

2012年3月10日（土）名古屋大学環境総合館 レクチャーホール

EPMAが拓いた岩石学

年代測定総合研究センター
鈴木和博

・・・ 先生には研究の「いろは」を懇切丁寧に教えて
いただくのではなく、「親父の後ろ姿を見せる」とい
う形で教えていただいたと思っています。 ・・・

壺井基裕 (2010), 日本地球化学会ニュース, No. 203, 21-22

これを読んだ某氏、すかさず、

『これって、要するに、**何も教えてくれなかった**
ということですよね』

- I EPMA
- II 相平衡-変成岩の部分平衡
- III 鉱物粒界の微量元素濃集
- IV EPMAを使ったCHIME年代測定
- V CHIME展開研究：韓半島中部、京畿地塊
- VI 里山からキツネが消えた日

No K.S.-71050700-A -1-, -2-
 Name
 Loc 岐阜県揖斐郡春日村美束第一坑

Occurrence:
 Section 700-A-1
 Section 700-A-2
 脈状のものは前向き連続する
 orbicular 脈状のものは前向き連続する

• Vesuvianite (1-2 mm)
 Calcite cleavage 010° to 110° to Vesuvianite
 Clinopyroxene (diopside - Hedenbergite)
 Plagioclase (Anorthite)
 Amphibole (Pargasite, Tremolite)

Amphibole:
 Colorless 2V(-) large = 68° ±, Thorp
 d = 1.631-1.632
 β = 1.636 ±
 γ = 1.640-1.649

Clinopyroxene:
 2V(+), 59° orbicular 脈状のものは前向き連続する
 2V(-), 68° 脈状のものは前向き連続する
 2V(+), 59° orbicular 脈状のものは前向き連続する
 2V(-), 68° 脈状のものは前向き連続する

Chondrodite (Actinolite group):
 2V(+), large (70-80°) cleavage
 First order yellow colorless
 CAZ = 225° colorless
 Brownish yellow of fibrous crystals, cement etc.
 Colorless amphibole 2V(-) index > pale green amphibole
 CAZ = 21° yet colorless 1st order yellow

Colorless, Uniaxial negative. Positive
 Fibrous Brucite index = talc.
 Talc: 0.7 yellow K 1.5
 2V(+), 59° orbicular 脈状のものは前向き連続する
 Brucite 脈状のものは前向き連続する
 Garnet: 脈状のものは前向き連続する
 Clinopyroxene CAZ = 91°



Carbonate:
 Pargasite 2V(-) = 86.2°
 d = 1.643
 β = 1.660 ± 0.001
 γ = 1.682
 Serpentine } olivine replaced
 Graphite
 Opatite max = 0.8 mm 1st. 2V(+), 81° Q = 1.634 W = 1.634 ± 0.001 Fibrous pargasite
 Garnet: 脈状のものは前向き連続する
 Pargasite: 脈状のものは前向き連続する
 Chlorite: positive and negative, 2V(+), 59° orbicular 脈状のものは前向き連続する
 Chlorite: amphibole 脈状のものは前向き連続する

Carbonate:
 Pargasite 2V(+), 59° orbicular 脈状のものは前向き連続する
 Garnet: 脈状のものは前向き連続する
 Chlorite: positive and negative, 2V(+), 59° orbicular 脈状のものは前向き連続する
 Chlorite: amphibole 脈状のものは前向き連続する

Clinopyroxene, diopside
 2V(+), 57° ± 1° ~ 62° ± 1°
 d = 1.695 ± 0.002, α = 1.6702 Ray
 β = 1.676 ± 0.004
 γ = 1.692 ± 0.001
 CAZ = max 91°

