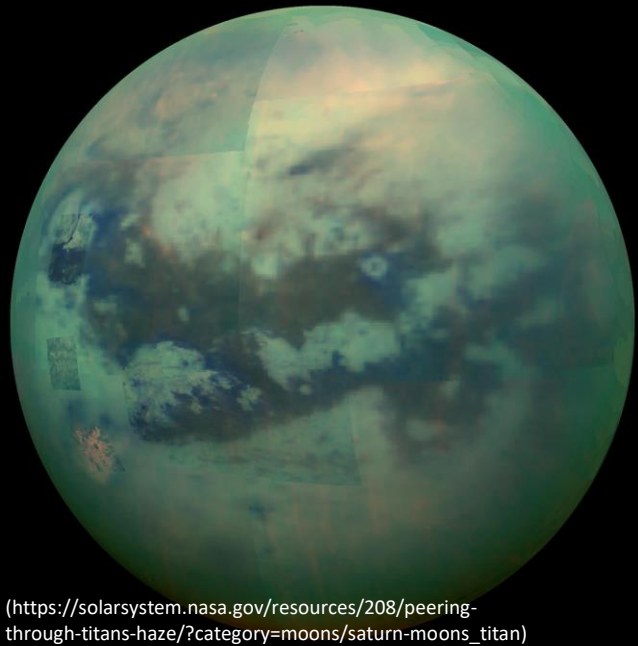


海部ら, (2015)



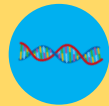
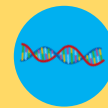
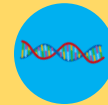
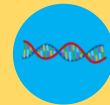
0.5 μm

福森&田岡, (2013)



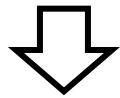
(https://solarsystem.nasa.gov/resources/208/peering-through-titans-haze/?category=moons/saturn-moons_titan)

メタン・エタン湖



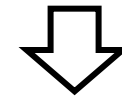
地球以外の生命から分かること

地球の生命と同起源



- 生命が惑星間伝播する条件は?
- いつ伝播した?
- 太陽系環境の形成への影響は?

地球の生命と別起源



- 地球型生命は特殊?
- 生命の誕生は多様?
- “全”生物に共通する特徴は?

“生命”の定義に関する普遍的な議論が可能

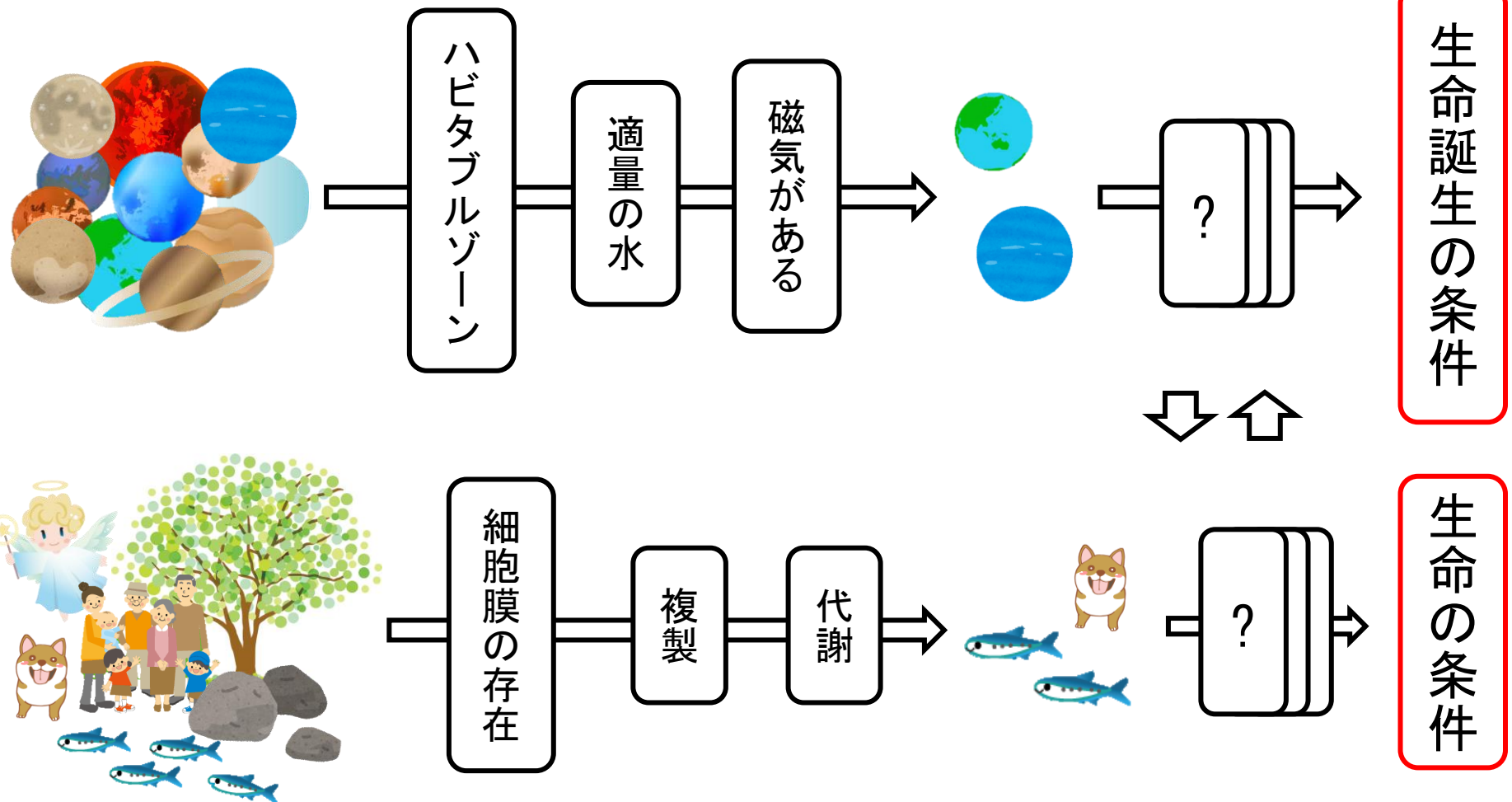
地球以外の生命のまとめ

- ハビタブルゾーンは生命の指標の1つ
- 生命誕生の条件はこれまで考えられていたよりも複雑
- 太古の地球やその進化の理解には宇宙の理解が不可欠
- 宇宙の成り立ちを理解することで太陽系や地球型生命の特殊性を議論できる



生命を宇宙で考える意義

生命とは、人間とは何かという問いの答えは宇宙にしかない



意義をみんなで考える(個別例)

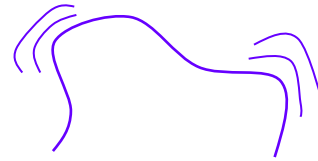
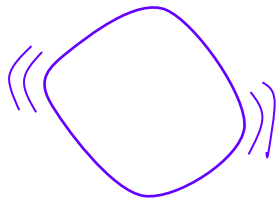
ここからはみんなで作った
スライドだクマ

ご協力ありがとうございました

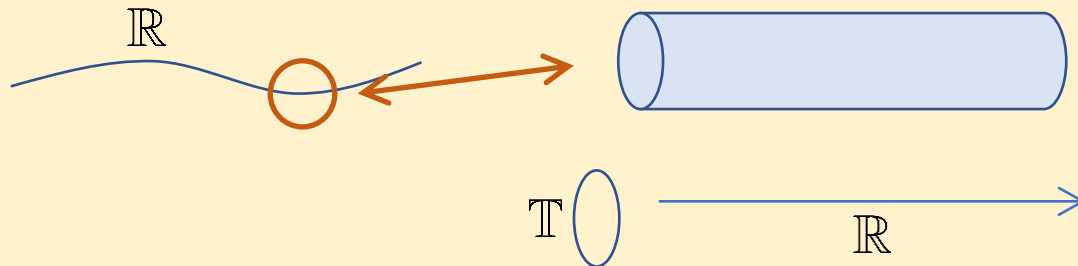


超弦理論

素粒子を点粒子ではなく 10次元の振動するミクロな弦（固定端を持つ開弦や閉弦）で記述する理論



4次元時空に見えるのは、残りの6次元空間が余剰次元として小さく丸め込まれている（コンパクト化）ためとされている



2次元から1次元へのコンパクト化の一例：

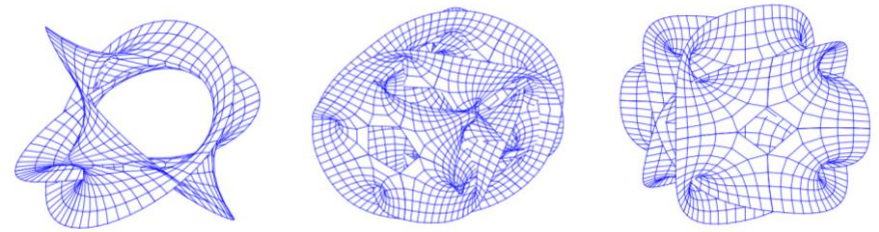
$$\mathbb{T} \times \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}$$

