

地下で働くいきものたち

～ 地下圏微生物の世界 ～

地圏資源環境研究部門
竹内 美緒

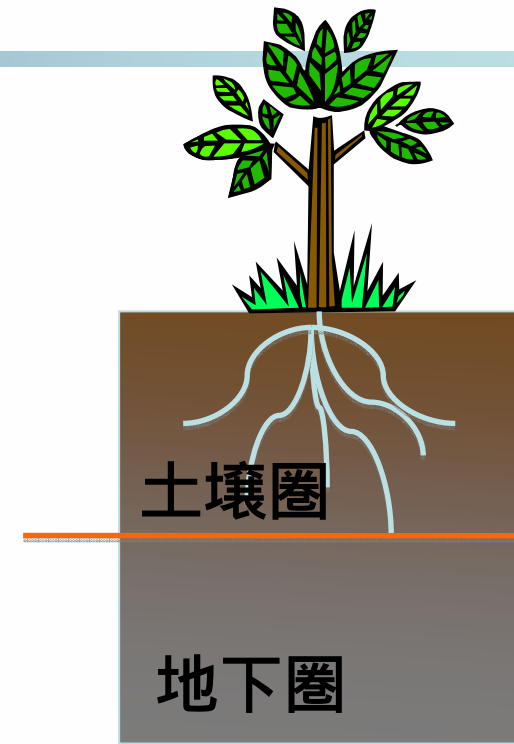
地下圏ってなに？

地下圏微生物 土壤微生物

土壤の下限：植物の根の下限付近まで

植物の根，ミミズや他のいきものとの相互作用が存在

土壤圏より下を地下圏



地下圏の特徴

1. 暗い
2. 狭い
3. 酸素がない
4. えさが少ない

➡ 「地下圏にはいきものは存在しない」(80年代)

現在：地下圏のいきものは・・・

たくさん存在する！

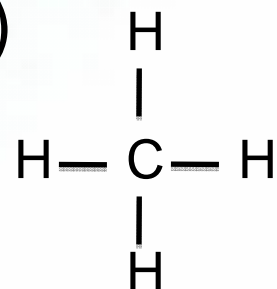
不思議なくみで生きることができる

結構すごい！

メタン (CH₄)



(USGS HPより)



都市ガスに使われてい
るエネルギー資源

日本の水溶性メタン埋蔵量：8,000億m³（水溶性
天然ガス総覧）

海底下のメタンハイドレート：日本近辺で7兆m³（佐藤，
1996）

ほとんど地下圏微生物が作ったもの！

今日のお話

1. 地下のいきもの、微生物ってなに？
2. 地下のいきものの不思議なしくみ
地下のいきもの、どうやって調べるの？
3. 地下のいきもの、なんの役にたってるの？

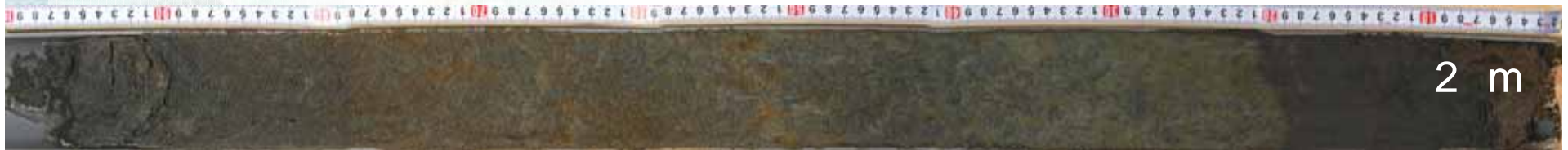
1. 地下のいきもの、微生物ってなに？

地上のいきものたちはこのようにたくさんいますが



地下にはどういういきものがいるのでしょうか？

地下をどんどん掘っていくと・・・

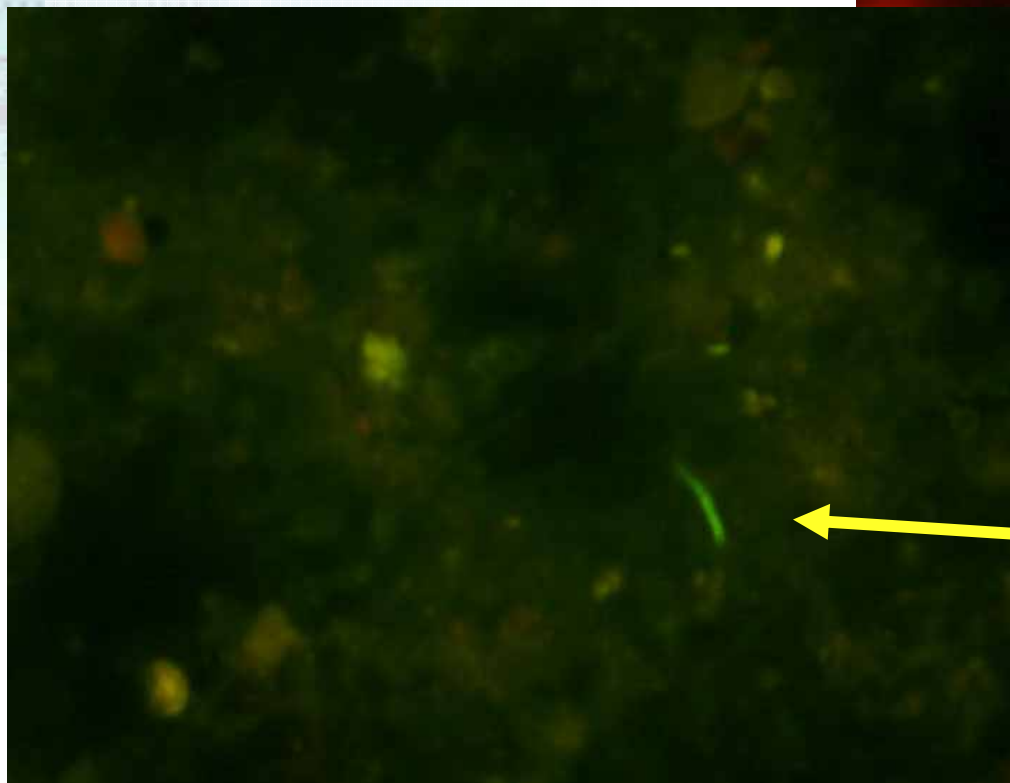
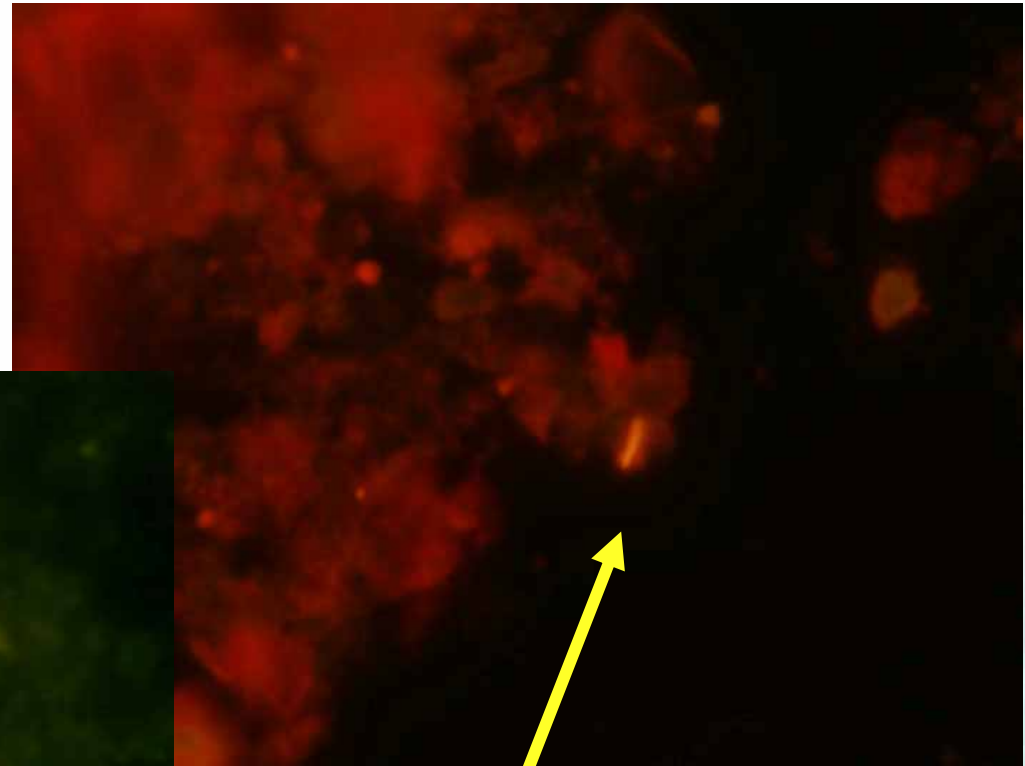