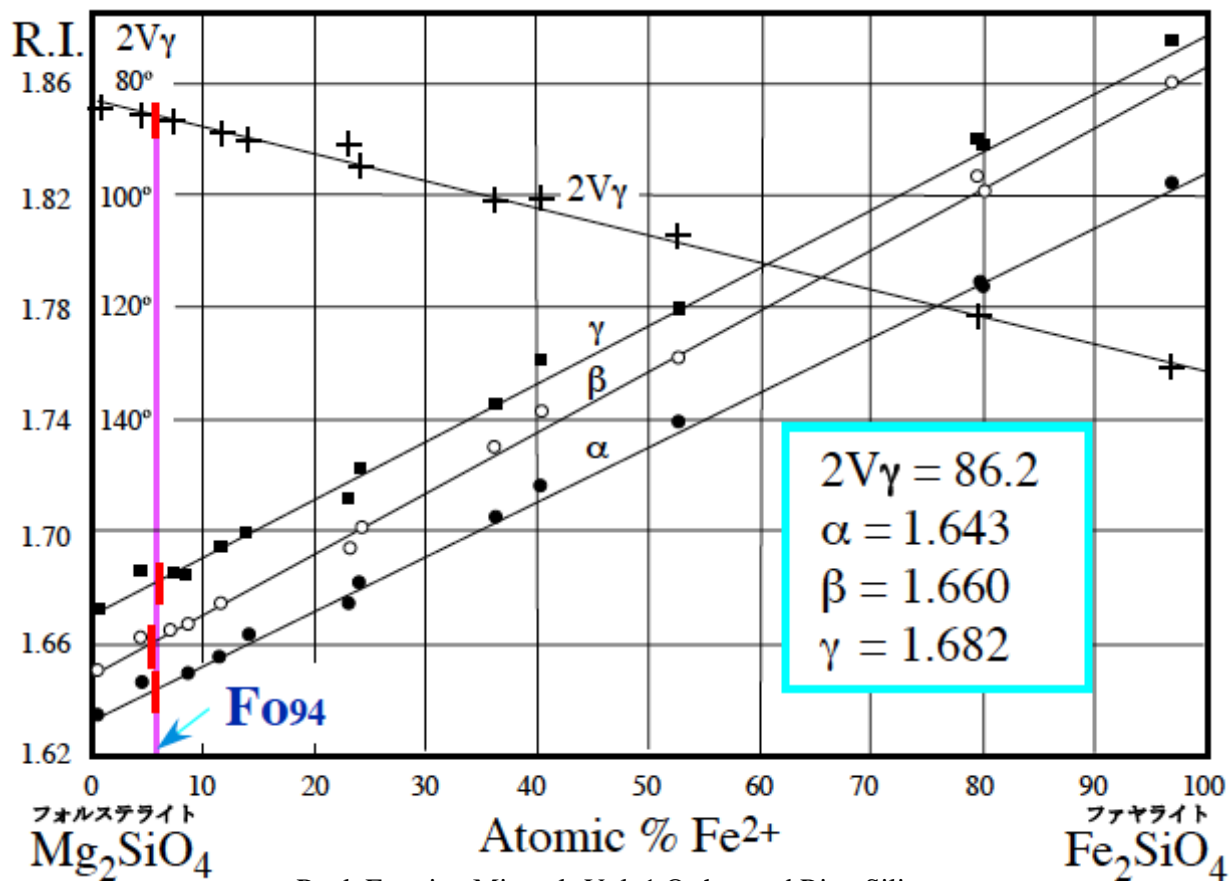


アッベの屈折計



ユニバーサルステージ

写真 http://www.modernmicroscopy.com/article_pix/070718_ustage/fig9.jpg

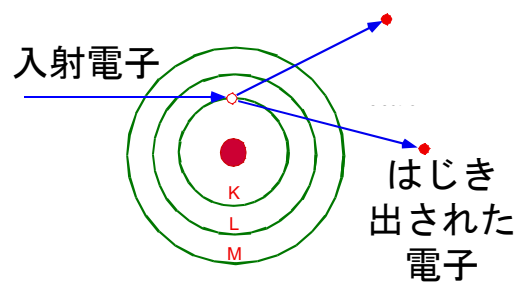
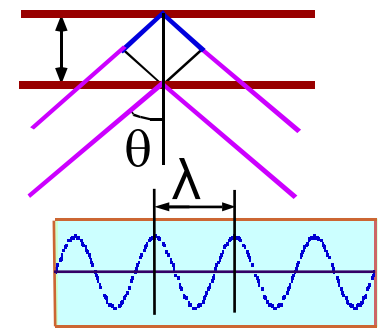
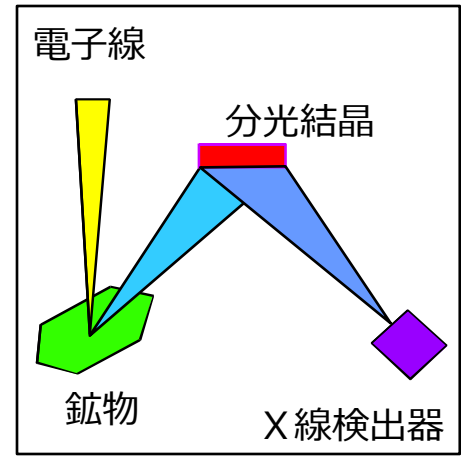
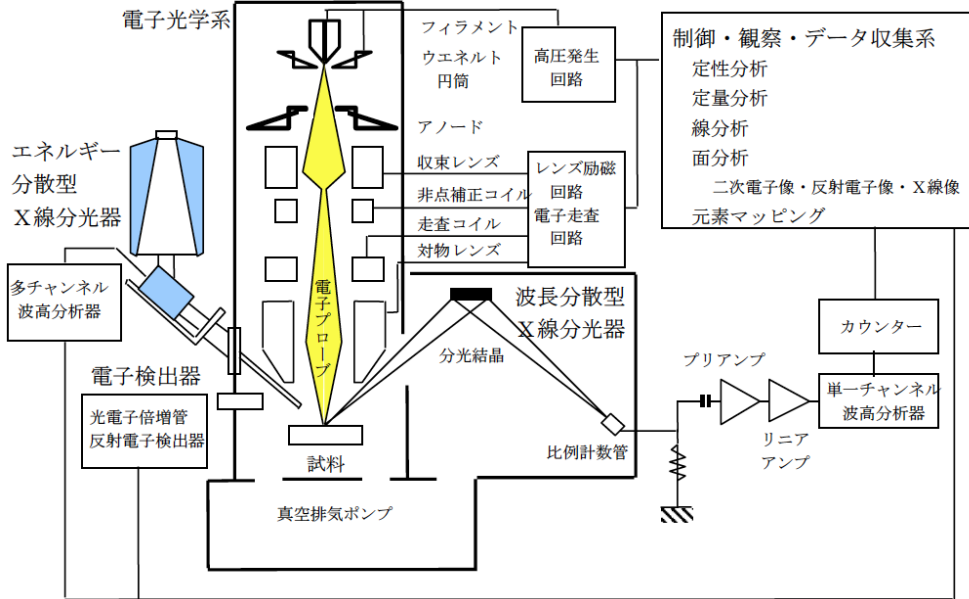


Rock Forming Minerals Vol. 1 Ortho- and Ring Silicates
W.A. Deer, R.A. Howie and J. Zussman 1962, Longmans

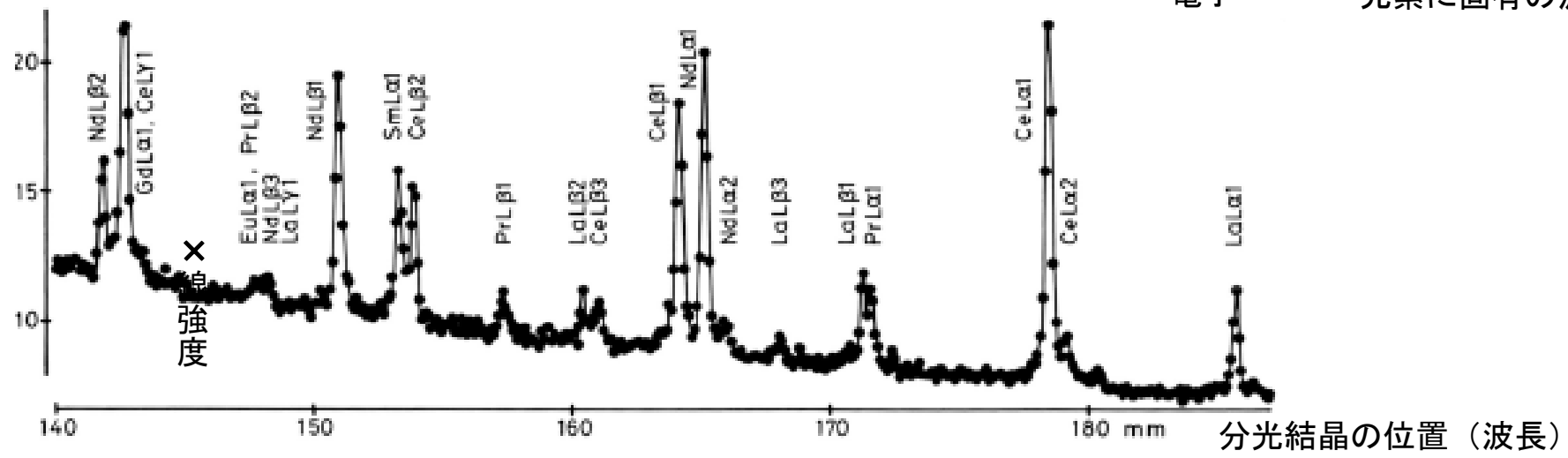
時には、岩石や分離した鉱物の
湿式化学分析—究極の武器

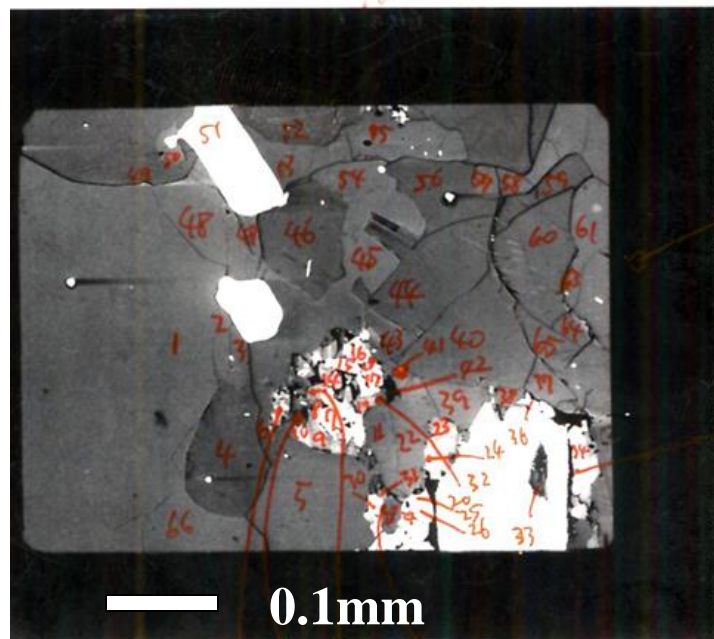


EPMA: Electron Probe Micro-Analyzer



特性X線:
元素に固有の波長



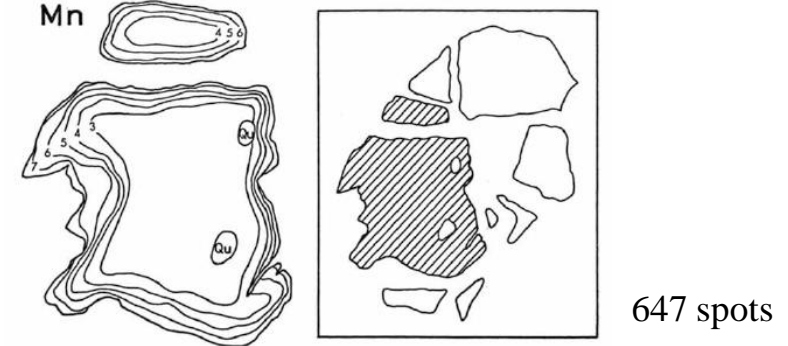
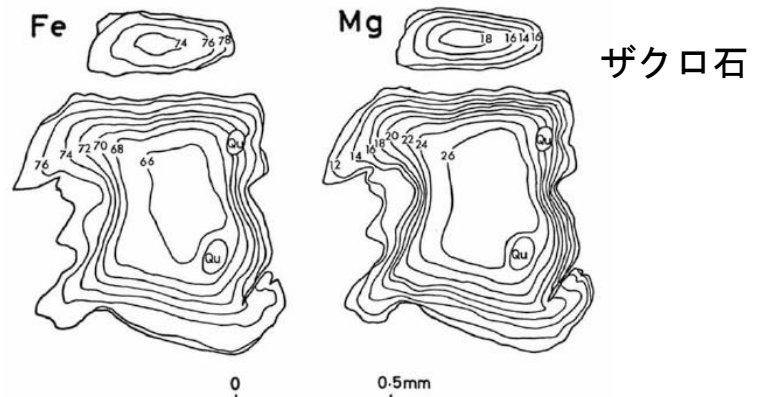
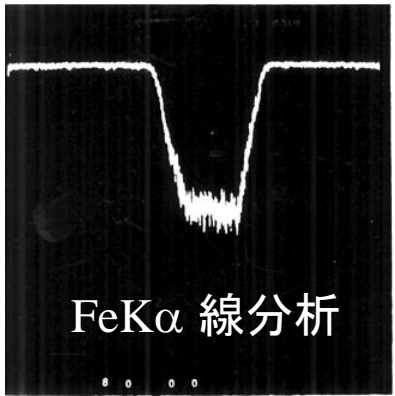
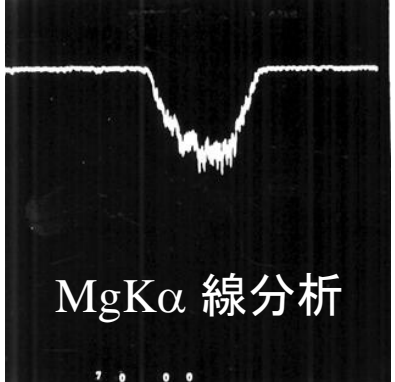
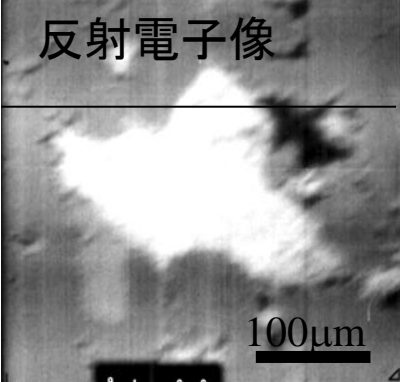


