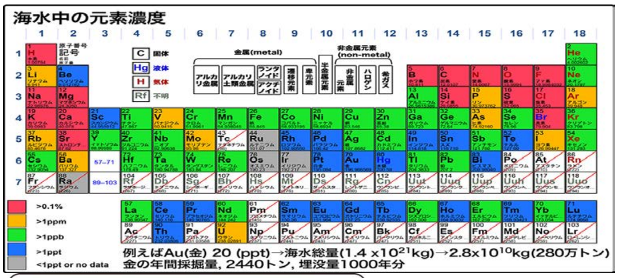
# 惑星地球科学 I
# (第八回目)

## 鉱床とエネルギー

資源（鉱床とは）

**（１）　地球の資源(鉱産、エネルギー、木材、環境)**
①生物も含め,何にでもほぼ全ての元素が含まれている。
②鉱床(経済的に成り立つ)として扱えるには,それらの元素が“濃集”させる必要がある(金でさえ3ppm必要).

**（２）鉱床と地球史**
①形成時期が地球史の特定の時代に限定
〜鉄鉱床, Mn鉱床, 礫岩型金ーウラン鉱床,コマチアイトに伴うNi
②形成に長い時間が必要
〜石油、石炭、木材
③特定の場所と時期でのみ形成
〜白金属(南ア) ,ダイヤモンド
④その他
〜金




### 海水中の微量重元素の濃度の平均値の変遷
(海洋地球化学, 蒲生俊敬 編)

| 元素名 | 濃度(nmol/kg) 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 |
| ビスマス | 0.1 | 0.1 | 0.05 | 0.00015 |

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, ボーキサイト)
(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
錫石, クロム鉄鉱, 鉄マンガン重石(Fe,Mn)$WO_4$
ザクロ石$Mg_3Al_2Si_3O_4$, モナズ石(Ce,La,Nd,Th)$PO_4$, 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。
e.g. $NaAlSi_3O_8+H_2O \rightarrow NaAl_8Si_{11}O_{30}(OH)_6+H_2O$(含NaやSi)
$NaAlSi_3O_8+H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4+H_2O$(含NaやSi)
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, $Al_2O_3$と$Fe_2O_3$に富む)。さらに、$Fe_2O_3$が溶脱され、$Al_2O_3$に濃集(ボーキサイト)。

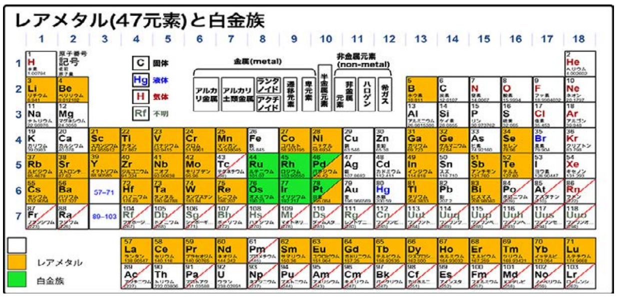
### 資源・鉱床

(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

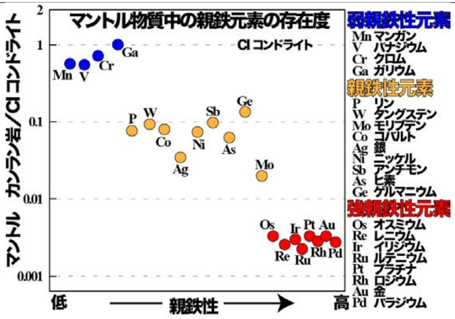
(2)エネルギー：石油, (石炭), 天然ガス(メタンハイドレート)

ベースメタル(Fe,Al,Cu,Zn,Pb): 採掘が容易。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。



