

NINS

National Institutes of Natural Sciences

大学共同利用機関法人

自然科学研究機構



National Astronomical
Observatory of Japan

天体のメタン について


林 正彦

(国立天文台)


自然科学研究機構シンポジウム

平成24年9月29日

よくある質問



宇宙がビッグバンでできたなんて、とても信じられません



信じる必要はありませんよ。

つい50年ほど前まで、ほとんどの天文学者が「そんなはずはない」と思ってたくらいですから。

まあ、石油が化石燃料だということに比べると、はるかに説得力はありますが...

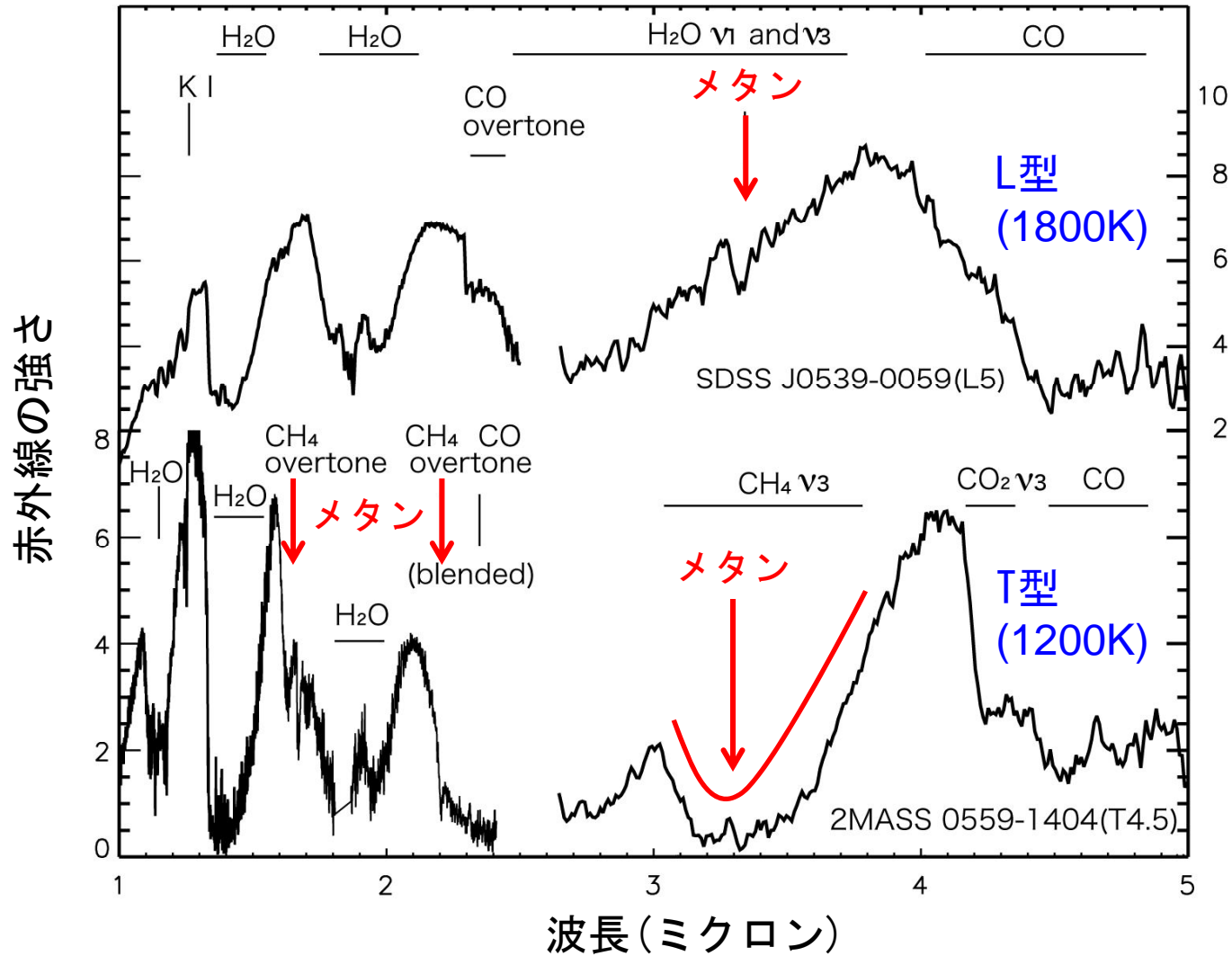
化石燃料

- ◎ 天然ガス（メタン）や石油や石炭※¹が「化石燃料※²」であることは中学校で習う
- ◎ 「なぜ化石燃料か？」という問いに答えられる人は少ない
- ◎ 炭化水素は、宇宙（星、惑星、星間空間）にいっぱいある
メタン、炭素鎖分子、炭素系ダスト
- ◎ 天然ガスや石油や石炭が、**非生物起源**である可能性はないのか？
メンデレエフは非生物起源説（地殻の中で作られる）を唱えた。その後、非生物起源説（始原的起源）は旧ソ連などで発展した。
- ◎ 石油が生物起源であるか否かは、現在でも解決していない問題（どちらにも確実な証拠がない状況）

※¹ 石炭（泥炭を除く）の組成は石油と酷似しており、植物などの高等生物が地中に埋もれて直接石炭になったとは考えにくい（Ourisson et al. 1984）

※² 「化石燃料」は、ここでは「生物起源」と同義。つまり、微生物の死骸が長時間かけて石油になったり、微生物がメタンや石油を生成する結果としてできた「**炭化水素**」のことを言う

