

宇宙と地球の歴史と未来(短縮版)

北海道大学工学部 藤井義明

本資料及び資料に含まれる第三者著作物を再使用する場合、
利用者は、それぞれの著作権者より使用許諾を得なくてはなりません。

目指せ、22世紀の岩盤力学!

北大工岩力!

これまで

がんりき!

無理な二酸化炭素削減反対!

宇宙の誕生

- ☀ 137億年前にビッグバンで宇宙が誕生 (NASA, 2003)
 - ☀ 欧州宇宙機関 (ESA) は138億年前と発表 (2013, 3/21)
- ☀ 物質と反物質 (陽電子とか) とダークマターができた
 - ☀ 宇宙のエネルギーの内、74%がダークエネルギー (ESAによると68%)、22%がダークマター、物質は4%
 - ☀ ダークエネルギーを用いると宇宙が膨張し続けていることを説明しやすい
- ☀ クォーク
 - ☀ たとえば3つ集まって陽子や中性子になる
- ☀ レプトン
 - ☀ 電子、ニュートリノ、...
- ☀ ボソン
 - ☀ 可視光の光子、ヒッグス粒子、...

宇宙船エンタープライズは燃料として
反水素を使っている設定、
<http://kosait.exblog.jp/11259451/>

がんりき!



無理な一般化は科学的でない!

☀ 1秒後

☀ 反物質と物質が出会い、質量分のエネルギーを放出して対消滅

☀ 物質の方が反物質よりもわずかに多かったので物質は残った

☀ 陽子、中性子の形成

☀ 2分後:陽子と中性子の結合

☀ 90%の水素、10%のヘリウム、微量の重水素・三重水素・リチウムの原子核生成

☀ 38万年後:電子と原子核の結合

☀ 水素・ヘリウム原子生成

☀ 5億年後:恒星の誕生

恒星の誕生と死

☀ 宇宙誕生後5億年以降の話

- ☀ 太陽と同程度の質量の恒星: 寿命100億年で冷え切る
 - ☀ 内部の核反応 軽元素 (He, C, O) の生成
- ☀ 太陽の10倍以上の質量の恒星: 寿命数千万年以下で超新星爆発を起こす
 - ☀ 内部の核反応 原子番号26 (Fe) までの元素生成
- ☀ Al, Si, Ti, Mn, Fe など: 星の内部で生成された元素
- ☀ Au, Ag, Ni, Cu, Zn など: 超新星爆発で生成された元素

☀ 現在でも元素は作られ続けている

ガス雲内での分子の生成 (タイソン、p. 247-248)

☀ 超新星爆発後のガス雲では温度低下に伴い元素だけではなく、分子もでき、惑星に取り込まれる

☀ 2原子分子

☀ CO, H₂

☀ 3原子分子

☀ H₂O, CO₂, HCN, H₂S, SO₂, H₃⁺

☀ さらに

☀ C₂H₂, NH₃, H₂CO (ホルムアルデヒド), CH₄

☀ そして

☀ エチレングリコール、エチルアルコール、ベンゼン、グリコアルデヒド

☀ こんなまで

☀ アントラセン (C₁₄H₁₀)、ピレン (C₁₆H₁₀)

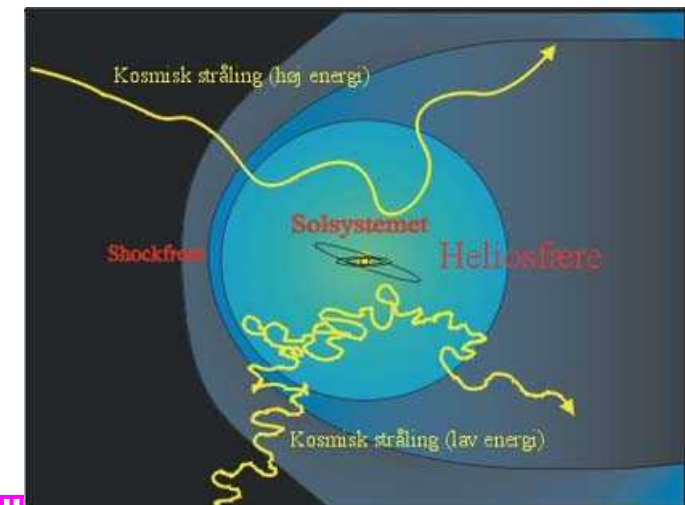
☀ ゆくゆくは生命に?

太陽系の誕生

<http://www.ne.jp/asahi/tk/7777/astronomy/milkywaygalaxyimagealbum1.htm#1b>

☀ 46億年前: 太陽系の誕生

- ☀ 太陽は天の川銀河に位置する
- ☀ 太陽風は宇宙線(主に陽子)をブロックし太陽圏(Heliosphere)を形成している
 - ☀ 太陽圏の境界では衝撃波(bow shock)が生じている



<http://www.klimadebat.dk/svensmark-marsh-solens-indflydelse-paa-jordens-klima-2000-r2.php>

地球の誕生

☀ 45.5億年前:原始太陽系星雲 微惑星の衝突・成長 原
始地球の誕生

☀ 地表温度:千数百度

☀ マグマオーシャン

☀ 鉱物の溶融

☀ 比重による物質の分離(分化)

☀ 軽い物質 表面に移動、マントルを形成

☀ 重い物質 中心に移動、核を形成

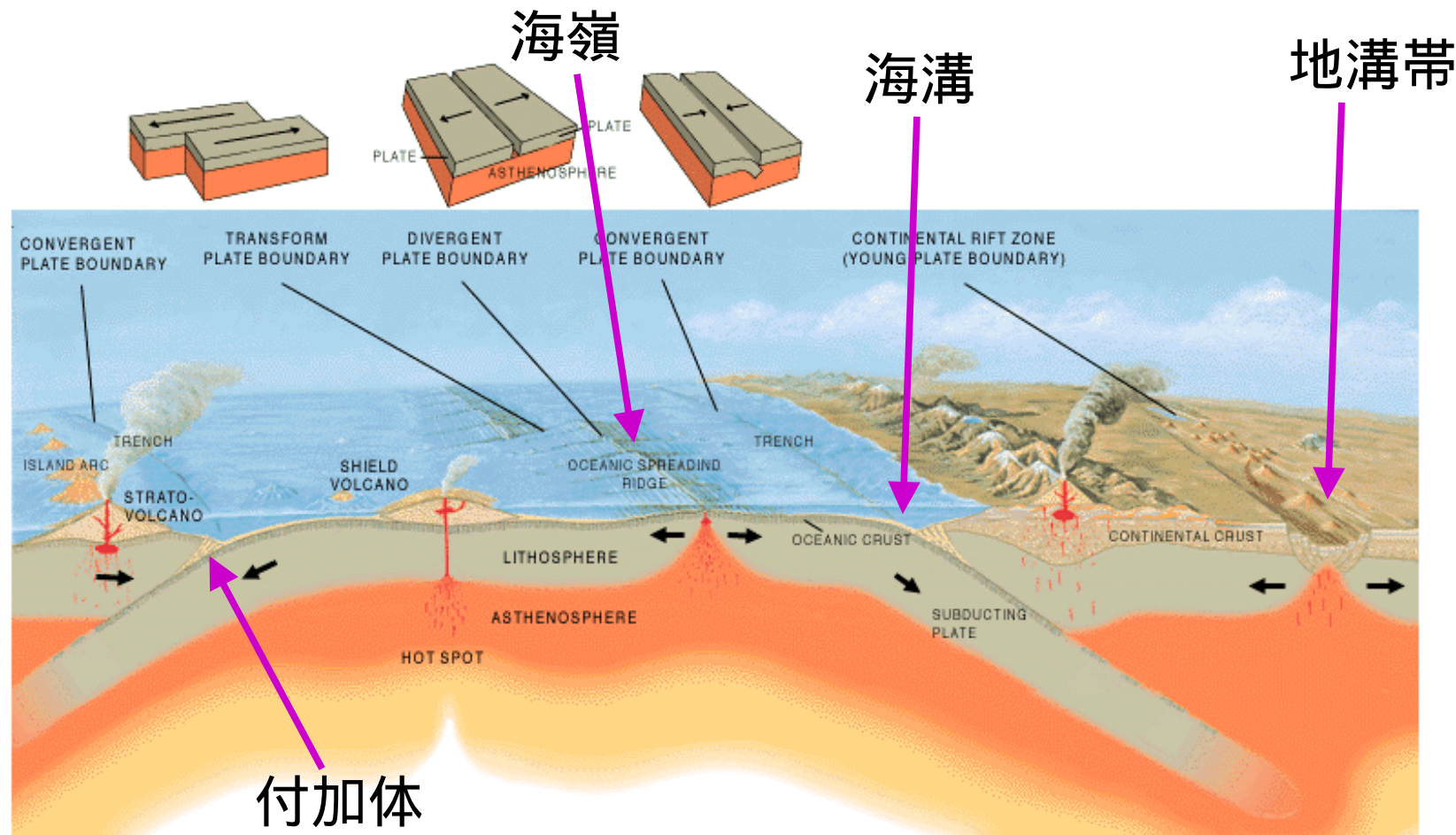
海と地殻の形成

- ☀ 43～39億年前
- ☀ 微惑星衝突の終息
- ☀ 表面温度低下
 - ☀ 表面固化
 - ☀ 大気温度低下
 - ☀ 水蒸気 雨
- ☀ 海の形成
 - ☀ 最初の海は塩水じゃなかった
 - ☀ 海が二酸化炭素を吸収してますます気温低下
- ☀ 海と陸
 - ☀ 侵食・堆積
 - ☀ 各種物質循環
 - ☀ 原始海洋への物質の移動・濃集



http://www6.pref.shimane.jp/cgi-bin/odb-get.exe?WIT_template=INPAKU_PAVPOINT&WIT_oid=LovR90hJoLXreKQQCb144ClQOVMRWzb92A3FcXbq&pavtype=shinwa&pointnum=1