パラメータ決定性

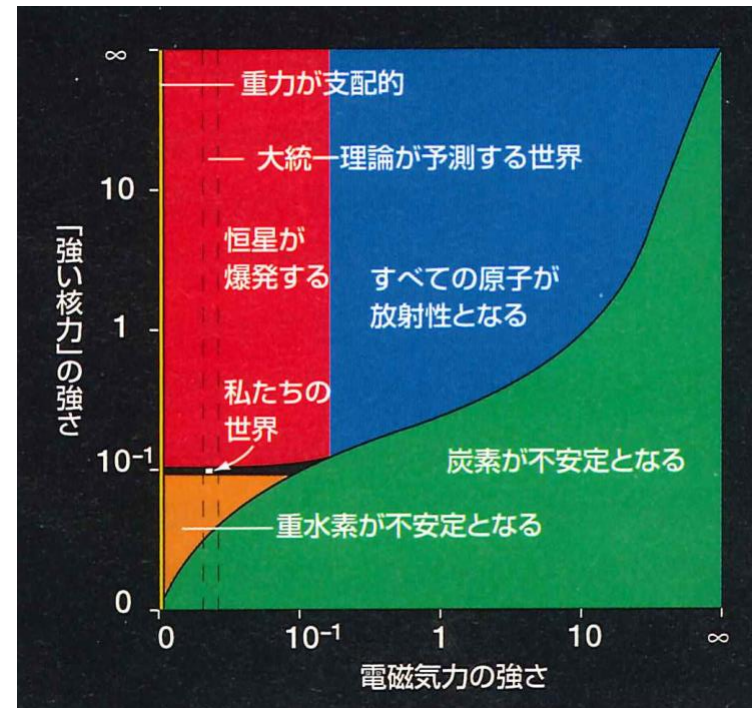
余剰次元の幾何（穴・特異点）・大きさは物理法則のパラメータが決める可能性が指摘されている

余剰次元の幾何・サイズ
⇔ 物理法則 ⇔ 宇宙

この宇宙の余剰次元を調べることで、生命存在可能な余剰次元の幾何・サイズを制約できる？



余剰次元の幾何の一例（CY-3）



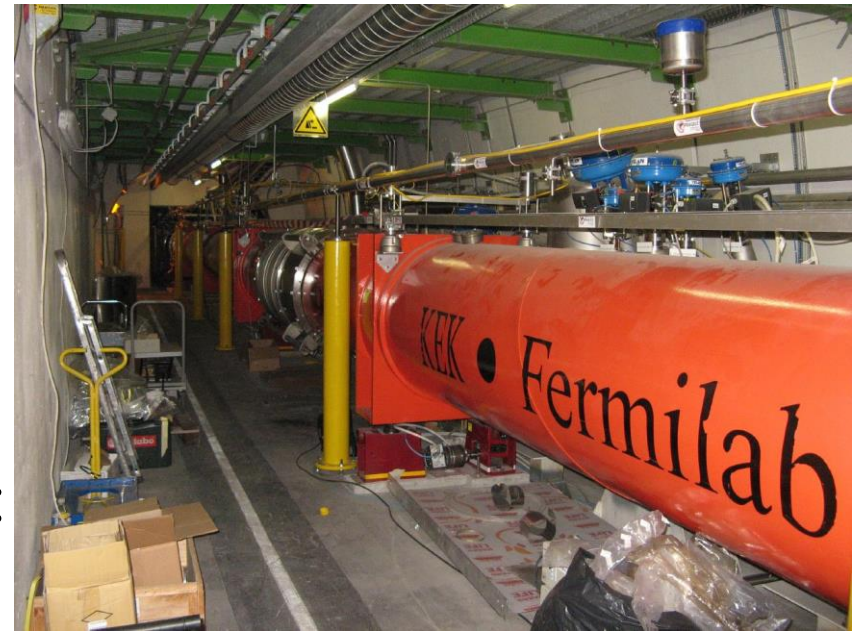
生命存在可能なパラメータ範囲

余剰次元を検証する

重力子は閉じた弦に対応するため、4次元時空に束縛されない
→ 余剰次元の長さスケールでは余剰次元の幾何・サイズを反映する

素粒子スケールの重力相互作用として、現状、マイクロBHの生成・崩壊過程が有力

- 反応距離スケールの典型値：
余剰次元の長さスケール
- 反応距離スケールのばらつき：
余剰次元の幾何



LHCビームポイント電磁石
(Wikimedia)

一般に恒星には寿命が存在する

- 恒星は自身が持つH,Heガスの量によって示す性質が異なる
- 宇宙の年齢を遥かに超える寿命の矮星から、十万年単位の寿命しか持たない恒星まで多様

星の質量 [太陽質量]	寿命 [年]
100	2.7×10^6
50	5.9×10^6
10	2.6×10^7
5	1.0×10^8
2	1.3×10^9
1	1.0×10^{10}
0,7	4.9×10^{10}
0,5	1.7×10^{11}

生命の誕生・進化には時間が必要

- 地球誕生が**46**億年前に対し海洋の発生は**40**億年前
- 生命の誕生は現在**37～38**億年前に遡る
- 真核生物の発生は**27～21**億年前、多細胞生物の発生が**10**億年前



生命が醸され発展するにはある程度（数億年オーダー）の時間が必要

生命の発生には一定の期間安定する恒星が必要

- 惑星で生命が誕生・進化するには地球の場合は十数億年の時間が必要であった
- 地球型生命が誕生する為には惑星がハビタブルゾーンに位置していたとしても、そこにエネルギーを与える恒星が長期間存続する必要がある
- 生命の発生には、恒星が太陽と同等以上の寿命を持つ必要があり、恒星の持ちうる質量条件は自然に絞られる

金星はなぜ地球とはこんなにも違うのか

- 金星の質量は地球の0.8倍、半径は0.95倍と地球とほぼ同じ



だけど...