褐色矮星のメタン

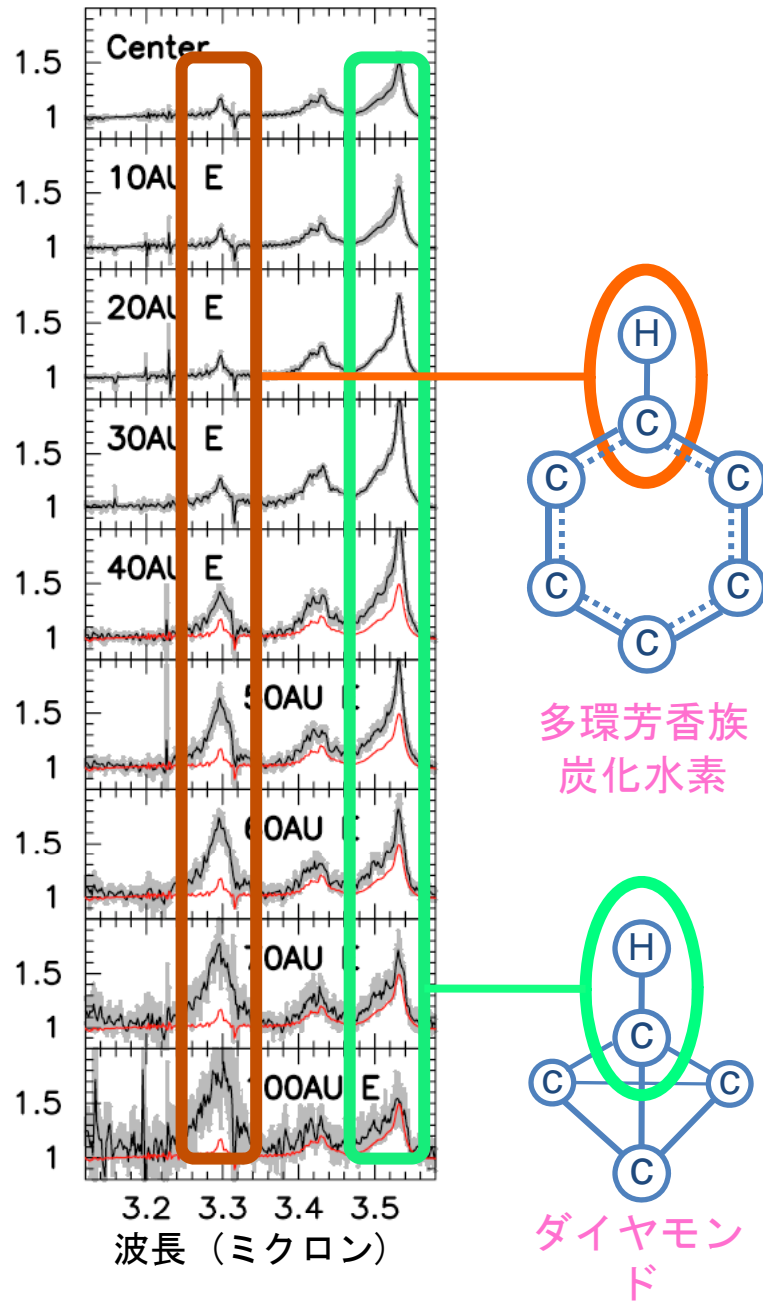


空華 (2012) 学位論文から転載

褐色矮星とは

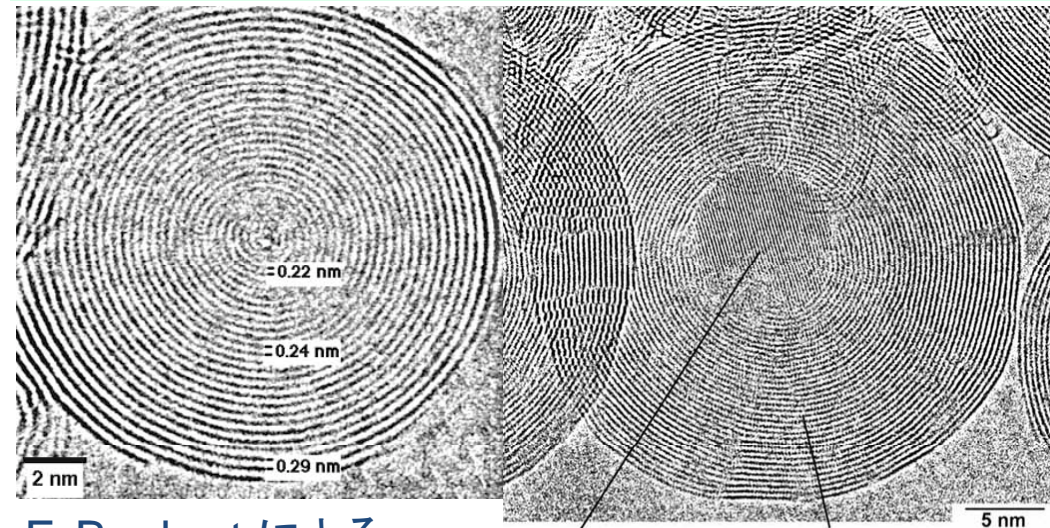
星の分類	質量	中心核での核融合反応
“普通”の星	太陽の8%以上 (木星の80倍以上)	水素の熱核融合反応が起こる (中心温度が1千万度以上になる)
褐色矮星	太陽の1.3% - 8% (木星の13 - 80倍)	水素の熱核融合反応は起こらないが、 重水素の熱核融合反応は起こる (中心温度が100万度以上になる)
準褐色矮星 (惑星質量天体, 浮遊惑星)	太陽の1.3%以下 (木星の13倍以下)	いかなる熱核融合反応も起こらない