40 億年前にプレート運動開始



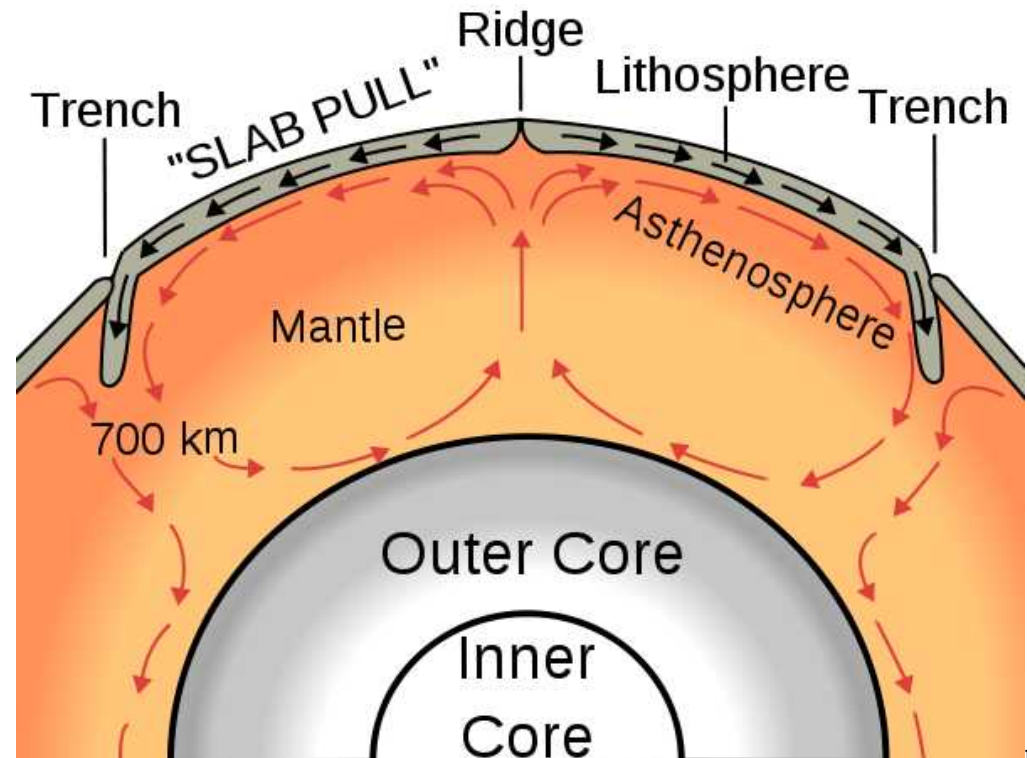
原動力

☀ 外核からの熱

☀ 鉄とニッケルの溶融物に地球生成時の微惑星の衝突エネルギーが蓄えられている

☀ 地殻とマントルにおけるU、Th、Kの同位体崩壊熱

☀ マントルは深さ660 kmを境に低温の上部と高温でケイ素に富んだ下部でそれぞれ別の対流をしているという説が最近発表された(東北大村上元彦、Nature、道新2012, 5月)



生命の誕生

- ☀ 原始のスープにアミノ酸が生成
 - ☀ 雷、粘土鉱物、etc.
 - ☀ 生物がないから腐食しない
- ☀ 自己複製子(遺伝子)の誕生
 - ☀ どこから生命かはあまり問題ではない
 - ☀ 最初はDNAではない
- ☀ 遺伝子は複製時に突然変異し、自己の複製を多数残したものが今残っている
 - ☀ 遺伝子の進化
- ☀ いつしかDNAを原料とするようになった

遺伝子の進化

- ☀ 遺伝子は突然変異し、自然淘汰されることにより進化する
 - ☀ 遺伝子の進化は生物の進化として現れる
 - ☀ 変異がなければ進化もない
- ☀ 進化には方向性はない
 - ☀ たまたま遺伝子のコピーを多数残した変異が受け継がれる
- ☀ 進化は今も続いている
 - ☀ カタツムリはカタツムリの最先端で進化中
 - ☀ 蝙蝠は蝙蝠の最先端で進化中
 - ☀ ヒトはヒトの最先端で進化中

細菌の誕生

☀ 39 ~ 38億年前?

☀ 嫌気性従属栄養細菌誕生

☀ ここまでの大気は二酸化炭素と窒素が主成分

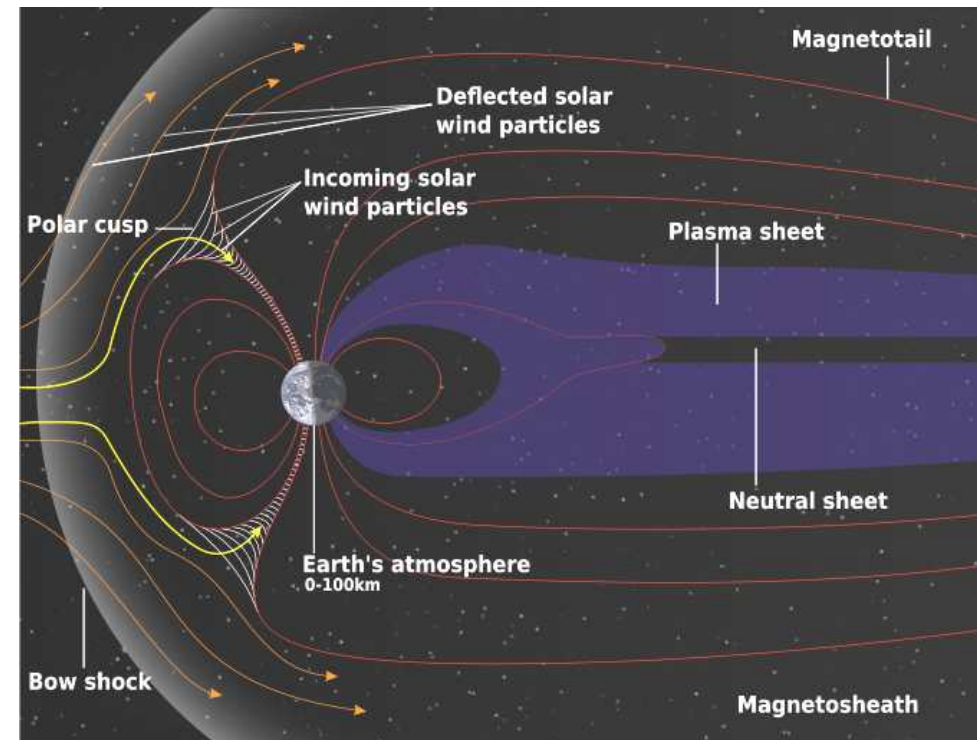
☀ 36億年前?

☀ 地磁気の発生

☀ コールドプルームが外核に達したため(丸山・磯崎, 1998)

☀ たいていの生命にとって致命的な太陽風(主に中性子)が地表に届かなくなった

☀ 生命は深海から海洋浅部へと活動領域を拡大



シアノバクテリアの誕生～酸素の生成

☀ 35～27億年前

- ☀ シアノバクテリアの誕生
- ☀ 光合成による酸素の生成
- ☀ 当時の生物にとっては猛毒

☀ 25～19億年前

- ☀ 海水中溶存鉄の酸化・沈殿
- ☀ 縞状鉄鉱床の生成

オーストラリア・シャーク湾のストロマトライト(藍藻類(らんそうるい・シアノバクテリアとも)の死骸と泥粒などによって作られる層状の構造をもつ岩石、<http://tsuiteru-happy-life.up.seesaa.net/image/A5B9A5C8A5EDA5DEA5C8A5E9A5A4A5C8.jpg>

がんりき!



シアノバクテリア、<http://www.biological-j.net/blog/2008/07/000509.html>



無理な二酸化炭素削減反対!

※ 好気性生物の時代

※ 動物

- ※ プロテア細菌を取り込みミトコンドリアとした

※ 植物

- ※ さらにシアノバクテリアを取り込み葉緑体とした

※ ミトコンドリアも葉緑体も独自の遺伝子を持ち、分裂・増殖する

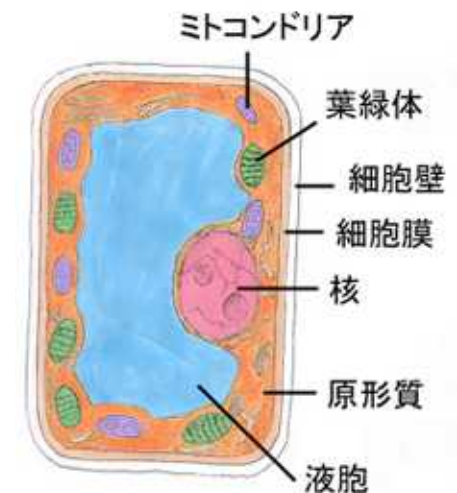
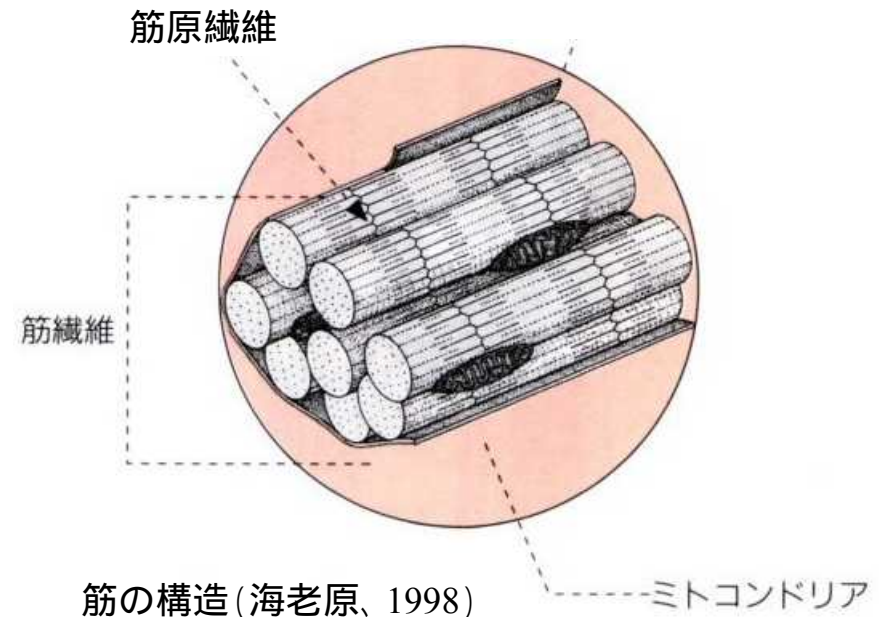
- ※ 自分だけでは生きていけない