いきものが見えましたか??



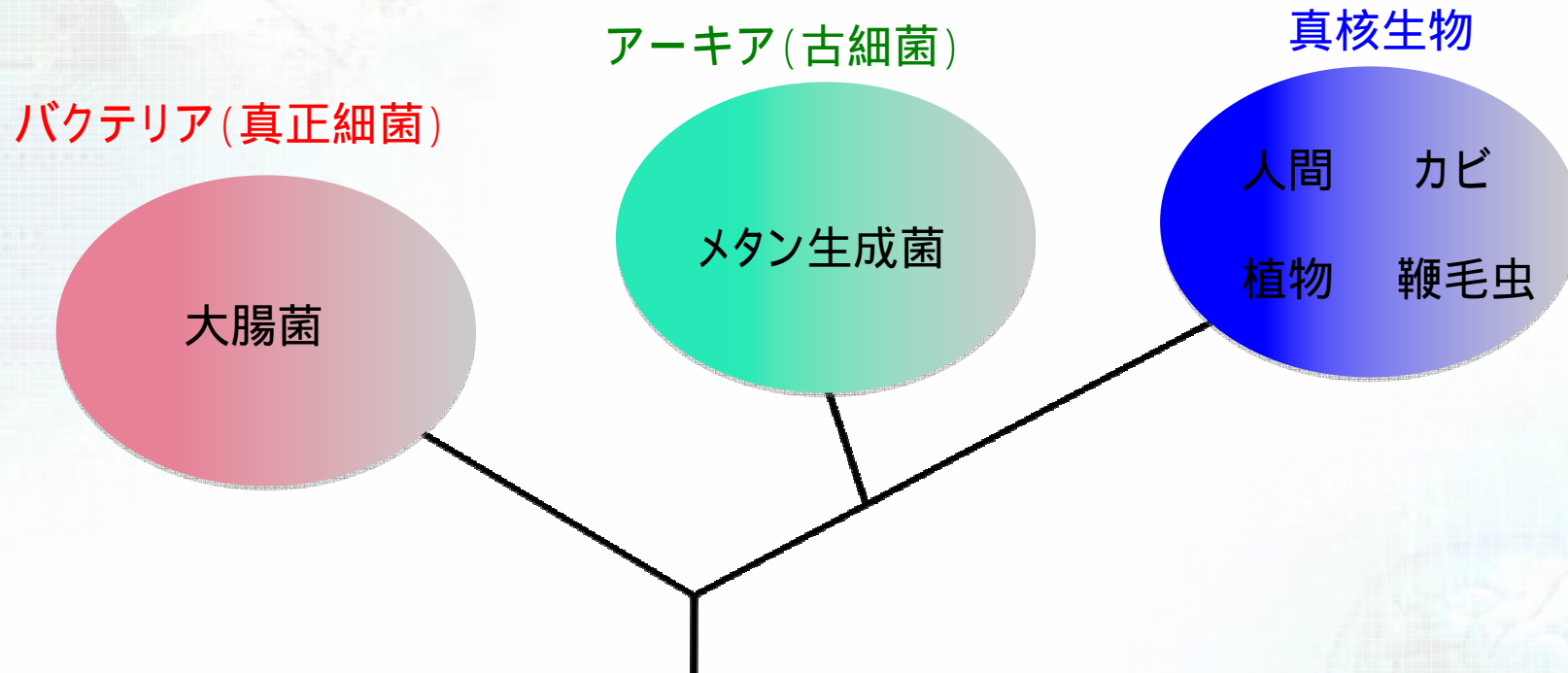
National Institute of
Advanced Industrial Science
and Technology
AIST