星間ダストと 宇宙ダイヤモンド



後藤ら (2009) による

後藤らは、すばる望遠鏡を用いて若い星 (Elias 1) の原始惑星系円盤を観測し、 $3.5\mu\text{m}$ にあるダイヤモンドからの放射が、 $3.3\mu\text{m}$ の炭素質ダストの放射に比べて、中心星に近い場所ほど強いことを発見。「玉ねぎ状」の構造をした炭素質ダスト (グラファイト) が、中心星のフレアで放出された強力な電子ビームを受けて収縮することにより、高い圧力が生じてダイヤモンドに変成したと解釈

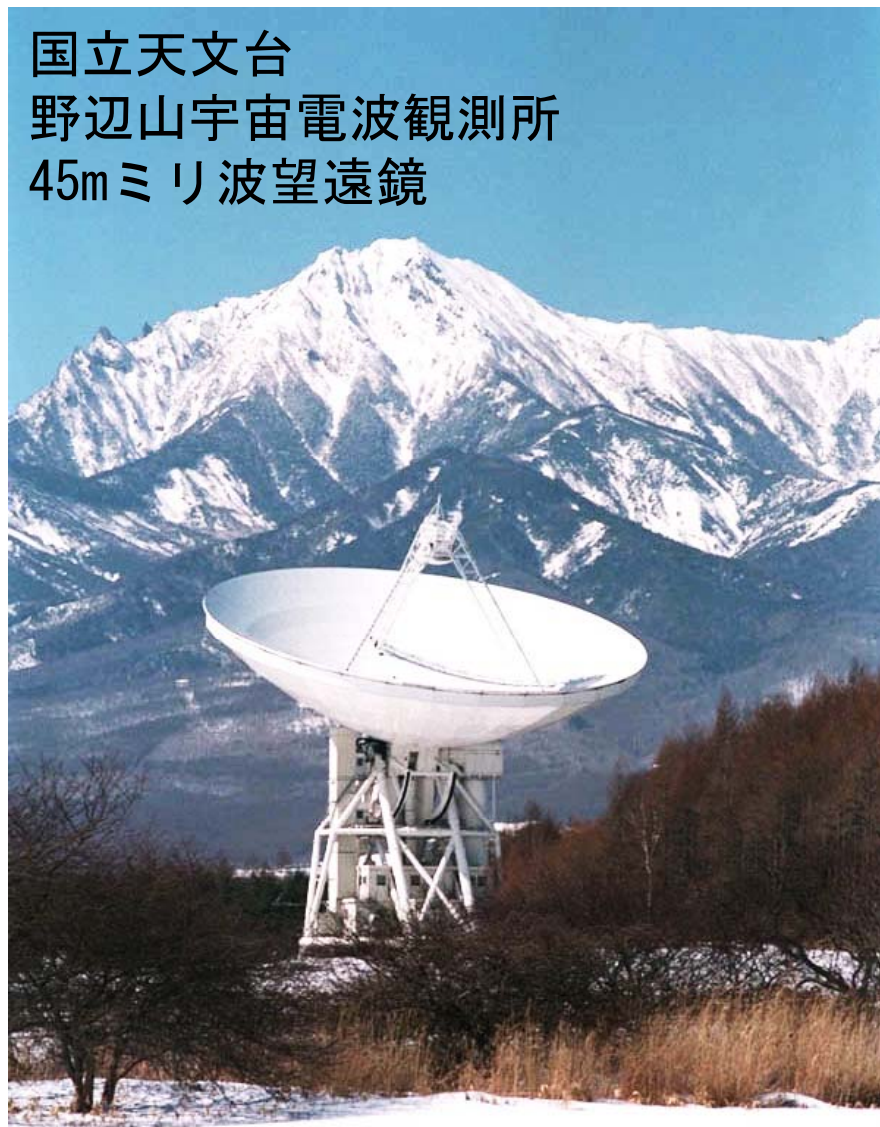


F. Banhart による

<http://www.staff.uni-mainz.de/banhart/c-nanostructures/onions.htm>

炭素鎖分子

国立天文台
野辺山宇宙電波観測所
45mミリ波望遠鏡



HCN	CH
HC ₃ N	C ₂ H
HC ₅ N	C ₃ H
HC ₇ N	C ₄ H
HC ₉ N	C ₅ H
HC ₁₁ N	C ₆ H
	C ₇ H
	C ₈ H

電波望遠鏡によって、星や惑星が形成される場所で、炭素がつながった複雑な分子が多数発見されている

石油（メタン）は、どうして始原的だと考えられなくなったのか？

