

宇宙地球科学 I (第六回目)

地球資源・エネルギー

東京大学総合文化研究科：

小宮 剛 准教授

2018/11/6

komiya@ea.c.u-tokyo.ac.jp

http://www43.tok2.com/home/lsua/

化学沈殿岩(縞状鉄鉱層、縞状Mn層など)

堆積性が主要な鉱床形成である有用元素

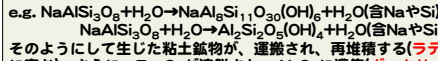
- (1) 砂鉱 : Sn, Au, Pt, REE, Zr, K, Na, Ba, S, Ca, Mg
- (2) 残留鉱床 : Al, Ni(ラテライト, ポークサイト)
- (3) 堆積性鉱床 : Pb, Fe, Zn, Mn, U, Pd, P, Rh(ロジウム), Os, Si, Al, Ca, Mg

(1) 砂鉱(placer): 後背地に特殊な鉱物が多く含まれていて、それが川や風によって運ばれ堆積したもの

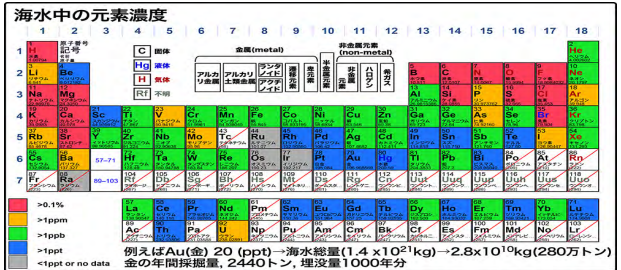
- (1) 鉱物が化学的に安定
- (2) 後背地に多く存在
- (3) 多くの場合、その鉱物は比重や硬度が大きい。

例: Au, Pt, イリドスミン(Ir, Os), 磁鉄鉱, チタン鉄鉱
錳石, クロム鉄鉱, 鉄マンガン重石(Fe,Mn)WO₄
ザクロ石Mg₃Al₂Si₃O₄, モナズ石(Ce,La,Nd,Th)PO₄, ジルコン, ダイヤモンド, 石英

(1) 残留鉱床: 一般に風化によって、鉱物の一部が水に溶解する。この時、水に溶けにくい元素は残り粘土鉱物を形成する。



そのようにして生じた粘土鉱物が、運搬され、再堆積する(ラテライト, Al₂O₃とFe₂O₃に富む)。さらに、Fe₂O₃が溶脱され、Al₂O₃に濃集(ポークサイト)。



海水中の微量元素の濃度の平均値の変遷 (海洋地球化学, 衛生俊敏編)

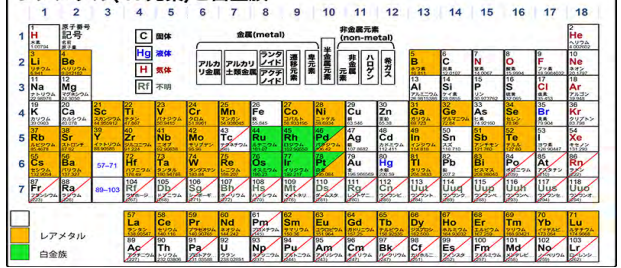
元素名	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代
鉄	180	36	0.7	0.6
銅	50	8	2	2
銀	3	0.3	0.03	0.02
金	0.02	0.02	0.06	0.00015
鉛	0.2	0.2	0.005	0.005
ヒスマス	0.1	0.1	0.05	0.00015

例えはAu(金) 20 (ppt) → 海水総量(1.4 × 10²¹kg) → 2.8 × 10¹⁰kg(280万トン)
 金の年間探掘量, 2440トン, 埋没量1000年分

