

堆積学(夏学期, 水曜2限(10:30~12:00)

堆積性鉱床とエネルギー

- | | |
|--------|-----------------|
| ①4月10日 | 堆積学史、堆積粒子の起源 |
| ②4月17日 | 風化・浸食・運搬過程 |
| ③4月24日 | 碎屑性堆積物 (浅海成相) |
| ④5月1日 | 碎屑性堆積物 (深海成相) |
| ⑤5月8日 | 河川成相 |
| ⑥5月15日 | 風成相・氷河成相 |
| ⑦5月29日 | 碎屑岩の統成作用 |
| ⑧6月5日 | 蒸発岩・化学沈殿岩 |
| ⑨6月12日 | 堆積成鉱床 |
| ⑩6月19日 | 炭酸塩堆積物 1 (浅海成相) |
| ⑪6月26日 | 炭酸塩堆積物 2 (深海成相) |
| ⑫7月3日 | 炭酸塩岩の統成作用 |
| ⑬7月17日 | 試験, ⑭7月10日 予備日 |

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, 碳酸型金一ウラン鉱床, 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
～白金族(南ア), ダイヤモンド
- ④その他
～金

資源・鉱床

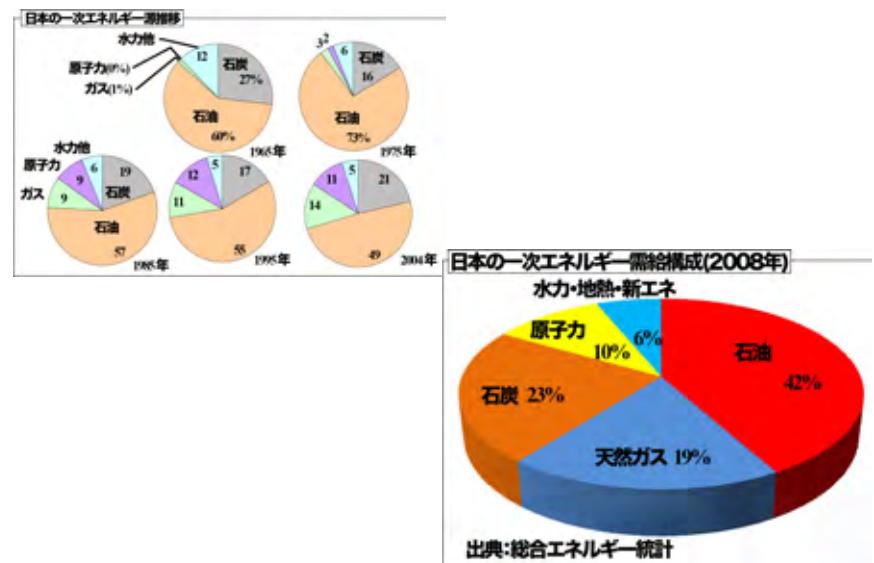
(1)鉱産資源 :ベースメタル: 鉄,Mn
:レアメタル: 白金族, 希土類元素

(2)エネルギー: 石油, (石炭), 天然ガス(メタンハイドレート)

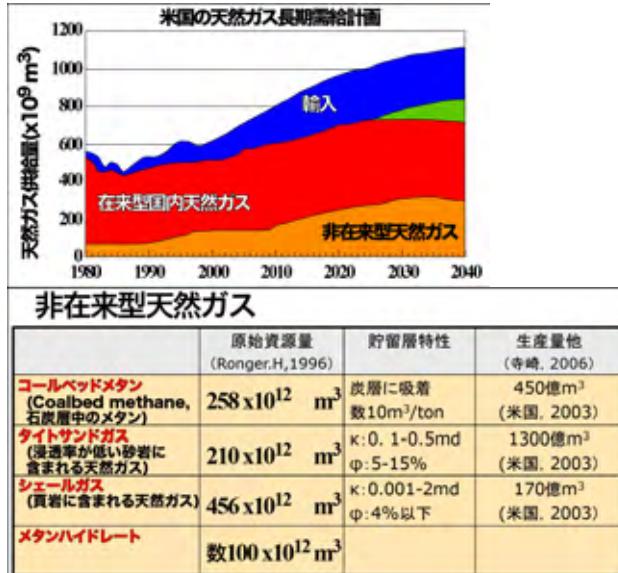
ベースメタル(Fe,Al,Cu,Zn,Pb):
採掘が容易。埋没量、生産量が多い。
精錬が容易。

レアメタル:
埋没量、生産量が少ない。
天然で濃集しない(鉱床にならない)
精錬が困難。

日本の一次エネルギー構成



(米国の)天然ガス長期需給計画



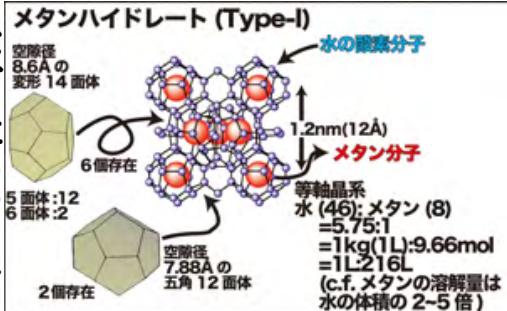
メタンハイドレート

☞ 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 $5\text{-}6\text{\AA}$ の空隙を持つ立体網状構造(クラスター)を作り、その空隙にメタンガスが入り込む。

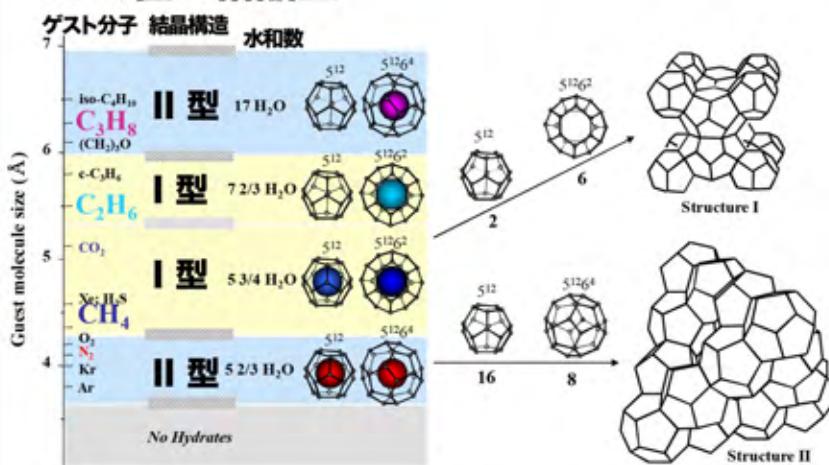
☞ メタンハイドレートの酸素同位体値は周囲より高くなる。

☞ 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

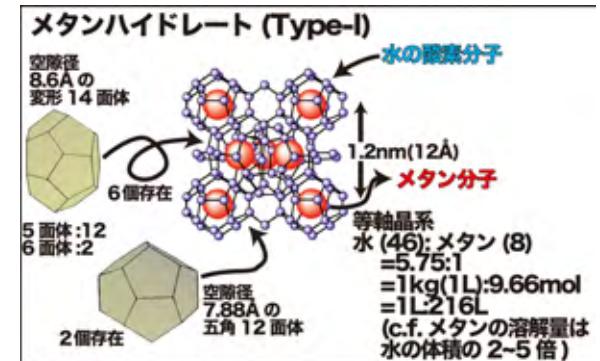
ガス種と結晶型



メタンハイドレート

(1) 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 $5\text{-}6\text{\AA}$ の空隙を持つ立体網状構造(クラスター)を作り、その空隙にメタンガスが入り込む。