顕微鏡で見ると……



堆積物粒子の間に
いきもの発見！！

微生物って？

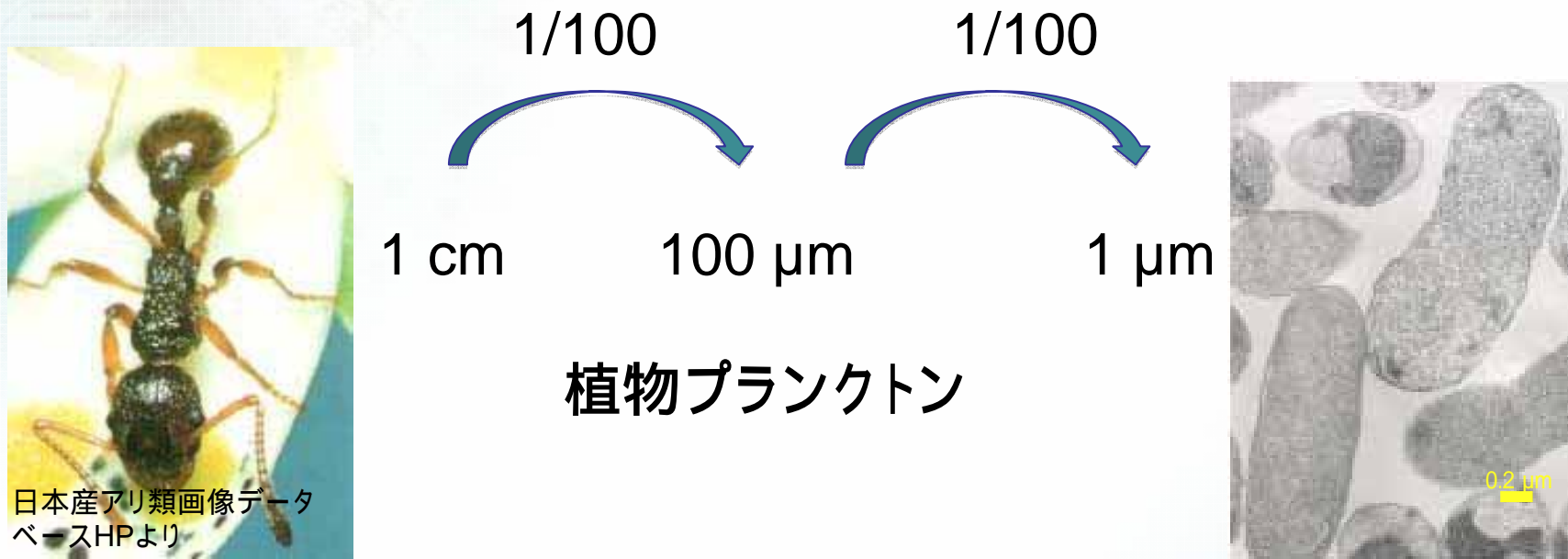


地球上の生物の進化系統樹

地下圏にいるのは主にバクテリアとアーキア

微生物の大きさは？

アリ(約1cm) と比べると、



一般的に数μm なので、アリの一万分の一程度

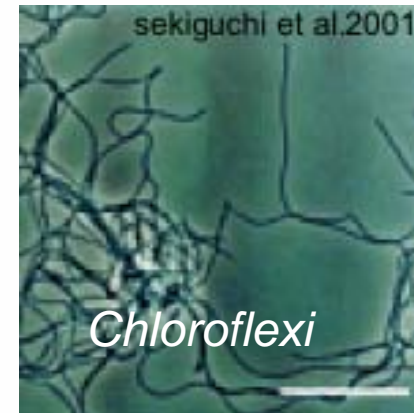
微生物の姿は？



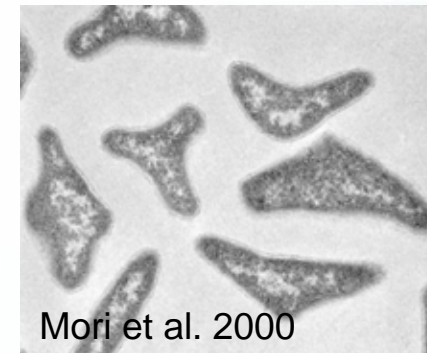
球菌



桿菌



糸状菌



不定形

微生物の種類はどのくらい？

名前がついているバクテリア、アーキアは現在9000 種以上

環境中のDNAを解析し、微生物数を推定可能

既知の微生物はまだ1%程度！と考えられている

私達はまだほとんどの微生物を知らない (特に地
下圏は未知の菌だらけ！)

人間、動物の病原菌の割合はどのくらい？

250種に満たない程度(3%)。

ほとんどは様々な物質循環などに貢献している無害な菌

2. 地下のいきものの不思議なしくみ

地下圏、どのくらい深いところまで微生物がいるの？

陸上地下: 複雑な地質構造に影響される

鉱山の3 km を超える地下水:

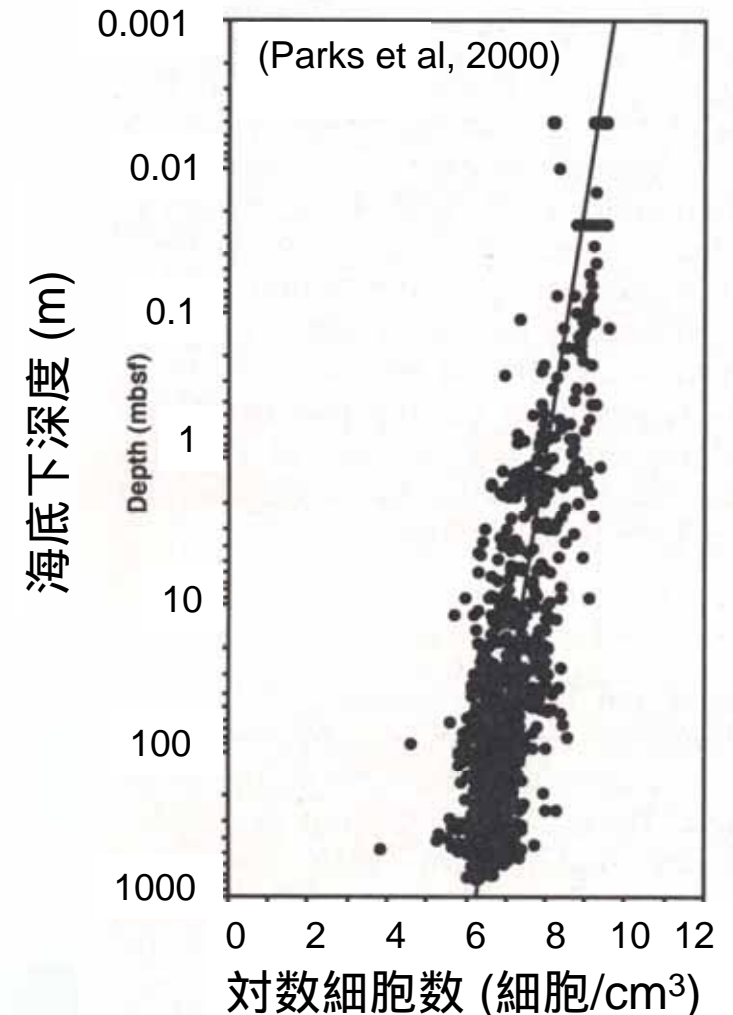
10^6 細胞 / ml (Moser et al. 2005)

(湖と同じくらい)

海底地下: 均一な堆積物が堆積

微生物数は深さに依存

現在は海底下800 m 弱まで確認されている



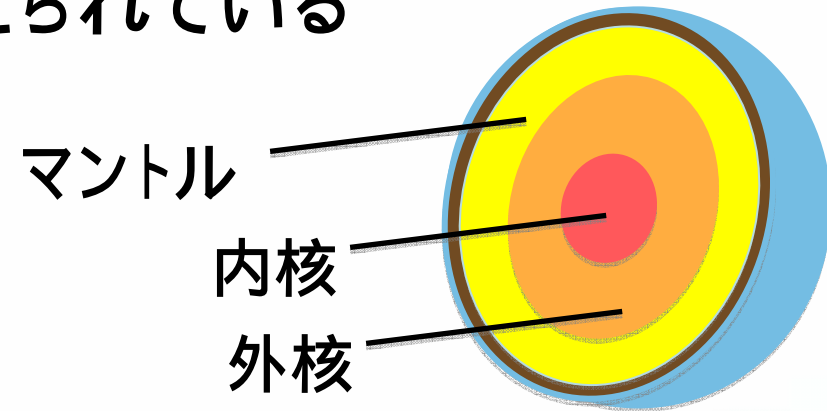
限界はどのくらい？

約 4 kmと考えられている

地球の中心：約5000

地温勾配：0.03 / m

地下4 km で125 くらい



地球の断面

超好熱菌は高温でも増殖可能

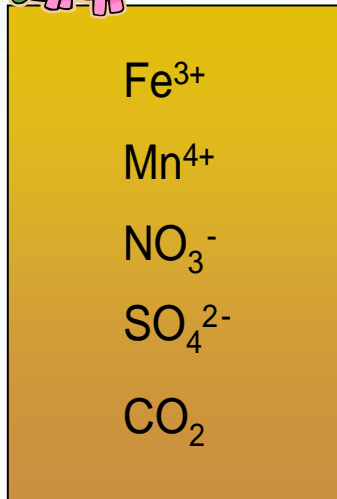
微生物が増殖できる温度の最高記録：123 ! (Takai et al 2008)

不思議その1: 酸素がないのにどうして生きて いるの?