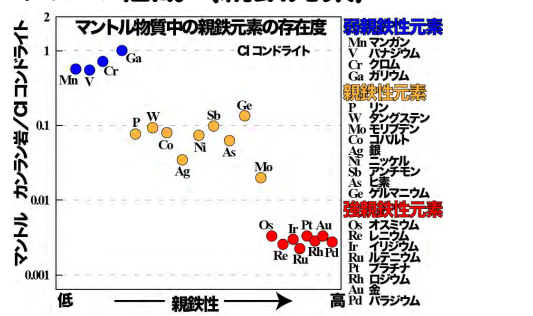
資源・鉱床

- (1) 鉱産資源: ベースメタル: 鉄, Mn
レアメタル: 白金族, 希土類元素
 - (2) エネルギー: 石油, (石炭), 天然ガス(メタンハイドレート)
- ベースメタル(Fe, Al, Cu, Zn, Pb): 探掘が容易, 埋没量, 生産量が多い, 精錬が容易。
 レアメタル: 埋没量, 生産量が少ない, 天然で濃集しない, 精錬が困難。

レアメタル(47元素)と白金族

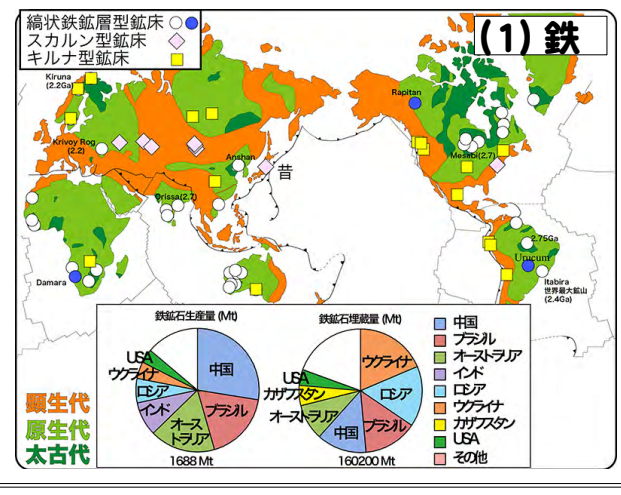
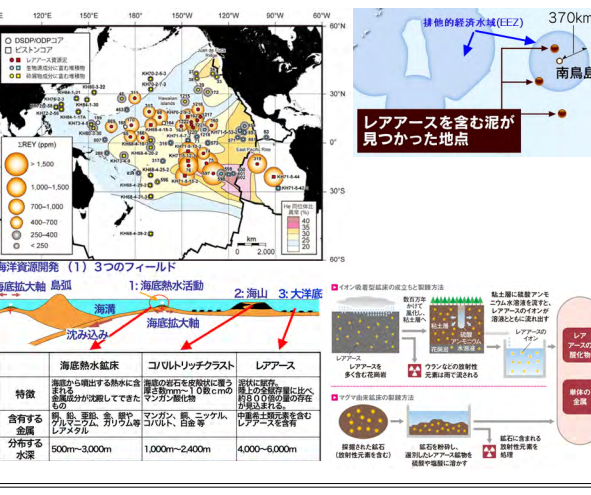
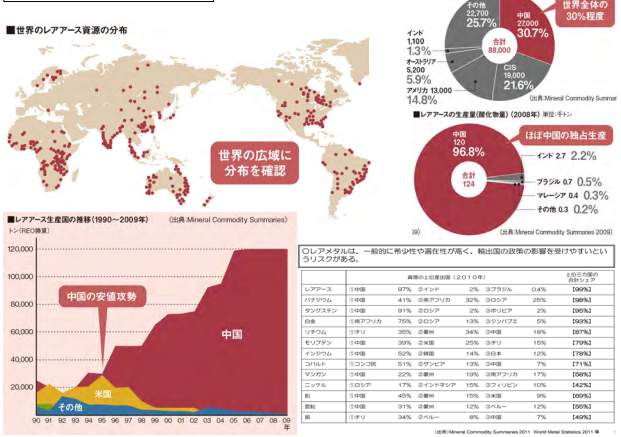


マンツルの組成 (親鉄元素)



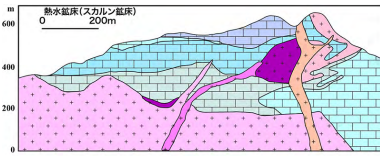
- ① 親鉄性元素はマンツルに少ない
- ② 強親鉄性元素もマンツルに含まれる
- ③ 強親鉄性元素濃度は一定