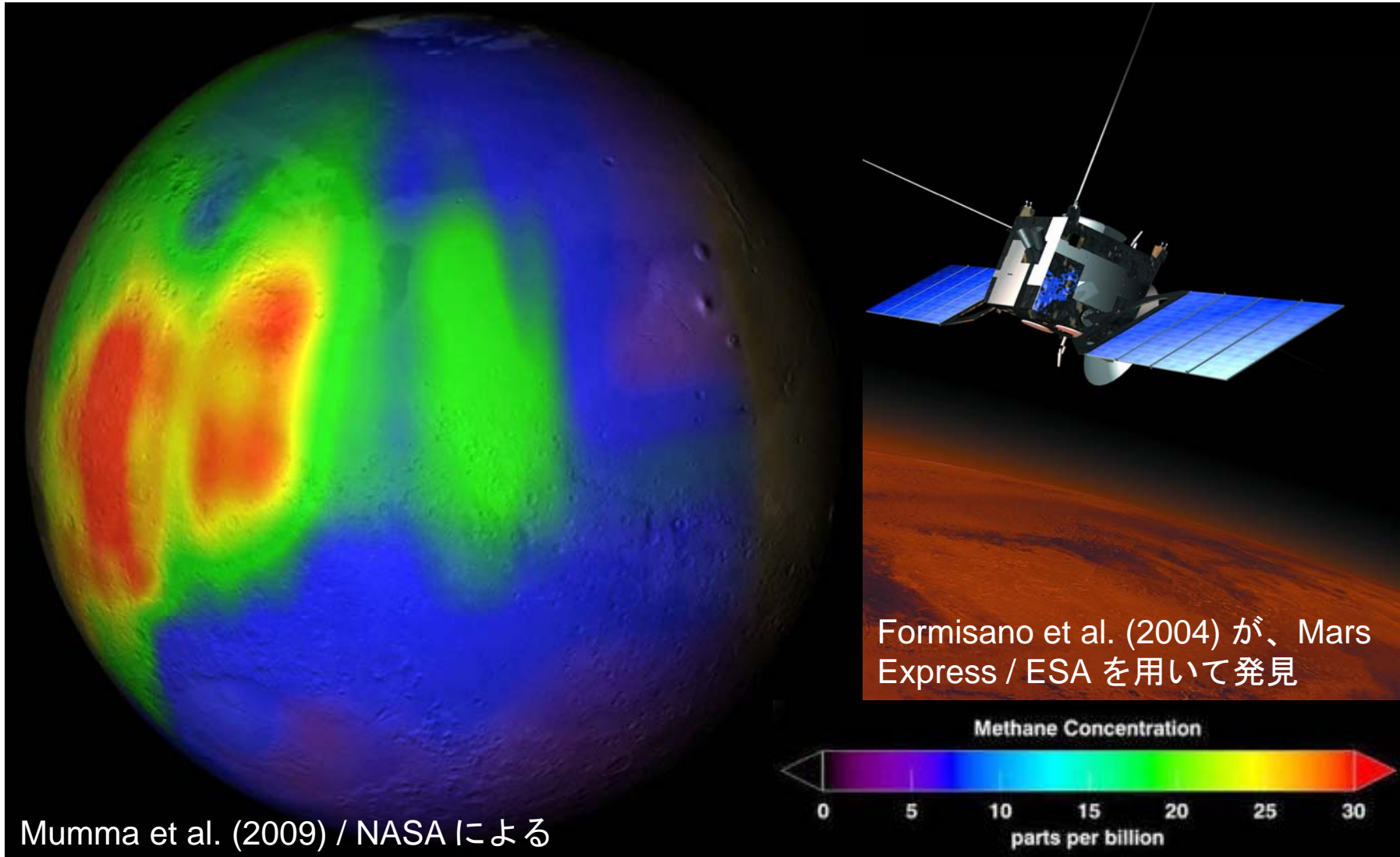
褐色矮星やガス惑星では、大気中の化学反応でメタンなど低分子量の炭化水素が大量にできる。にもかかわらず、なぜ地球のメタンは始原的でない（地球形成時に取り込まれたのではない）と考えられているのか？

- ◎ 岩石惑星は、形成時は表面から深部にかけて溶けており（マグマオーシャン）、始原的炭化水素は酸化されて二酸化炭素になったと考えられているため、石油が地球形成時に持ち込まれたものとは考えにくい
- ◎ 現在のマントル上部でも、炭化水素は酸化されてしまうらしい

しかし、

- ◎ 現実に岩石惑星（軽いために、原始惑星系円盤から水素分子ガスなどを大気として取り込めなかった惑星）や衛星にもメタンは存在する

火星のメタン



火星のメタン

- ◎ 寿命が短く（300年ほど）、分布が季節変化することから、火星地面から常にメタンが放出されている必要がある
- ◎ メタンの量は地球に比べて極めて少ない

起源

◎ 生物起源説

地球の永久凍土に存在するようなメタン菌（火星表面環境下で生存可能のものもいる）が火星地中に存在するとすれば、火星大気のメタン量は十分に説明できる（Wagner & Möhlmann 2009）