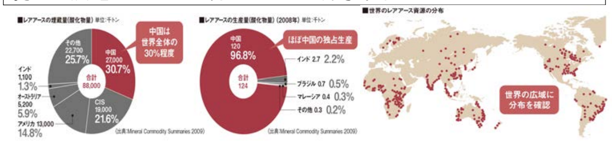

## マントル／地殻中の親鉄性元素

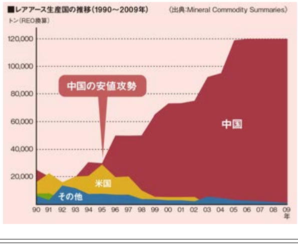



①親鉄性元素はマントルに少ない
②強親鉄性元素もマントルに含まれる
③強親鉄性元素濃度は一定

## レアメタルの問題点

### 寡占状態になり易い→地政学問題



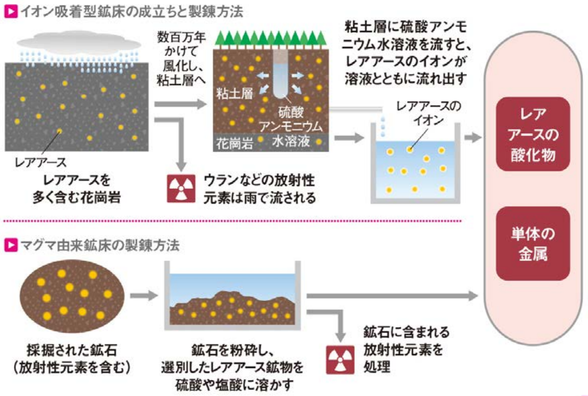



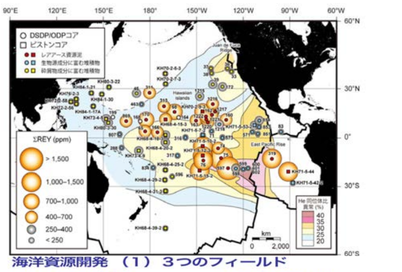

○レアメタルは、一般的に希少性や遍在性が高く、輸出国の政策の影響を受けやすいというリスクがある。

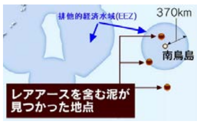
| | 資源の上位産出国（2010年） | | | | | | 上位三カ国の合計シェア |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| レアアース | ①中国 | 97% | ②インド | 2% | ③ブラジル | 0.4% | 【99%】 |
| バナジウム | ①中国 | 41% | ②南アフリカ | 32% | ③ロシア | 25% | 【98%】 |
| タングステン | ①中国 | 91% | ②ロシア | 2% | ③ボリビア | 2% | 【95%】 |
| 白金 | ①南アフリカ | 75% | ②ロシア | 13% | ③ジンバブエ | 5% | 【93%】 |
| リチウム | ①チリ | 35% | ②豪州 | 34% | ③中国 | 18% | 【87%】 |
| モリブデン | ①中国 | 39% | ②米国 | 25% | ③チリ | 15% | 【79%】 |
| インジウム | ①中国 | 52% | ②韓国 | 14% | ③日本 | 12% | 【78%】 |
| コバルト | ①コンゴ民 | 51% | ②ザンビア | 13% | ③中国 | 7% | 【71%】 |
| マンガン | ①中国 | 22% | ②豪州 | 19% | ③南アフリカ | 17% | 【58%】 |
| ニッケル | ①ロシア | 17% | ②インドネシア | 15% | ③フィリピン | 10% | 【42%】 |
| 鉛 | ①中国 | 45% | ②豪州 | 15% | ③米国 | 9% | 【69%】 |
| 亜鉛 | ①中国 | 31% | ②豪州 | 12% | ③ペルー | 12% | 【55%】 |
| 銅 | ①チリ | 34% | ②ペルー | 8% | ③中国 | 7% | 【49%】 |