※ ミトコンドリアの遺伝子は母親からしか遺伝しない

- ※ 1000世代に1回程度点突然変異を起こす(オッペンハイマー、2007)

※ Y染色体は父親からしか遺伝しない

- ※ Y染色体はいずれ消滅するという説がある
- ※ 消滅しないという説も最近発表された(Callaway, E., 2012)



http://www.plantatree.gr.jp/handinhand/message/images/chart1_cell.jpg

生物の多様化、石灰石

☀ 5.5億年前(原生代 古生代)

☀ 生物の多様化:カンブリア紀の大爆発

- ☀ 火山噴火によるスノーボールアースの終了
(そうではないという批判もある、
Sansjofre et al., 2011) ?
- ☀ エディアカラ生物群(6-5.5億年前、先カンブリア)の化石の一部は化石化した土壌ではないかという見解もある(Xiao & Knauth, 2013)

☀ 5 ~ 4.5億年前

☀ サンゴ・有孔虫の誕生

- ☀ CO₂の固定
- ☀ CO₂濃度の低下
- ☀ 石灰石鉱床の生成

スノーボールアース仮説には疑問も投げかけられている。たとえば、Sansjofre, P. et al. (2011)



生物の進化、石炭の生成

☀ オゾン層による紫外線 (UV-C, 200-280 nm) 遮断

☀ 4.7億年前(オルドビス紀):陸上植物の出現

☀ 石炭紀の森林 石炭

☀ 4.1億年前(デボン紀):動物(昆虫)の上陸

☀ 2.5億年前(古生代 中生代)

☀ シベリアにおける大噴火のCO₂で約10度の温暖化 大量絶滅?

☀ ビデオあります

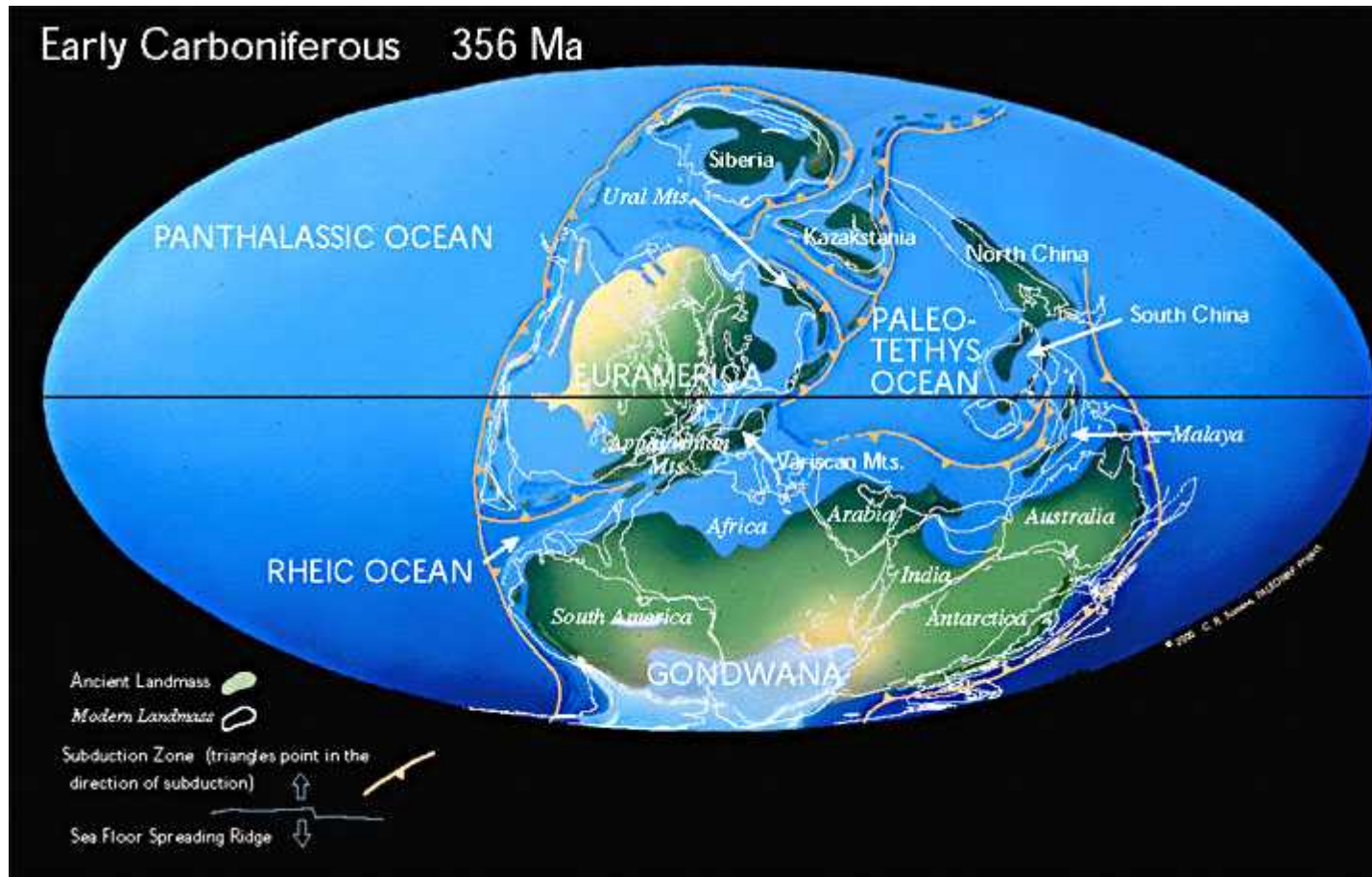
約3億6,700万-3億6,250万年前に初めて陸に上がったかもしれないといわれている動物(両生類)イクチオステガ(Ichthyostega)。

<http://www.kaiten.jp/syokuji/13.html>



がんりき!

During the Early Carboniferous Pangea Begins to Form.

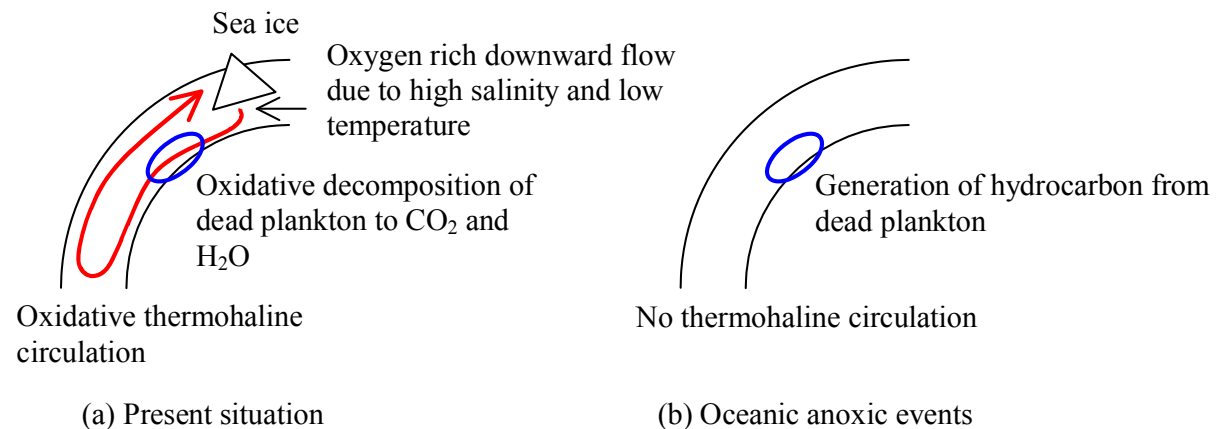


- ☀ During the Early Carboniferous the Paleozoic oceans between Euramerica and Gondwana began to close, forming the Appalachian and Variscan mountains. An ice cap grew at the South Pole as four-legged vertebrates evolved in the coal swamps near the Equator.