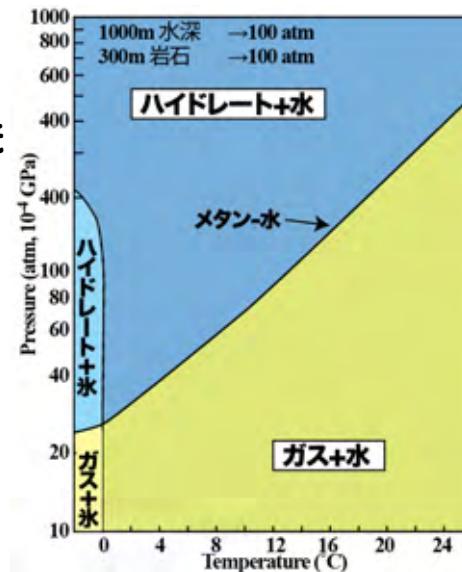
メタンハイドレートの安定領域

(1) メタンハイドレートの相図:

- ⇒ ハイドレートは高圧低温で安定。
- ⇒ 深海4°Cなら → 水深400m以深。

(2) 不純物の混合の効果

- ⇒ 塩濃度(35%) → 少し低温・高圧に
- ⇒ 硫化水素・二酸化炭素 → 高温・低圧に拡大

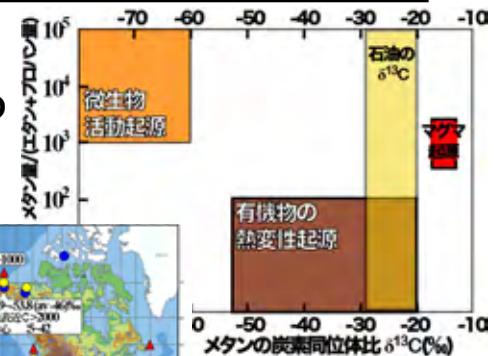


メタンの起源

(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



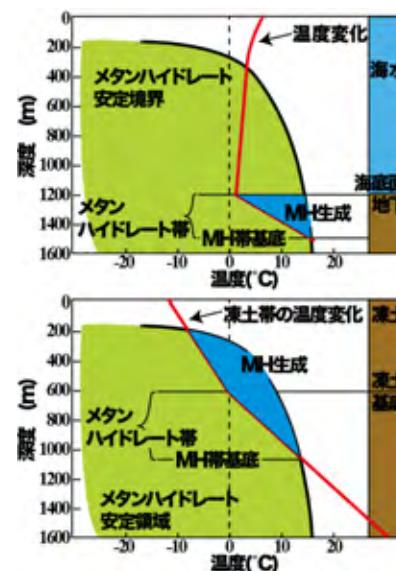
メタンハイドレートの安定領域

(1) 海底の場合

- ⇒ 400m以深の海底下で安定
- ⇒ 右図の場合 → 1200~1500mで安定。

(2) 永久凍土地帯

- ⇒ 右図: 表面温度-12°Cの時 → 200~1000mで安定。



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)



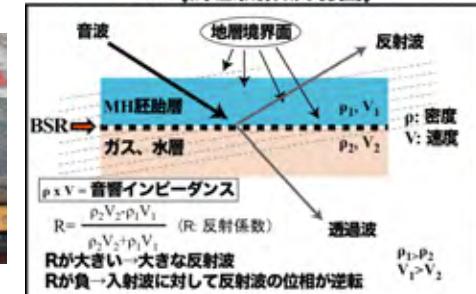
図4-3 ブレークアウターリッジのBSR
西 南北
東
往復走時 4 秒

- 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

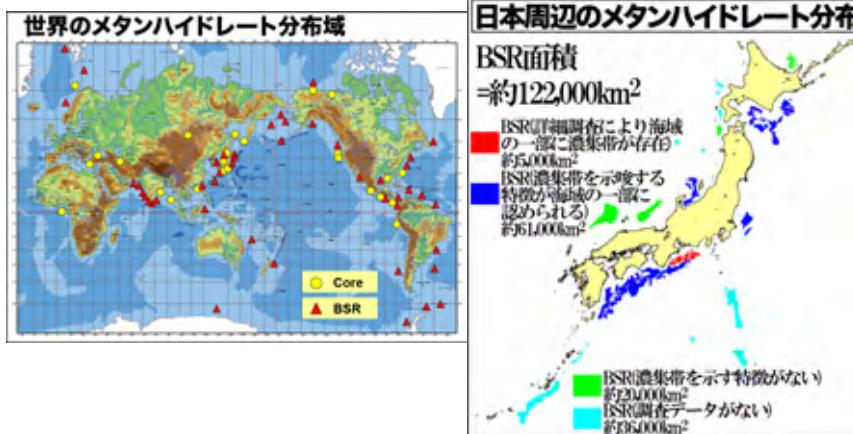
BSR(海底擬似反射面)