レアメタルの問題点



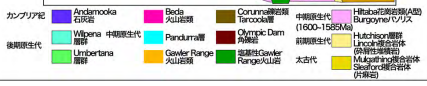
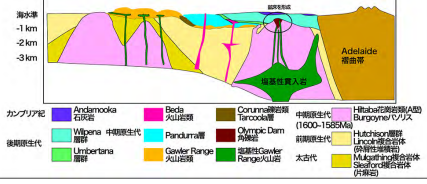
スカルン型

石灰岩と火成岩の間での熱水鉱床



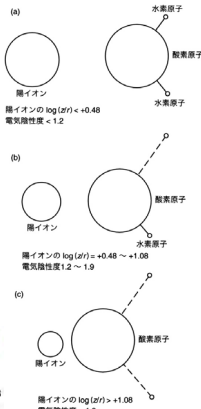
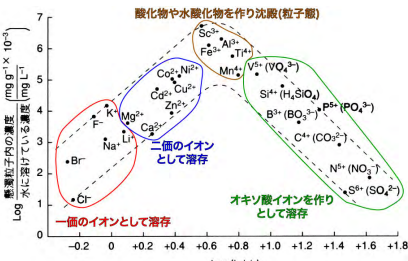
キルナ型

堆積岩とアルカリ花崗岩の間での熱水鉱床

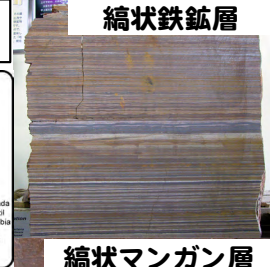
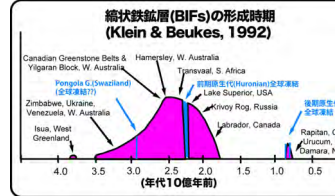


(1) 堆積性鉱床: Fe, Mn, U, P について

→水溶液(海水, 河川, 地下水)への溶け易さと、そこからの沈殿



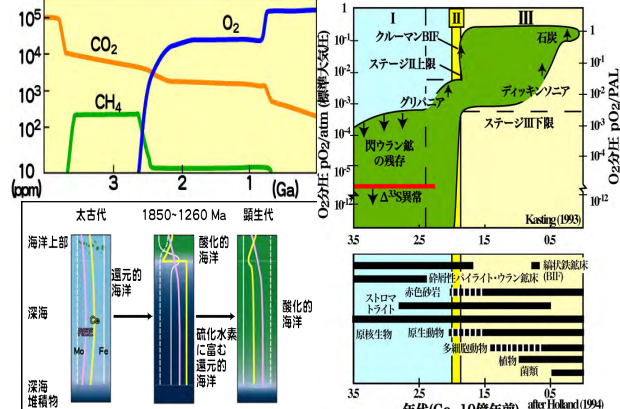
18億年前以前
海水中のFe²⁺が酸化されて、Fe³⁺になり、沈殿(Fe₂O₃, FeO(OH))