(出所)Mineral Commodity Summaries 2011　World Metal Statistics 2011 等

## レアメタルの問題点



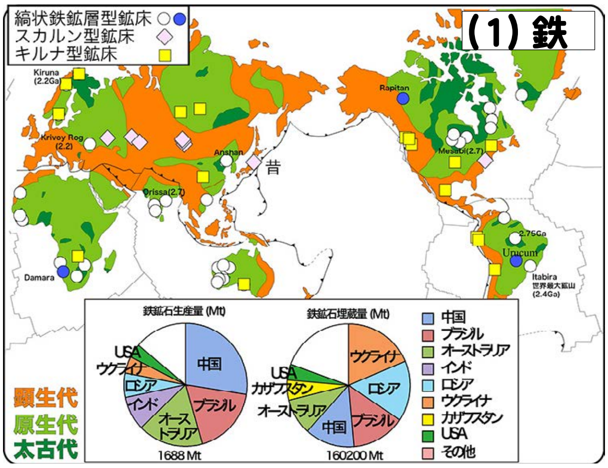




海洋資源開発　（1）３つのフィールド

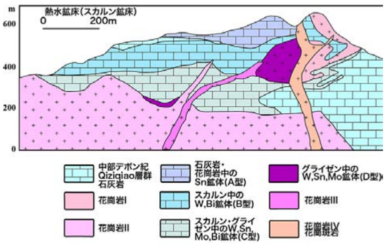
| | 海底熱水鉱床 | コバルトリッチクラスト | レアアース |
|---|---|---|---|
| 特徴 | 海底から噴出する熱水に含まれる金属成分が沈殿してできたもの | 海底の岩石を皮殻状に覆う厚さ数mm〜１０数ｃｍのマンガン酸化物 | 泥状に賦存。陸上の全賦存量に比べ，約８００倍の量の存在が見込まれる。 |
| 含有する金属 | 銅、鉛、亜鉛、金、銀やゲルマニウム、ガリウム等レアメタル | マンガン、銅、ニッケル、コバルト、白金 等 | 中重希土類元素を含むレアアースを含有 |
| 分布する水深 | 500m〜3,000m | 1,000m〜2,400m | 4,000〜6,000m |

# （1）鉄



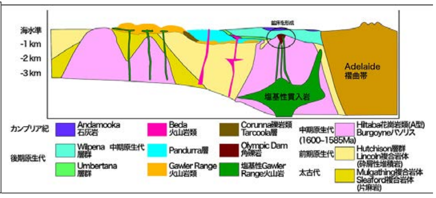

## スカルン型

石灰岩と火成岩の間での熱水鉱床

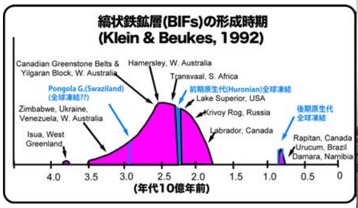



## キルナ型

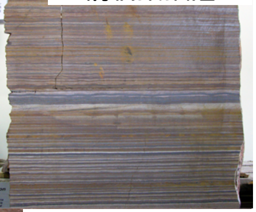
堆積岩とアルカリ花崗岩の間での熱水鉱床




18億年前以前
海水中の$Fe^{2+}$が酸化されて、$Fe^{3+}$になり、沈殿($Fe_2O_3$, FeO(OH))




## 縞状鉄鉱層



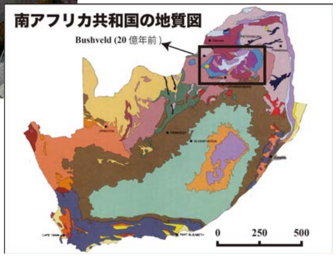
## 縞状マンガン層

23億年前

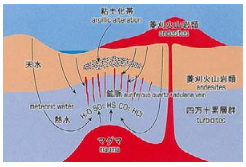
海水中の$Mn^{2+}$が酸化されて、$Mn^{3+}$または$Mn^{4+}$になり、沈殿

# （２）白金属鉱床

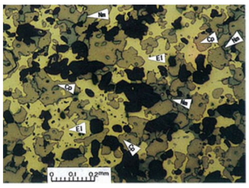
南アフリカのBushveld（20億年前）
巨大火山岩体の結晶化の時に白金属が濃集




# （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トン中に含まれる平均金量が40グラムを超えるという高品位（世界の主要金鉱山の平均品位は約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。



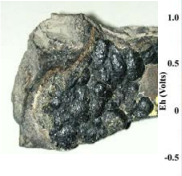
## ウラニナイト

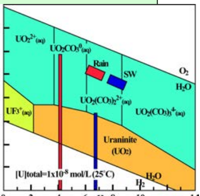
### $UO_2$の黒色の鉱物

Uについて
+3, +4, +5, +6が存在
①酸化的～少し酸化的な状態
$UO_2^{2+}$や$U^{4+}$が最も安定

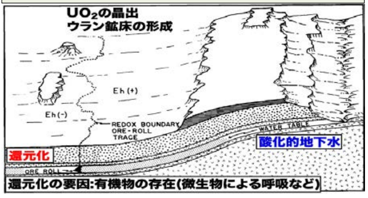
②還元的な状態
$UO_2$(uraninite)