- 金星は平均気温400度で圧力は地球の約90倍にもなる

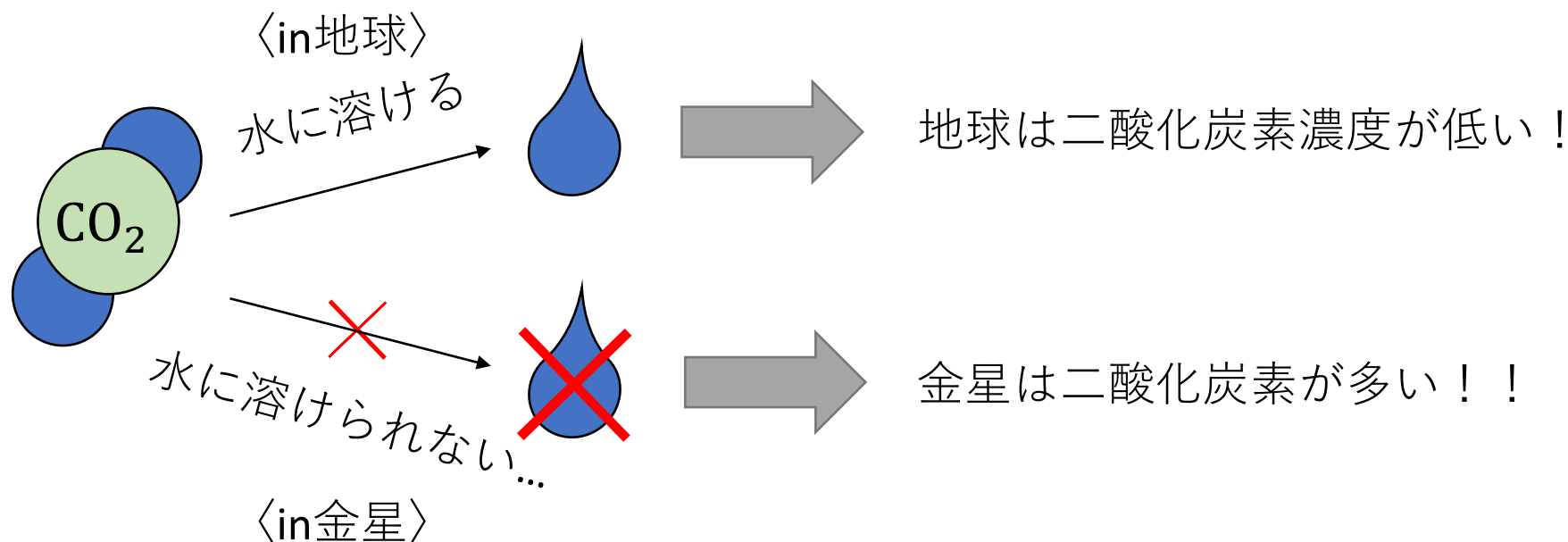


なんで！？

- 原因：二酸化炭素による温室効果

金星はなぜ地球とはこんなにも違うのか

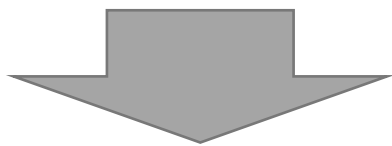
ではなんで、金星の大気には二酸化炭素が多いのか？



金星には水がほとんどなくCO₂が溶けられないから！

金星はなぜ地球とはこんなにも違うのか

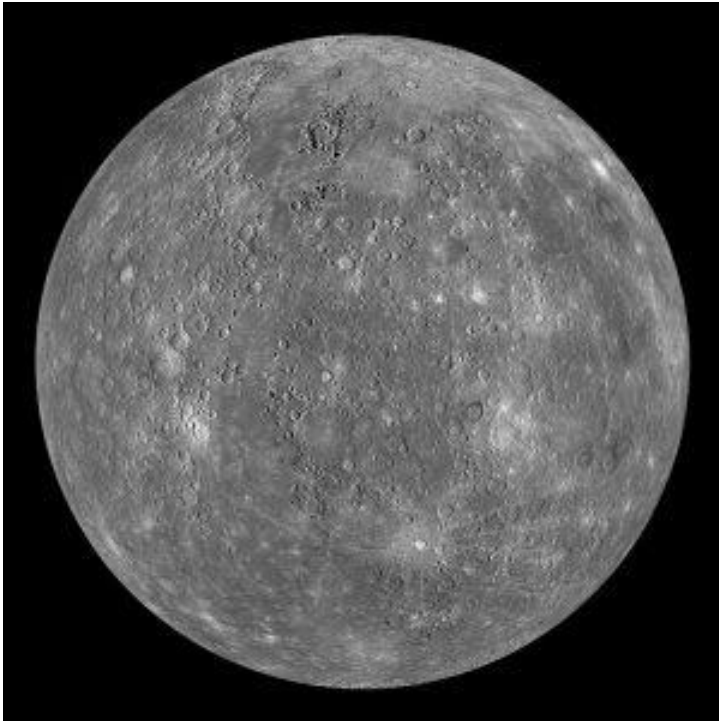
- 二酸化炭素が多いととても過酷な状況になる
- 二酸化炭素が多いのは溶媒としての水が存在しないからである



- 化学反応の場・疎水性相互作用以外の観点からも

やはり生命には水が必要な可能性が高い！

水星

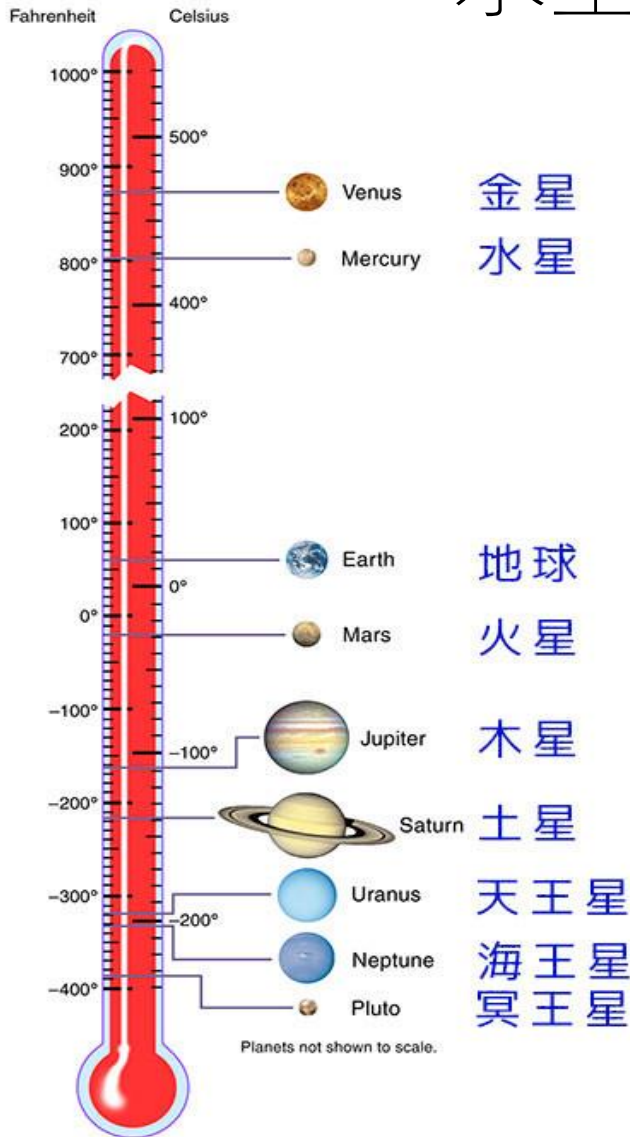


(<https://uchutankentai.com/2016/12/19/>)

- ・“水”のない惑星...水星
- ・生命のいる可能性がとても低いと
言われている

水がないと言ってもなぜ可能性が低いのだろうか

水星の生命の可能性



- 太陽に近いからとことん熱くなる
- 昼夜の気温差が600°C
- 水が存在しても凍結と蒸発を繰り返すだけ

生命必須の同類項

適切かつ安定した気温が必要！

最悪、

灼熱だけなら...



適応できる可能性はあるが

2つともに適応となると困難...

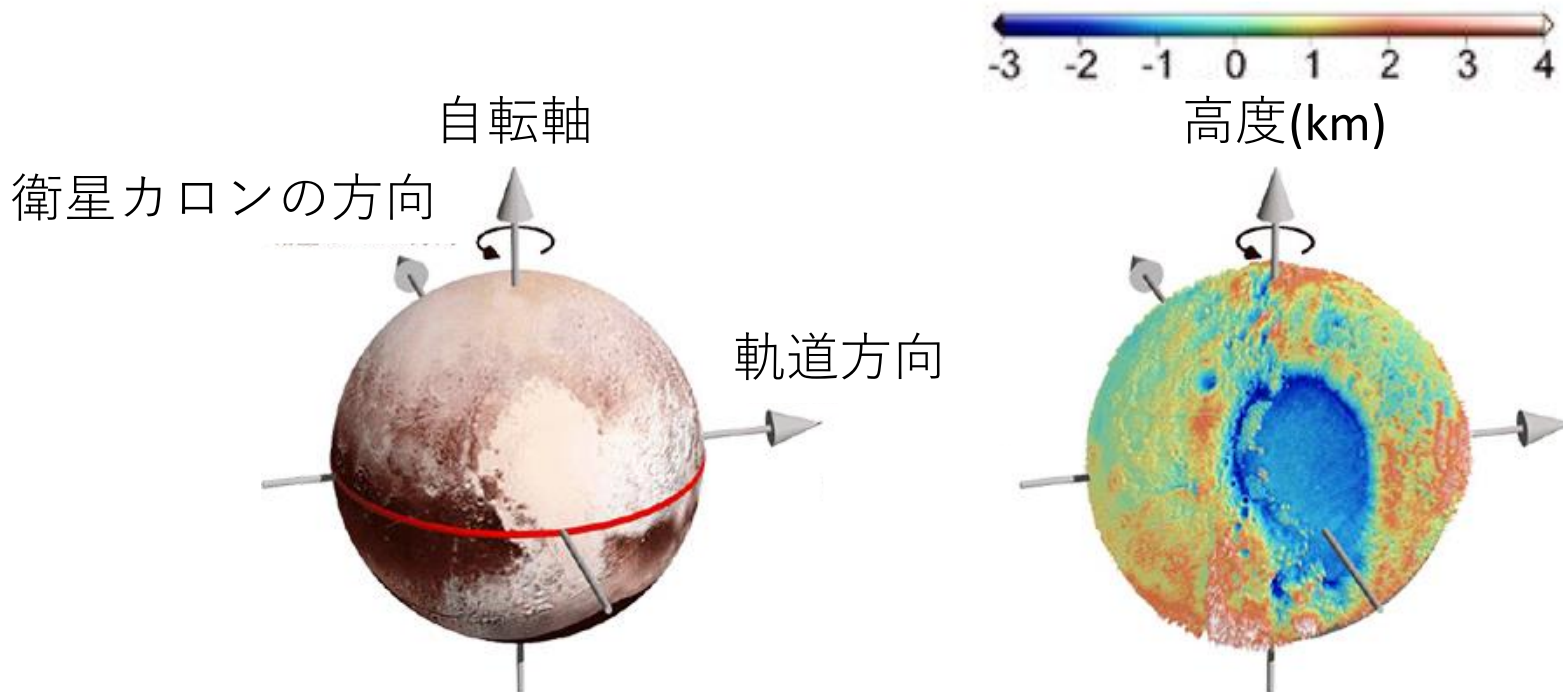
極寒だけなら...