南海トラフコア

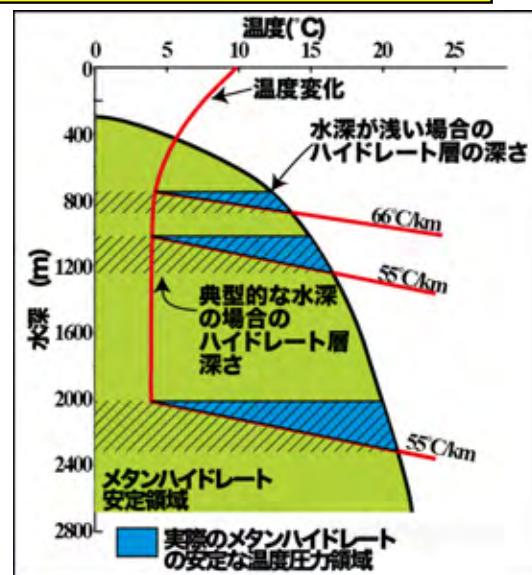


メタンハイドレートの分布

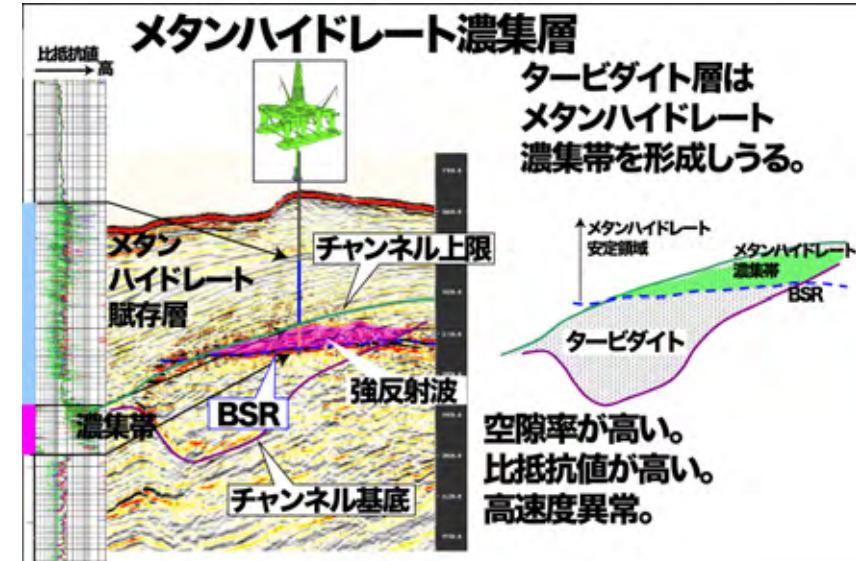


メタンハイドレート帯の厚さ

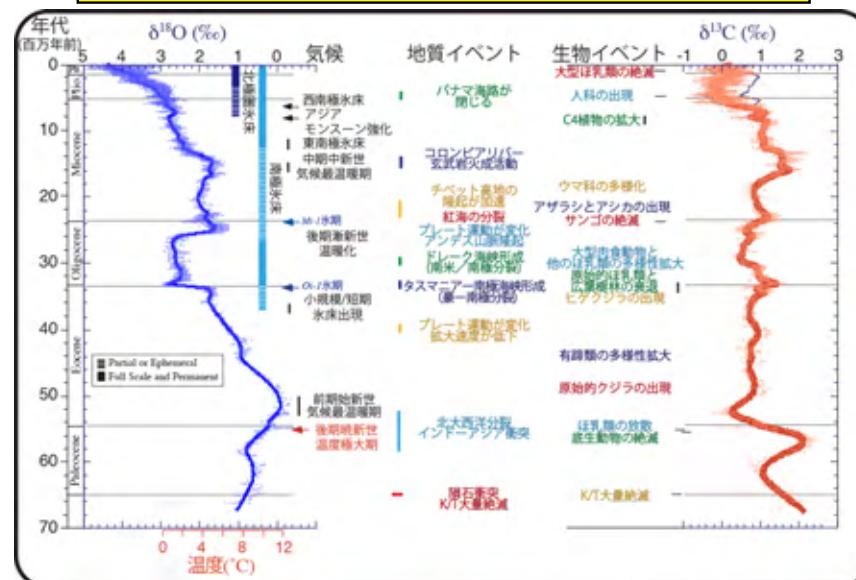
一般に水深が深い方が、より厚いメタンハイドレート層を形成し易い



メタンハイドレートの濃集帯



メタンハイドレート分解と地球史



石油とは

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。

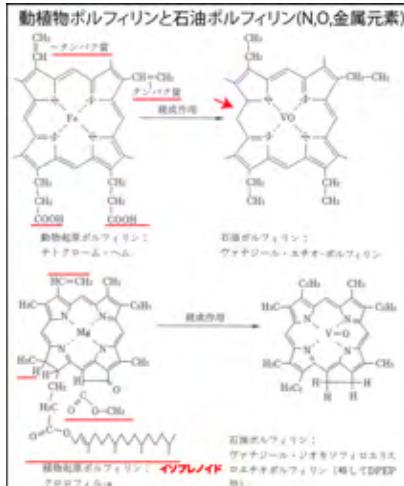
石油の分布、年代



図11 世界の堆積盆地と主な油田の分布 (Fernow, 1970 による)

炭化水素

炭素と水素が結合して できた化合物。



族(系)ならびに 一般式		例	構造式
飽和 炭化水素	アルカン	メタン 直鎖 (ノルマル) & アブタン	CH ₄ CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
	C _n H _{2n+2} (環状構造)	側鎖 イソアブタン	CH ₃ CH ₂ -CH-CH ₃
不飽和 炭化水素	シクロアルカン	シクロブタン	CH ₂ -CH ₂ CH ₂ -CH ₂
	C _n H _{2n} (環状構造)	シクロヘキサン	CH ₂ -CH ₂ CH ₂ CH ₂ -CH ₂ -CH ₂
芳香 炭化水素	アルケン	エチレン プロピレン	CH ₂ =CH ₂ CH ₃ -CH=CH ₂
	C _n H _{2n} (環状、二重結合あり)	イソブチレン	CH ₃ CH=C(CH ₃) ₂
	シクロアルケン (環状、二重結合あり)	1,3-ジメチルシクロ ヘキセン	CH ₂ -CH(CH ₃) ₂ CH ₂ -CH(CH ₃) ₂ -CH-CH ₂
	アルキン (アセチレン系) C _n H _{2n-2} (環状、三重結合あり)	アセチレン	H-C≡C-H
アレン (芳香族) C _n H _{2n-k}		ベンゼン トルエン α-キシレン ナフタレン アンソラゼン	    

図1 主な酸化系素の分類。両面角名は、() 内は慣用名。

石油の分布、年代



図18 地質時代別にみた巨大油田の埋蔵量
(Tissot & Welte, 1984 による)

石油の地層

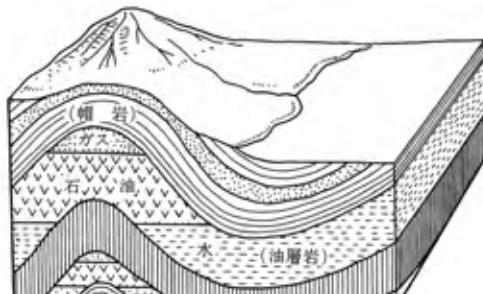


図12 地層の背斜構造での石油のたまり方

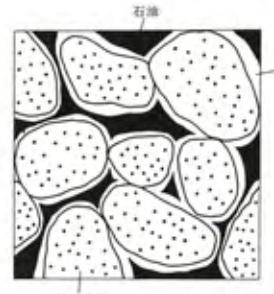


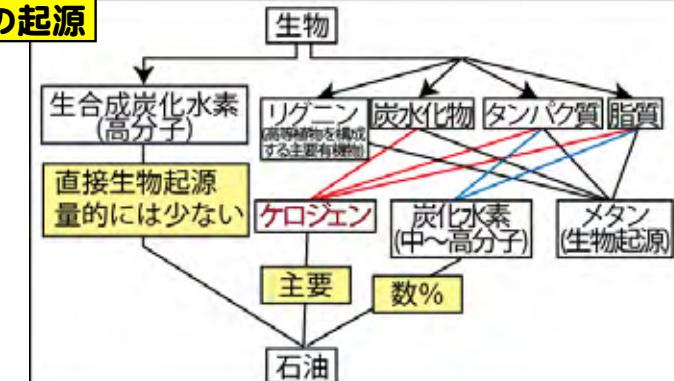
図13 貯留岩中に石油が含まれている状態

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

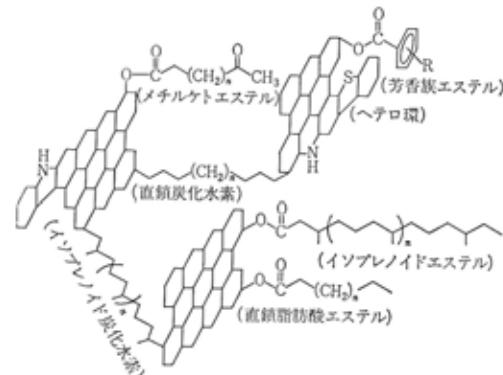
- (1) 炭化水素の起源 (有機説 vs. 無機説)。
- (2) 炭化水素の熟成 (熟成してから、濃集するのか、濃集してから、熟成するのか?)。
- (3) 炭化水素の濃集。

炭化水素の起源



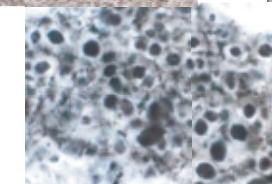
ケロジエンとは

- 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

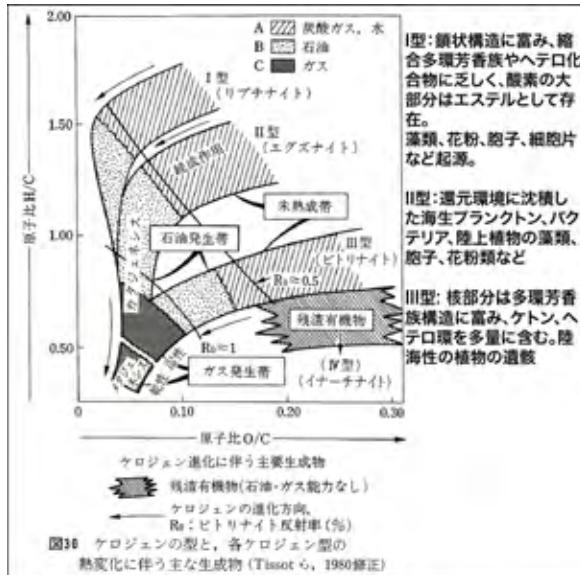


ケロジエンとは

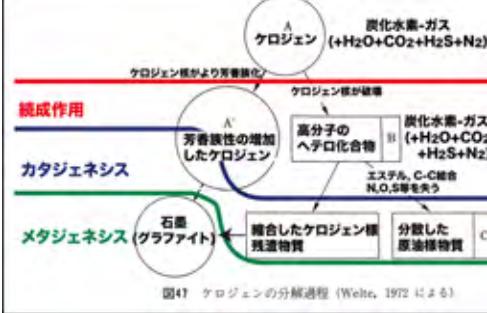
- ①堆積物中に存在する有機溶媒やアルカリ水溶液に不溶な有機物
- ②C,H,Oを主成分とし、少量のN,Sを含んだ複雑な非晶質高分子有機物で、一定の化合物ではない。
- ③核の部分は芳香族構造からなり、アルキル鎖によって、網状構造。
- ④加水分解や酸化を受け易い種々の側鎖を持つ。→熟成によりなくなる