◎ 非生物起源説

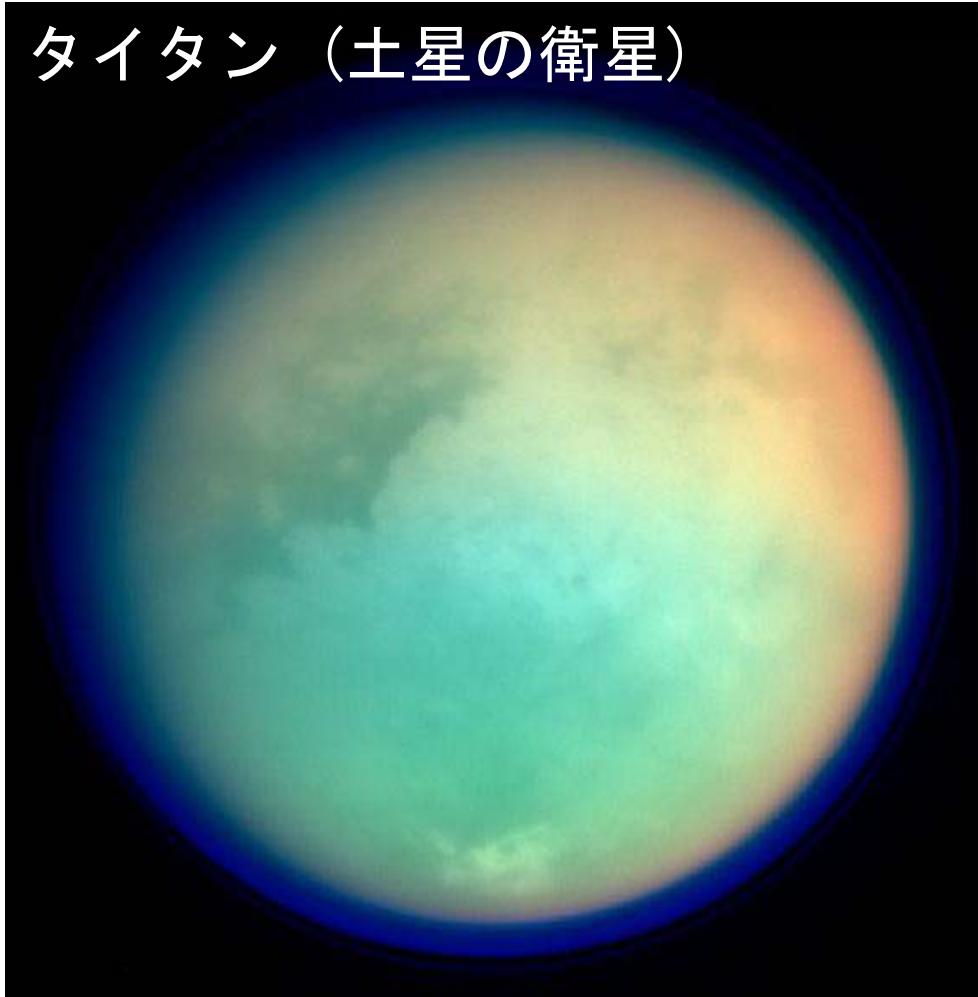
地下熱水中での玄武岩 ⇒ 蛇紋岩の反応によってできる

小惑星や彗星の衝突による供給（約40億年前の「後期重爆撃期」には、星間空間や原始惑星系円盤で作られた炭化水素を含んでいる小惑星や彗星が、大量に惑星表面に衝突（降着）した時期があった）

メタンは、永久凍土中にメタンハイドレートとして、地下に保存されることが可能

タイタンのメタン

タイタン（土星の衛星）



ウィキペディアより転載

大気をもつ衛星はめずらしい

大気組成：窒素97%，メタン2%

地表にはメタンの湖がある

大量の炭化水素はどこから来たか？

始原的、天体衝突、生物...

地球のメタン（石油）が生物起源だと考えている人は、「火星やタイタンにメタンがあるなら、生物がいるに違いない」と考える。非生物起源だと考えている人は、「火星やタイタンにメタンがあるなら、原始地球にメタンがなかったはずはない」と考える