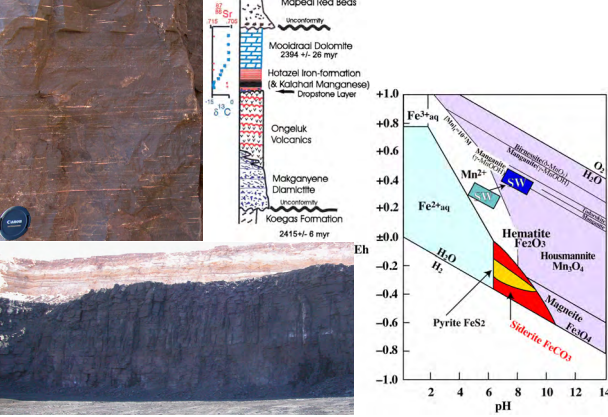
23億年前
海水中のMn²⁺が酸化されて、Mn³⁺またはMn⁴⁺になり、沈殿



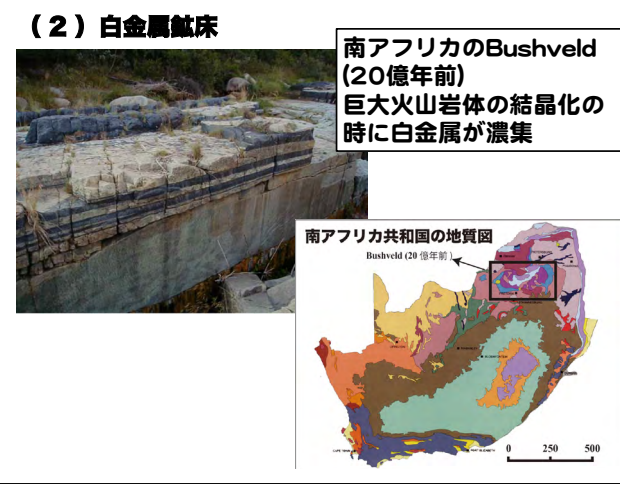
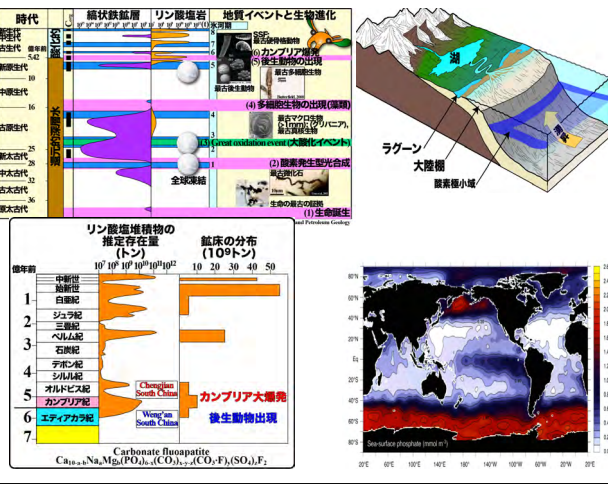
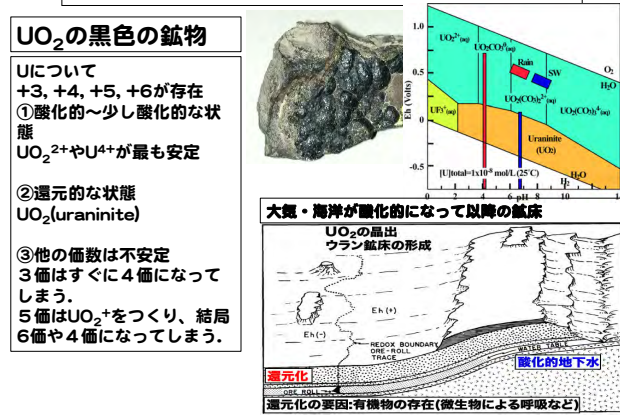
大気・海洋の酸素濃度の上昇



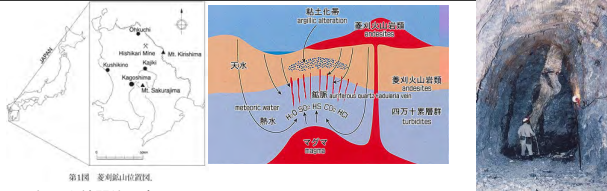
縞状マンガン層の形成と酸素濃度



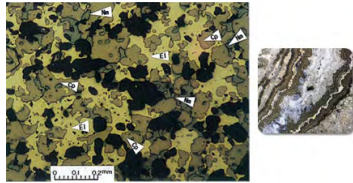
ウラニナイト



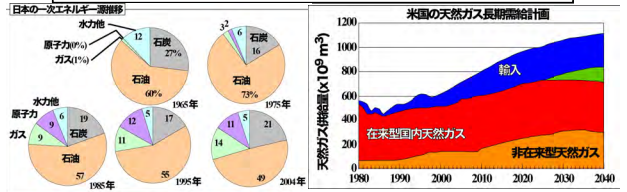
(3a) 現在の日本の金山 (菱刈鉱山)



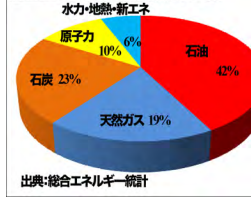
1985年の出鉱開始以来165.7トン(2008年3月末現在)の金を産出。
菱刈鉱山は鉱石1トんに含まれる平均量が40グラムを超えるという高品位(世界の主要な金山の平均品位は約5グラム)を誇っており、現在も1年間に7.5トンの金を産出しています。商業規模で操業が行われている国内の唯一の金属鉱山。