ケロジエンを4グループに分類と石油生成との関係



ケロジエンから炭化水素へ



総成作用期

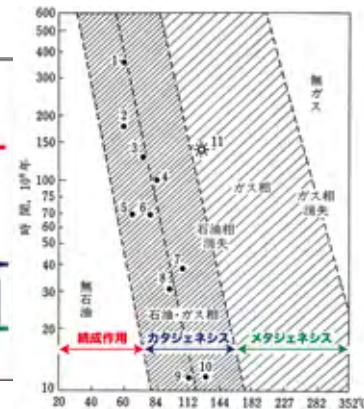
- 官能基が取り除かれる $\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$, CO_2 , N_2 や CH_4 などのガスも
- ケロジエン核が分離。ケロジエン核はより芳香族に富む
- 一部の分離したものは有機溶媒に溶解するNOS化合物となる

カタジェネシス期

- 結合がより多く切られ、小さくなる。
- 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。 \rightarrow 炭化水素(低~中分子量)化

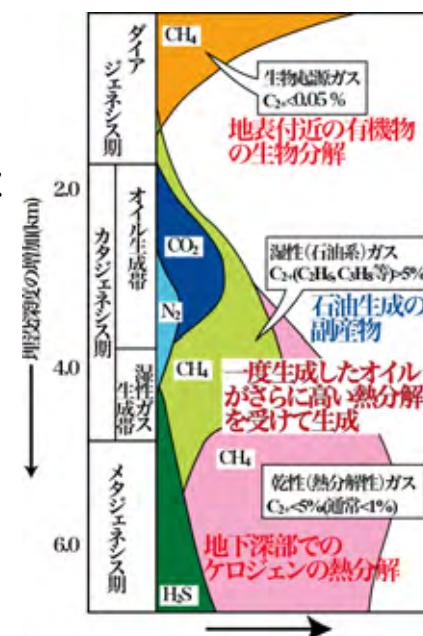
メタジェネシス期

- 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~ 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
 - 生物起源ガスと熱分解性ガス
 - 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。

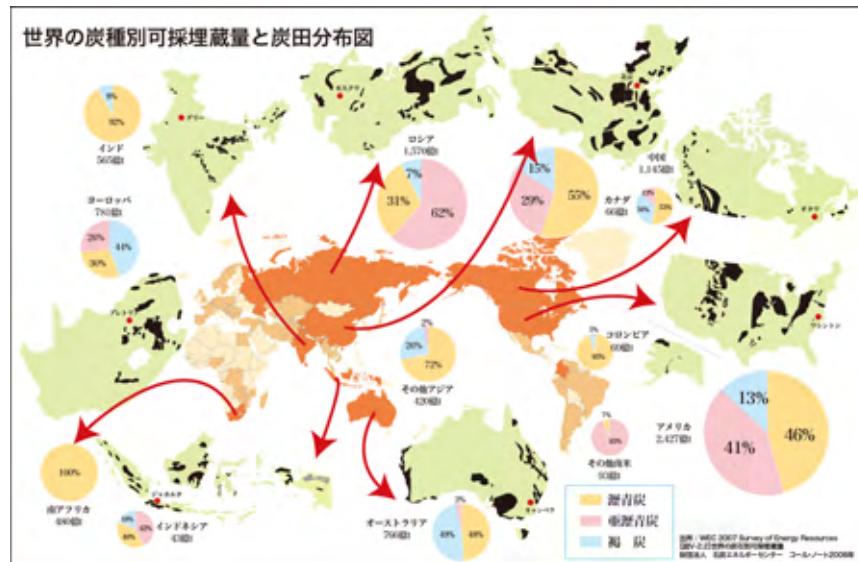
陸上植物はオルドビス紀(450Ma~)、シルル紀に多様化、デボン紀後期には巨大な森林を形成

(2) 主要鉱床の時代:

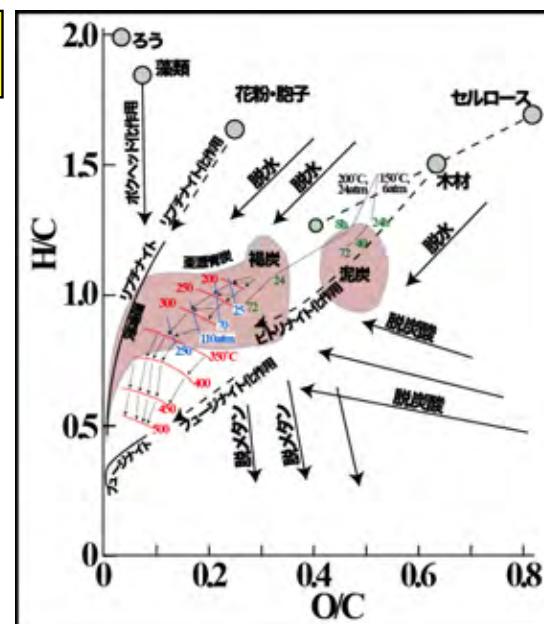
- 石炭紀~二疊紀前半: 管束隠花植物陸上植物
- ジュラ紀~白亜紀前半: 裸子植物やシダ植物
- 白亜紀後半~古第三紀: 被子植物



石炭の分布、年代



石炭の 形成プロセス



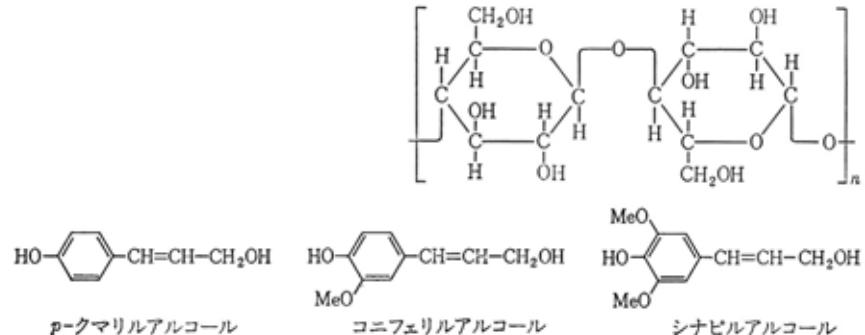
石炭の起源物質

(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



メタンハイドレートの安定領域

(1) メタンハイドレートの相図:

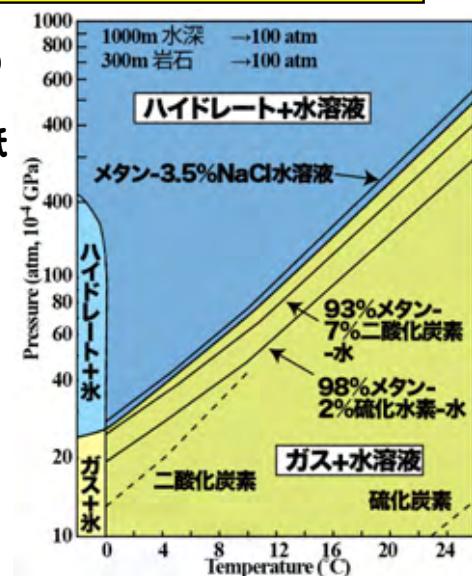
- ハイドレートは高压低温で安定。

- 深海4°Cなら
水深160m以深

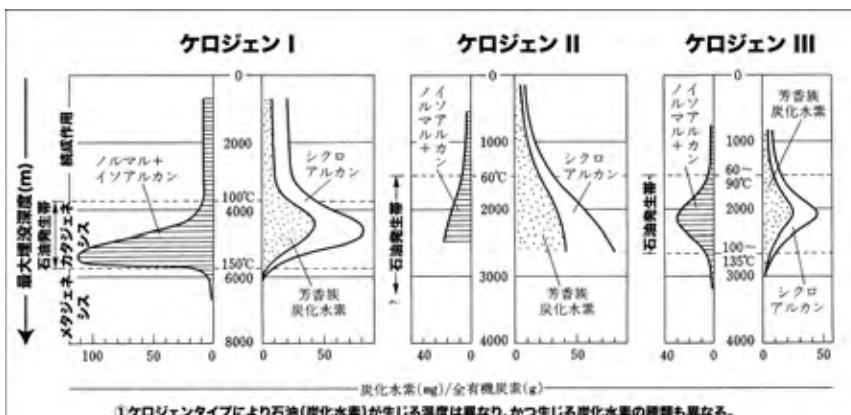
(2) 不純物の混合の効果

- 七

→少し低温・高圧に
液化水素 二酸化

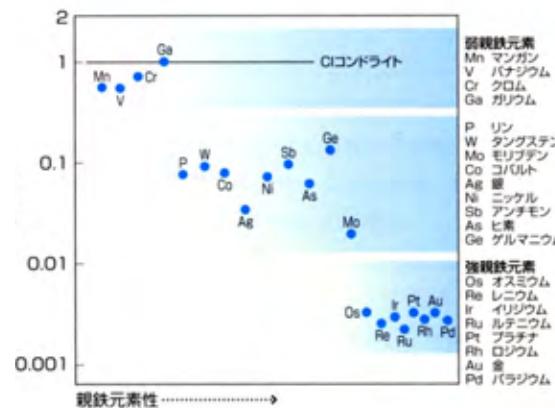


カタジェネシス期と炭化水素形成(石油生成)



①特に、I型は安定なC-C結合が主な化学結合のため、オイル生成は比較的高温で始まり、狭い温度範囲で起る。

マントルの組成(親鉄元素)



- 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

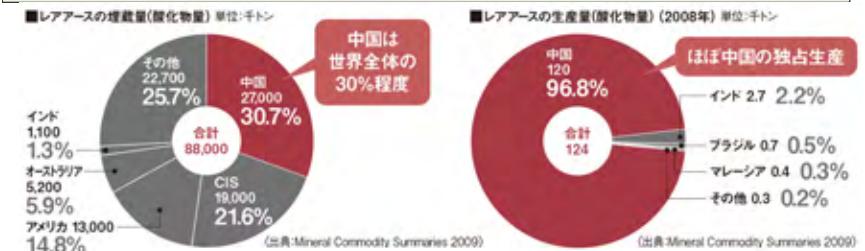
レアメタル: 白金族, 希土類元素

レアメタル(47元素)と白金族

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
I 1 H 氫 元素番号 記号	C 固体	Hg 液体	H 気体	金屬(metal)	非金屬元素 (non-metal)	半導體 (semi-conductor)	半金屬 (semi-metal)	レアメタル (rare metal)	白金族 (noble metal)	ハフニウム 元素番号 記号	スコリウム 元素番号 記号	トリチウム 元素番号 記号	ラジウム 元素番号 記号	ラジオウム 元素番号 記号	ラジオウム 元素番号 記号	ラジオウム 元素番号 記号	ラジオウム 元素番号 記号	
Li 2 Li ビリヤニ 元素番号 記号	Be 3 Be ベリリウム 元素番号 記号	Al 13 Al アルミニウム 元素番号 記号	Li 12 Li リチウム 元素番号 記号	Na 11 Na ナトリウム 元素番号 記号	Mg 12 Mg マグネシウム 元素番号 記号	Al 13 Al アルミニウム 元素番号 記号	Si 14 Si シリコン 元素番号 記号	Al 13 Al アルミニウム 元素番号 記号	Si 14 Si シリコン 元素番号 記号	Al 13 Al アルミニウム 元素番号 記号	Si 14 Si シリコン 元素番号 記号	Al 13 Al アルミニウム 元素番号 記号	Si 14 Si シリコン 元素番号 記号	Al 13 Al アルミニウム 元素番号 記号	Si 14 Si シリコン 元素番号 記号	Al 13 Al アルミニウム 元素番号 記号	Si 14 Si シリコン 元素番号 記号	
K 4 K カリウム 元素番号 記号	Ca 19 Ca カルシウム 元素番号 記号	Sc 21 Sc セシウム 元素番号 記号	Tl 22 Tl チルミウム 元素番号 記号	V 23 V ヴァニリウム 元素番号 記号	Cr 24 Cr クロム 元素番号 記号	Mn 25 Mn マンガニウム 元素番号 記号	Fe 26 Fe 鉄 元素番号 記号	Co 27 Co コバルト 元素番号 記号	Ni 28 Ni ニッケル 元素番号 記号	Cu 29 Cu 銅 元素番号 記号	Zn 30 Zn 亜鉛 元素番号 記号	Ga 31 Ga ガリウム 元素番号 記号	Ge 32 Ge ジルコニウム 元素番号 記号	As 33 As アスラチウム 元素番号 記号	Se 34 Se セレン 元素番号 記号	Br 35 Br ブロマ 元素番号 記号	Kr 36 Kr クラゲン 元素番号 記号	Xe 37 Xe ゼンケン 元素番号 記号
Rb 5 Rb リボニウム 元素番号 記号	Sr 37 Sr ストロンチウム 元素番号 記号	Ag 39 Ag 銀 元素番号 記号	Zr 40 Zr ツリウム 元素番号 記号	Nb 41 Nb ニッケル 元素番号 記号	Mo 42 Mo モリブデン 元素番号 記号	Tc 43 Tc タクツリウム 元素番号 記号	Ru 44 Ru ルテニウム 元素番号 記号	Rh 45 Rh ロジウム 元素番号 記号	Pd 46 Pd パラジウム 元素番号 記号	Ag 47 Ag 銀 元素番号 記号	Cd 48 Cd カドミウム 元素番号 記号	In 49 In インジウム 元素番号 記号	Sn 50 Sn スズ 元素番号 記号	Sb 51 Sb アンチモン 元素番号 記号	Te 52 Te テルモリウム 元素番号 記号	Po 53 Po ポロニウム 元素番号 記号	At 54 At アトミウム 元素番号 記号	Rn 55 Rn ラジウム 元素番号 記号
Cs 6 Cs カセウム 元素番号 記号	Ba 56 Ba バリウム 元素番号 記号	Hf 57-71 Hf ヒフニウム 元素番号 記号	Ta 57 Ta タントラニウム 元素番号 記号	W 58 W タングステン 元素番号 記号	Re 59 Re ラジウム 元素番号 記号	Os 60 Os オスミウム 元素番号 記号	Ir 61 Ir イリジウム 元素番号 記号	Pt 62 Pt プラチナ 元素番号 記号	Au 63 Au 金 元素番号 記号	Hg 64 Hg 水銀 元素番号 記号	Tl 65 Tl チルミウム 元素番号 記号	Pb 66 Pb 鉛 元素番号 記号	Bi 67 Bi ビスマス 元素番号 記号	Po 68 Po ポロニウム 元素番号 記号	At 69 At アトミウム 元素番号 記号	Rn 70 Rn ラジウム 元素番号 記号		
Fr 7 Fr フランキウム 元素番号 記号	Ra 88 Ra ラジウム 元素番号 記号	Rb 89-103 Rb ラジウム 元素番号 記号	Dy 104 Dy ディオルニウム 元素番号 記号	Db 105 Db ダクチニウム 元素番号 記号	Bh 106 Bh ベーリニウム 元素番号 記号	Hs 107 Hs ヒスニウム 元素番号 記号	Mt 108 Mt モリブデン 元素番号 記号	Ds 109 Ds ダクチニウム 元素番号 記号	Fs 110 Fs フランキニウム 元素番号 記号	Bk 111 Bk ベーリニウム 元素番号 記号	Cf 112 Cf カドミウム 元素番号 記号	Uup 113 Uup ウラン 元素番号 記号	Uuh 114 Uuh ウラン 元素番号 記号	Uuu 115 Uuu ウラン 元素番号 記号	Uus 116 Uus ウラン 元素番号 記号	Uuo 117 Uuo ウラン 元素番号 記号	Uuo 118 Uuo ウラン 元素番号 記号	
		La 57 La ラジオウム 元素番号 記号	Sc 58 Sc スコリウム 元素番号 記号	Pr 59 Pr ペルマニウム 元素番号 記号	Nd 60 Nd ネオジウム 元素番号 記号	Pm 61 Pm ペルミウム 元素番号 記号	Eu 62 Eu ヨウニウム 元素番号 記号	Dy 63 Dy ディオルニウム 元素番号 記号	Tb 64 Tb タントラニウム 元素番号 記号	Dy 65 Dy ディオルニウム 元素番号 記号	Ho 66 Ho ホウニウム 元素番号 記号	Er 67 Er エリニウム 元素番号 記号	Tm 68 Tm タントラニウム 元素番号 記号	Yb 69 Yb ヨウニウム 元素番号 記号	Lu 70 Lu ルテニウム 元素番号 記号			
		Ac 89 Ac アクチニウム 元素番号 記号	Th 90 Th チルミウム 元素番号 記号	Pa 91 Pa ペルマニウム 元素番号 記号	U 92 U ウラン 元素番号 記号	Np 93 Np ネオジウム 元素番号 記号	Pu 94 Pu ペルミウム 元素番号 記号	Am 95 Am アムニウム 元素番号 記号	Cm 96 Cm カドミウム 元素番号 記号	Bk 97 Bk ベーリニウム 元素番号 記号	Cf 98 Cf カドミウム 元素番号 記号	Es 99 Es エリニウム 元素番号 記号	Fm 100 Fm フランキニウム 元素番号 記号	Md 101 Md モリブデン 元素番号 記号	No 102 No ノネウム 元素番号 記号	Lr 103 Lr ラジウム 元素番号 記号		