地球のメタン（石油）

◎ 天然ガス（メタン）や石油が、もし化石燃料でないとしても、残念ながら直ちにエネルギー問題に明るい見通しが立つわけではない（明るい希望は持てるが）

⇒ エネルギー問題＝経済問題＋地球温暖化問題

◎ 天然ガスや石油の起源の問題は、以下の問題と密接に関連しているために、個人的には大きな興味がある

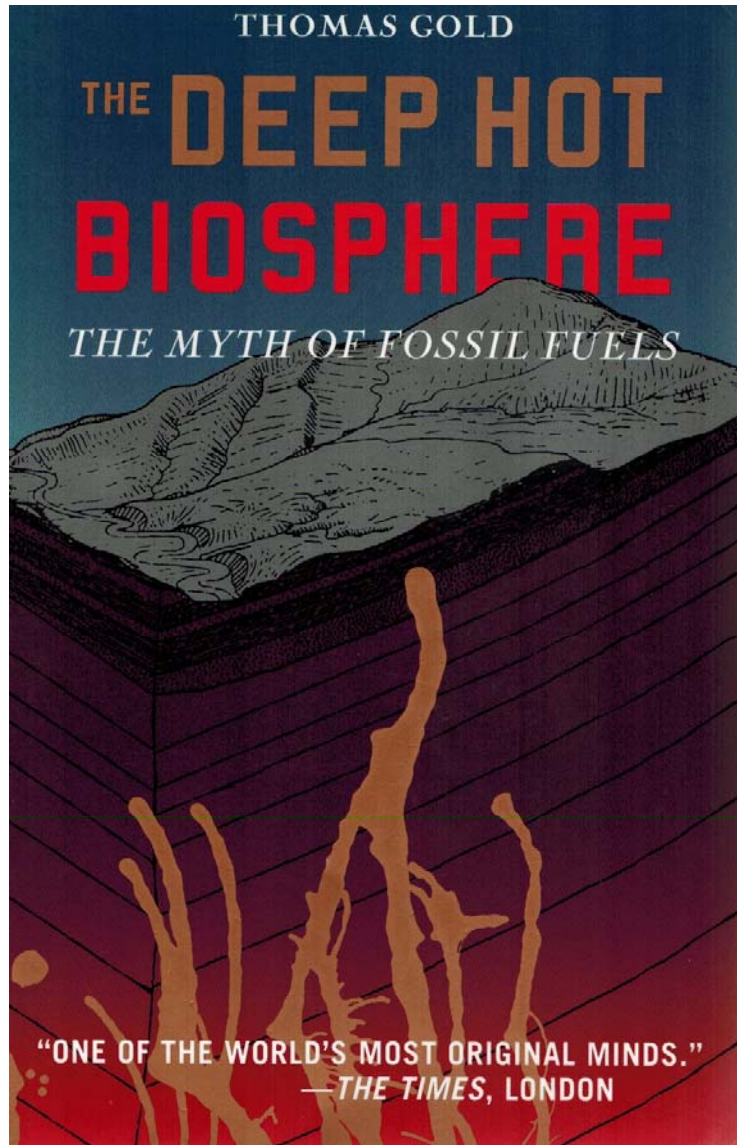
生命の起源（古細菌、熱水噴出孔、地中生命圏）

地球外生命存在の可能性（火星、タイタン、系外惑星）

惑星形成（微惑星の降着）

初期地球史（マグマオーシャン、後期重爆撃期）

地球のメタン（石油）



ここからの話は、トーマス・ゴールド著「未知なる地底高熱生物圏-生命起源説をぬりかえる」（大月書店）に基づいています

ちなみに、立花隆先生の「ぼくが読んだ面白い本・ダメな本 そしてぼくの大量読書術・驚異の速読術」（文藝春秋）では、この本は「きわめて知的にチャレンジングな本だ。これこそ、パラダイムの転換を迫る書といってよい。サイエンスの世界で、これまで常識とされていた定説が次々にくつがえされる」と紹介されている