地上の微生物: 酸素(O_2)を使う



地下の微生物: 酸素以外のもの
で代用できる



好氣的



嫌氣的

好氣性微生物

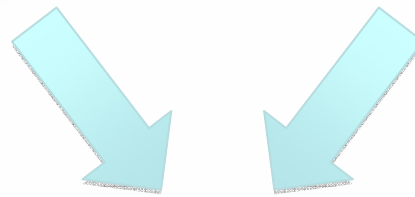


嫌氣性微生物

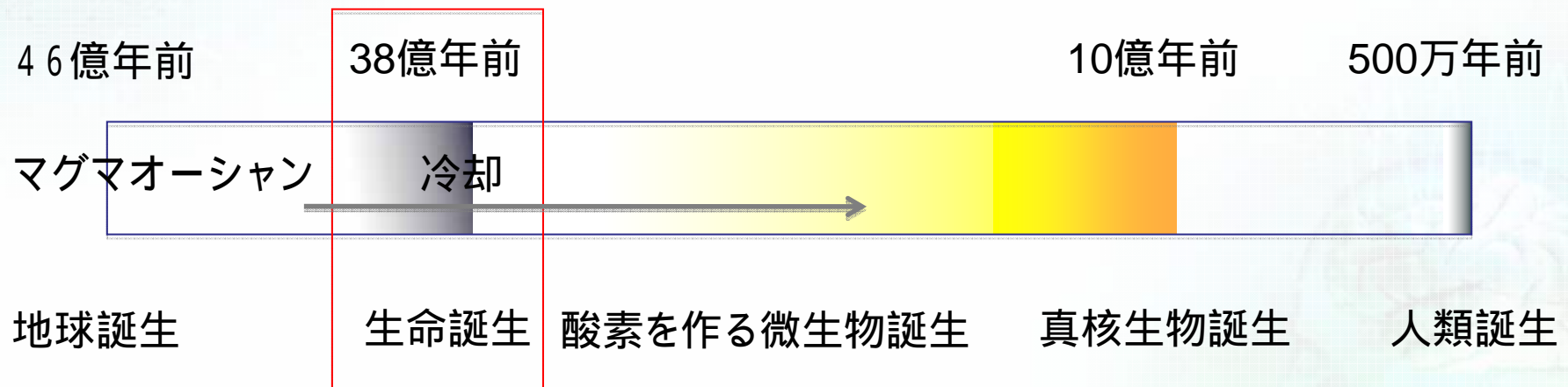
生命の起源は地下圏にいる？

酸素がない環境

深くなると高温になる



生命が誕生した頃の地球の環境に似ている



地下圏は最初の生命が生き残っている唯一の場所？

不思議その2:狭くてえさが少ないところでどう やって生きているの？

地下圏微生物のすみかは？

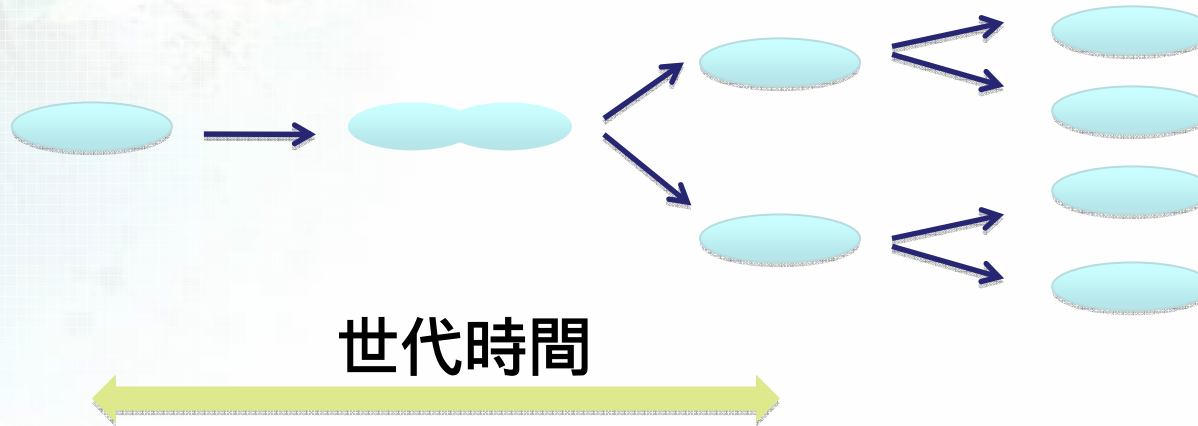
東京の地下の粘土層ではほとんどの空
隙の大きさが0.1-1 μm である

(竹内ら, 未発表)

ほとんど自分の体と同じくらいの空間で生きている

微生物のライフサイクル

分裂によって増殖



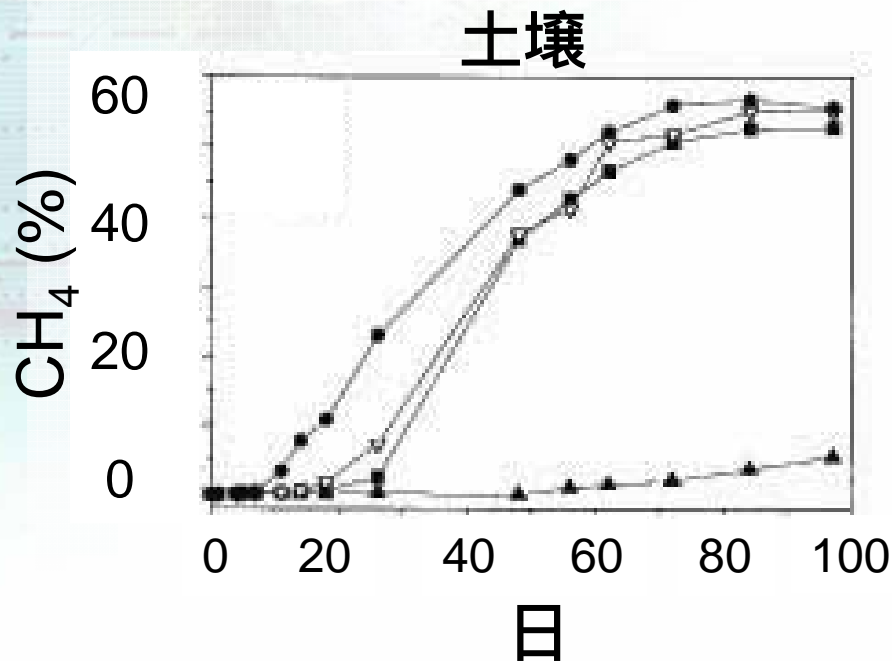
大腸菌の世代時間は20分 他の微生物も数時間～数日



7時間後には400万細胞！！

地下圏微生物の戦略は？

メタン生成：土壌 VS 地下圏



(Wagner and Pfeiffer, 1997)