Ichinomagata
4-0 (I-0)
溶融実験試料

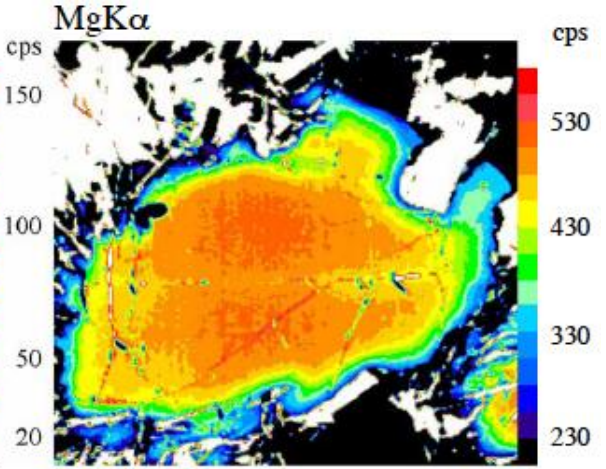
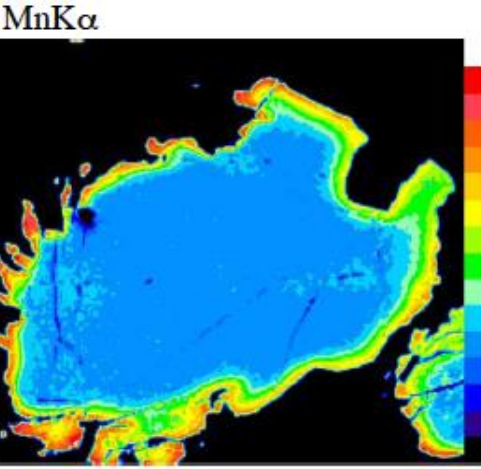
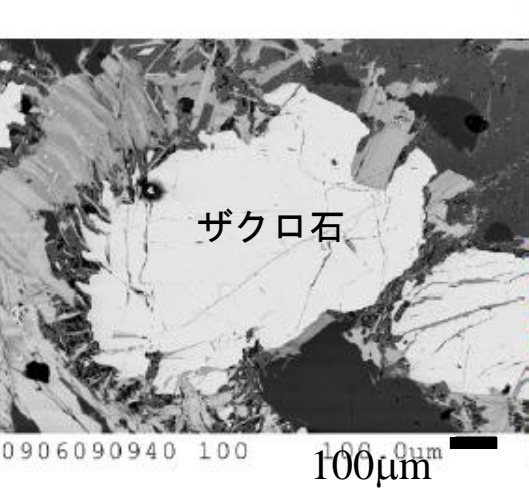
	Ol	Opx	Cpx	Spinel
SiO ₂	41.35	57.31	52.46	0.06
TiO ₂	0.02	0.04	0.26	0.09
Al ₂ O ₃	0.04	1.54	4.70	37.49
Cr ₂ O ₃	0.23	0.27	1.16	27.11
FeO	7.98	5.66	2.96	17.41
MnO	0.09	0.10	0.04	0.17
MgO	49.63	34.37	17.09	16.31
NiO	0.32	0.11	0.08	0.31
CaO	0.29	0.46	21.07	0.0
Na ₂ O	0.0	0.0	0.38	0.0
K ₂ O	0.0	0.0	0.01	0.0
Total	99.95	99.86	100.20	99.25

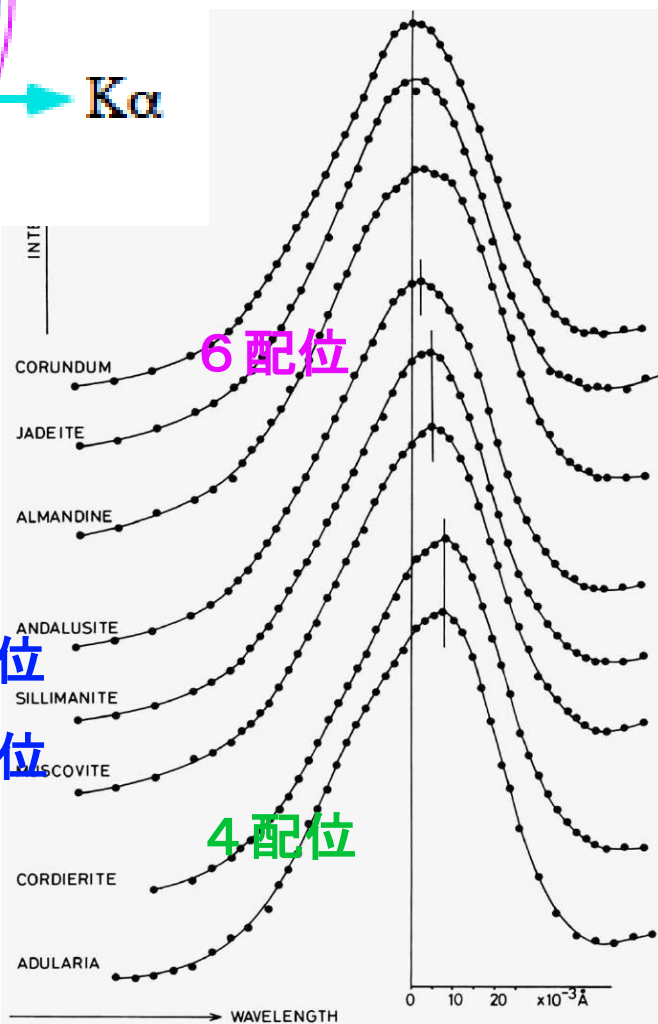
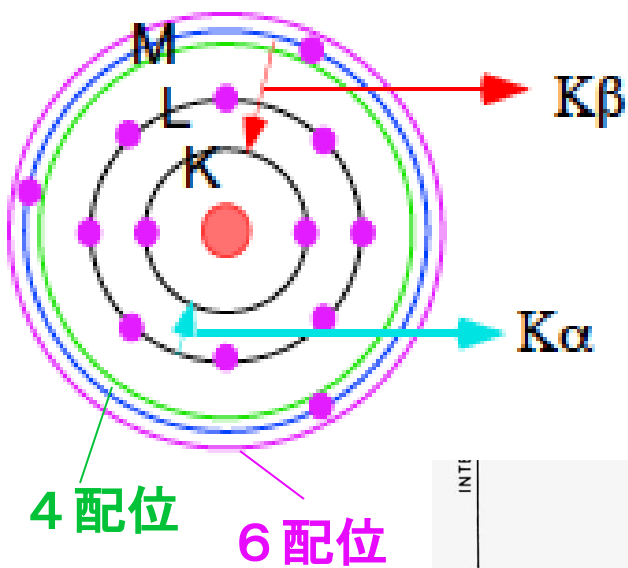
F091.7