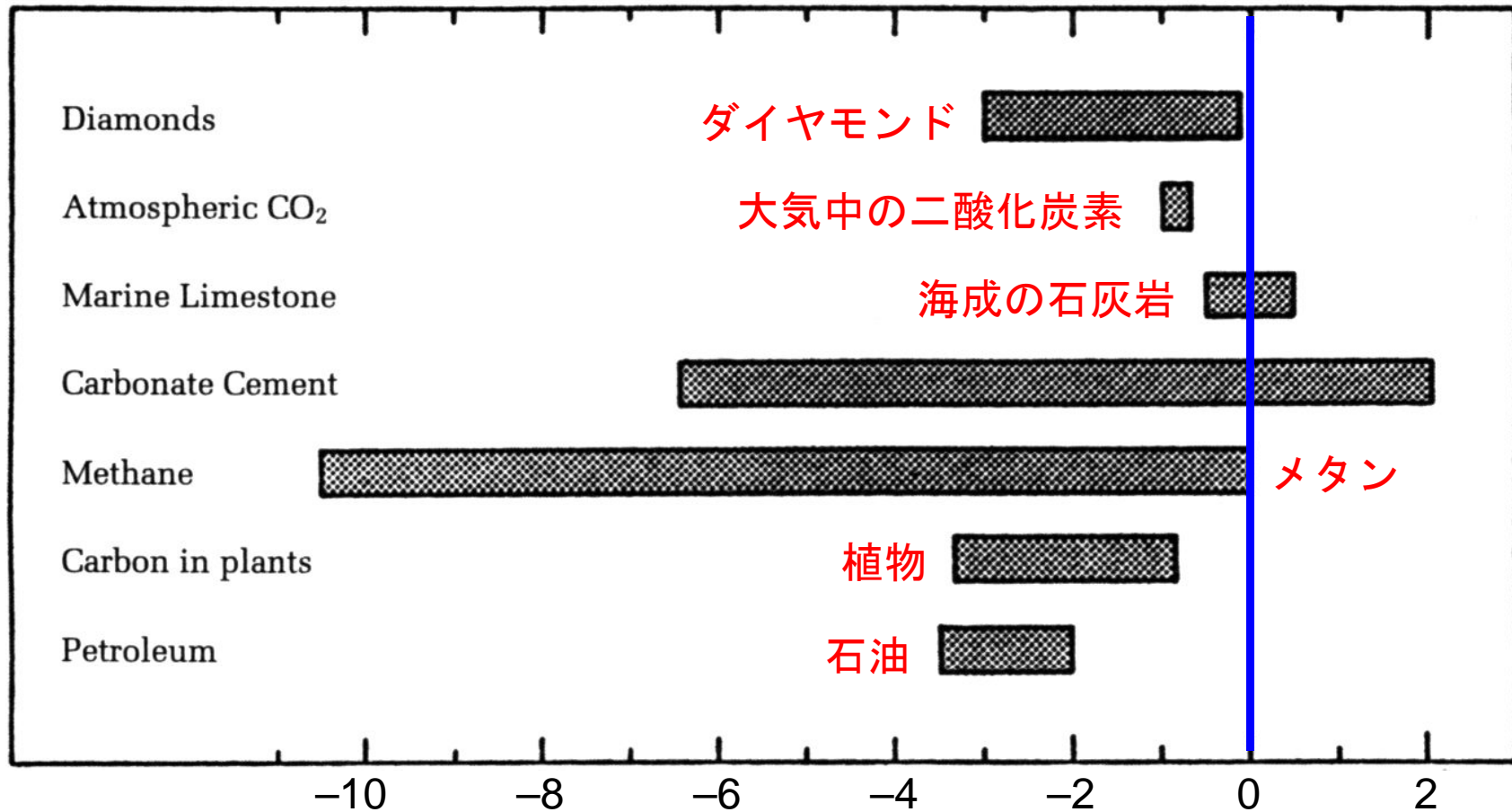
石油はなぜ化石燃料か？

- ◎ 明らかに微生物 (bacteria & archaea) が分解してできた分子 (hopanoids, terpenoids, etc.) が含まれている。これらの物質は、非生物的过程では合成不可能 (注: 大型動植物由来の物質の痕跡はない)
- ◎ 生物に特有の光学異性体の超過が見られる
- ◎ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ の同位体比が、植物の値とほぼ同じ [拡散過程]
- ◎ 石油は主として堆積岩中に発見される。中間生成物と考えられるケロジェンも同様 (ケロジェンの分布は、石油の分布よりかなり広い) [選択効果]
- ◎ 炭化水素の炭素数が奇数個と偶数個のもので、量が異なる [実は星間分子でも同様]

石油に(微)生物が関与していることは疑いない

ただし、低炭素の直鎖状飽和分子が多い石油組成を、生物の分解・変成作用で作ることは極めて困難 (Robinson 1963) なことなど、「生物の死骸が長い間かけて石油になった」と結論づけるには大きな問題がある

同位体分別



さまざまなサンプルにおける $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比の地球標準値からのずれ (%)

Gold (1987) による

生物起源で説明できないこと

化石燃料にはヘリウムが付随している

- ◎ ヘリウムは、油田探査に使用されるほど地中にある炭化水素の良い指標（商用ヘリウムは、大部分が油田やガス田で採取されている）
- ◎ 大部分がウランとトリウムが地中で核分裂することで作られた地球のヘリウムが、生物の死骸が変性したとされる化石燃料と共存することは全く説明不可能
- ◎ 大きな $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比 ($\sim 10^{-5}$) を示す天然ガス（メタン）がある（eg. Wakita & Sano 1973）（ ^3He は始原的に地球に取り込まれるが、固体地球外層の ^3He は宇宙へ逃げるため、深層では ^3He が多くなる）
- ◎ 地面から放出されるヘリウム、炭化水素、窒素の混合比は、地質にかかわらず広範な範囲にわたってほぼ同じであり、混合が堆積層の下で起きていることが分かる
- ◎ 何かの媒体が、ヘリウムを地中深部から油田・ガス田へと運んでくる必要がある。地下から昇ってくるメタンを含んだ流体がヘリウムを運ぶとすると、観測されるヘリウム量を説明するためには、流体は150 km程度の深さから上昇することが必要になる

生物起源で説明できないこと

海底で堆積した石灰岩などの炭酸化合物（大気中の CO_2 が海水に溶け、サンゴや貝などを經由して沈殿したもの）に、長期にわたる $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比の増加が見られない

- ◎ 光合成によって植物内の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比が低下すると、大気中ではその分 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比が増加する。植物が死んで分解され、すべてが大気に戻されれば、大気中の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比は元に戻るため、長期変化はおきない。もし光合成生物の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比欠損が石油として固定されてしまうと、20億年以上にわたって大気中の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比は有意に増加するはず。そのため、海洋で堆積した石灰岩などに含まれる $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比は、長期にわたって増加しなければならないが、現実にはその傾向は見られない
- ◎ 地殻中の炭化水素がすべて生物起源（光合成生成物）だとすると、その副産物として10気圧分の酸素が発生してしまう（Missing Oxygen Problem）

生物起源で説明できないこと

- ◎ 生物起源とは考えられない地域（海嶺など火成岩だけの場所）にもメタン（ハイドレート）や石油が存在する [lateral migration?]
- ◎ 大きなH/C比や、石油の大部分が低炭素の直鎖状飽和炭化水素であること（生命を作っていた大量のOはどこへ行ってしまったのか。普通はCO₂になるはずだが...）
- ◎ 深い井戸から採れる石油ほど、生命の痕跡物質が少ない（H/C比が増加）
- ◎ 枯渇した油田に再び石油が戻る [lateral migration?]
- ◎ 大規模な油田で、領域ごとに地質年代の堆積物に大きな違いがあっても、石油の成分には大差がない [lateral migration or diffusion?]
- ◎ 数百キロ以上に及ぶ細長く伸びた石油産出領域は、堆積物で作った構造とは考えにくい。地殻の大規模な構造（裂け目）と考えたほうが自然 [lateral migration?]
- ◎ 地下の地質構造に関係なく、炭化水素が多い地域では、地中深くの岩盤の中でも炭化水素が多い（Koudryavtsevの法則） [downward migration?]