③他の価数は不安定
３価はすぐに４価になってしまう。
５価は$UO_2^+$をつくり、結局６価や４価になってしまう。

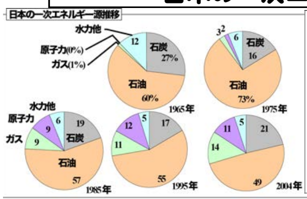


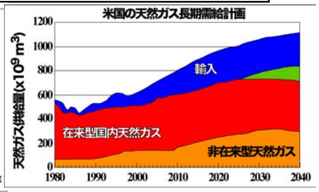


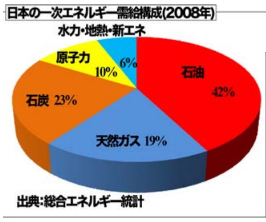

大気・海洋が酸化的になって以降の鉱床




## 日本の一次エネルギー構成



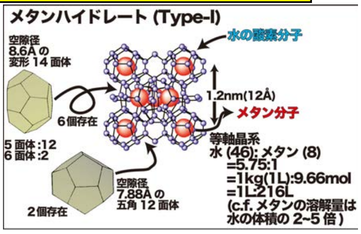



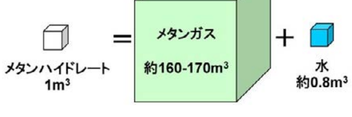

非在来型天然ガス

| | 原始資源量 (Ronger.H,1996) | 貯留層特性 | 生産量他 (寺崎, 2006) |
|---|---|---|---|
| コールベッドメタン (Coalbed methane, 石炭層中のメタン) | $258 \times 10^{12}$ $m^3$ | 炭層に吸着 数10$m^3$/ton | 450億$m^3$ (米国, 2003) |
| タイトサンドガス (浸透率が低い砂岩に含まれる天然ガス) | $210 \times 10^{12}$ $m^3$ | κ:0. 1-0.5md φ:5-15% | 1300億$m^3$ (米国, 2003) |
| シェールガス (頁岩に含まれる天然ガス) | $456 \times 10^{12}$ $m^3$ | 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$100 \times 10^{12}$ $m^3$ | | |

## 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

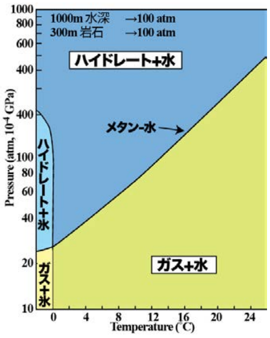


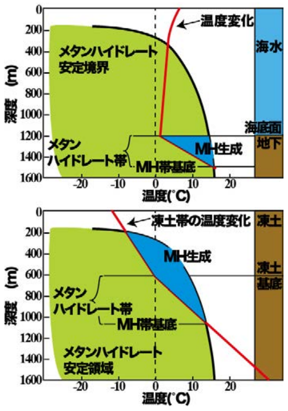



## メタンハイドレートの安定領域

(1) 海底の場合

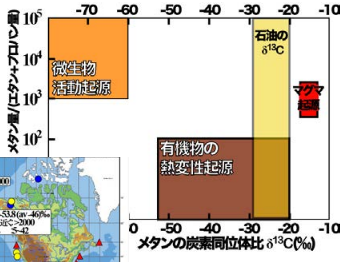
(2)永久凍土地帯

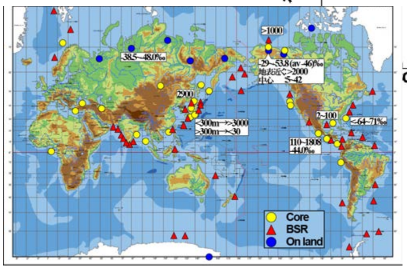



## メタンの起源

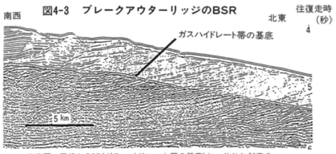
(1) 生物発酵起源のガス (メタン生成)
(2) 有機物の熱分解起源のガス
(3) 火山性ガス