鉍物粒子内の元素の2次元分布

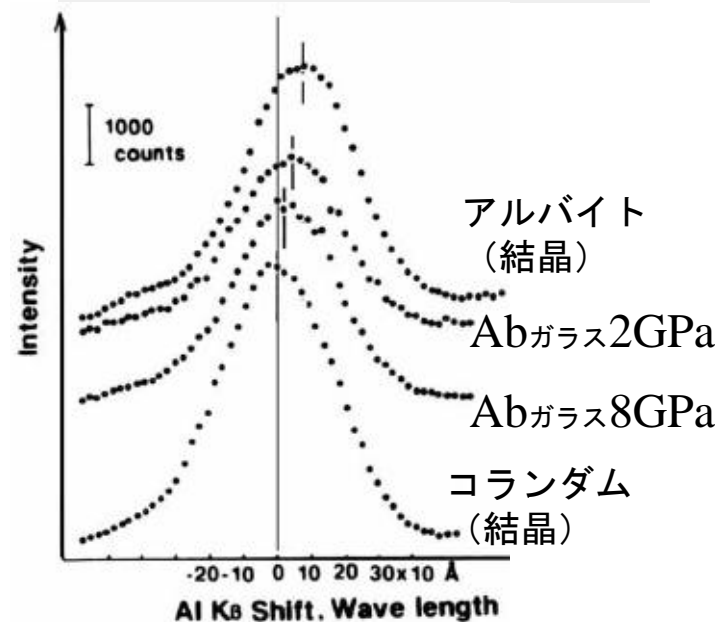
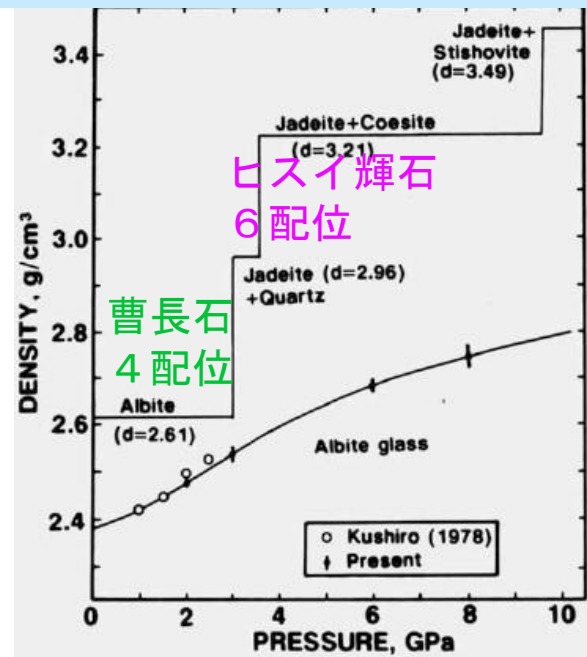


山本芳樹(1983), 岩鉍, 78, 313-323





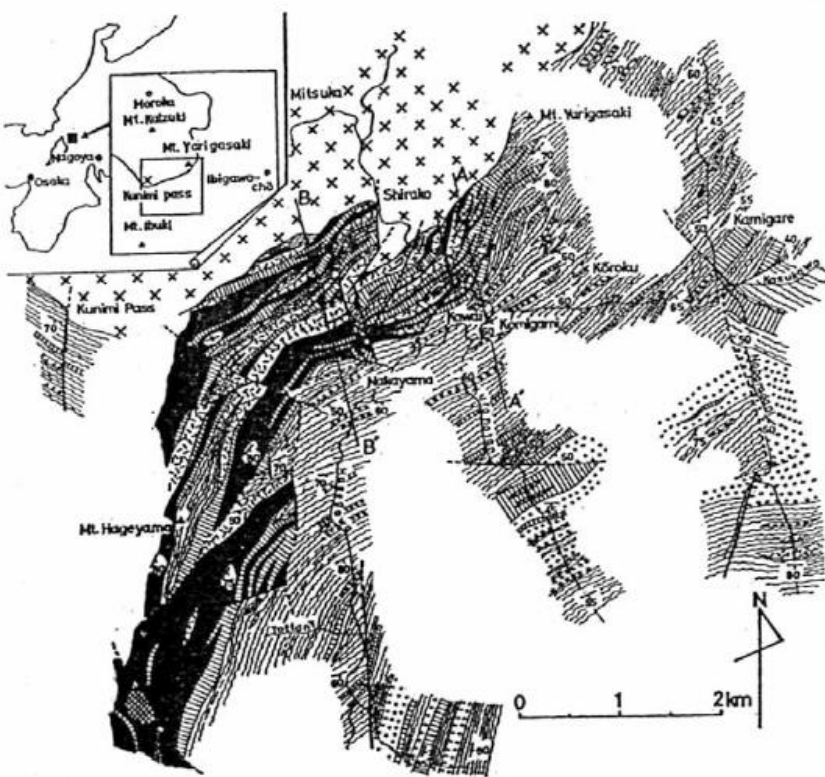
Suzuki, Noro, Miyake, Yamamoto & Yokoi (1983)



Ohtani & Suzuki (1989)

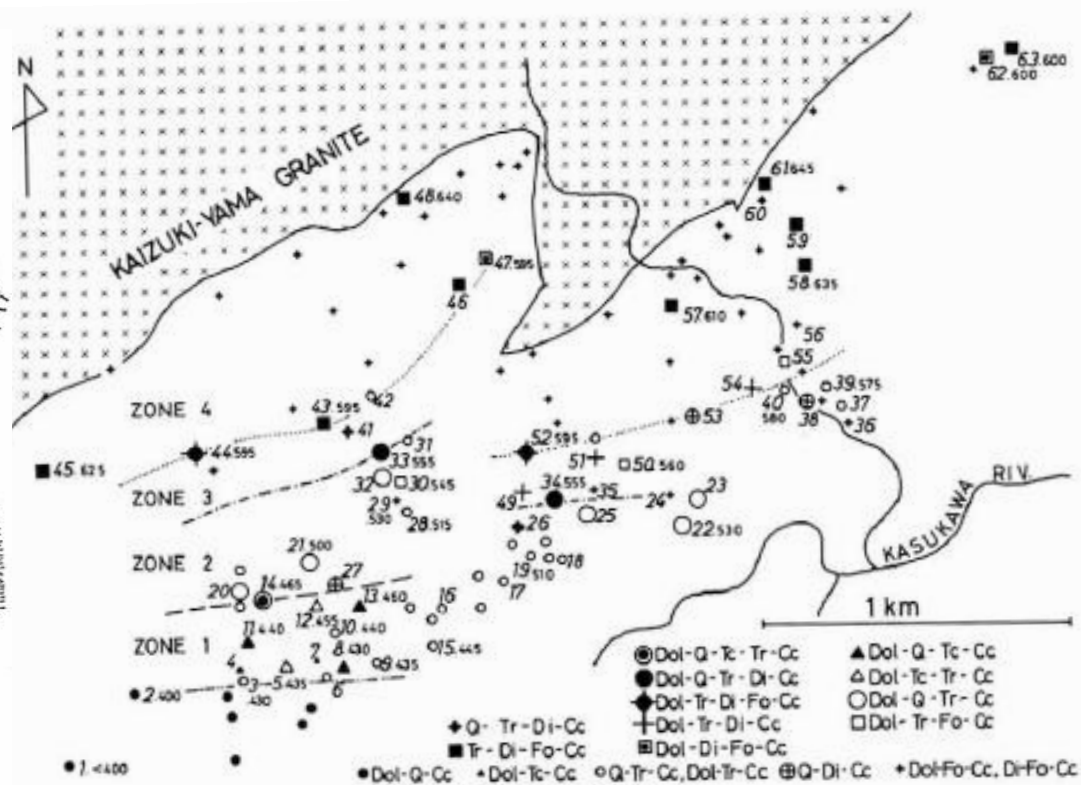
相平衡の概念 (閉鎖系と開放系)

D.S. Korzinskii (1959) Physicochemical basis of the analysis of the paragenesis of minerals, Consultants Bureau, New York
 都城秋穂 (1965) 変成岩と変成帯, 岩波書店, 東京



岐阜県揖斐郡春日村

鈴木(1975)