炭化水素が地中深く（100 km以上）から地表に向かって上昇してくる（upward migration）と考えることで、以上の困難は回避される

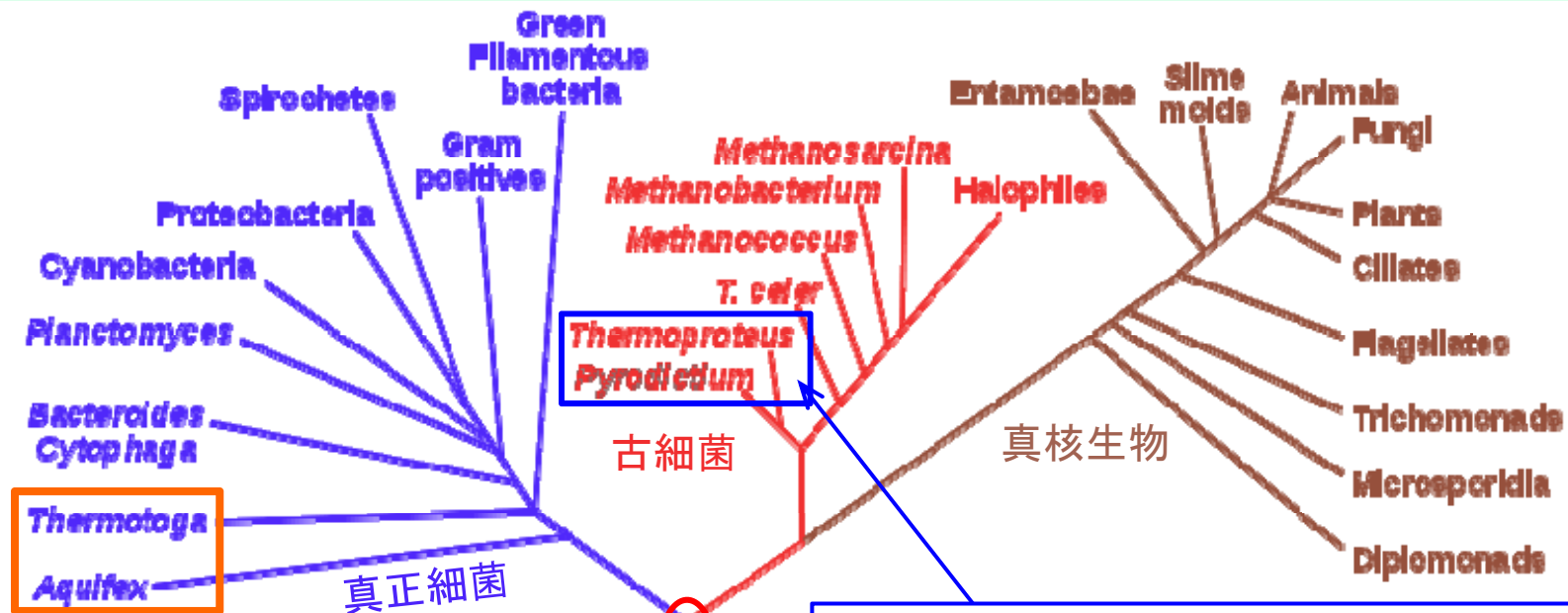
注）マントルや地殻中の比重の小さい物質（メタン流体）が、上方に向かって移動するのは物理的に自然な現象（浮力）だが、横方向や下方向に長距離移動するのは極めて不自然

石油に含まれる生命の痕跡は 何を意味するのか?

広範な地中生命圏の存在 (地下 10 km くらいまで?)

主として古細菌 (archaea; Woese & Fox 1977)。温泉、熱水噴出孔、地下などの**極限環境**で生息するものが多い

地中微生物の総量は、地上生物の総量に匹敵する (10¹⁴トン) と推定されている



共通祖先 (コモノート, LUCA, etc.):
好熱微生物だった可能性が高い

原始的な生物は、高温や無酸素でないとは生きられないものが多く、生命はそのような「過酷」な条件下で誕生したと思われる

(系統樹は http://wapedia.mobi/en/Evolutionary_tree から転載)

地球のメタン（石油）の起源

非生物起源（始原説）による解釈

天然ガス、石油、石炭（泥炭を除く）は、始原的炭化水素（主としてメタン）が、地下深く（100 km以上）から地表まで上昇してくる途中で、古細菌などの死骸が分解して混入したもの

1990年代、西側諸国ではメタンはほとんどすべて（99%以上）生物起源だと考えられていた。最近の学術誌では、地球のメタンの10%程度は非生物起源（地殻中での生成）だと書かれている

【こぼれ話】

9月3日発行のAERAには、「列島周辺は資源の宝庫」として、日本列島周辺の広範な海域や、本土の多くの地域に、油田、ガス田、メタンハイドレートが存在する可能性があると紹介されている。この記事の著者は科学ジャーナリストだが、「石油・天然ガスや…メタンハイドレートといった化石燃料は、地下や海底下にたまった動植物の死骸などから生成される」、「エネ庁によると、油田・ガス田の候補になるのは、プランクトンの死骸や植物などの有機物が、海底に泥や砂と一緒に2千メートル以上積もっていて…」と述べられており、地球の炭化水素に関する化石燃料**仮説**（パラダイム、神話…）が、常識的真実として国民に受け入れられている現状がよく分かる