冥王星での液体の水の存在

- 冥王星
 - 表面温度 -220°C （極寒環境）
 - 赤道付近に盆地が存在する

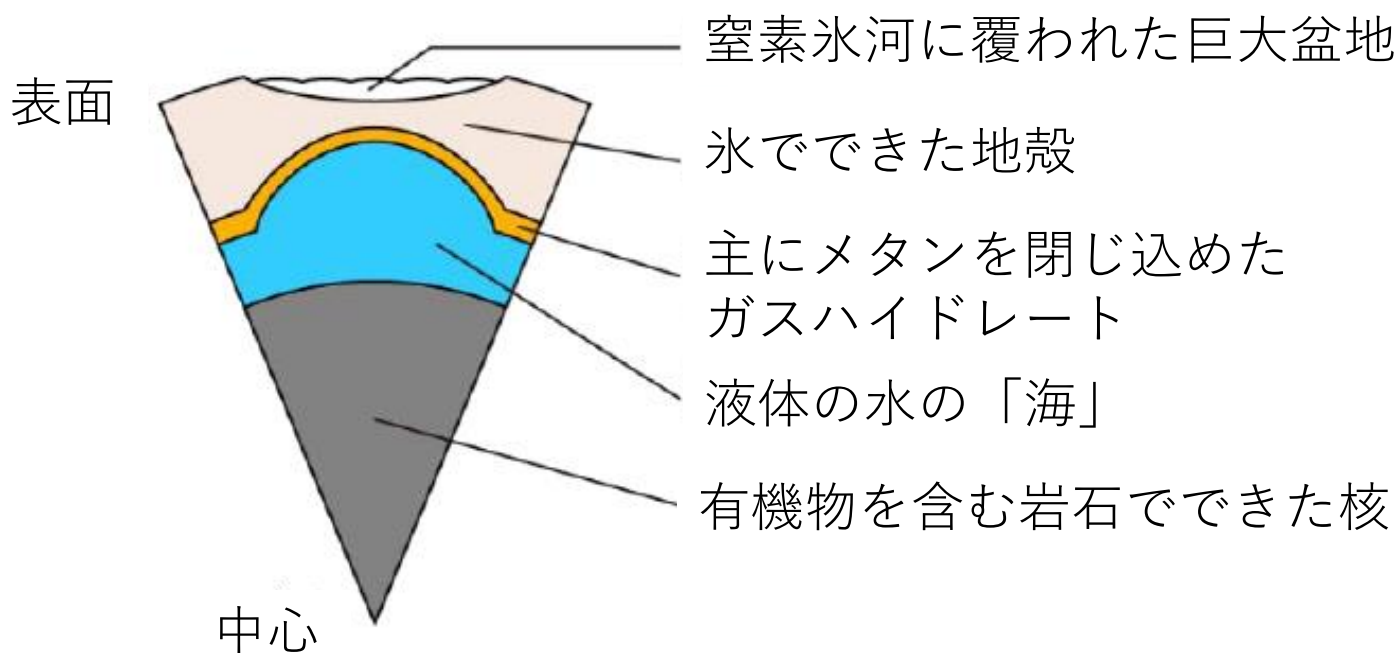
盆地が存在するためにはその地下に厚い内部海が存在する必要がある



冥王星での液体の水の存在

メタンを主成分としたガスハイドレート層が存在すると
現在まで内部海が存在できるということを説明できると判明した

このモデルにより冥王星の大気組成についても説明が可能であり
大気組成に内部海の存在が表れる可能性が示された

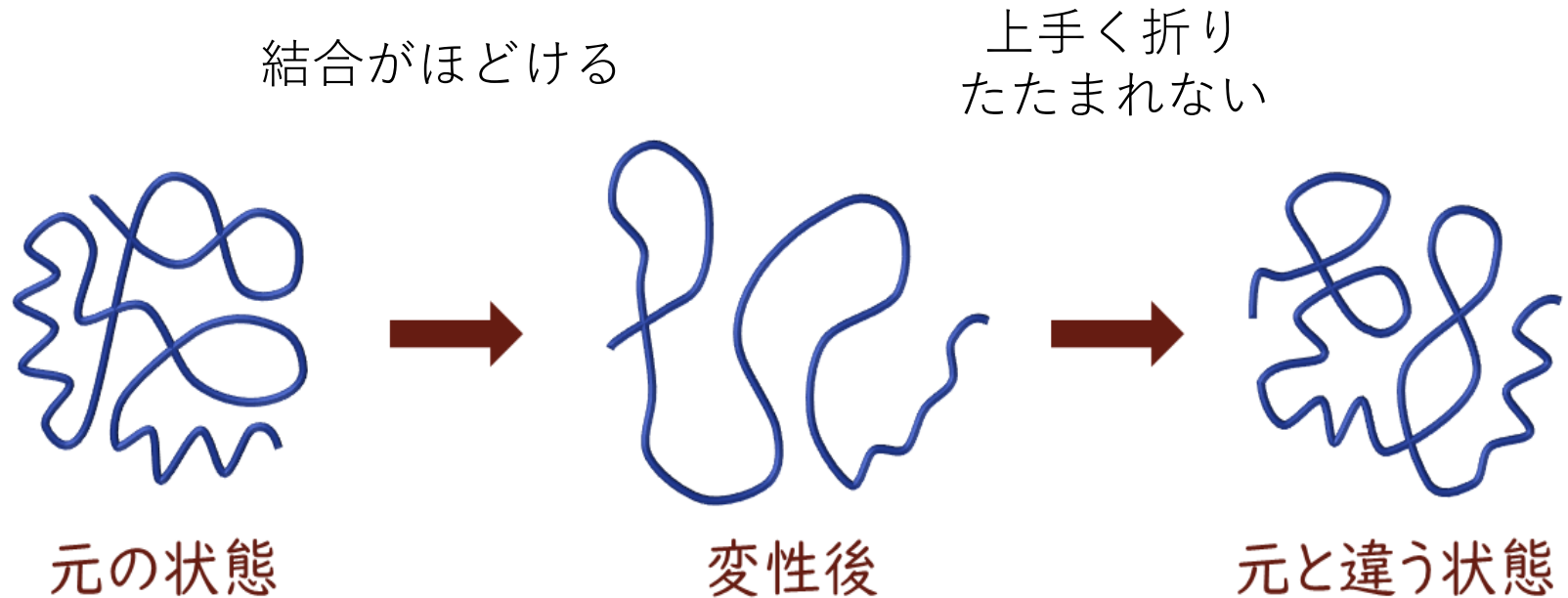


冥王星での液体の水の存在

内部海の長期維持メカニズムについての新たな説であり
想定より多くの氷天体で内部海が存在するという可能性が
示された

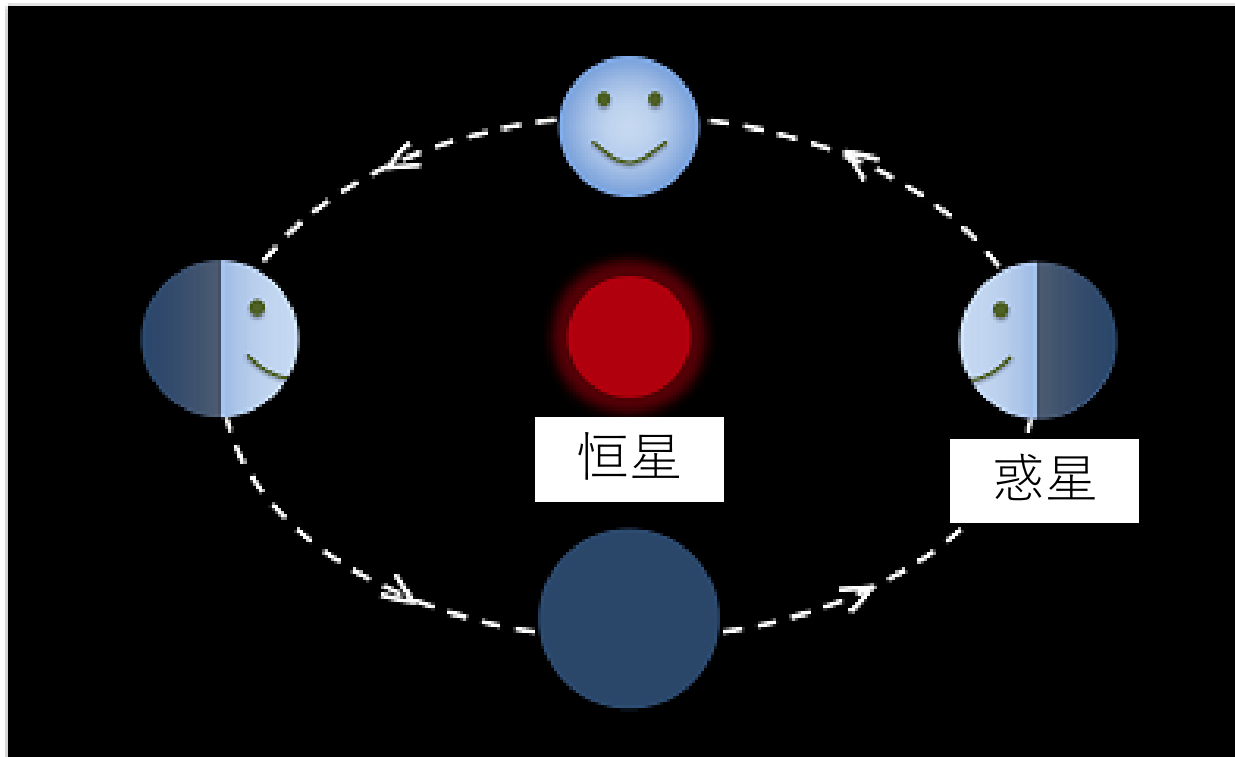
想定より多くの氷天体で水が存在する可能性があるため
生命が存在しうる天体の数が多くなるかもしれない