ドロマイト $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 質石灰岩が接触変成作用

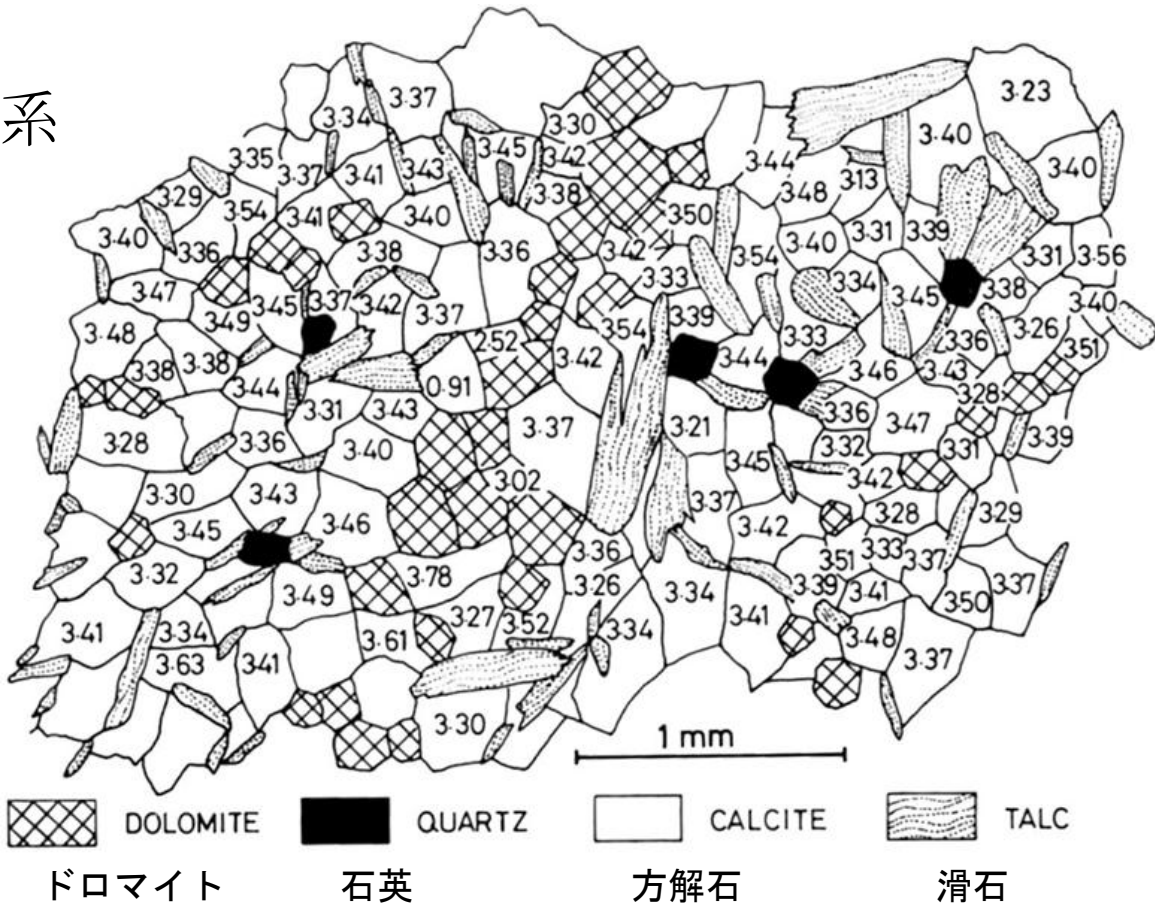
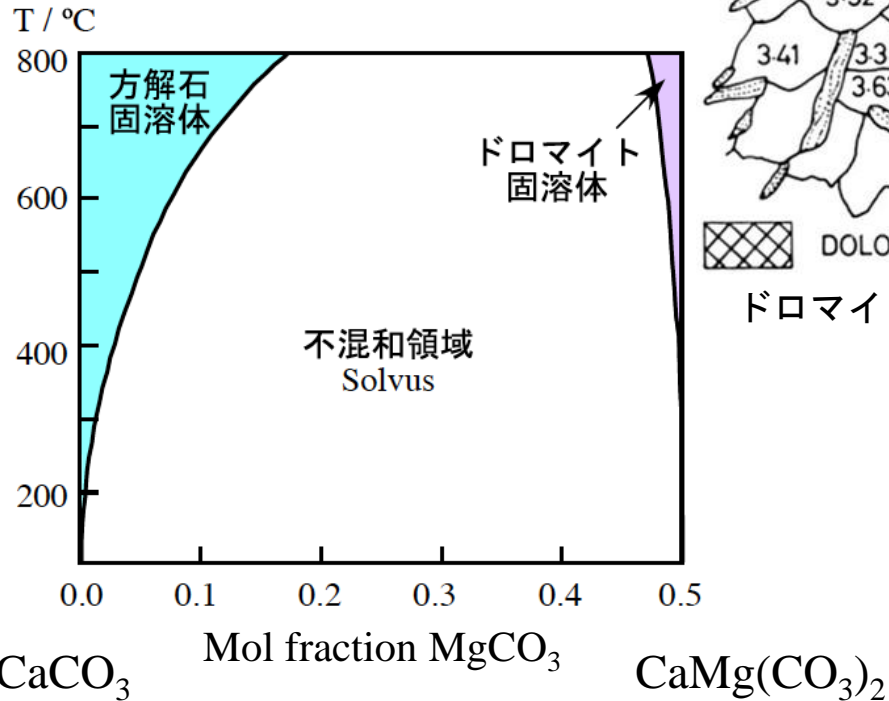
Suzuki (1977) . Contrib. Mineral. Petrol., 61, 79-89.

CaO-MgO-SiO₂-CO₂-H₂O系

$$F = C + 2 - P$$

P = 固相 4 相 + 流体相

自由度 F=2



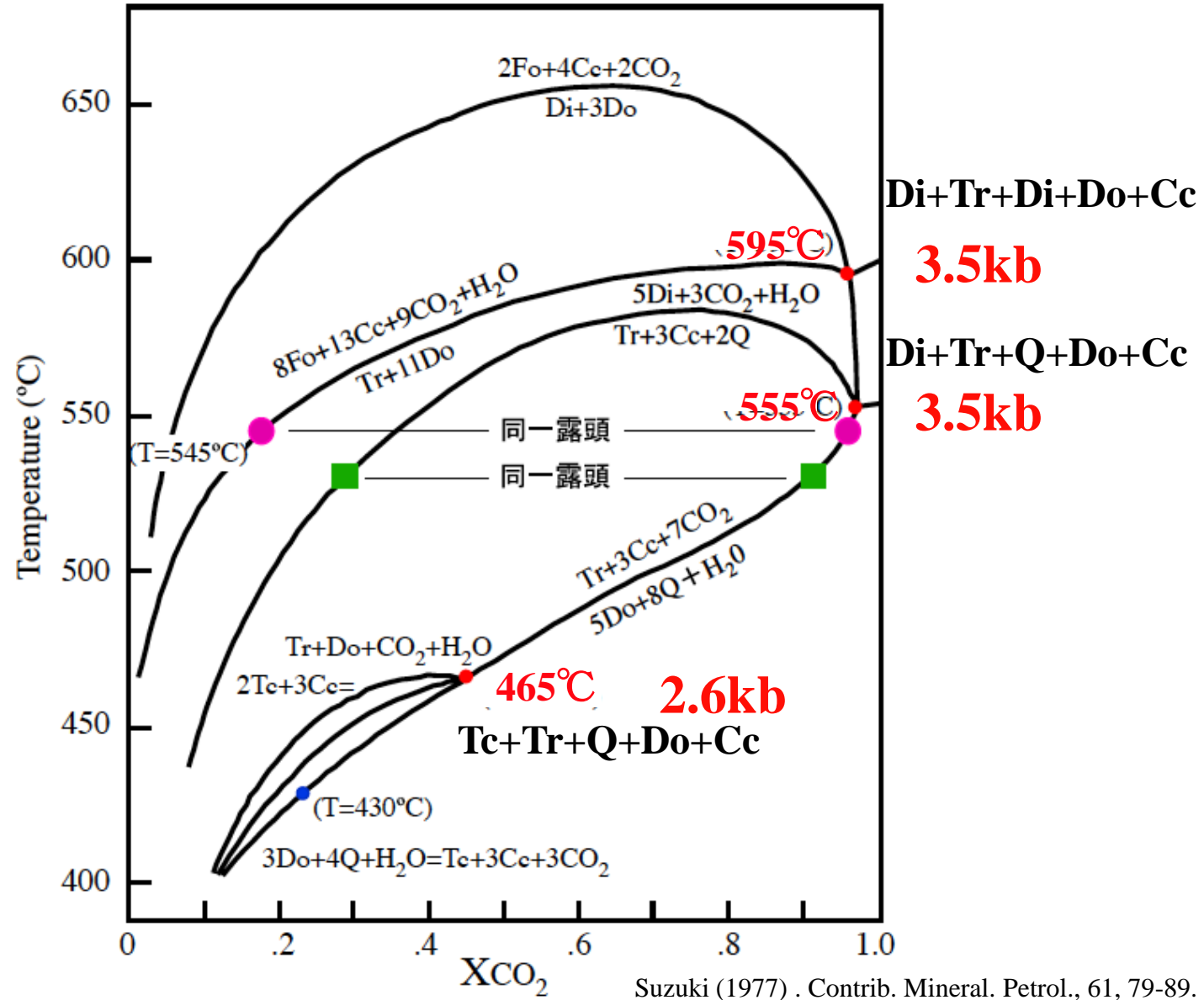
Suzuki, K. (1977), Contrib. Mineral. Petrol., 61, 79-89.