日本の一次エネルギー構成



日本の一次エネルギー需給構成(2008年)



名称	原産地	貯留層特性	生産量地
コールメイトメタン (Coalbed methane, 石炭層中のメタン)	258 x 10 ¹² m ³	炭層に吸着 数10m ³ /ton	450億m ³ (米国, 2003)
タフトンガス (浸透層が深い沖積に埋まる天然ガス)	210 x 10 ¹² m ³	κ: 0.1-0.5md φ: 5-15%	1300億m ³ (米国, 2003)
ジャンマール (頁岩に含まれる天然ガス)	456 x 10 ¹² m ³	κ: 0.001-2md φ: 4%以下	170億m ³ (米国, 2003)
メタンハイドレート	数100 x 10 ¹² m ³		

メタンハイドレート

- 水分子とメタンガス分子とからなる氷状固体結晶。
- 水分子は内部に5-6Åの空隙を持った立体網状構造(クラスレート)を作りその空隙にメタンガスが入り込む。
- メタンハイドレートの酸素同位体値は周囲より高くなる。
- メタンハイドレートには塩素などは含まれない

メタンハイドレート (Type-I)

空隙径 8.6Å の 正形 14 面体

水の籠れ分子

メタン分子

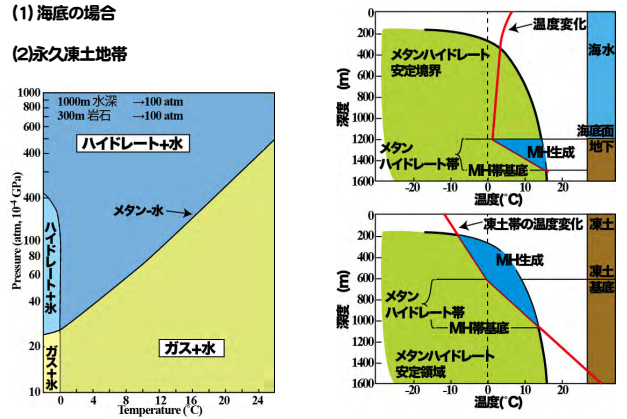
1.2nm (12Å)

等軸晶系 水 (46):メタン (8) = 5.75:1

= 11kg (1L) : 9.66mol = 1L : 216L (c.f. メタンの溶解量は水の体積の 2-5 倍)

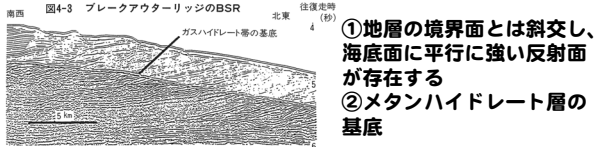
メタンハイドレート 1m³ = メタンガス 約160-170m³ + 水 約0.8m³

メタンハイドレートの安定領域

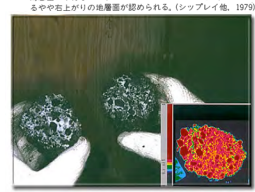


メタンハイドレートの探索とBSR

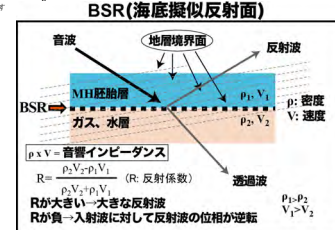
(1) BSR: 海底擬似反射 (Bottom Simulating Reflector)



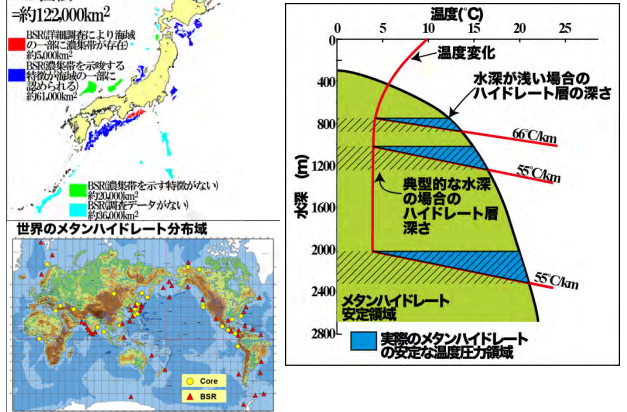
- ① 地層の境界面とは斜交し、海底面に平行に強い反射面が存在する
- ② メタンハイドレート層の基底