## 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)

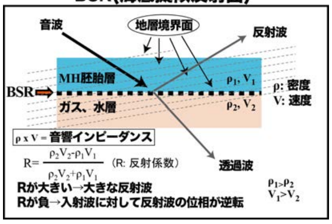



海底面に平行なBSR(ガスハイドレート帯の基底)と、それと斜交するやや右上がりの地層面が認められる。(シップレイ他、1979)

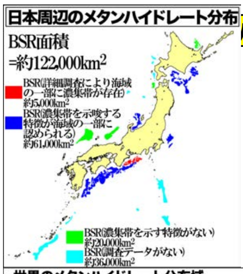
①地層の境界面とは斜交し、海底面に平行に強い反射面が存在する
②メタンハイドレート層の基底

南海トラフコア

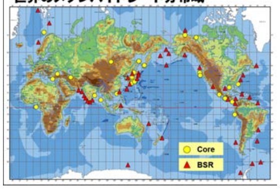
BSR(海底擬似反射面)

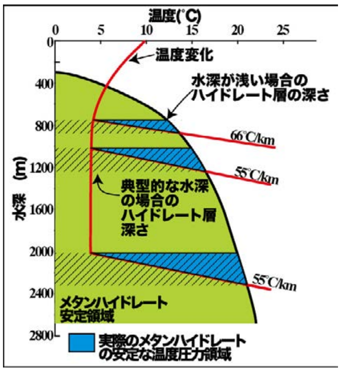



## メタンハイドレートの分布

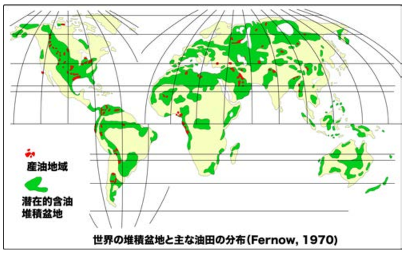



世界のメタンハイドレート分布域

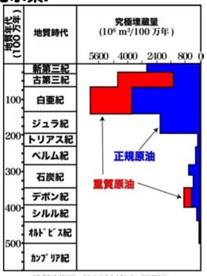



石油:炭化水素類を主成分とし、非炭化水素化合物であるN, S, Oの化合物、微量の金属を副成分とした混合物である。温度圧力条件などにより、気体、液体、固体として産する。
オイル:常温・常圧で液体の石油。
ガス:常温・常圧で気体の低分子量炭化水素(C<6)を主成分とする石油成分。
貯留型石油 :鉱床を形成する石油
非貯留型石油:分散し堆積岩中に存在しているビチュメン。微量に堆積物、天水や生物中に含まれる炭化水素を分散型炭化水素。




世界の堆積盆地と主な油田の分布(Fernow, 1970)




地質時代別に見た巨大油田の埋蔵量 (Tissot & Welte, 1984)

## 石油の地層

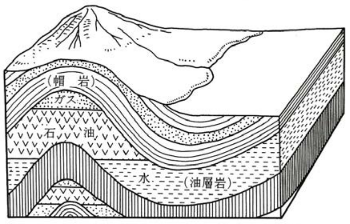


図12 地層の背斜構造での石油のたまり方

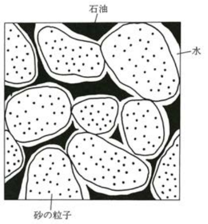



図13 貯留岩中に石油が含まれている状態

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、$SO_4^{2-}$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

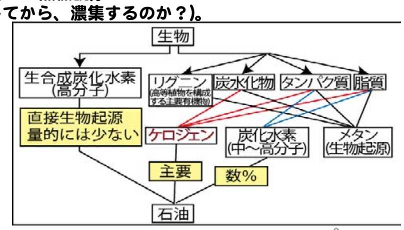
(1) 炭化水素の起源 (有機説 vs. 無機説)。
(2) 炭化水素の熟成 (熟成してから、濃集するのか?)。
(3) 炭化水素の濃集。