430°Cで平衡に達している

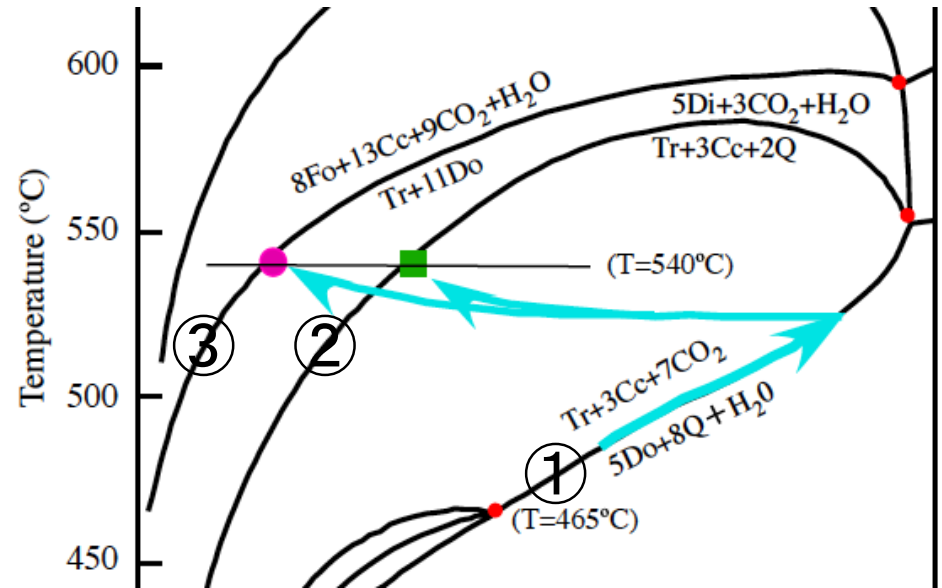
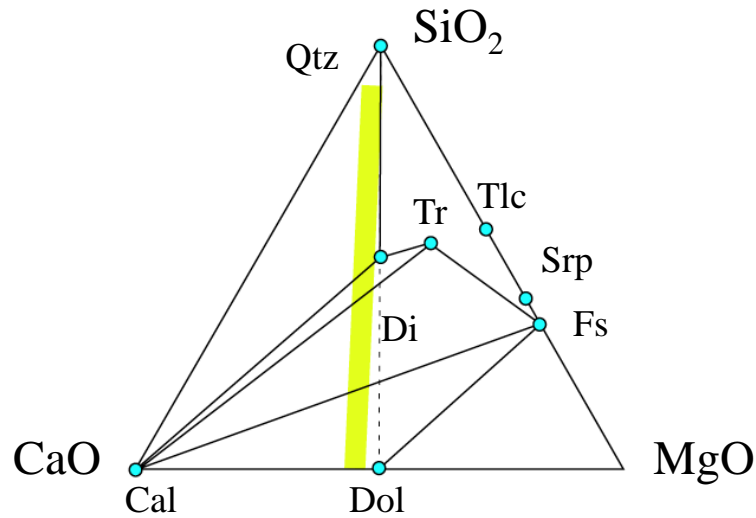
5 相共生

- Di+Tr+Di+Do+Cc
- Di+Tr+Q+Do+Cc
- Tc+Tr+Q+Do+Cc

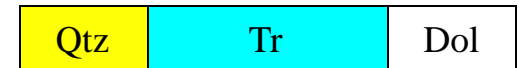
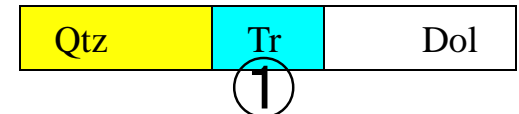
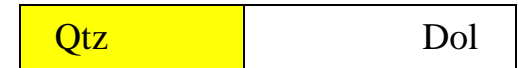
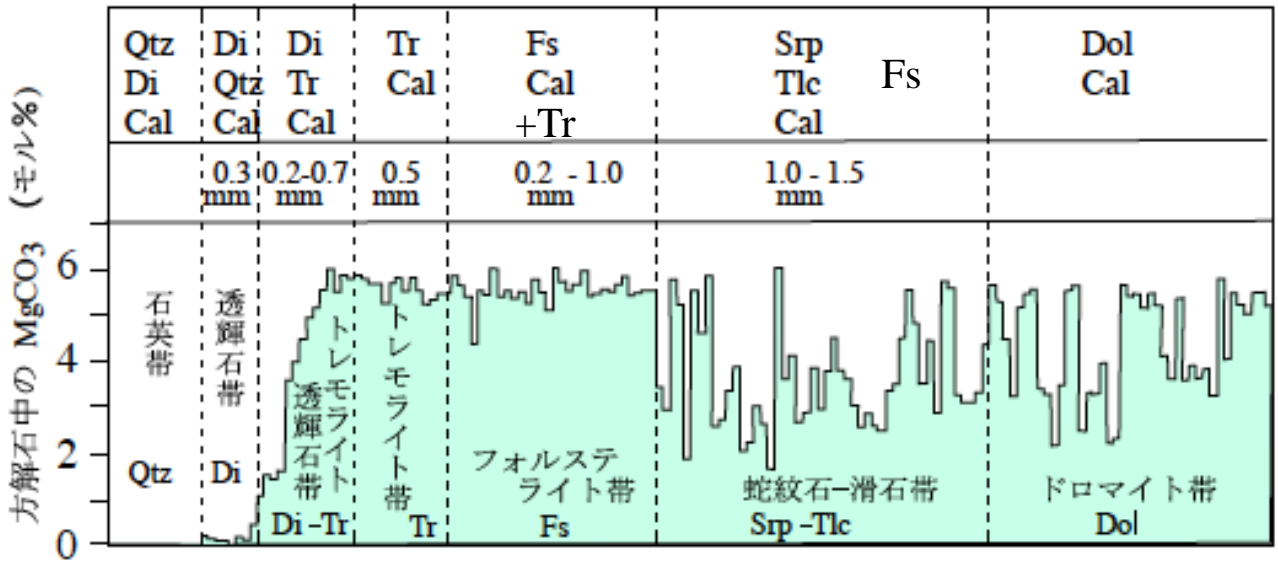
は自由度 1
 温度が決まれば
 流体圧も決まる



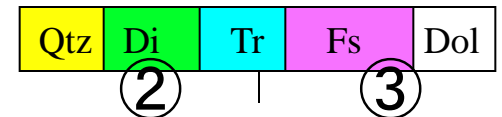
流体組成はLocal systemの鉱物共生でBuffering



μ_{MgCO_3} 一定



Reacting species の供給不足
別個のドメインに分離
反応が停止 流体は周囲と混合



Local equilibrium

鉱物粒界の微量元素濃集

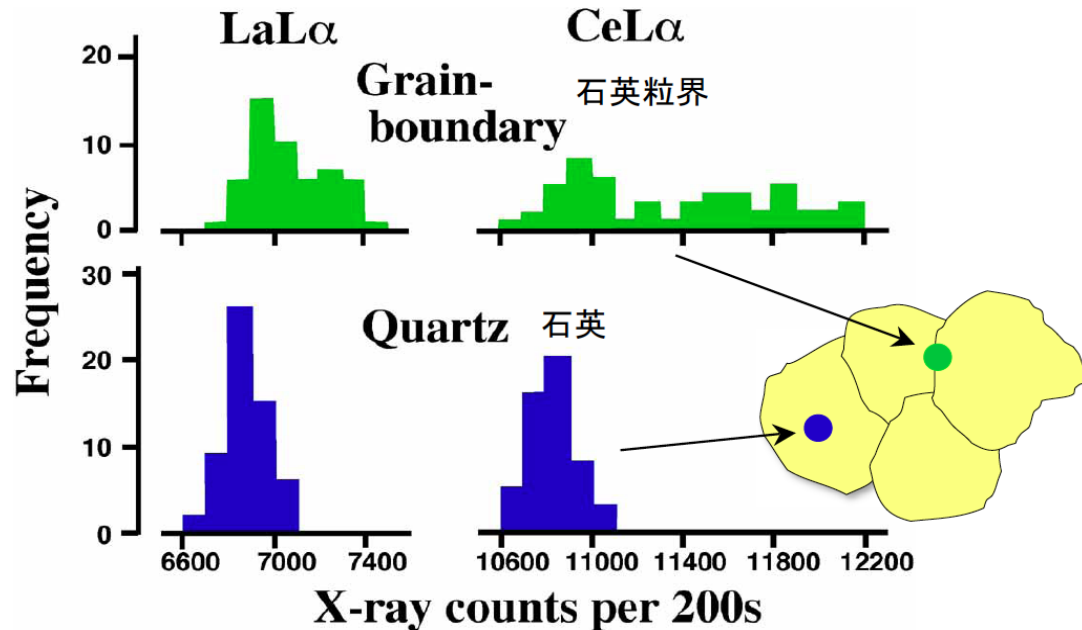
岩石 = 鉱物の集合 (Σ 鉱物)

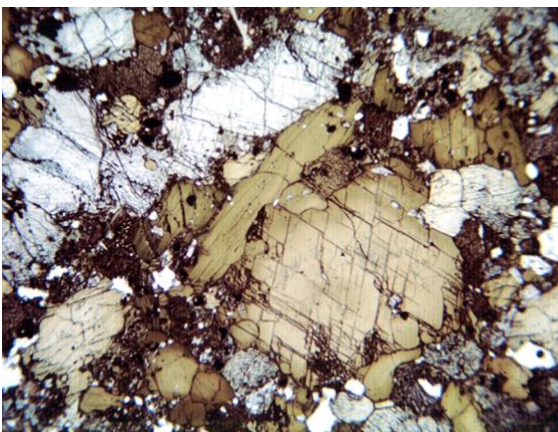
岩石の
全岩化学組成

≠ 鉱物の化学組成の合計 (Σ 鉱物の化学組成)