非常に遅く、気相のメタンが20%になるまで約2年もかかる
世代時間：1ヶ月

地下圏微生物はゆっくり生きる

さらに・・・

海底地下浅部の微生物の

世代時間： 7ヶ月 (Nauhaus et al, 2007)

様々な状況証拠から推定した

海底地下深部の微生物の世代時間： 2000年
(Biddle et al 2006)

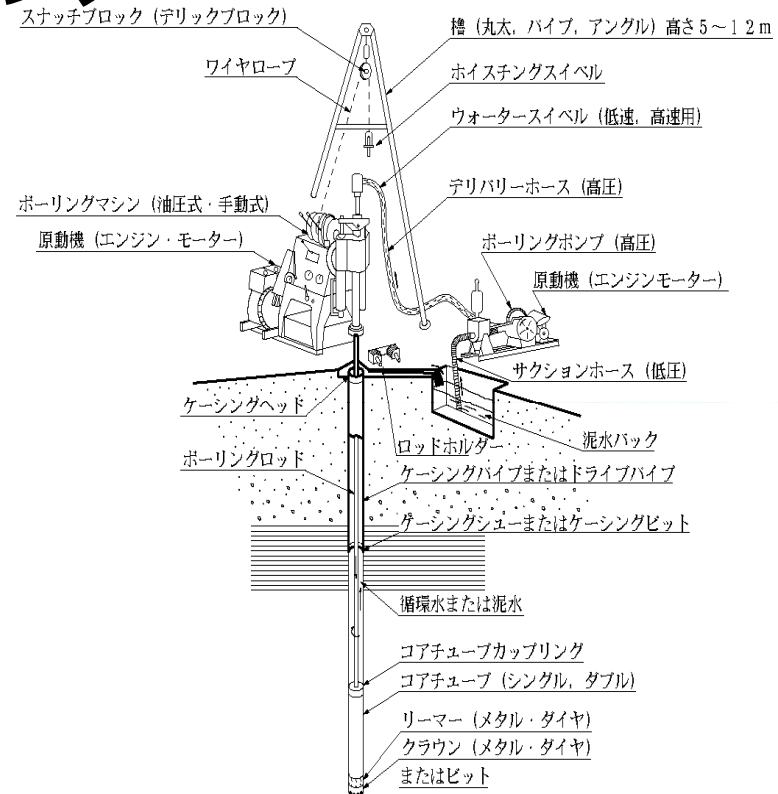
世代時間 = 寿命と考えると

地下圏微生物は非常に長寿ないきもの, とも言える

2. 地下のいきもの, どうやって調べるの?

1. 掘削(ボーリング): 堆積物や岩石を直接採取
2. 地下水採取: 既にある井戸を使用

ボーリング

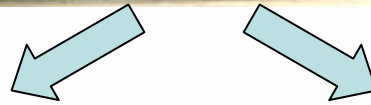




National Institute of
Advanced Industrial Science
and Technology
AIST



コアを回収



酸素が嫌いな菌を
殺さないよう



嫌気チャンバー



細菌が外から入
らないよう



クリーンベンチ

地下水採取

採水器やポンプ



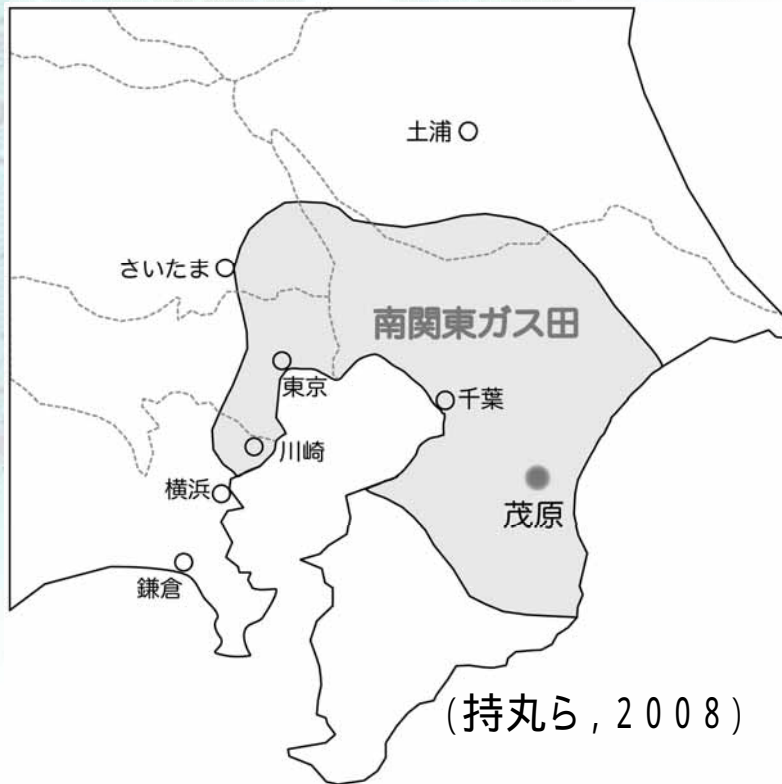
自噴井も利用

地下約500 mの水



培養, 遺伝子解析, 活性測定, 化学分析(脂質等)

3. 地下のいきもの, なんの役にたっ てるの?



関東平野の巨大ガス田

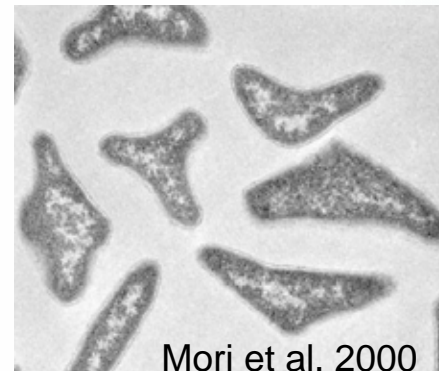
私達の燃料資源であるメタンは
地下圏微生物が作ったもの



いつ, どこで, どのようにして ガス田
ができるのかはまだ謎

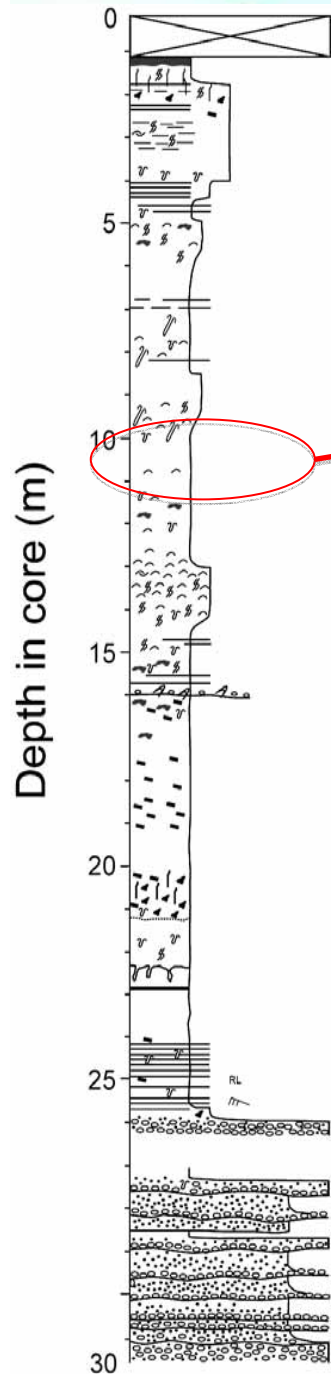
メタン生成菌 (methanogen)