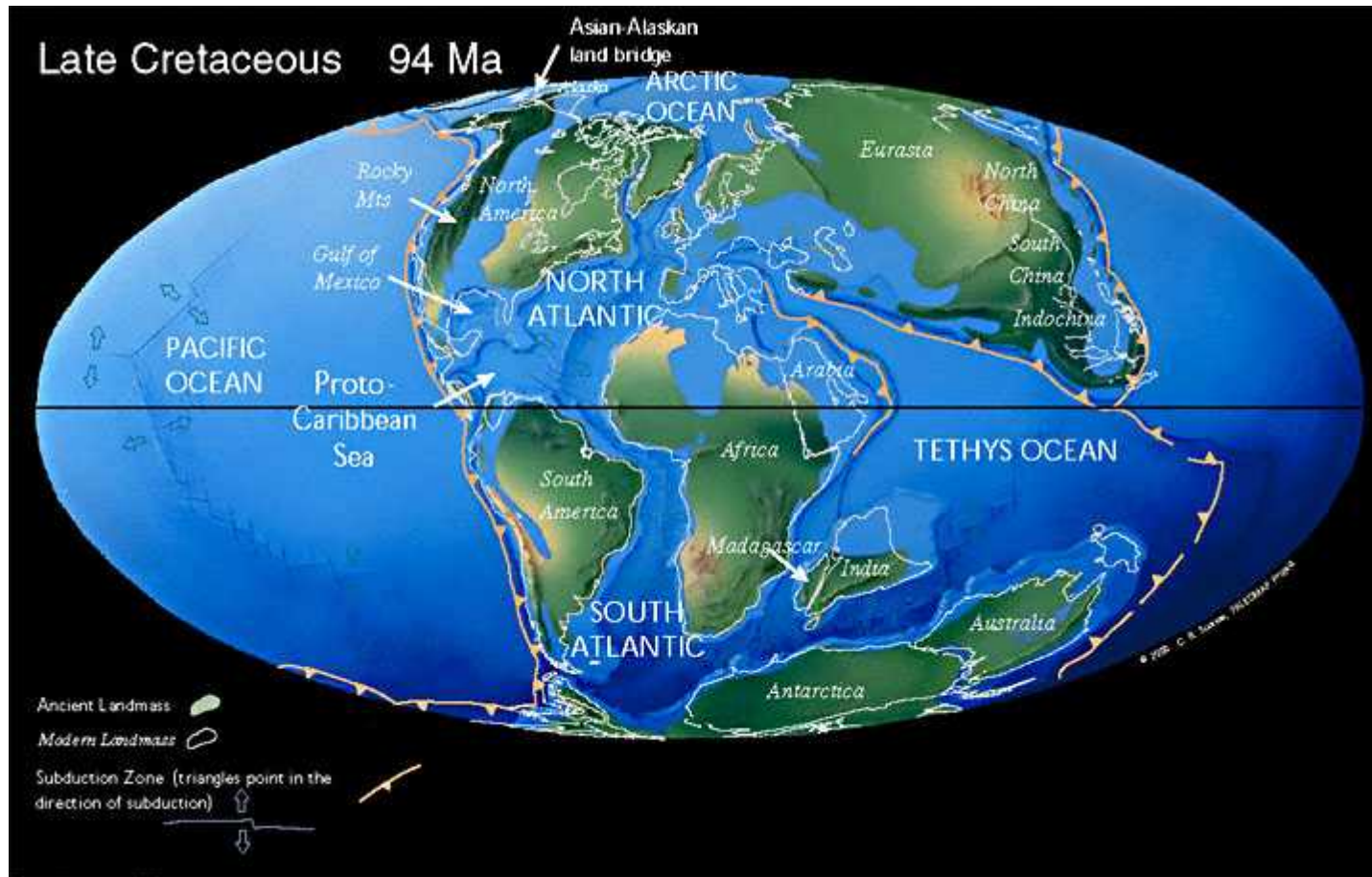
白亜紀の温室地球と 石油・天然ガス・石灰岩の生成

☀ 海洋無酸素事変 (oceanic anoxic events, OAE, Erba, 2004, 平野・安藤, 2006)

- ☀ 現在より温度が17-23K高く、極域の海氷が消滅、これに起因する海洋の深層循環が停止し、攪拌されない海洋が無酸素状態に至った
- ☀ 大量発生した植物プランクトンの遺骸が好氣的な分解を受けずに堆積し石油が生成した
- ☀ 温かくて浅い海(テチス海等)では石灰岩が大量に生成した



New Oceans Begin to Open



- ☀ During the Cretaceous the South Atlantic Ocean opened. India separated from Madagascar and raced northward on a collision course with Eurasia. Notice that North America was connected to Europe, and that Australia was still joined to Antarctica.

恐竜絶滅(K-T境界)

☀ 6500万年前(中生代 新生代)

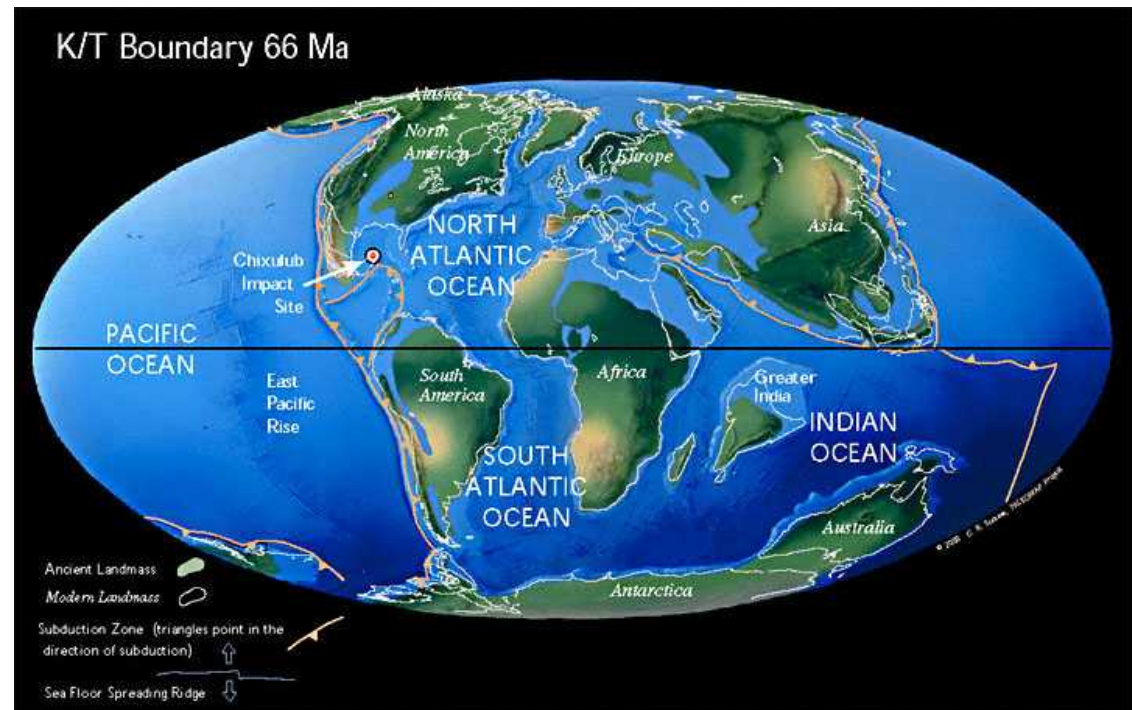
☀ ユカタン半島への隕石衝突?で寒冷化し恐竜など大量絶滅

☀ 同じ程度の隕石はこれからも1億年に1回落ちる

☀ 哺乳類の時代となる

☀ The bull's eye marks the location of the Chicxulub impact site. The impact of a 10 mile wide comet caused global climate changes that killed the dinosaurs and many other forms of life. By the Late Cretaceous the oceans had widened, and India approached the southern margin of Asia.

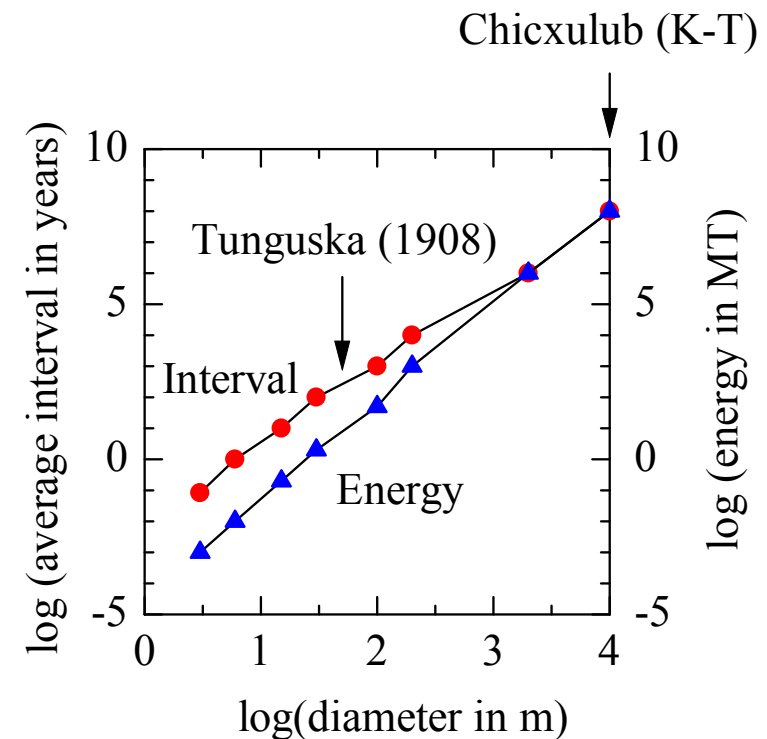
がんりき!



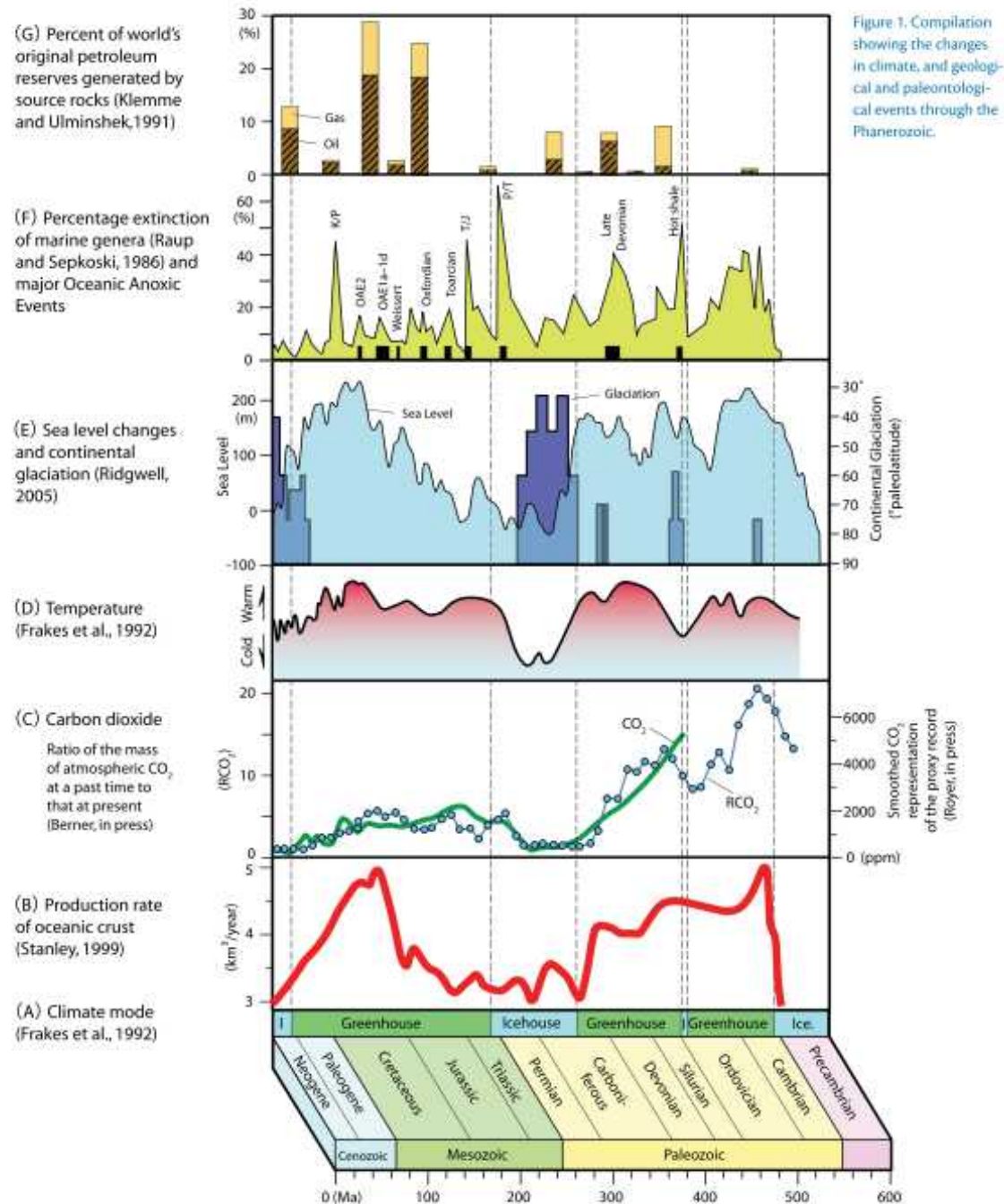
☀ Chicxulubクラス(1億メガトン、マグニチュード12.9)は1億年に1回