レアメタルの問題点

寡占状態になり易い →地政学問題



レアメタルの問題点

■世界のレアース資源の分布



世界の広域に分布を確認

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

	資源の主要出産国(2010年)	資源の主要出産国(2010年)
レアース	中国 97% インド 2% モンゴル 1%	中国 97% インド 2% モンゴル 1%
パナジウム	中国 41% ブラジル 32% モンゴル 25%	中国 41% ブラジル 32% モンゴル 25%
タンタル	中国 91% モンゴル 2% モンゴル 2%	中国 91% モンゴル 2% モンゴル 2%
白金	南アフリカ 75% ロシア 13% ボリビア 5%	南アフリカ 75% ロシア 13% ボリビア 5%
リチウム	中国 35% ベネズエラ 34% モロッコ 18%	中国 35% ベネズエラ 34% モロッコ 18%
モリブデン	中国 30% ブラジル 25% モロッコ 15%	中国 30% ブラジル 25% モロッコ 15%
インジウム	中国 52% モロッコ 14% モロッコ 12%	中国 52% モロッコ 14% モロッコ 12%
コバルト	ニコンゴ 51% ブラジル 13% モロッコ 7%	ニコンゴ 51% ブラジル 13% モロッコ 7%
マンガン	中国 22% モロッコ 10% モロッコ 17%	中国 22% モロッコ 10% モロッコ 17%
ニッケル	ニカラグア 17% コンゴ民主共和国 10% コンゴ民主共和国 10%	ニカラグア 17% コンゴ民主共和国 10% コンゴ民主共和国 10%
銅	中国 45% モロッコ 15% モロッコ 9%	中国 45% モロッコ 15% モロッコ 9%
鉛	中国 31% モロッコ 12% モロッコ 12%	中国 31% モロッコ 12% モロッコ 12%
銀	モロッコ 34% モロッコ 8% モロッコ 7%	モロッコ 34% モロッコ 8% モロッコ 7%

(出典)Mineral Commodity Summaries 2011 World Metal Statistics 2011

レアメタルの問題点

■イオン吸着型鉱床の成立と製錬方法



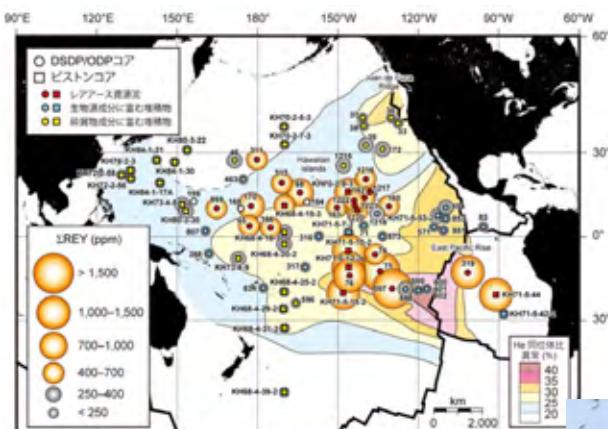
レア
アースの
酸化物

单体の
金属

■マグマ由来鉱床の製錬方法

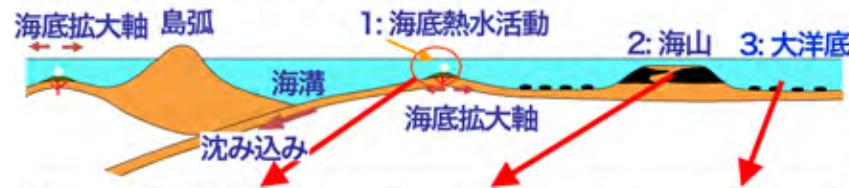


レアアースを探せ



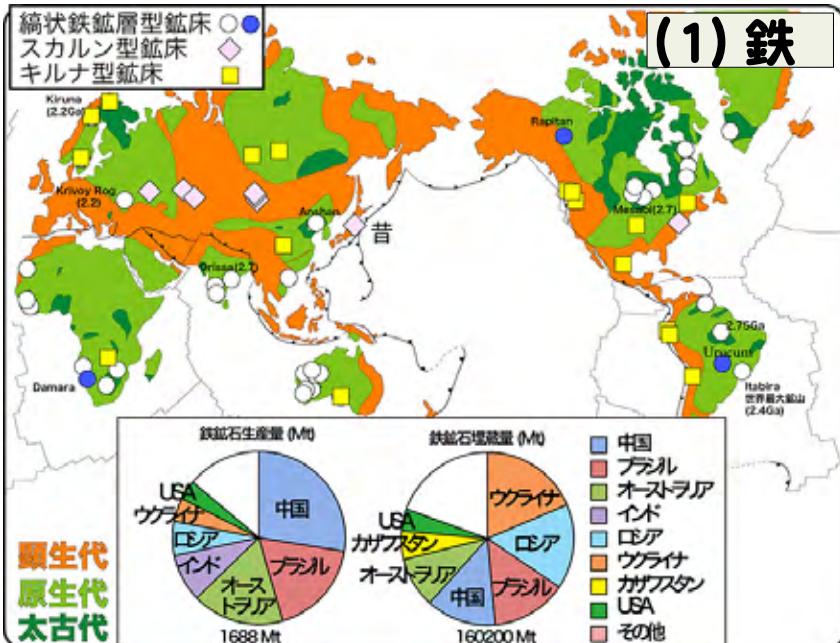
レアアースを探せ

海洋資源開発 (1) 3つのフィールド

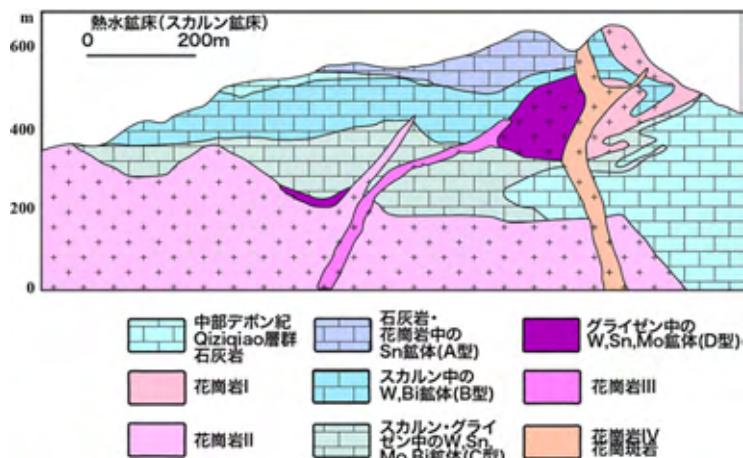


	海底熱水鉱床	コバルトリッチクラスト	レアアース
特徴	海底から噴出する热水に含まれる金属成分が沈殿してできたもの	海底の岩石を皮殻状に覆う厚さ数mm~10数cmのマンガン酸化物	泥状に賦存。陸上の全貯存量に比べ、約800倍の量の存在が見込まれる。
含有する金属	銅、鉛、亜鉛、金、銀やグルマニウム、ガリウム等のレアメタル	マンガン、銅、ニッケル、コバルト、白金等	中重希土類元素を含むレアアースを含有
分布する水深	500m~3,000m	1,000m~2,400m	4,000~6,000m