生存に適した温度帯≡タンパク質が変性しない温度帯



タンパク質の変性

同期自転は困る！



太陽放射を浴び続ける面
は暑すぎ

太陽放射に当たらない面
は寒すぎ

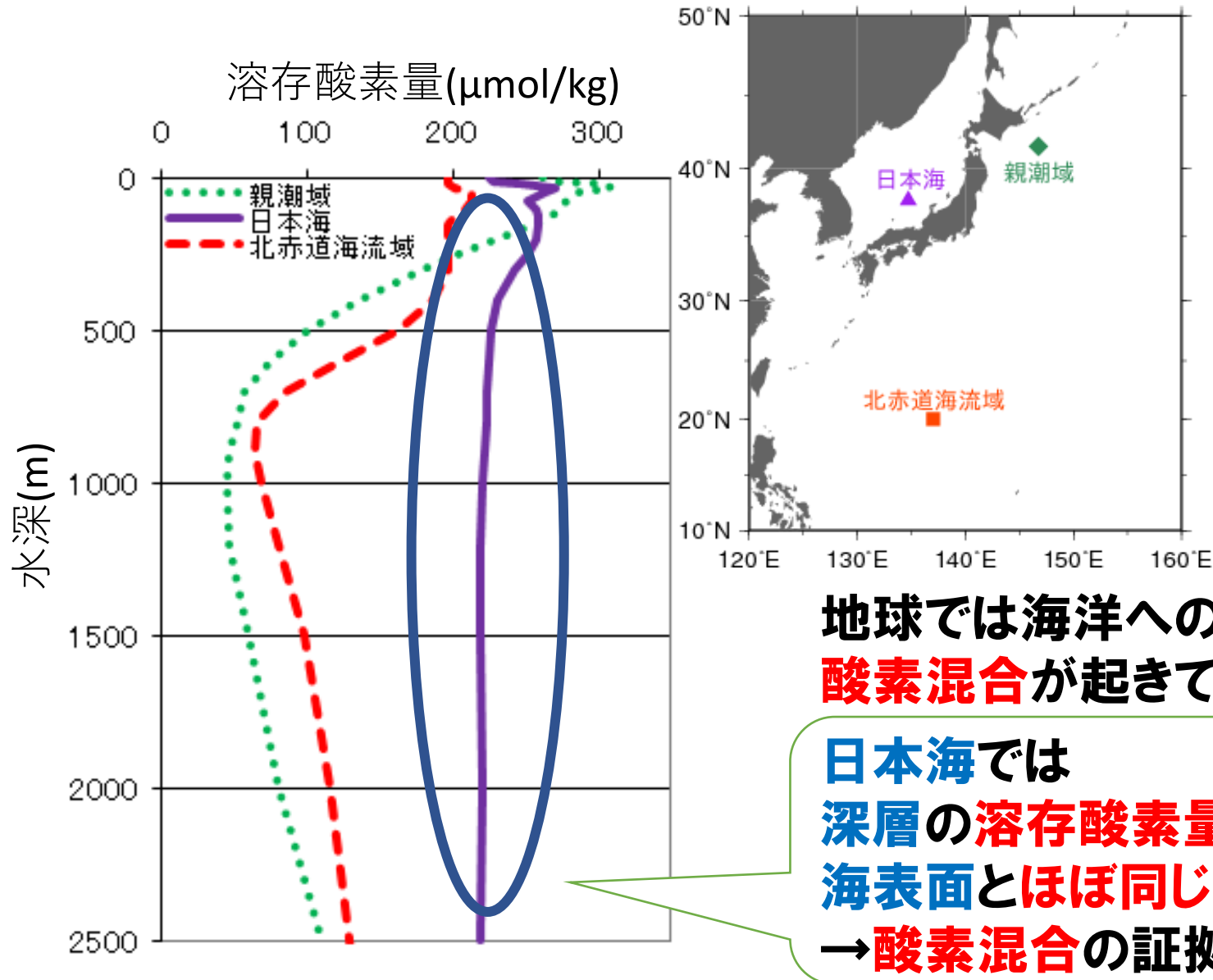
生命が存在する為の条件として…

自転が“**非**”同期であること が挙げられるかも

疑問点

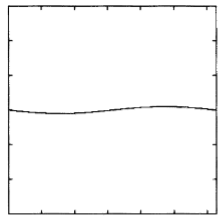
- ・ 同期自転でも“昼”と“夜”の境界は適温かも
- ・ 自転が同期するか否かの物理学的な理屈は知らん
- ・ 地球上の高温・低温環境に生物いるじゃないか
- ・ 生命誕生のシナリオでも極限環境からよく始まるじゃん

大気中酸素の海洋への溶存

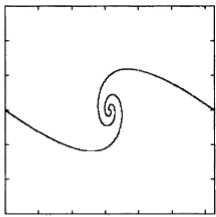


なぜ酸素混合が起こるか

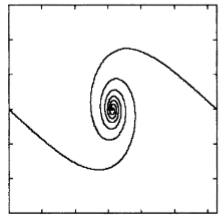
混合は**非線形性**のプロセスで
不安定になると起こる！



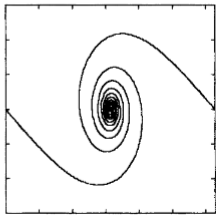
(a)



(b)



(c)



(d)

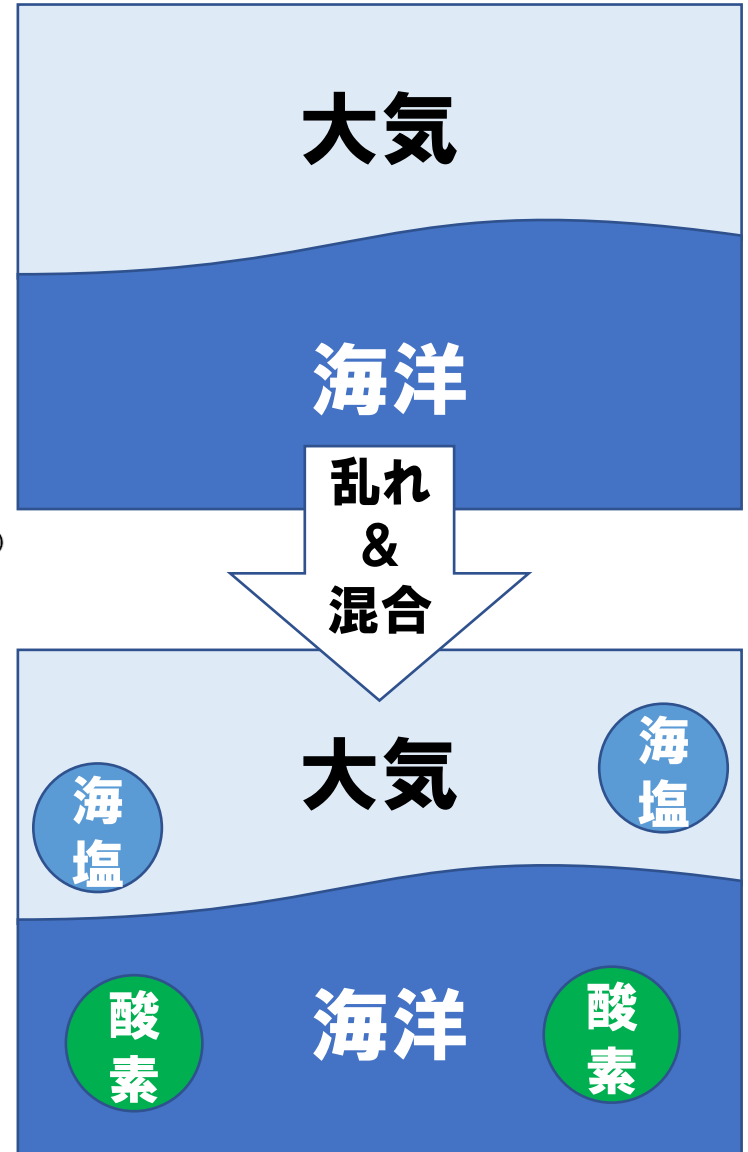
非線形性

$$\frac{\partial Z(\xi, t)}{\partial t} = \frac{1}{2\pi i} \text{pv} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Gamma_{\xi}(\xi')}{Z(\xi, t) - Z(\xi', t)} d\xi' \quad (3.50)$$