☀ 広島型原爆(15 kT、マグニチュード6.3)67億発

☀ ソ連製の世界最大の水爆ツァーリボンバ(50 MT、マグニチュード8.7)20万発



目指せ、22世紀の岩盤力学!



Takashima et al. (2006)

がんりき!

岩盤力学は一般に地質学系分野に属する!

新第三紀の地殻変動と それに伴う気候や生態系の変動(本井、2008)

☀ ヒマラヤ山脈の形成

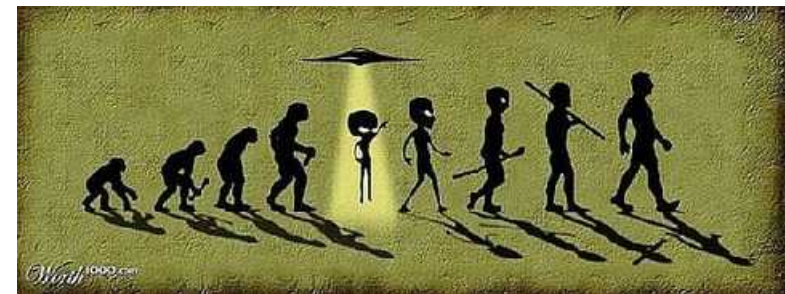
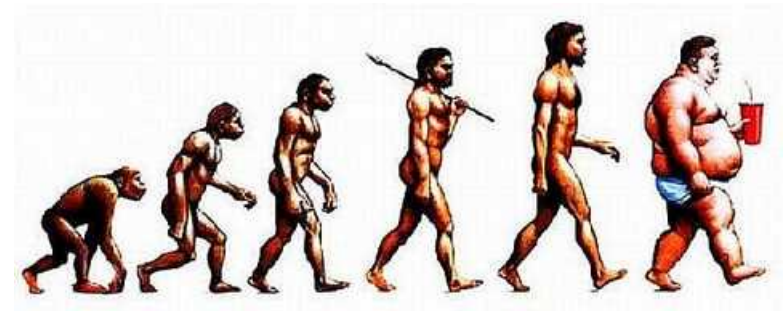
- ☀ 約1000万年前(新第三紀中新世)
- ☀ テチス海閉鎖
- ☀ 南からの暖かく湿った空気を遮り、北方には乾いた空気を、東南アジアには多雨をもたらすアジアモンスーンの原因
 - ☀ 当然生態系激変

☀ パナマ地峡隆起

- ☀ 約300万年前(新第三紀鮮新世)
- ☀ カリブ海と太平洋が分断され気候が激変
- ☀ 北アメリカと南アメリカの生物が往来
 - ☀ 交雑・絶滅により生態系が激変

ヒト

- ☀ 500 ~ 600万年前?
 - ☀ チンパンジーとヒトが遺伝子的に分かれる
- ☀ 100万年前から火を使用?
 - ☀ 南アフリカの洞窟(Berna, et al., 2012)



<http://blog.livedoor.jp/nappi11/archives/2808998.html>

☀ 気温は主にミランコビッチサイクルにより10万年周期で10度くらいゆっくり下がって急に上がっている

☀ 20万年前

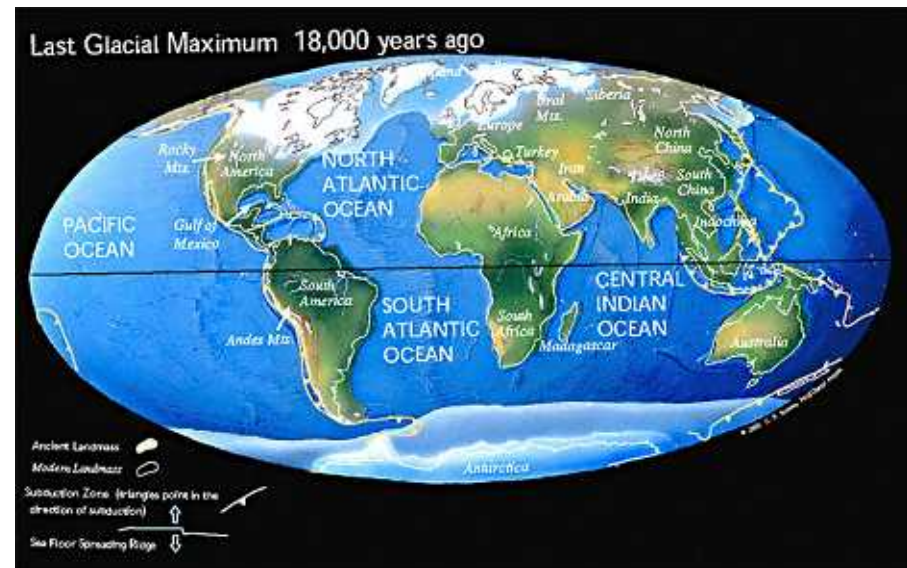
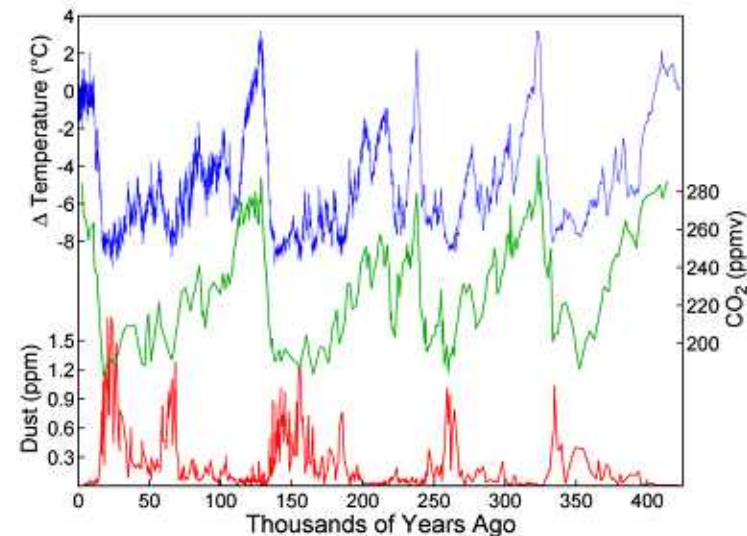
☀ ホモサピエンス?

☀ 8.3万年前

☀ 氷期の食料不足から紅海を越えて出アフリカ(オープンハイマー、2007)

☀ 最初はたった150人だった(ニコラス・ウェイド、2007)

Wikipedia



Paleomap project

がんりき!

無理な二酸化炭素削減反対!

目指せ、22世紀の岩盤力学!

☀ 11500年前

☀ 最後の氷期終了

☀ ミランコビッチサイクル

☀ CO₂隕石衝突(?)