カナダ北部, Mallik のコア試料



日本周辺のメタンハイドレート分布



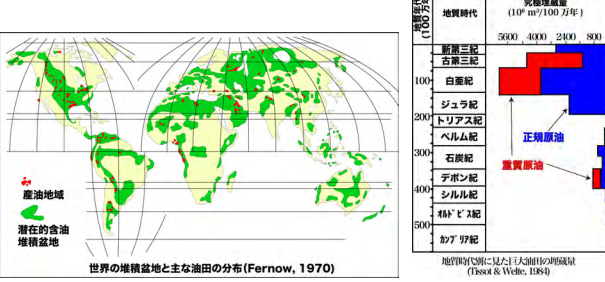
石油: 炭化水素類を主成分とし、非炭化水素化合物であるN, S, Oの化合物、微量の金属を副成分とした混合物である。温度圧力条件などにより、気体、液体、固体として産する。

オイル: 常温・常圧で液体の石油。

ガス: 常温・常圧で気体の低分子量炭化水素(C<6)を主成分とする石油成分。

貯留型石油: 鉱床を形成する石油

非貯留型石油: 分散し堆積岩中に存在しているピッチムン。微量に堆積物、天水や生物中に含まれる炭化水素を分散型炭化水素。



石油の地層

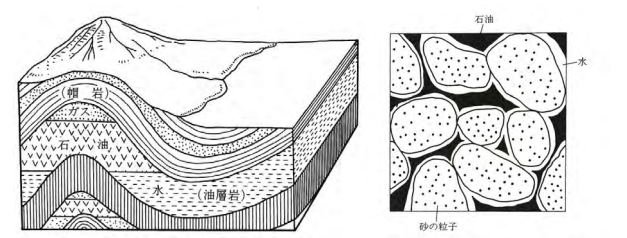


図12 地層の背斜構造での石油のたまり方

図13 貯留岩中に石油が含まれている状態

貯留岩中の構成粒子は表面張力の大きな水で覆われ、石油は水の間に存在。水は通常塩水(油田鹹水)で、海水起源とされているが、SO₄²⁻やアルカリ土類に枯渇、ただし、若い時代の油田鹹水は特に海水に似る

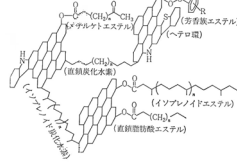
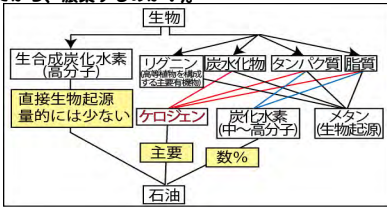
石油の起源

- (1) 炭化水素の起源 (有機説 vs. 無機説)。
- (2) 炭化水素の熟成 (熟成してから、濃集するのか?)。
- (3) 炭化水素の濃集。

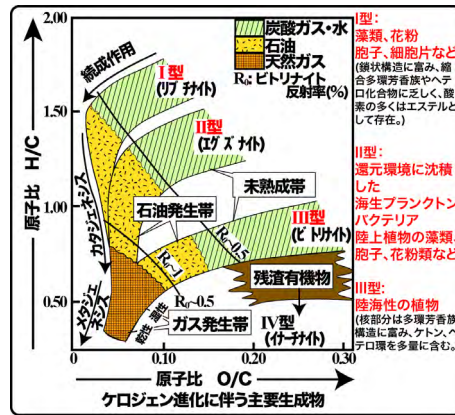
炭化水素の起源

ケロジェンとは

- ① 堆積物中に存在する有機溶媒やアルカリ水溶液に不溶性有機物
- ② C,H,Oを主成分とし、少量のN,Sを含んだ複雑な非晶質高分子有機物で、一定の化合物ではない。
- ③ 核の部分は芳香族構造からなり、アルキル鎖によって、網状構造。
- ④ 加水分解や酸化を受け易い種々の側鎖を持つ。→熟成によりなくなる