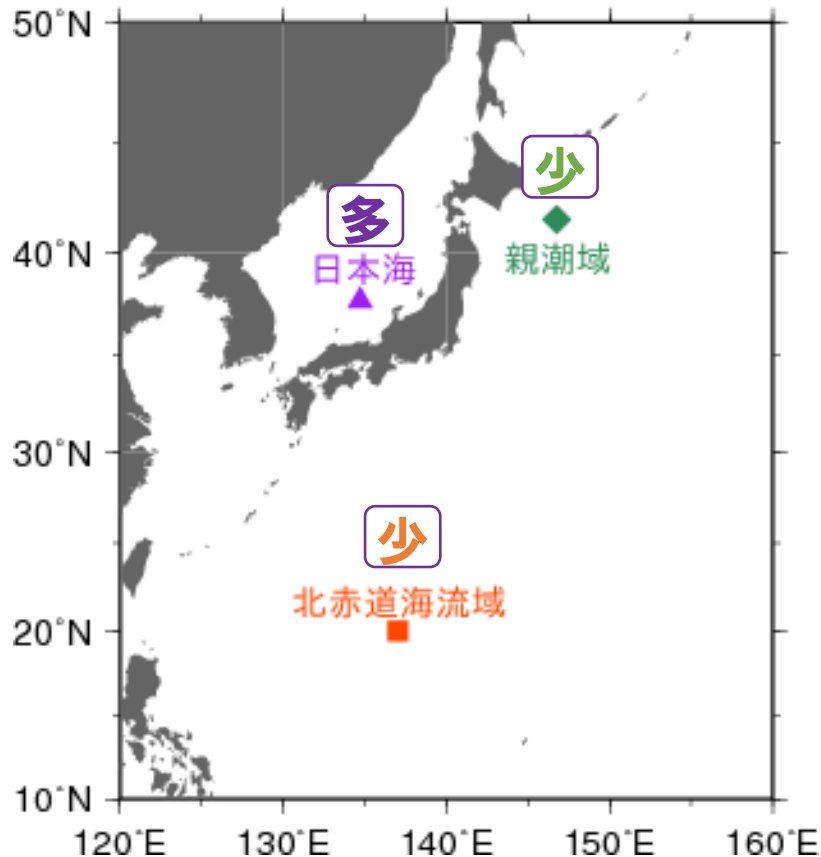
Birkhoff-Rott方程式と
数値計算モデル (左図)
(非線形方程式の例)

福本康秀(2005)