(1) 鉄



(1) スカルン型



石灰岩と火成岩の間での热水鉱床

(1) 鉄

(3) 稲状鉄鉱層型



縞状鉄鉱層

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(FeO(OH))

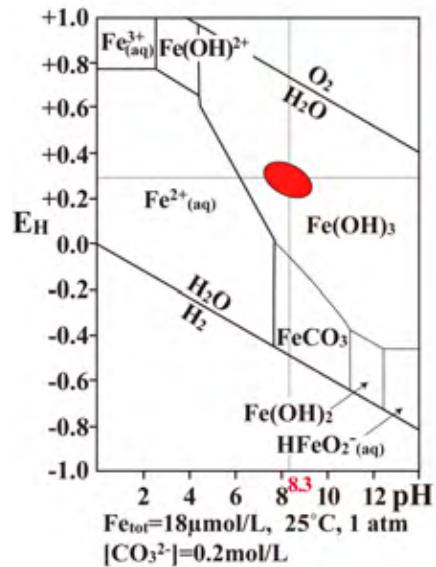


縞状マンガン層

23億年前

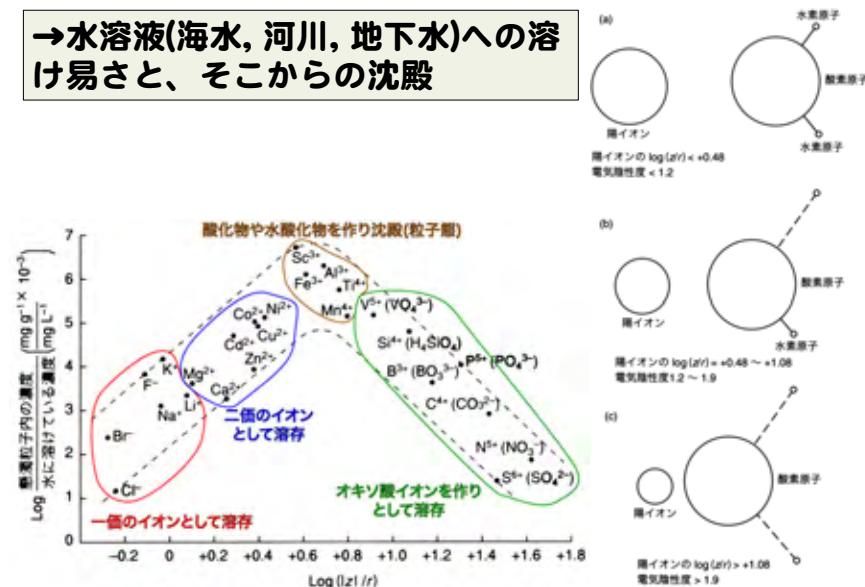
海水中の Mn^{2+}
が酸化されて、
 Mn^{3+} または Mn^{4+} になり、
沈殿

Feについて

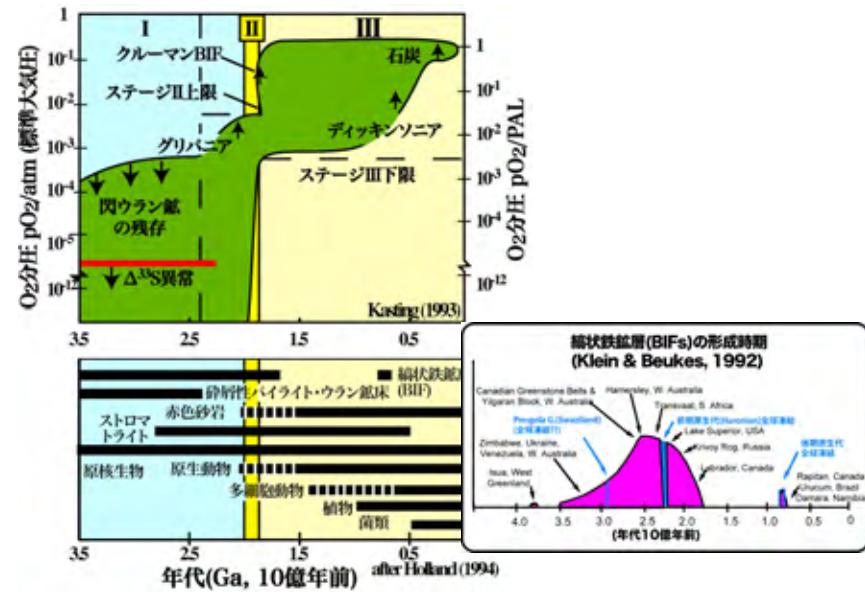


(1)堆積性鉱床: Fe, Mn, U, Pについて

→水溶液(海水, 河川, 地下水)への溶け易さと、そこからの沈殿

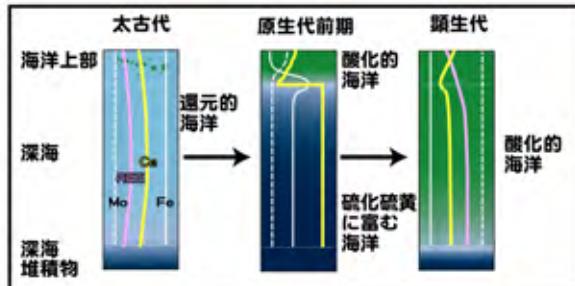


大気・海洋の酸素濃度の上昇

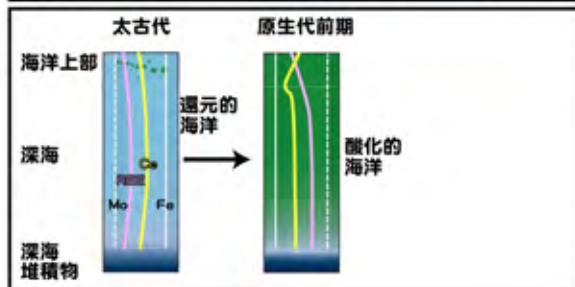


大気・海洋の酸素濃度の上昇

Canfield モデル

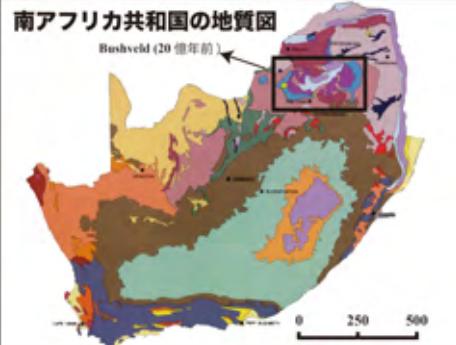


Cloud モデル

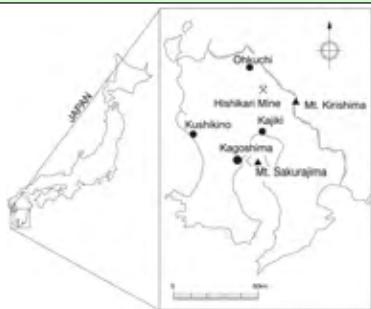


(2) 白金属鉱床

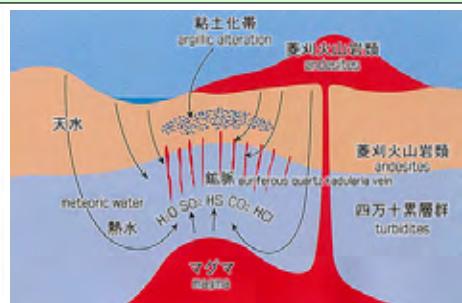
南アフリカのBushveld
(20億年前)
巨大火山岩体の結晶化の
時に白金属が濃集