- ・アーキア
 - ・嫌気性細菌
 - ・水田, 土壌, 牛の消化管などにも生息
 - ・様々な原料からメタンを作る
1. 二酸化炭素 (CO_2) と水素 (H_2)
 2. 酢酸 (CH_3COOH)
 3. メチル化合物 (メタノールなど)



Mori et al. 2000

東京の地下では



嫌氣的になる境界付近でメタンがたくさん作られている

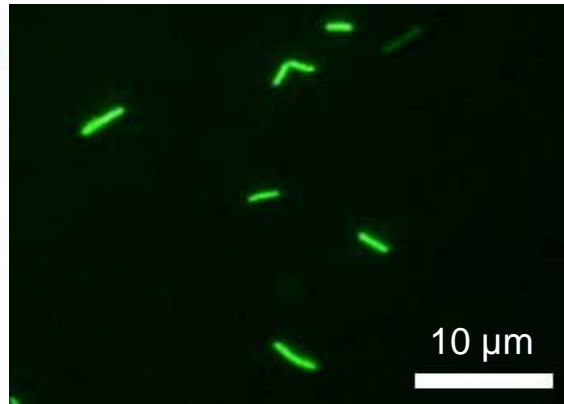
何からメタンが作られているのか？

基質を添加する実験により、主に二酸化炭素と水素からメタンが生成されていることが明らかになった

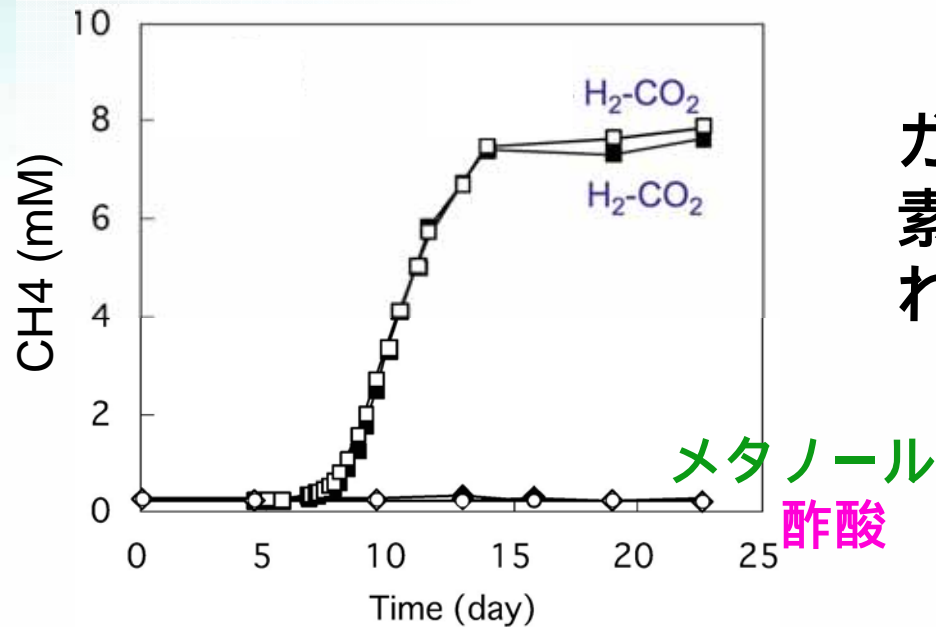
(竹内ら, 未発表)

現在の天然ガス田では？

ガス田の生産井から地下水 (< 1,100 m) を採取



10^4 細胞/ml のメ
タン生成菌が存
在していた

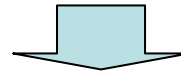


ガス田の中でも現在も二酸化炭
素と水素からメタンが作り続けら
れている！

(持丸ら, 2007)