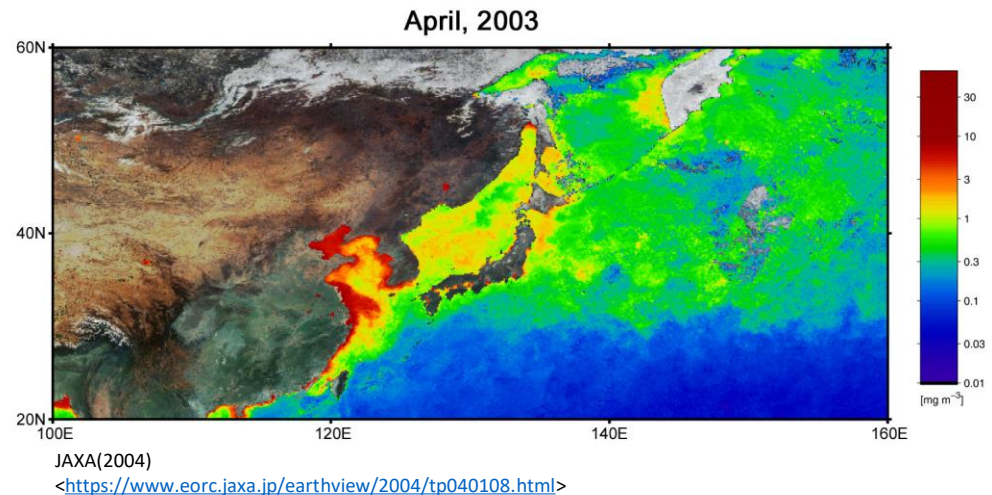
乱れ・混合



溶存酸素により生物が生存する！

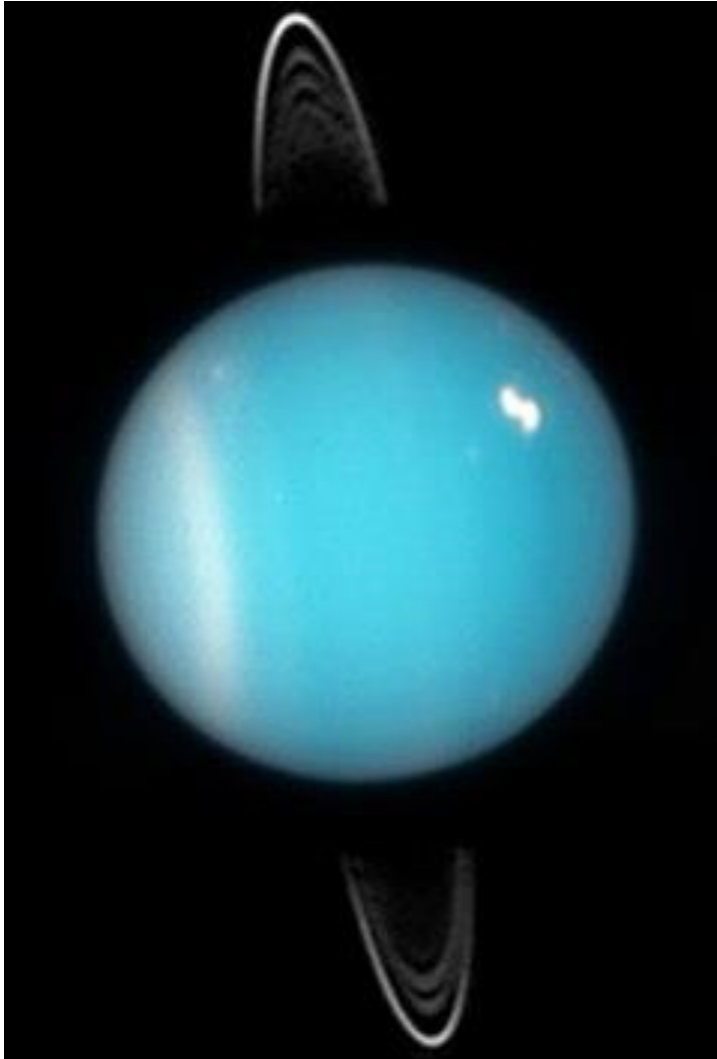


溶存酸素量が多い領域では
生物が多い



『**非線形性**』が生命の活動範囲を
広げているのではないだろうか？

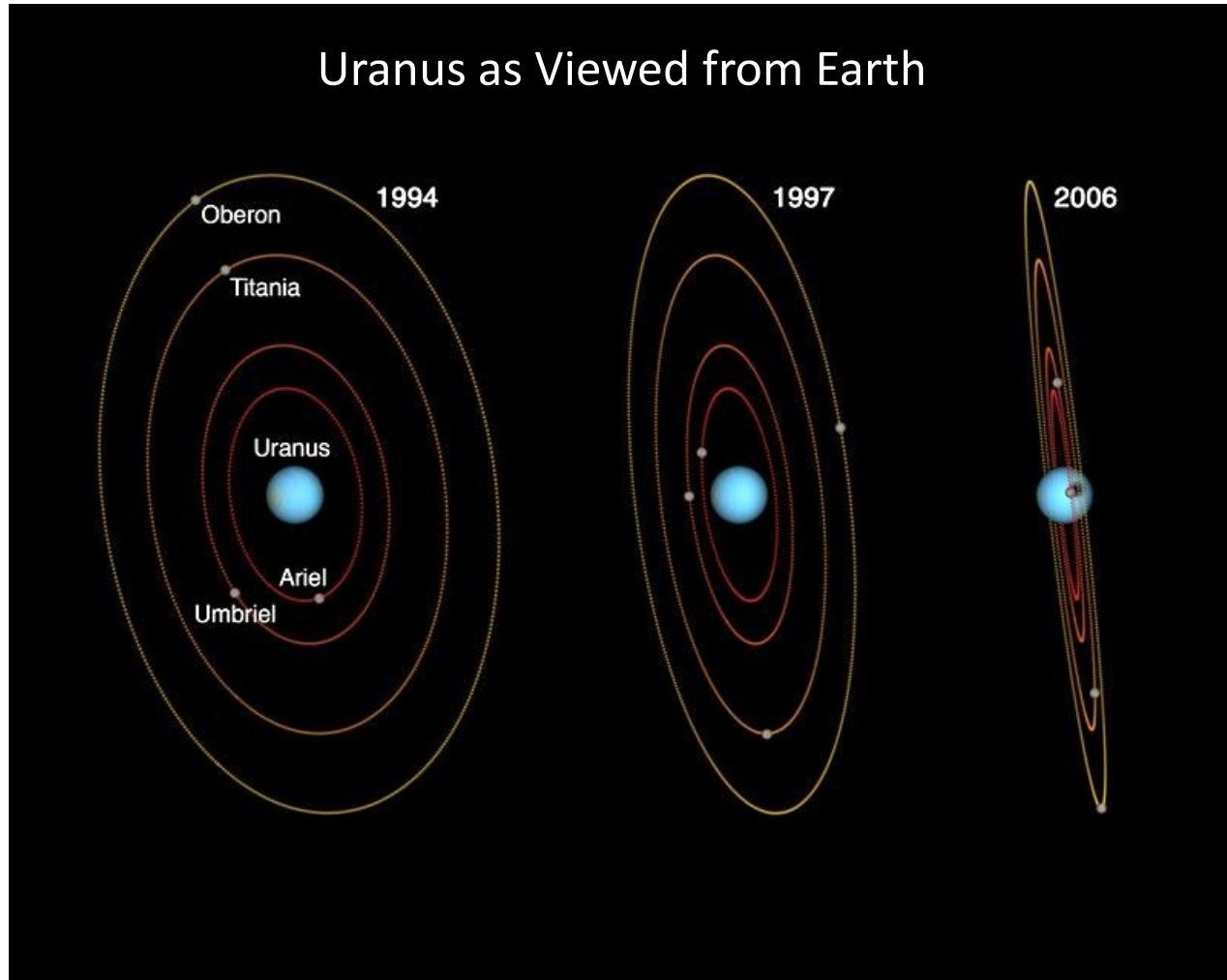
天王星の自転軸の傾き



- 天王星の自転軸は約98度傾いており、公転周期が約84年なので極点では約42年間昼または夜が続くということになる。

自転軸の傾きの理由

- 一度の天体衝突では衛星の軌道も変化するまでには至らないというシュミレーションの結果から、巨大な二回の連続する天体衝突で横倒しになったとされている。



生命の存在と自転軸の傾き

自転軸が大幅に傾いているとハビタブルゾーン内であっても
全球凍結する可能性がある。

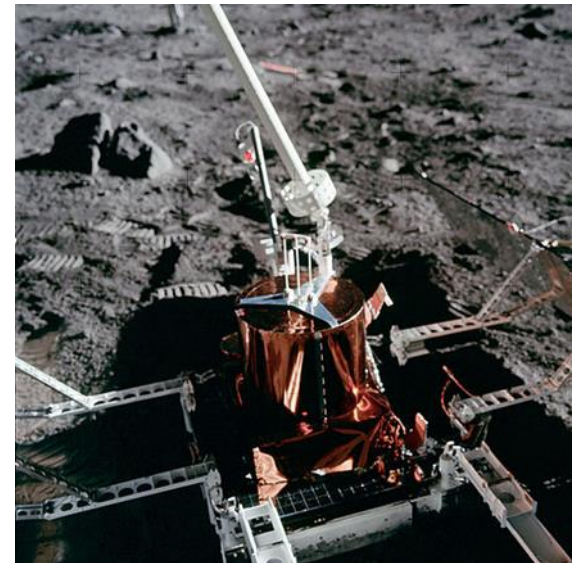


**生命の存在する条件には、自転軸の傾きが傾きすぎない条件
も必要かもしれない。**

月震

- ・ 月震－月の地震
- ・ アポロ11号による月震計の設置で地殻変動を発見
- ・ その後のアポロ計画でも観測が継続
- ・ 通算8年10か月、12558回の地震を観測
- ・ 現在のところ月震の観測データはアポロ計画によるもののみ

アポロ11号が設置した月震計→

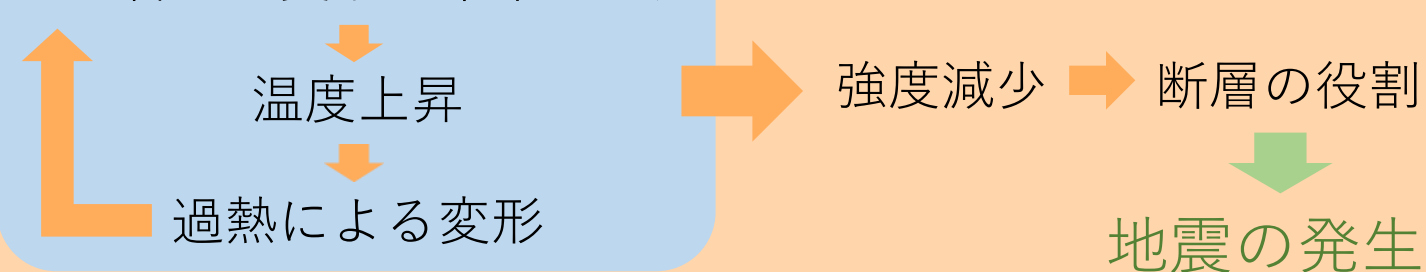


月震の分類と仕組み

- ・ 分類：隕石衝突/熱月震/人口月震/浅発月震/深発地震
- ・ 深発月震－深さ800～1100kmで起こっていると推定される月震
観測された12558回のうち3145回が分類される
- ・ 仕組み：地球での深発地震発生メカニズムを引用
→月には沈み込みプロセスが存在しない
→断熱不安定によるモデルならできそう

断熱不安定による深発地震の発生メカニズム

ある岩石に変形が集中し加熱



月の深発地震から考えられること

特徴 1：断熱変形の発生

>水が存在すれば比較的低温で起こせる

特徴 2：変形の局所化

>水が存在する領域は周囲より岩石の強度が下がる

特徴 3：頻度や規模の変動が月の公転周期や秤動の周期に依存

→地球や太陽からの潮汐に起因？

>潮汐による変形速度は水が存在すれば大きくなる

→全て内部に水の存在を仮定することで説明可能

→深発地震とその傾向の観測によって水の存在を期待

→生命の発見につながる！

★ ^{こう せい} トラピスト-1という恒星が見つかったよ！

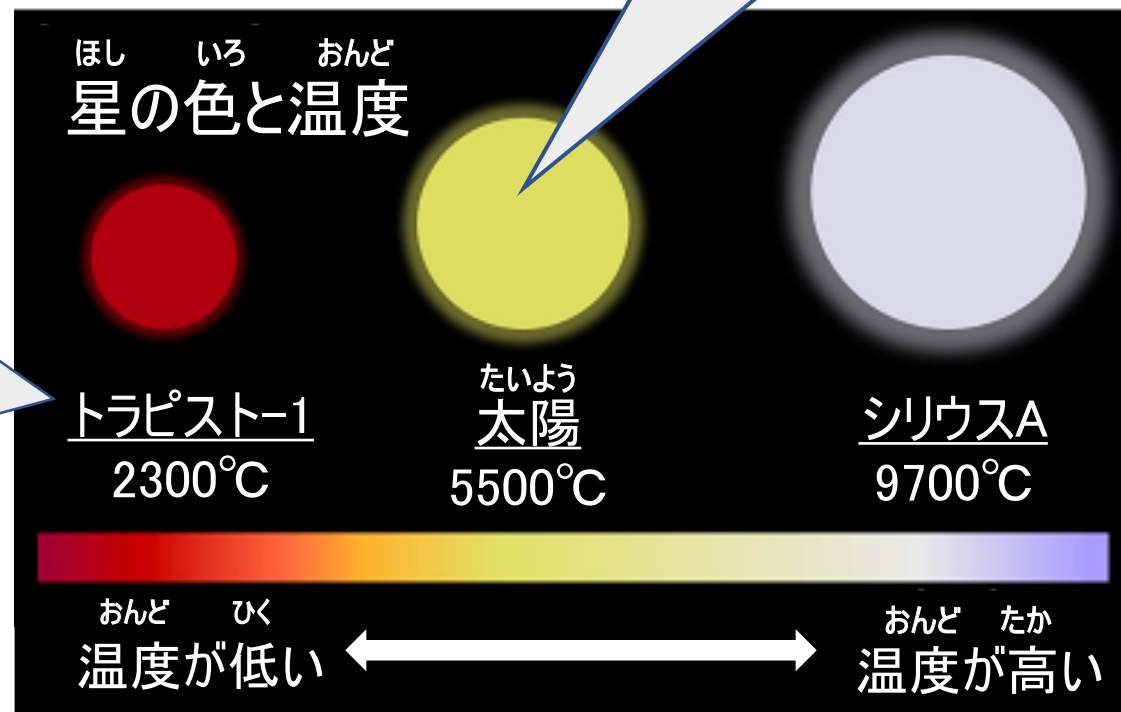
★ ^{たいよう けい} 太陽系みたいに ^{わく せい} トラピスト-1は惑星を持っているよ！