☀ 巨大哺乳類(Mega mammals)絶滅

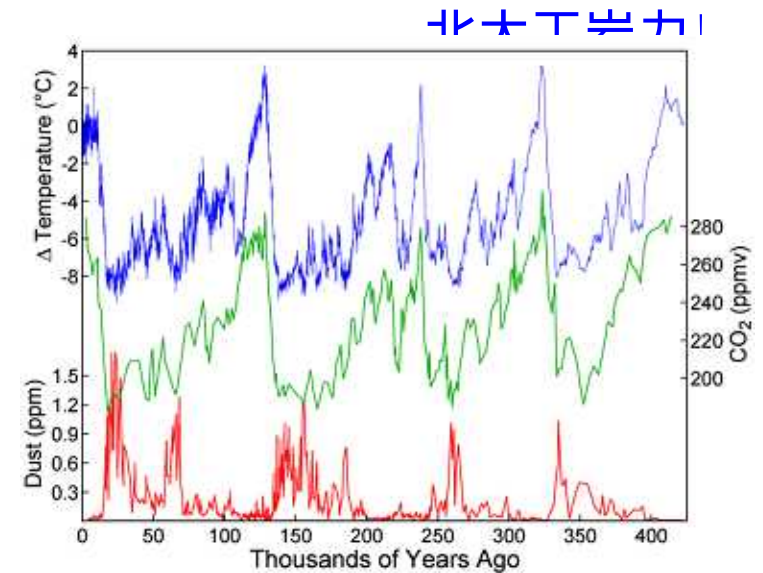
☀ 海水準が上がり人類は各大陸で進化

☀ 日射とメラニン色素

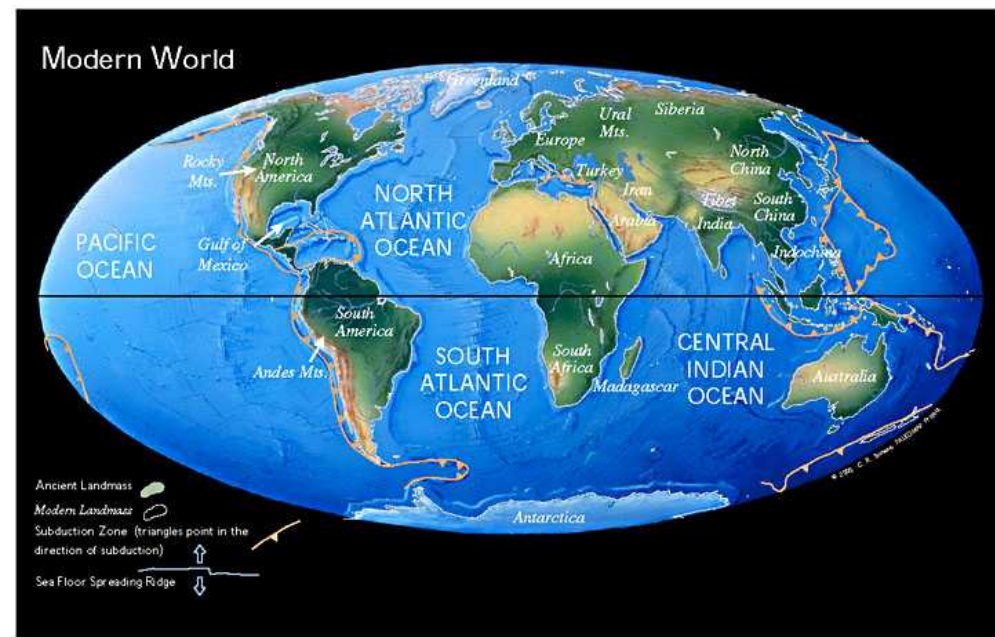
☀ 気候と寸法

☀ ベルグマンの法則

☀ アレンの法則



Wikipedia, "Ice Age"



がんりき!

無理な二酸化炭素削減反対!

☀ 異常に安定した気候の下で定住

- ☀ 狩猟・採集社会から牧畜・農耕へ
- ☀ 食糧備蓄 繁栄
- ☀ 文化的成果の伝承 文明の勃興 文化の進化

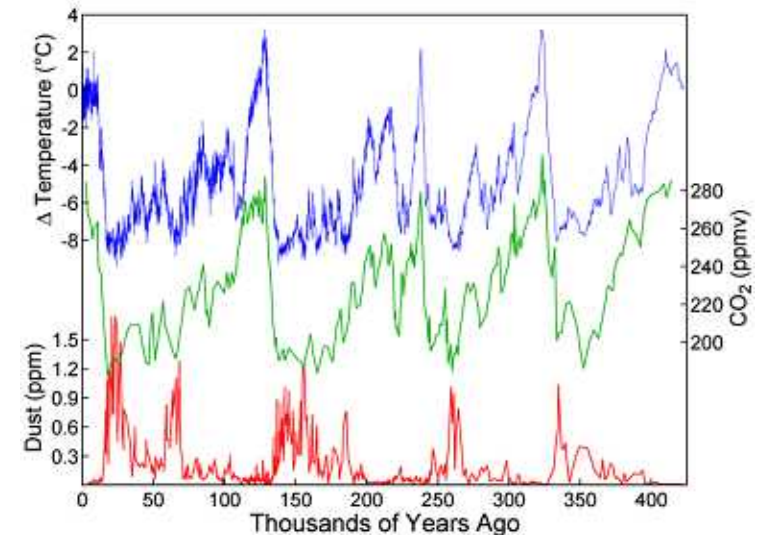
☀ 異常に安定した気候の原因

- ☀ 農業によるメタンや二酸化炭素濃度上昇によるという説(在田ら、2010)
- ☀ 単なるミランコビッチという説もある(ブリストル大シンガレイヤー博士、2011)

http://www.museum.pref.yamanashi.jp/5th_tenjiannai_symbol_009.htm



がんりき!



Wikipedia, "Ice Age"

無理な二酸化炭素削減反対! 29

目指せ、22世紀の岩盤力学!

北大工岩力!

これから!

がんりき!

無理な二酸化炭素削減反対!

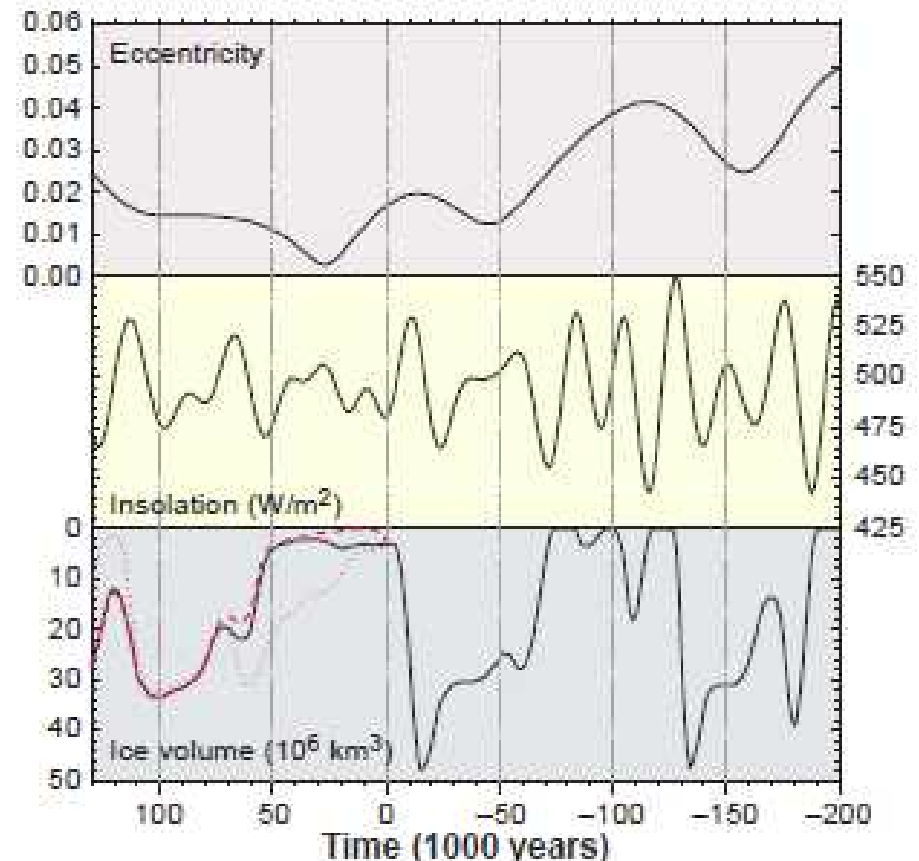
☀ 5万年後

☀ 氷期に向かって気温低下開始

☀ 10万年後

☀ 氷期がピークを迎える

☀ 気温低下は7Kくらいか?



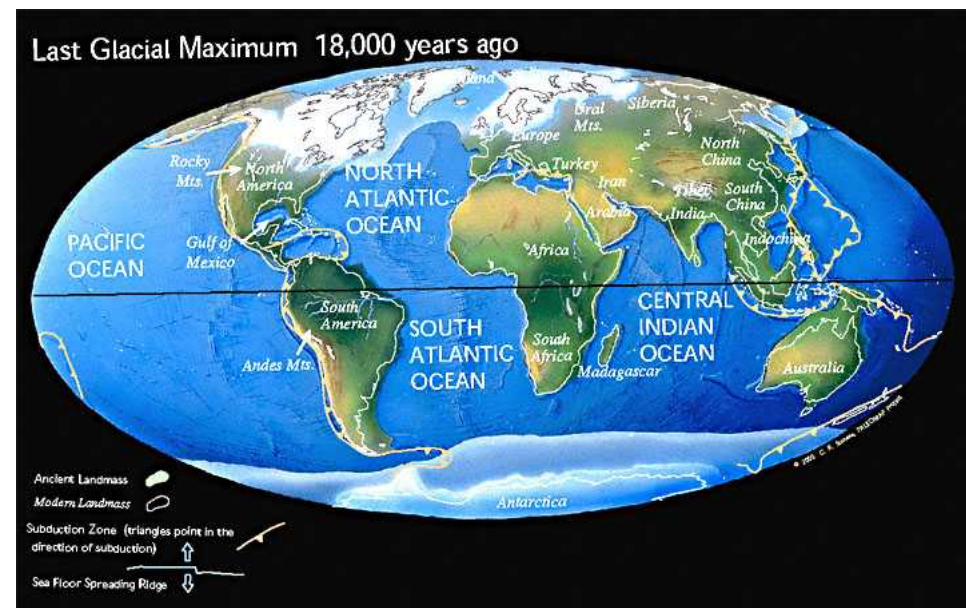
Orbiting the Sun. Long-term variations of eccentricity (top), June insolation at 65°N (middle), and simulated Northern Hemisphere ice volume (increasing downward) (bottom) for 200,000 years before the present to 130,000 from now. Time is negative in the past and positive in the future. For the future, three CO₂ scenarios were used: last glacial-interglacial values (solid line), a human-induced concentration of 750 ppmv (dashed line), and a constant concentration of 210 ppmv (dotted line). Simulation results from (13, 15); eccentricity and insolation from (19).

Berger & Loutre (2002)

がんりき!

氷期のピーク

- ☀ 最終氷期を参考にすれば
 - ☀ 北欧・カナダは氷床に覆われる
 - ☀ 大規模な人口移動
 - ☀ 国家の崩壊
 - ☀ 海水面は大陸棚まで後退



予想される破局噴火

☀ イエローストーン

☀ ホットスポット

☀ もしか噴火したら(イギリスの学者の予想)...