岩石の
全岩化学組成

= 鉱物と粒界の化学組成の合計
(Σ 鉱物の化学組成 + Σ 粒界の化学組成)

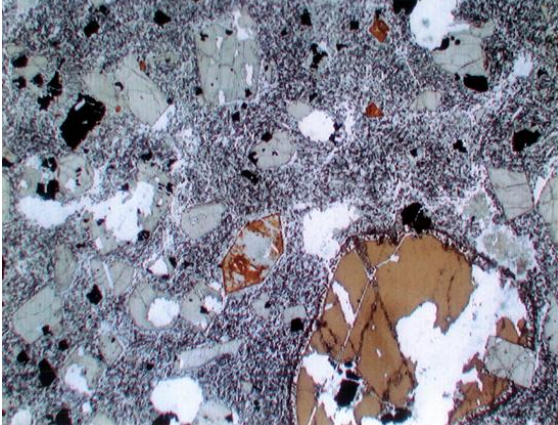




ホルンブレンド
集積岩

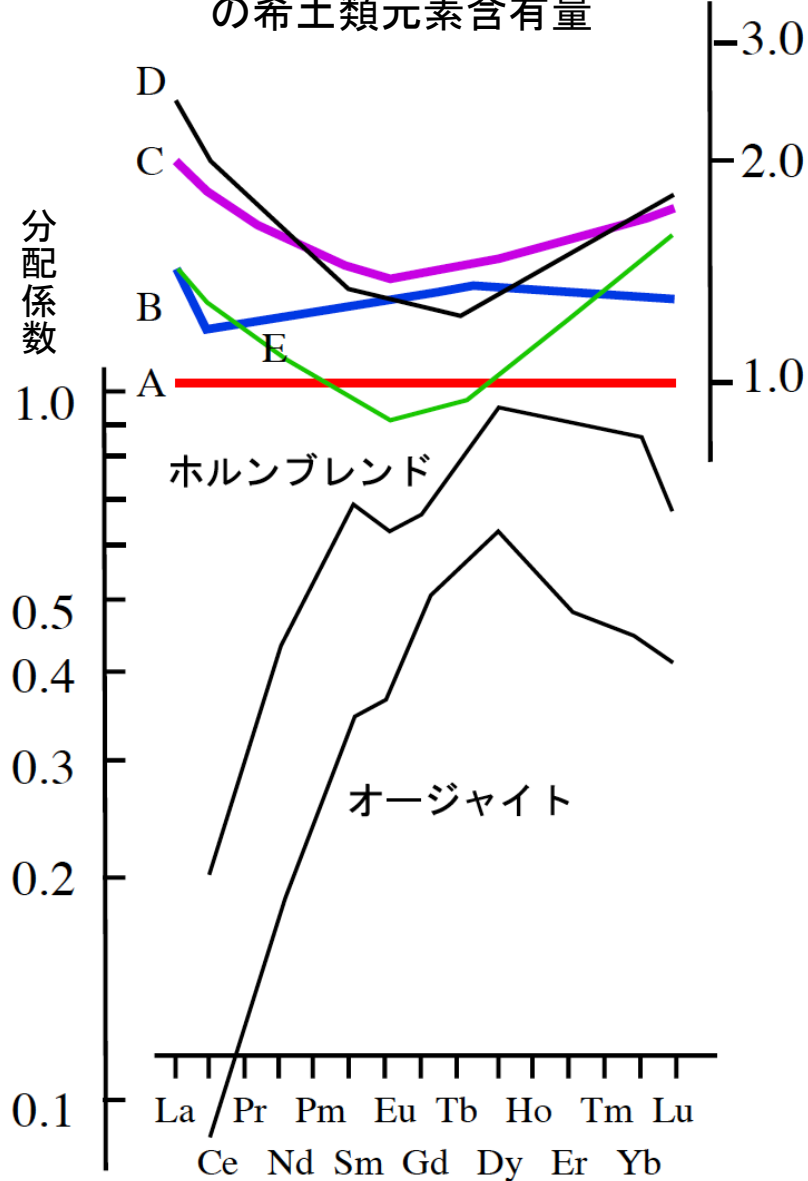


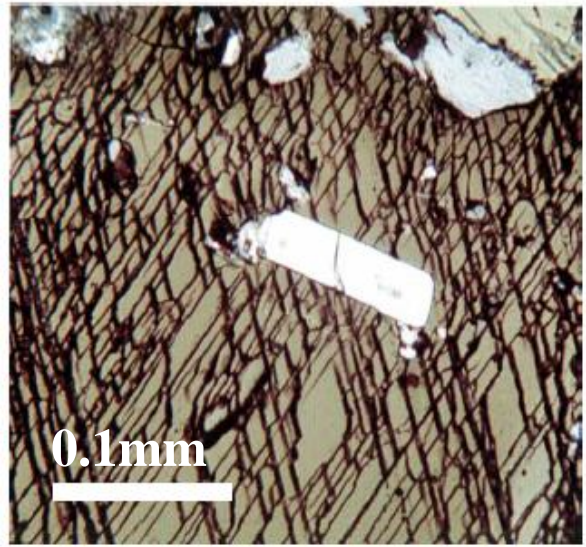
上位の
熔岩流
E
フォノライト



下位の
熔岩流
A
ベイサナイト

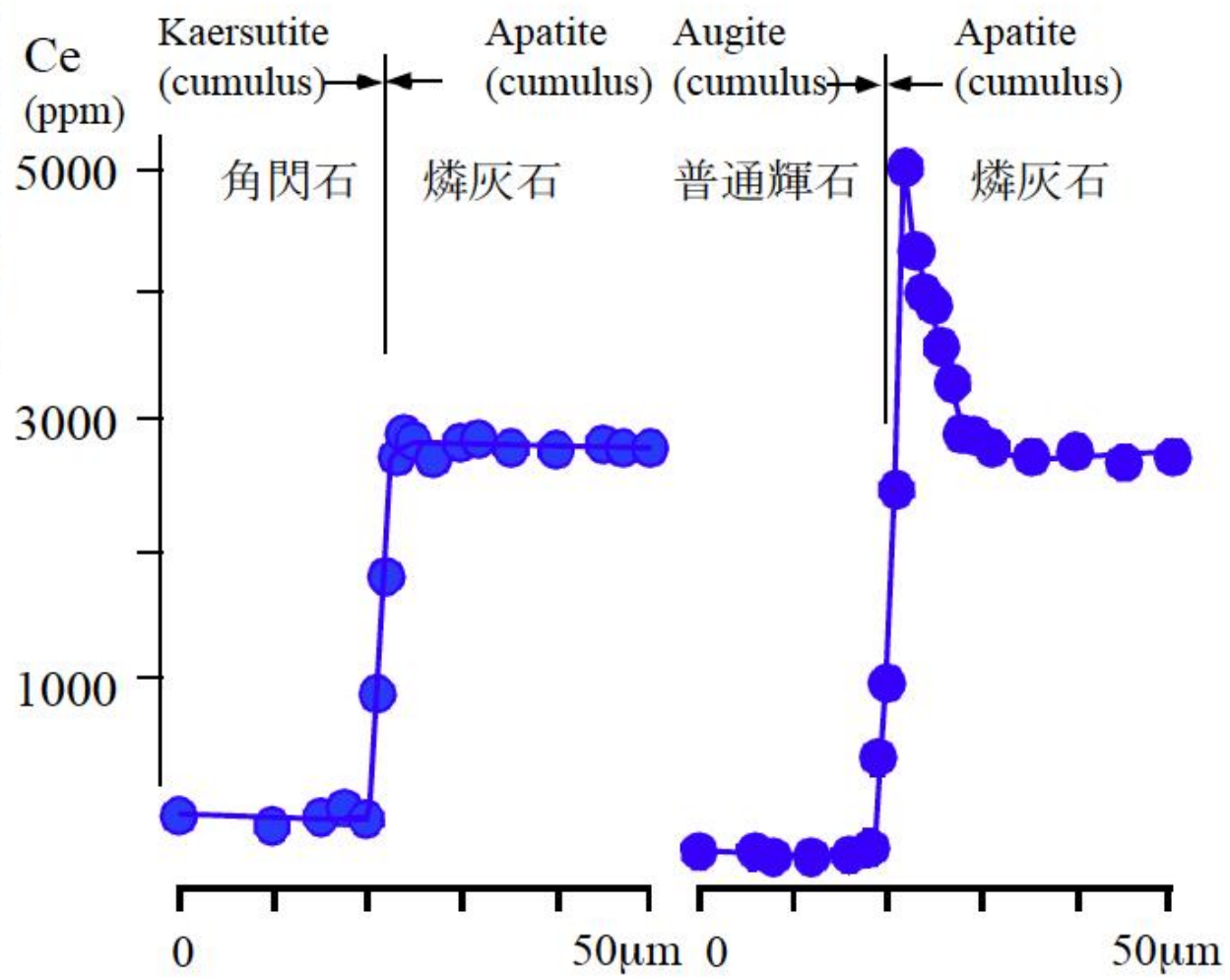
A熔岩で規格化した各熔岩
の希土類元素含有量



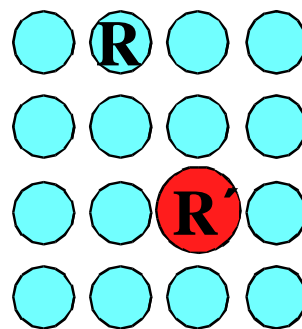
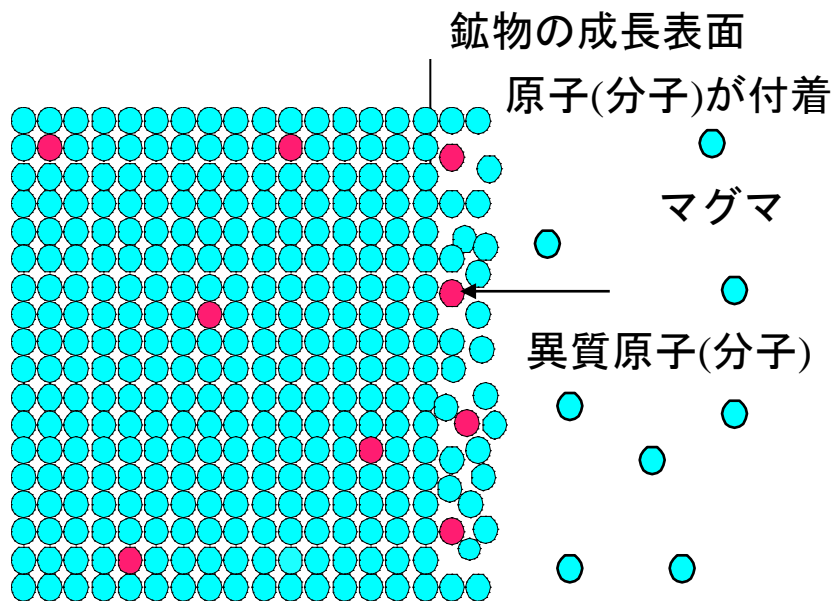


ホルンブレンド中の
Cumulusな燐灰石

無限規模の
マグマから晶出
→
燐灰石の
Ce含有量不変