★ ^{たいよう} でも、太陽とちがって ^{あか いろ ほし} トラピスト-1は赤い色の星なんだ！

^{たいよう きいろ ほし}
太陽は黄色い星だよ

トラピスト-1は
^{せきしよくきよせい}
赤色矮星っていう
^{なまえ ほし}
名前の星なんだ

^{たいよう おんど}
太陽より温度が
^{ひく くら}
低くて暗いよ

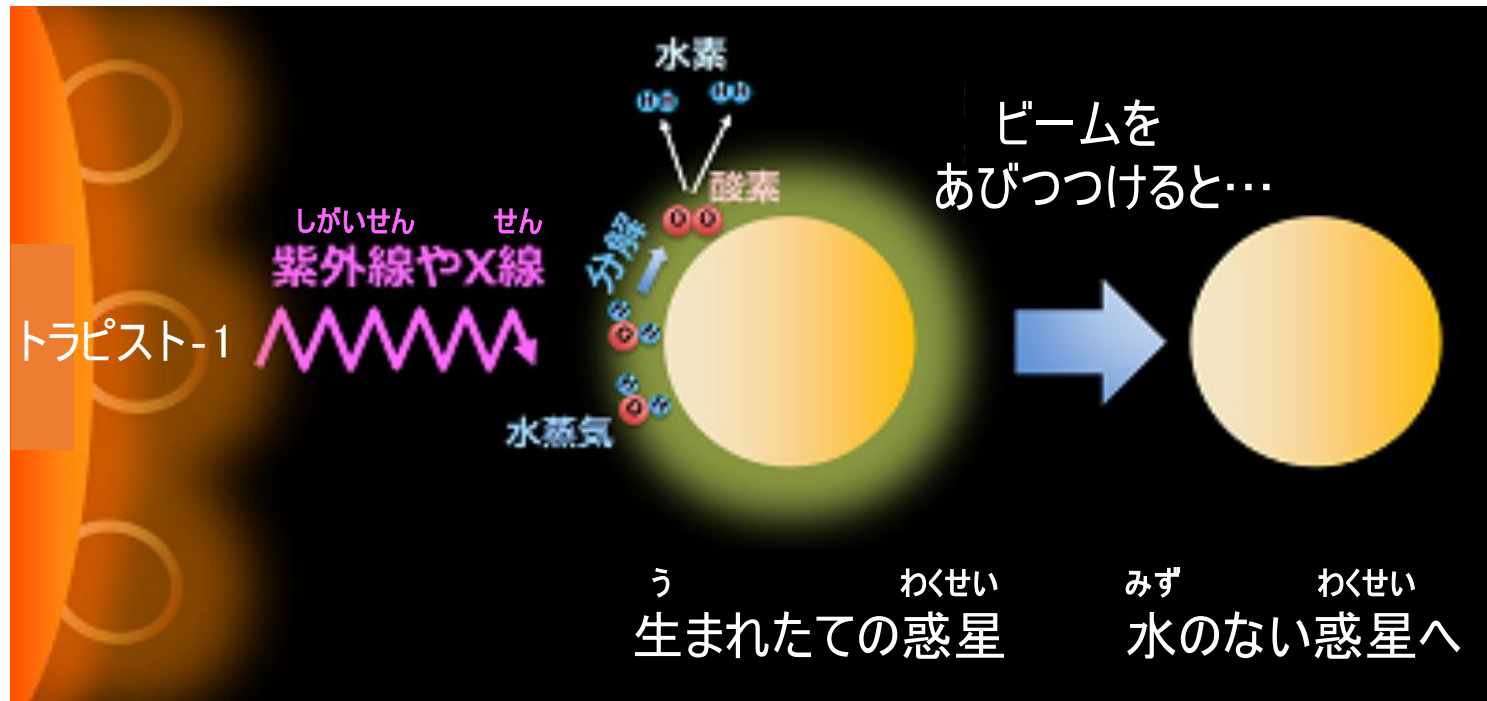


あか ほし わく せい 赤い星のまわりの惑星はどうなるの？

せきしょくわいせい ほか ほし げんき じかん なが
★赤色矮星は他の星より元気な時間が長い！

ほし げんき わくせい みず で
★星が元気だと、惑星の水をふきとばすビームが出る！

わくせい みず な
★ビームをあびすぎると惑星から水が無くなっちゃう…



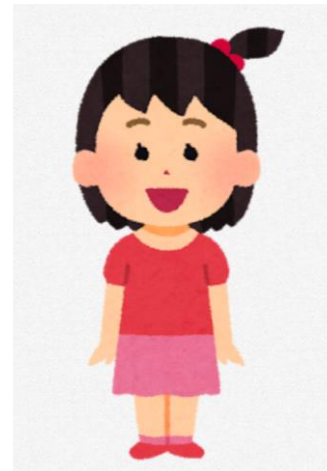
あたら せい めい じょう けん 新しい生命の条件になるかも？

★ せいめい み うちゅう えきたい みず み
★生命を見つけるために宇宙でも液体の水を見つけたい！

えきたい みず
液体の水はどこにあるんだろう？

★ わくせい えきたい みず
★トランプスト-1の惑星には液体の水があるかもしれない！

えきたい みず ほし いろ か
★液体の水のありかは星の色でも変わるかもしれないね！！



コメント

- 一部の資料はスライドの縦横比の変化に合わせて修正したクマ
- 縦横比は[デザイン]の[ユーザー設定]にある[スライドのサイズ]で[標準]に変更すると良いクマ
- [ワイド]だとスライドの端が画面から切れて、卒論発表会とかで自分だけ地獄を見るクマ



參考資料

- Kevin J. Walsh, Alessandro Morbidelli, Sean N. Raymond, David P. O'Brien & Avi M. Mandell (2011) A low mass for Mars from Jupiter's early gas-driven migration *Nature* Vol 475, 206-209
- Matthew S. Dodd, Domonic Papineau, Tor Grenne, John F. Slack, Martin Rittner, Franco Pirajno, Jonathan O'Neil & Crispin T. S. Little (2017) Evidence for early life in earth's oldest hydrothermal vent precipitates *Nature* Vol 543, 60-64
- Simon A. Wilde, John W. Valley, William H. Peck & Colin M. Graham (2001) Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago *Nature* Vol 409 175-178
- J. Mayo Greenberg & Aigen Li (1998) Evolution of Interstellar Dust and its Relevance to Life's Origin Laboratory and Space Experiments *Biological Science in Space* Vol 12 No.2 96-101
- Armen Y. Mulkidjanian, Andrew Yu. Bychkov, Daria V. Dibrova, Michael Y. Galperin & Eugene V. Koonin (2012) Origin of first cells at terrestrial, anoxic geothermal fields *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 821-830
- Elizabeth A. Bell, Patrick Boehnke, T. Mark Harrison & Wendy L. Mao (2015) Potentially biogenic carbon preserved in a 4.1 billion-year-old zircon *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*

参考資料

J. Kissel & F. R. Krueger (1987) The organic component in dust from comet Halley as measured by the PUMA mass spectrometer on board Vega 1 *Nature* Vol 326 755-760

Carl R. Woese, Otto Kandler & Mark L. Wheelis (1990) Towards a natural system of organisms : Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol 87 4576-4579

小倉康 (2008) PISAの調査項目を用いた日本の中学3年生と高校1年生の科学への態度の比較 科学教育研究 32(4) 330-339

赤沼哲史 (2016) ゲノム配列の比較から明らかになった初期生命の好熱性 地球化学 50 199-210

福森義宏, 田岡東 (2014) 磁性細菌オルガネラ「マグネトソーム」の構造機能 相関の解明 生物物理 54(1) 11-14

小林憲正, 遠西寿子, 坪井大樹, 酒井貴博, 金子竹男, 吉田聡, 高野淑識, 高橋淳一 (2008) 星間での複雑有機物の生成と変成 : 生命の素材は宇宙でつくられた 低温科学 66 39-46

玄田英典, 生駒大洋 (2008) 地球の海の起源 ~現状整理とDHの初期進化~ 日本惑星科学会誌 Vol 17 238-243

参考資料

浦和茂彦 (2015) 日本系サケの海洋における分布と回遊 水研センター研報 39
9-19

長沼祥太郎 (2015) 理科離れの動向に関する一考察 ―実態及び原因に焦点を
当てて― 科学教育研究 39(2) 114-123

内閣府 (2008) 科学技術と社会に関する世論調査

https://survey.gov-online.go.jp/h19/h19-kagaku/3_chosahyo.html

海部宣男, 星元紀, 丸山茂徳[編] 阿部豊, 生駒大洋, 磯崎行雄, 井田茂, 伊藤隆,
大石雅寿, 大島泰郎, 大森聡一, 木村敦, 玄田英典, 小林憲正, 佐々木晶, 芝井
広, 須藤靖, 田近英一, 田村元秀, 長沼毅, 長谷川真理子, 山岸明彦, 山下雅道
(2015) 一般財団法人 東京大学出版会

質問対応(一部)

Q. 理科離れの実態はPISA等調査結果の経年変化で把握できるのでは?

A. 長沼祥太郎 (2015) https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssej/39/2/39_114/pdf を参照

同学年における経年変化では必ずしも理科離れの傾向はみられないが
学年が進むにつれて理科を嫌いになるケースが散見

Q. 水が少ない環境下においてプレート運動により水が失われるとは?

A. Kohei Hatayama, Ikuo Katayama, Kenichi Hirauchi & Katsuyoshi Michibayashi
(2017) <https://www.nature.com/articles/s41598-017-14309-9> 及び畠山航平,
片山郁夫 (2015)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/geosocabst/2015/0/2015_531/pdf/-char/en を
参照

プレートが動くにつれて水が失われていく可能性も指摘

おい