☀ 火山から半径1,000km以内に住む
90%の人が火山灰で窒息死する

☀ 地球の年平均気温は10度下がる

☀ その寒冷気候は6年から10年間続く

☀ 約220万年前(2450 km³, VEI 8.4,
50000 MT、マグニチュード10.7)、約130
万年前、約64万年前(1000 km³, VEI
8, 20000 MT、マグニチュード10.5)に噴
火

☀ 100万年後までに噴火する確率は
100%

がんりき!



☀ 500万年後

☀ 九州が朝鮮半島もろとも中国の下に沈んでる

☀ 5000万年後

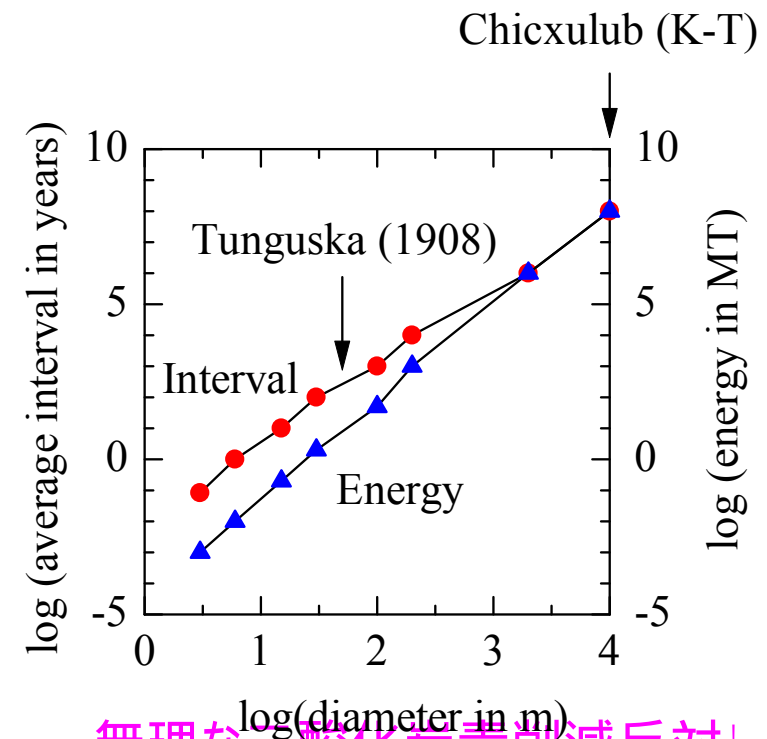
☀ 日本列島の跡形もない

<http://www.thefutureiswild.com/>

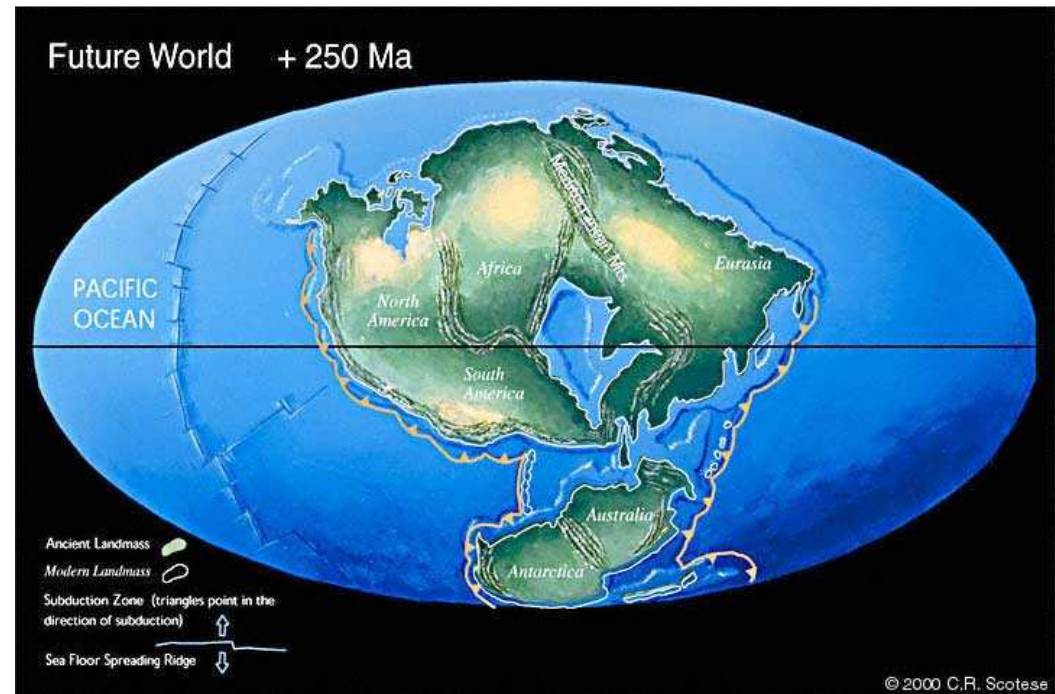


- ☀ カオスのため500万年以上先の水星～火星の軌道、2000年以上先の木星～海王星の軌道は正確に予想できず、
- ☀ 1億年以上先の太陽系惑星の軌道はまったく予測できないことがわかった(タイソン、p. 310)
 - ☀ たぶん水星は太陽に落下(タイソン、p. 163)
 - ☀ たぶん土星は太陽系から放り出される(タイソン、p. 163)
 - ☀ 地球がどうなっているかは全然わからない
 - ☀ 以下では、もしか50億年後に赤色巨星となった太陽に飲み込まれるまで地球が現在の軌道を動いていれば、の話をします

- ☀ Chicxulubクラス(1億メガトン、マグニチュード12.9)は1億年に1回
- ☀ 広島型原爆(15 kT、マグニチュード6.3)67億発
- ☀ ソ連製の世界最大の水爆ツァーリボンバ(50 MT、マグニチュード8.7)20万発
- ☀ NEO (Near Earth Object、地球接近天体)についてはたとえば吉川(2013)など参照



- ☀ Pangea Ultimaが形成される
 - ☀ 中央部は砂漠
 - ☀ 月の引力により一日は25時間
- ☀ 大陸の集合・離散は数億年周期でプレートテクトニクスが止まるまで続く (Wilson Cycle)
 - ☀ Nuna (Columbia), 2000 Ma -> Rodinia (1000-700 Ma) -> Pangea (300 Ma)



☀ 気候変動

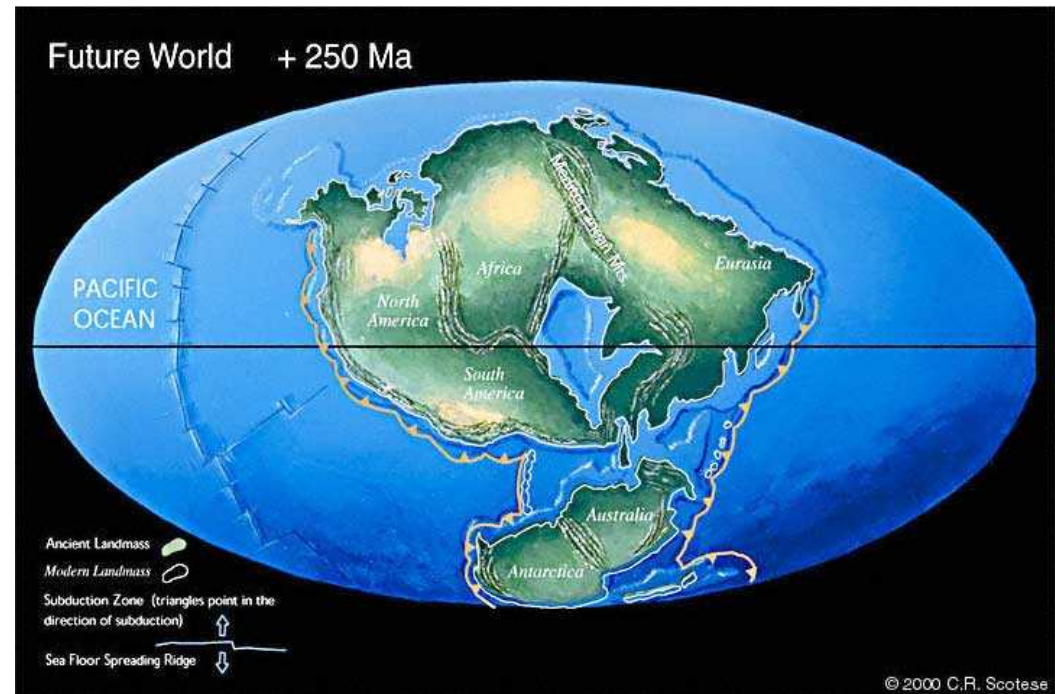
☀ 本井(2008)

☀ 生態系の大変化

☀ 化石エネルギーの再生

☀ キノコが石炭の再生を阻むという考えの人もある

☀ 鉱物資源の一部再生



☀ 30億年後

- ☀ 極風 (polar wind) により、水素が3 kg/sの割合で宇宙へ散逸しているため、水循環が両極域に限定される
- ☀ 太陽活動活発化による平均気温上昇は20度
- ☀ 月は3.8 cm/年遠ざかっているので、30億年で114000 km (平均公転距離384400 kmの3割) になり、地球の自転速度は相当遅くなる
 - ☀ 昼が1週間(暑い!!)、夜が1週間(寒い!!) 続くとか
- ☀ 今と似たような形態の人類の生存はこのあたりが限度か
- ☀ 人類はどのくらい進化しているのか?
 - ☀ 当たり前だが人類は今は最終形ではない
 - ☀ 放射能に耐性を持っているかもしれない
 - ☀ 遺伝子駆動による進化も続いているし、ミーム駆動による進化も、遺伝子とミームの共進化も続いている
 - ☀ 500万年後の人類から見ると我々は不細工なチンパンジーと同じ
 - ☀ 原人とか言われてるかもしれない