ケロジェンを4グループに分類と石油生成との関係



I型: 藻類、花粉など (環状構造に富み、縮合多環芳香族やヘテロ化合物に乏しく、酸素の多くはエステルとして存在。)

II型: 還元環境に沈積した海洋プランクトンバクテリア

III型: 陸上植物の葉類、胞子、花粉類など

IV型: 陸海性の植物 (核部分は多環芳香族構造に富み、ケトン、ヘテロ環を多量に含む。)

ケロジェンから炭化水素へ

続成作用期

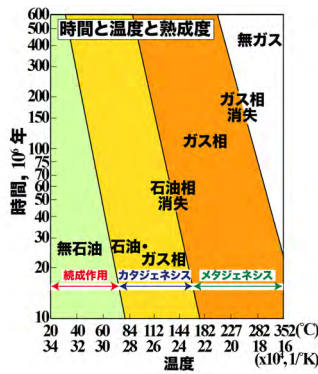
- ① 官能基が取り除かれるO→H₂O, CO₂, N₂やCH₄などのガスも
- ② ケロジェン核が分離。ケロジェン核はより芳香族に富む
- ③ 一部が分離したものは有機溶媒に溶解するNOS化合物となる

カタジェネシス期

- ① 結合がより切れ、小さくなる
- ② NOS化合物はエステルやC-C結合が破壊され、かつNOSなどのヘテロ原子もなくなる。→炭化水素(低〜中分子量)化

メタジェネシス期

- ① C-C結合の破壊
- ② メタンガスの生成
- ③ 芳香族性を増し、縮合、石墨へ

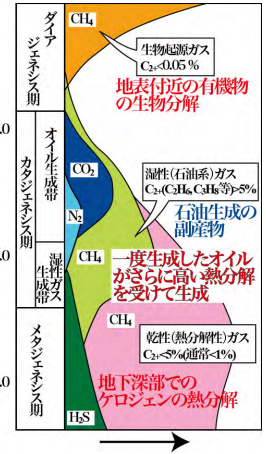


天然ガス

(1) 不燃性天然ガス~CO₂, N₂など

(2) 可燃性天然ガス~炭化水素, C₁~C₄脂肪族炭化水素

- ① 生物起源ガスと熱分解性ガス
- ② 貯留岩ガス: 貯留岩に濃集した有用ガス



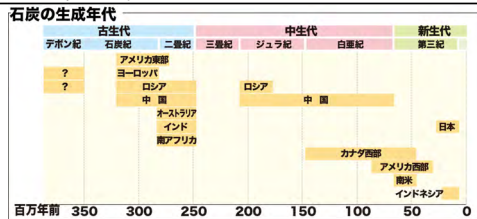
石炭の分布、年代

(1) 年代はデボン紀以降。

陸上植物はオルドビス紀(450Ma-)、シルル紀に多様化、デボン紀後期には巨大な森林を形成

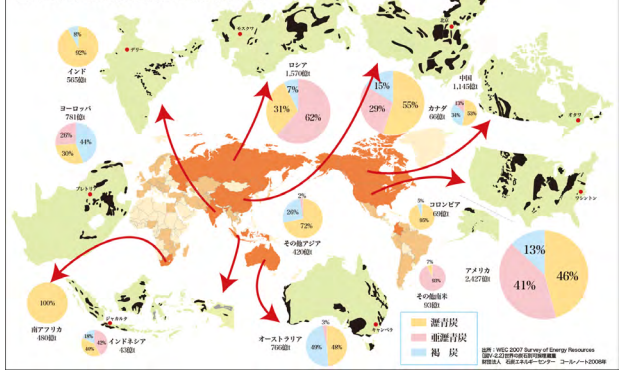
(2) 主要鉱床の時代:

- ① 石炭紀〜二疊紀前半: 管束隠花植物陸上植物
- ② ジュラ紀〜白亜紀前半: 裸子植物やシダ植物
- ③ 白亜紀後半〜古第三紀: 被子植物



石炭の分布、年代

世界の炭種別可採埋蔵量と炭田分布図



石炭の起源物質

(3) 石炭の起源物質:

- ① 陸上植物のセルロース(陸上植物, >50%)vsリグニン(ca.30%)
- セルロース:細胞膜の主要成分
リグニン:セルロースで構成された植物組織の結合