将来の展望

地下圏では二酸化炭素をメタンにする反応が主流

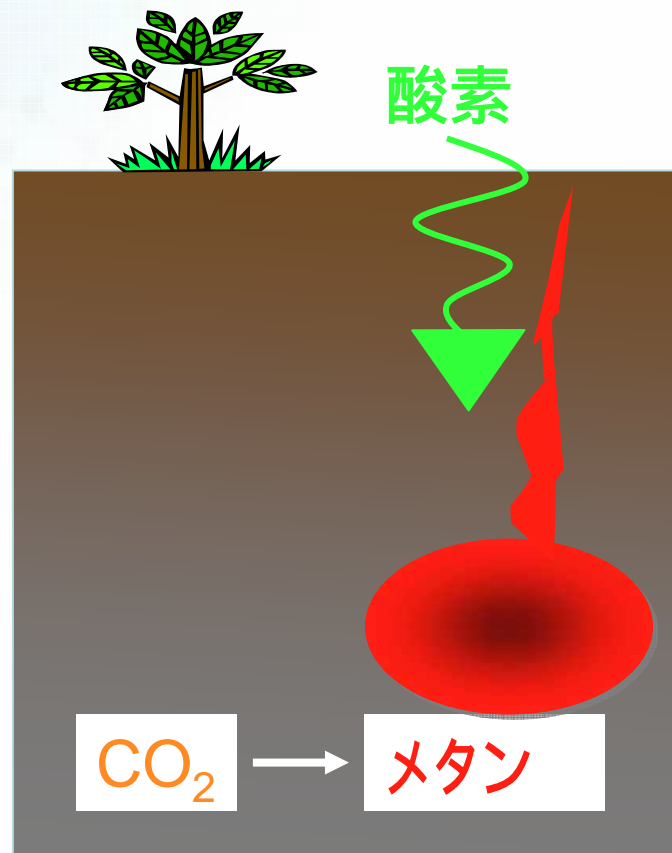


地上で不要になった二酸化炭素を微生物によって再びメタンガスにするリサイクルも可能かも！？

メタンは環境に悪い？

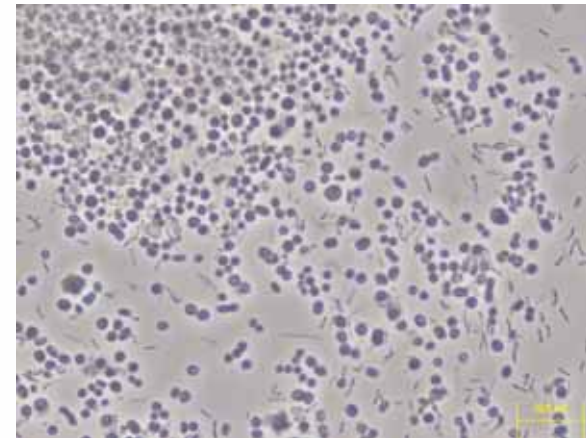
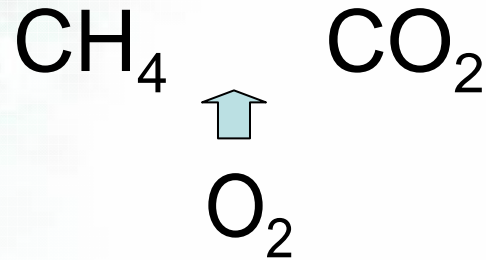
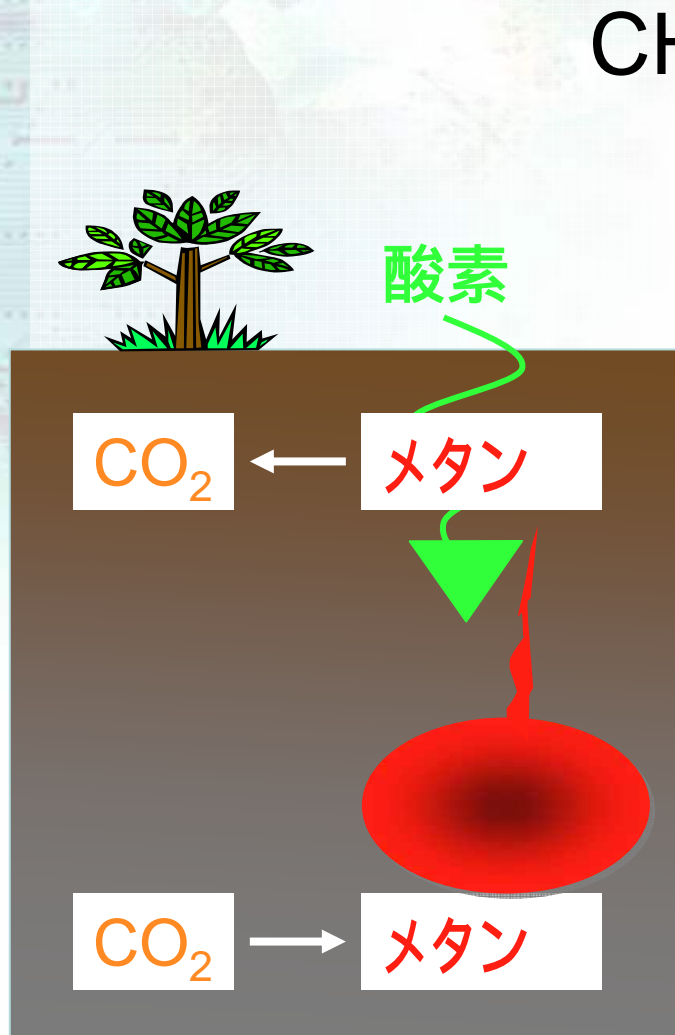
メタンの温室効果：二酸化炭素の23倍！！

ガス田地域では，メタンが地表にわき出しているところもある



田んぼや畑では農作物への悪影響もでている

メタン酸化細菌がメタンの放出を抑制



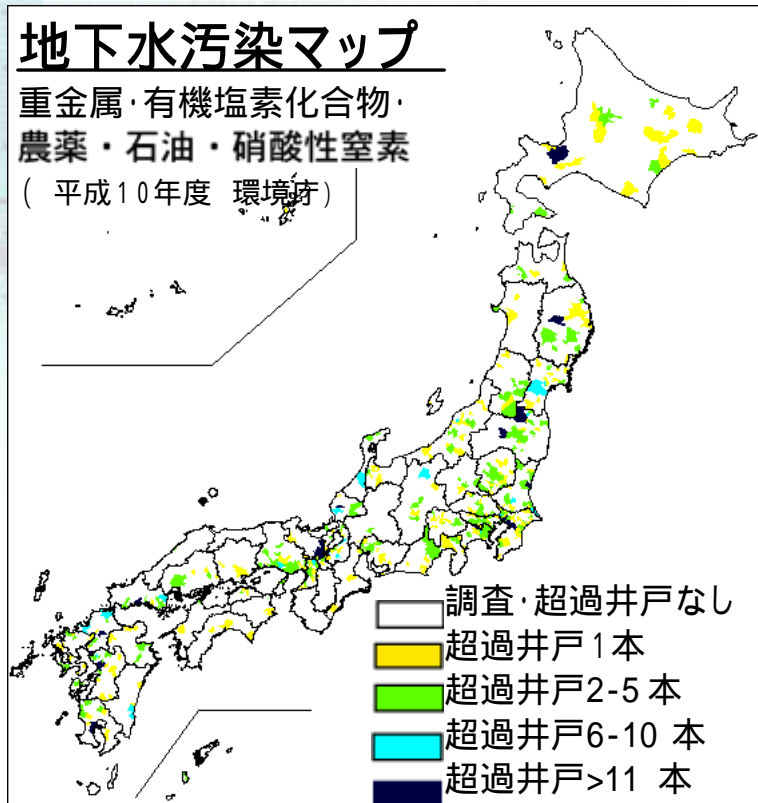
ガス田地域の浅い地下水(10 m程度)には高密度のメタン酸化細菌が存在

全バクテリアのほとんどがメタン酸化細菌の場合も

4. 地下のいきもの, なんの役にたってるの?