ドゥーガルディクソン、マンアフターマン

☀ 時間は不明

☀ プレート運動停止

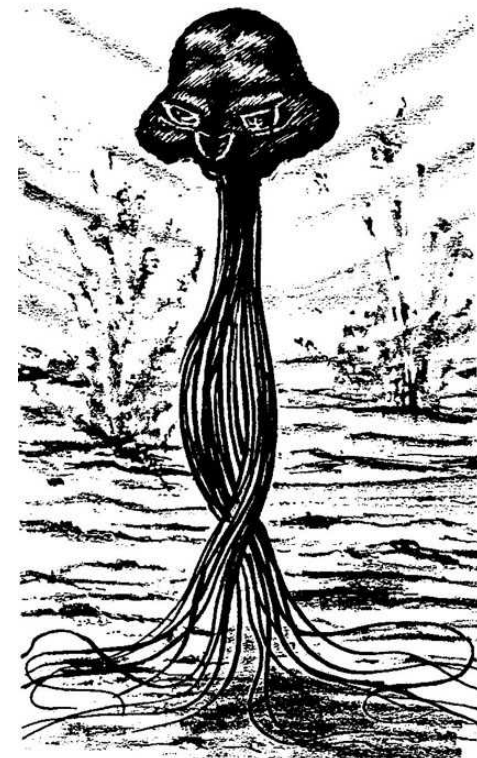
☀ 海洋がマントルに吸収されて失われ、火星のようになる

☀ 地磁気も消滅するため太陽風の直撃を受けて多細胞生物の存在も難しくなる



After Wikipedia

<http://chigaku.ed.gifu-u.ac.jp/chigakuhp/html/kyo/SchoolCont/sanjo/iss/02.html>



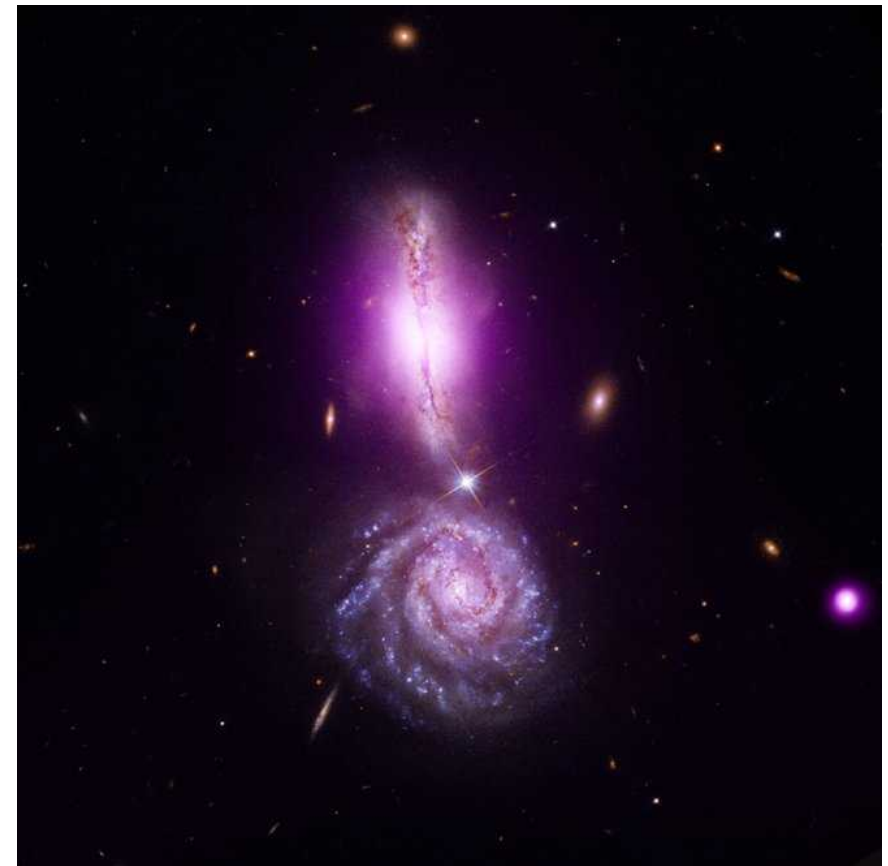
☀ 40億年くらい(Cowen, 2012)

- ☀ 天の川銀河がアンドロメダ銀河と交錯して一体となる
- ☀ 恒星や惑星の軌道がめちゃくちゃになる
- ☀ 一部の星は破壊して星屑となる
 - ☀ 星屑からまた新しい星々ができる
- ☀ 銀河の衝突は宇宙ではよくあること

VV 340, also known as Arp 302, provides a textbook example of colliding galaxies seen in the early stages of their interaction. The edge-on galaxy near the top of the image is VV 340 North and the face-on galaxy at the bottom of the image is VV 340 South. Millions of years later these two spirals will merge -- much like the Milky Way and Andromeda will likely do billions of years from now. Data from NASA's Chandra X-ray Observatory (purple) are shown here along with optical data from the Hubble Space Telescope (red, green, blue). VV 340 is located about 450 million light years from Earth.

がんりき!

http://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/multimedia/photo11-086.html



☀ 50億年後くらい

☀ 太陽の核の水素枯渇

☀ 核周囲での核融合開始

☀ 赤色巨星となる

☀ 金星は飲み込まれ消滅

☀ 地球も煮えたぎり飲み込まれる (タイソン、p. 175)

☀ 太陽が核融合を停止し、コアをさらけ出す



<http://www.spaceprime.com/red-giant.htm>

がんりき!

無理な二酸化炭素削減反対!

宇宙の死

- ☀ だんだんと星間ガスが減っていき、冷え切った星が増えていく
- ☀ 1兆年くらいすると新しい星はできなくなる
- ☀ 宇宙は冷えながら永遠に膨張し続ける

- ☀ 要するに宇宙のやっтерことは水素やヘリウムを鉄などの重い元素に核融合することである

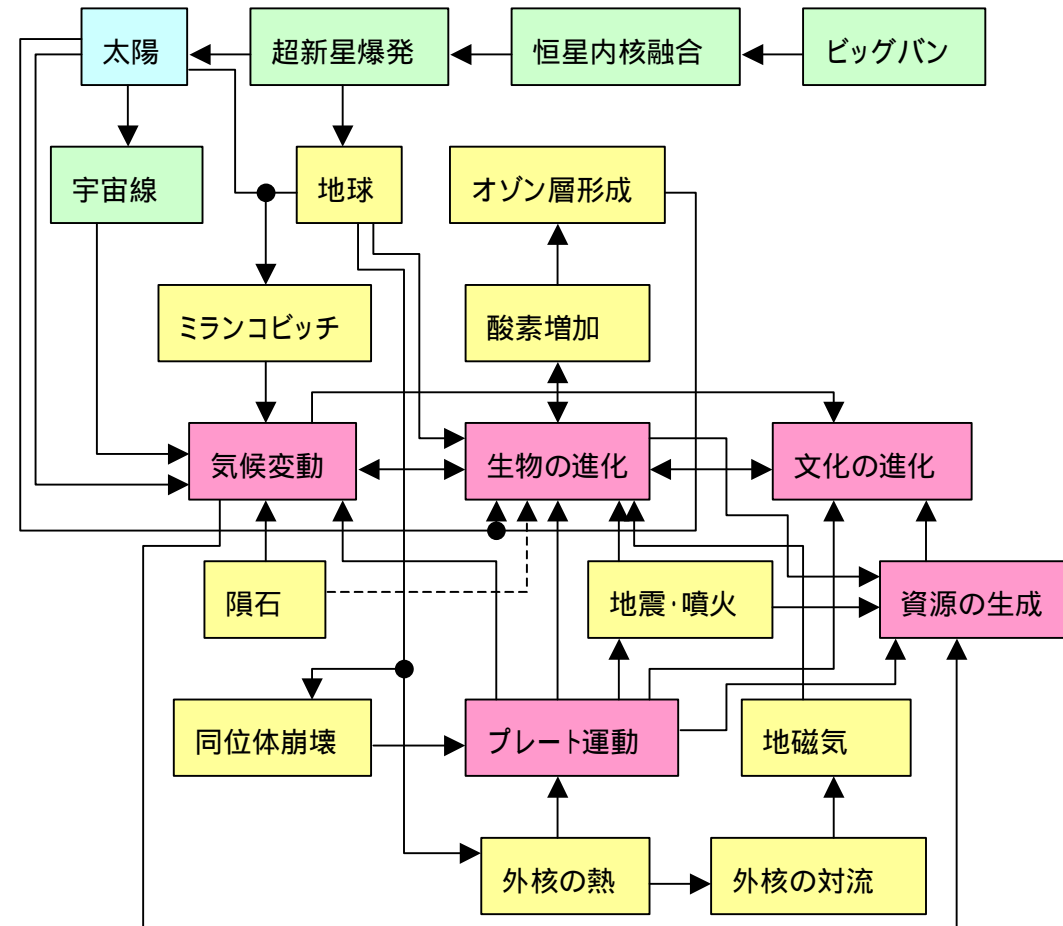
いいなかったこと?

人類はあと30億年くらい大丈夫だ!

- ☀ 結局人類は絶滅するんだからどうでもいい、ということをいいたかったわけではありません
- ☀ 色んなことがあるけど人類はあと30億年くらい大丈夫だ
- ☀ 人間の死亡率は100%だけど、人は死ぬために生きてるわけではない。
- ☀ 人生は楽しむためにある!
- ☀ 楽しもう!

全てはつながっている!

- ☀ つながっていることを知った上で
 - ☀ 本当に二酸化炭素は減らすべきか?
 - ☀ 原発は止めるべきか?
 - ☀ 生物多様性は何か何でも維持するのがいいのか?
- ☀ などなどについて考えよう!



未来を見てみたい!

☀ 我々は未来に行く原理を既に知っている!

☀ 亜光速のロケットを開発して、しばらく宇宙の暴走を楽しんでから地球に戻れば100年くらい未来には簡単に行ける(ウラシマ効果)

☀ 光速の0.999倍で4年半遊んでくれば100年経ってる

☀ GPS衛星の時刻ですら相対論的に補正されているくらいだ

☀ 人口冬眠もできないことはないだろう

☀ 残念ながら戻ることはできません...



$$t = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} t'$$

t : time in moving object

v : speed of the object

c : speed of light in vacuum

t' : time for a still observer