(3a) 現在の日本の金山 (菱刈鉱山)



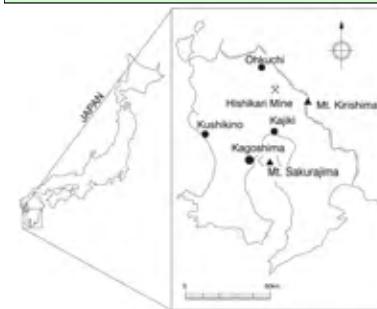
第1図 菱刈鉱山位置図。



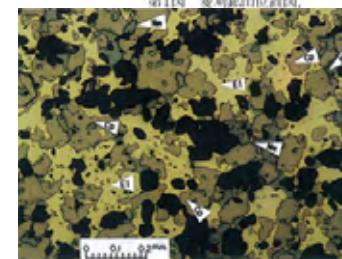
1985年の出鉱開始以来165.7トン(2008年3月末現在)の金を産出。

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。

(3a) 現在の日本の金山 (菱刈鉱山)



第1図 菱刈鉱山位置図。



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

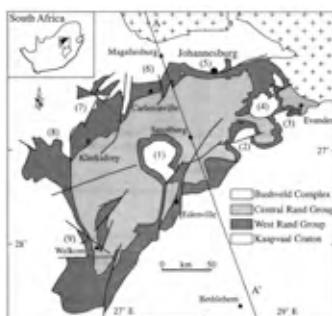
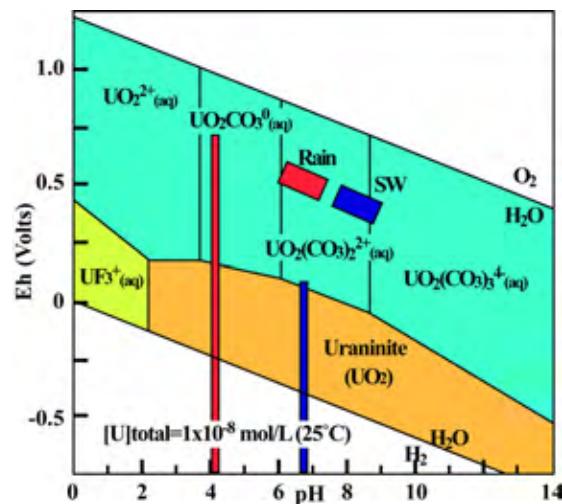
3価はすぐに4価になってしまう。

5価は UO_2^+ をつくり、結局6価や4価になってしまう。

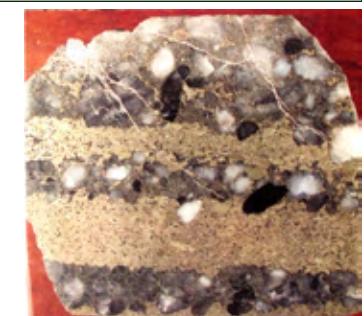


ウラニナイトの安定領域と $f\text{O}_2$

UO_2 安定領域

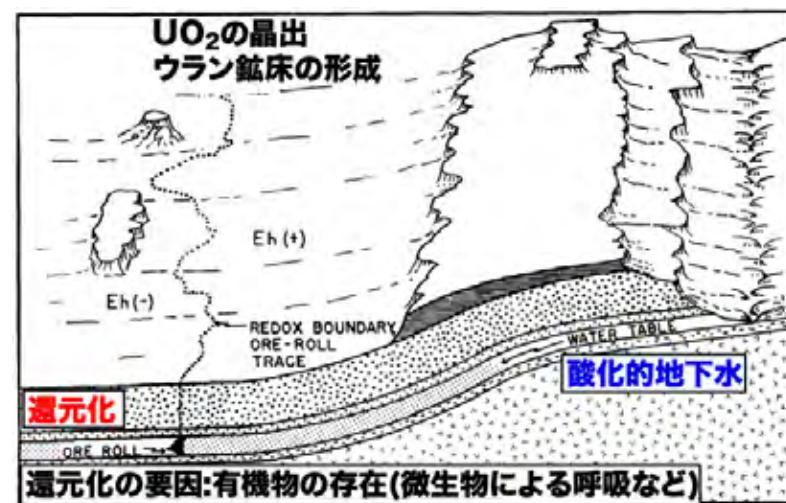


Witwatersrand conglomerate

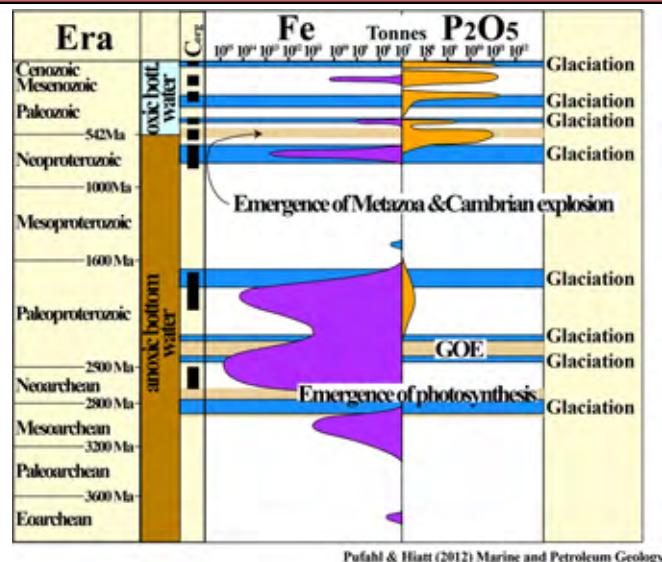


大気・海洋が酸化的になって以降の鉱床

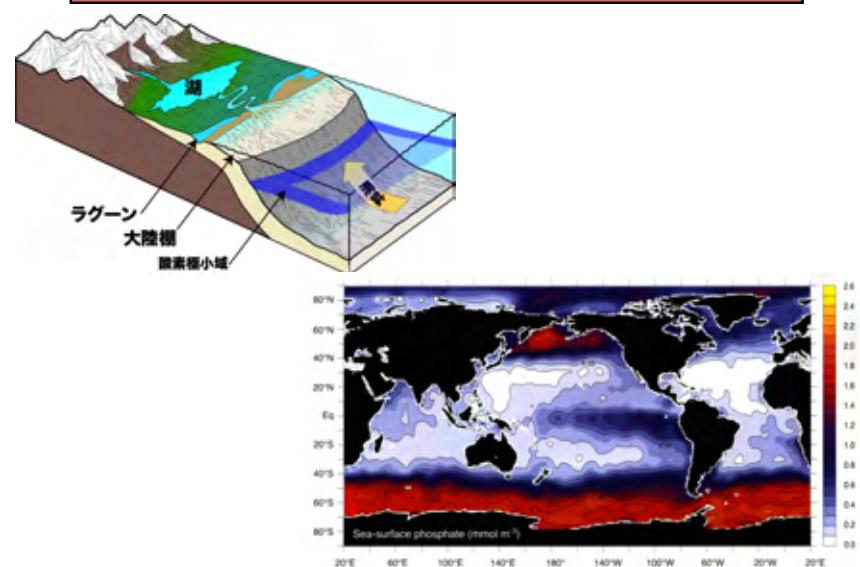
ウラン鉱床



リン酸塩岩の堆積と生命進化



リン酸塩岩の堆積



リン酸塩岩の堆積と生命進化