地下圏の環境問題

地下水汚染



揮発性有機塩素化合物や重金属など

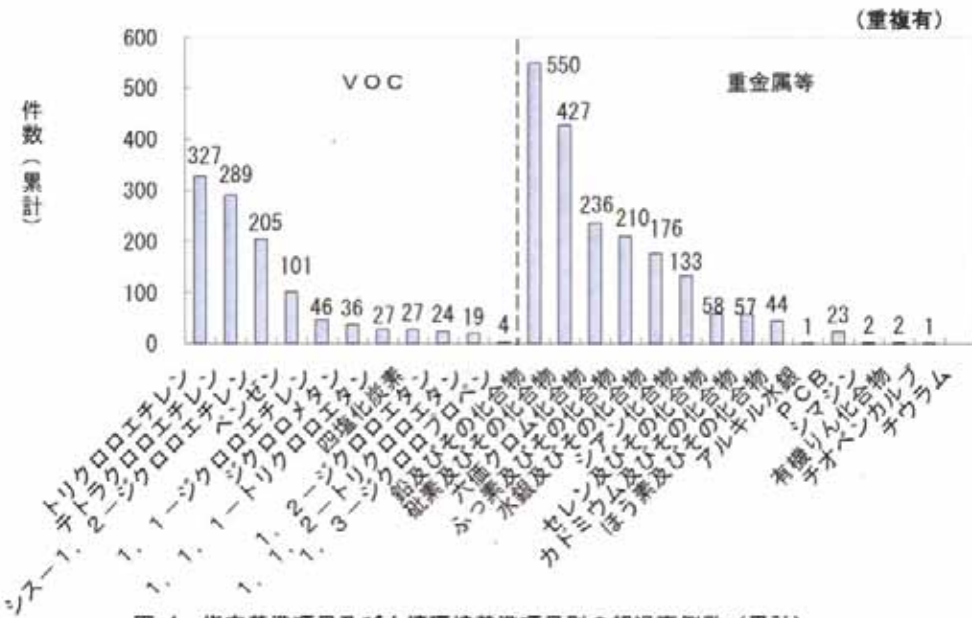
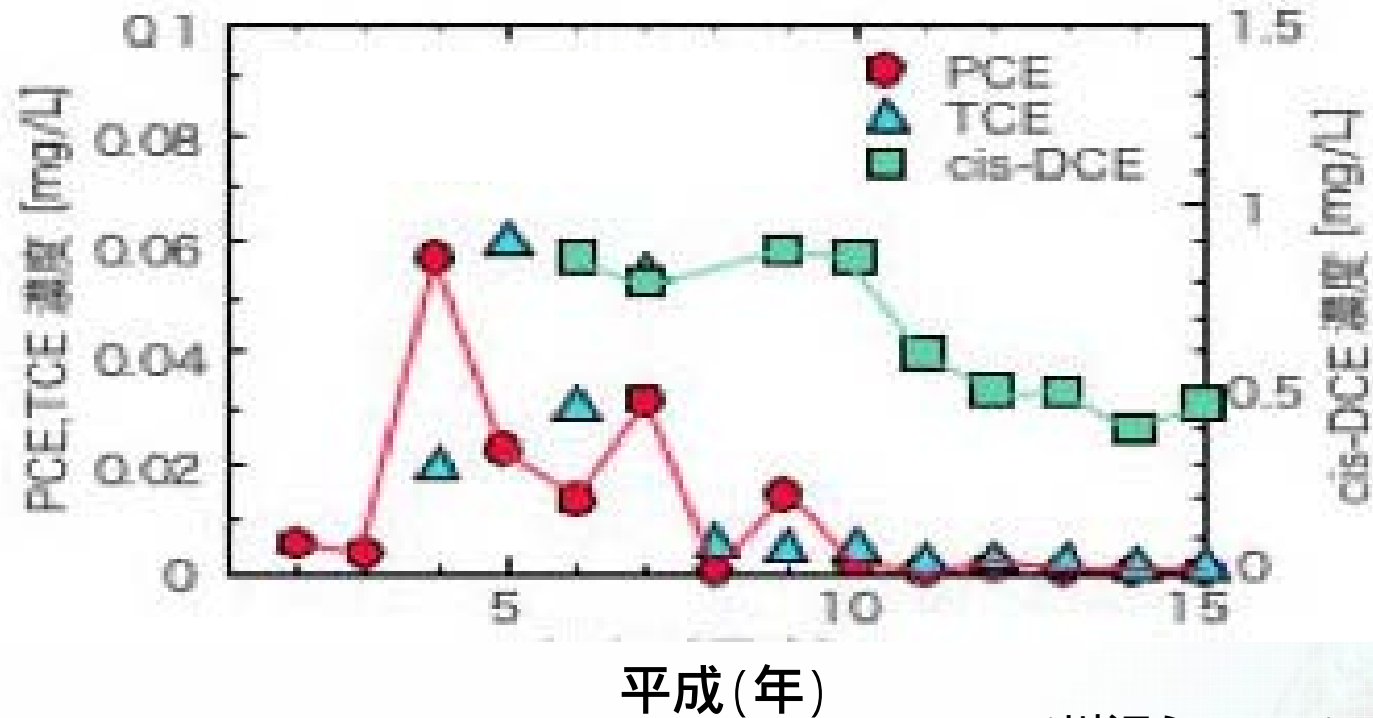


図4 指定基準項目及び土壌環境基準項目別の超過事例数 (累計)

全国に広がっている

とある地下水汚染現場の汚染濃度変化

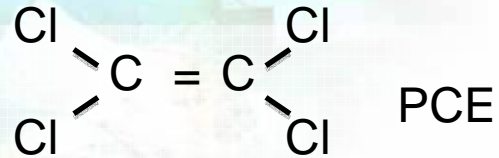


(川辺ら, 2004)

次第に汚染物質が分解されてきている

なぜか？

揮発性有機塩素化合物のテトラクロロエチレン

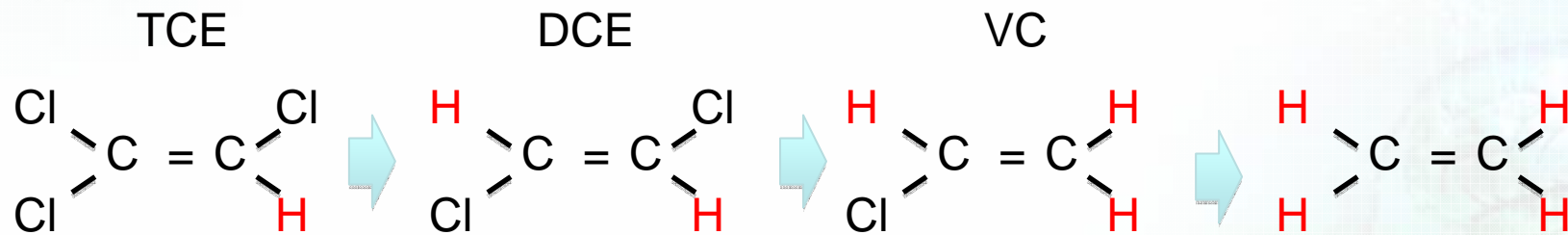


脱脂溶剤として広く利用



デハロココイデス
(*Dehalococcoides*)

Some strains of *Dehalococcoides* bacteria can break down chlorinated solvents into nontoxic ethene.

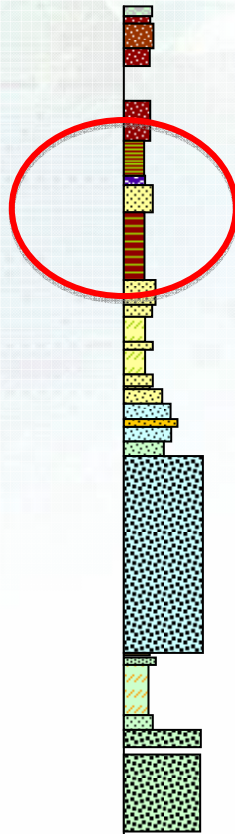


エチレンに分解して無害化する能力をもつ

掘削調査の結果

この汚染現場には、特に有機
質粘土層中にデハロココイ
デスがたくさん生息しているこ
とがわかった

(竹内ら, 未発表)



柱状図



湿地で堆積した有機物を
多く含む地層



デハロココイデスに栄
養を与えている

特殊な地質構造が微生物による自然浄化に適した環
境を作っている

地下圏微生物が浄化できる汚染物質

揮発性有機塩素化合物・石油・PCB・ダイオキシン
ヒ素・ウラン・クロム・シアン

自然な浄化を評価・人工的に浄化を促進
貴重な水資源の保全

まとめー今回の主なトピック

- 1 地下圏にはたくさんの微生物が存在している
- 2 狭い空間や乏しい有機物という不利な環境にもうまく適応して、ゆっくり生きたり、酸素や有機物に依存しない仕組みにより生きている
- 3 地下深くの酸素がない、温度が高い、という環境で生きている微生物は生命の起源に近いかも
- 4 燃料資源であるメタンの多くは地下圏微生物が作ったもの
- 5 他にも地球温暖化ガスであるメタンの大気への放出を抑制したり、地下水汚染を浄化したり、地下圏微生物はいろいろなところで役に立っている