### 炭化水素の起源

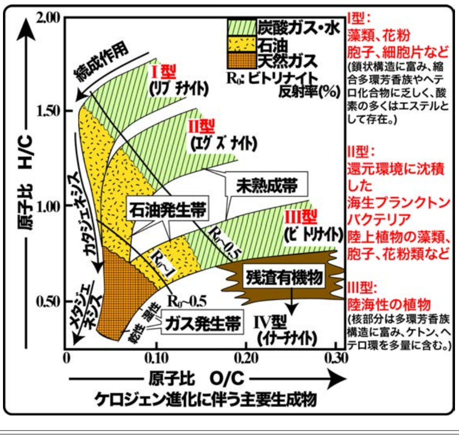
### ケロジェンとは

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な有機物
②C,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



## ケロジェンから炭化水素へ

**続成作用期**

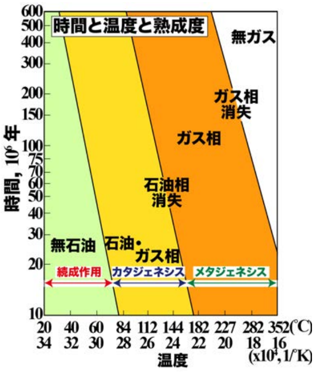
①官能基が取り除かれる$O \rightarrow H_2O$, $CO_2$。$N_2$や$CH_4$などのガスも
②ケロジェン核が分離。ケロジェン核はより芳香族に富む
③一部の分離したものは有機溶媒に溶解するNOS化合物となる

**カタジェネシス期**

①結合がより切られ、小さくなる
②NOS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

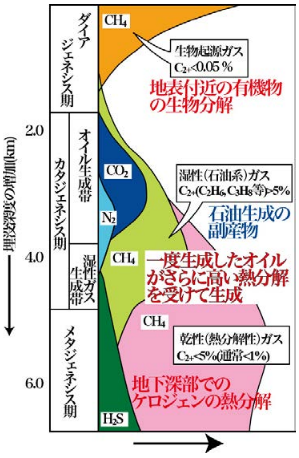
**メタジェネシス期**

①C-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

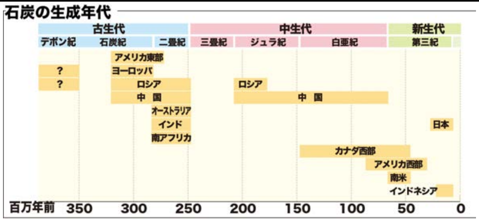
(1) 不燃性天然ガス~$CO_2$, $N_2$など
(2) 可燃性天然ガス~炭化水素, $C_1$~$C_4$脂肪族炭化水素
①生物起源ガスと熱分解性ガス
②貯留岩ガス：貯留岩に濃集した有用ガス



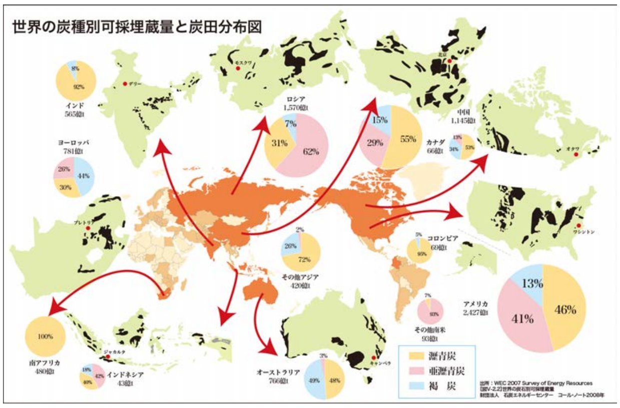

## 石炭の分布、年代

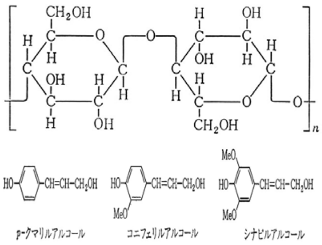
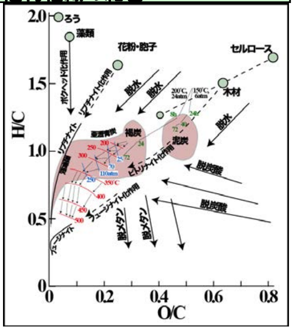
**(1) 年代はデボン紀以降。**
陸上植物はオルドビス紀(450Ma~)、シルル紀に多様化、デボン紀後期には巨大な森林を形成

**(2) 主要鉱床の時代:**
①石炭紀～二畳紀前半：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




## 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