異質原子の粒界濃集：偏析(Segregation)



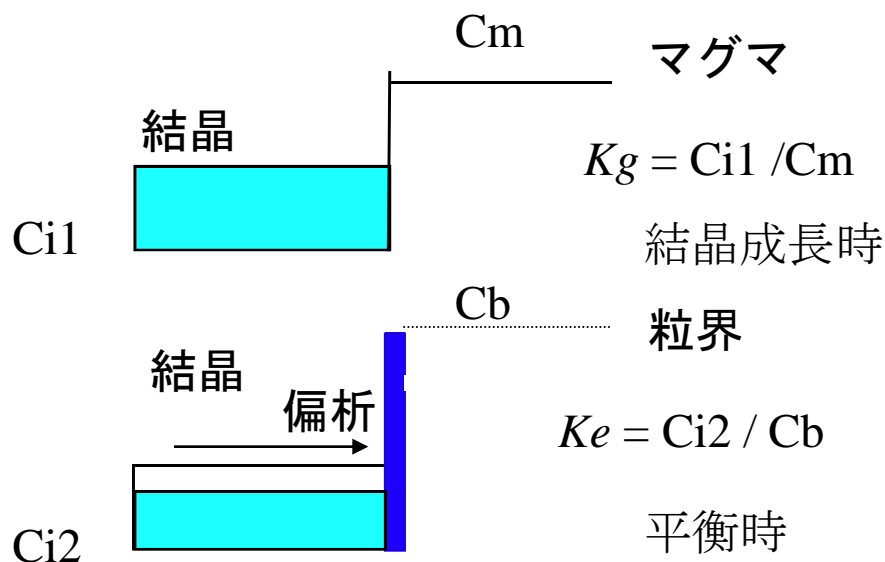
$$E \propto \mu R (\delta R)^2$$

μ : shear modulus
剛性率

$$\delta R = R - R'$$

1200-1100°C, $C_i/C_b = 0.1 - 0.3$

600°C, $C_i/C_b = 0.01$



結晶温度 = 1200°C

冷却速度 = 10°C/s

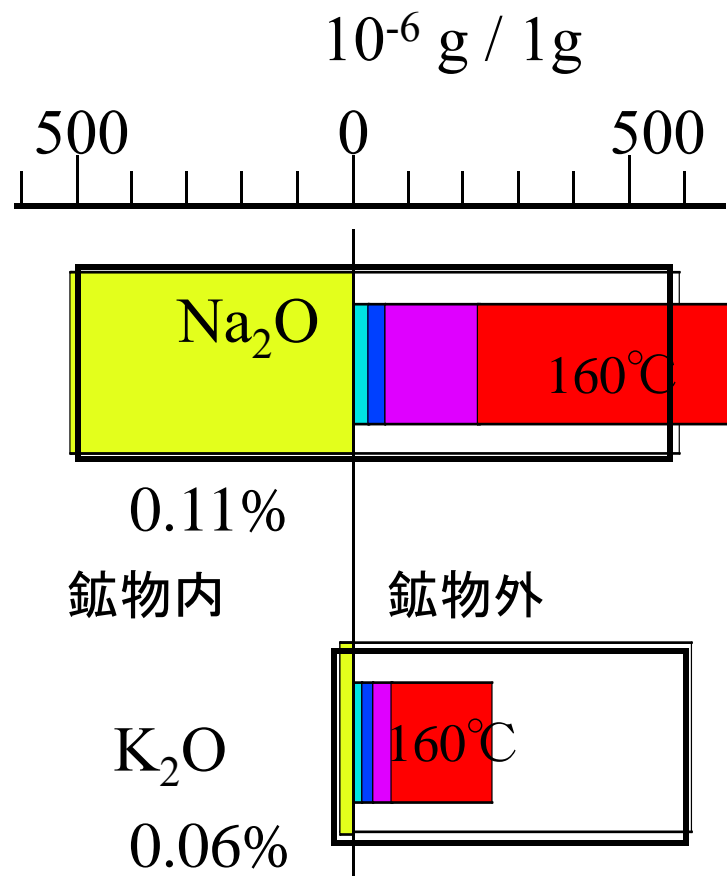
活性化エネルギー 3eV 10 μ m

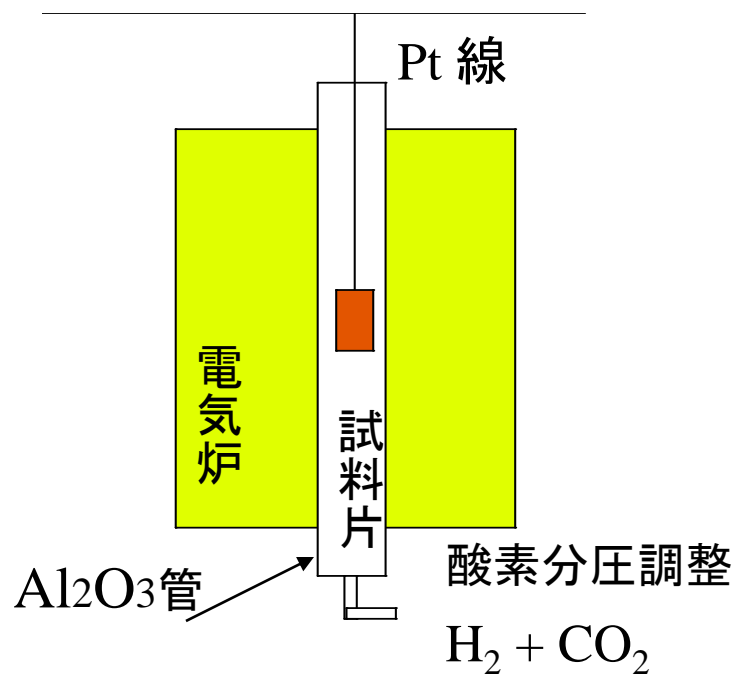
マントル岩石(ペリドタイト)→部分熔融→玄武岩

K₂O等 incompatible elements 不足 (Oxburgh, 1964)

Spinel dunite from San Carlos, Arizona, U.S.A.

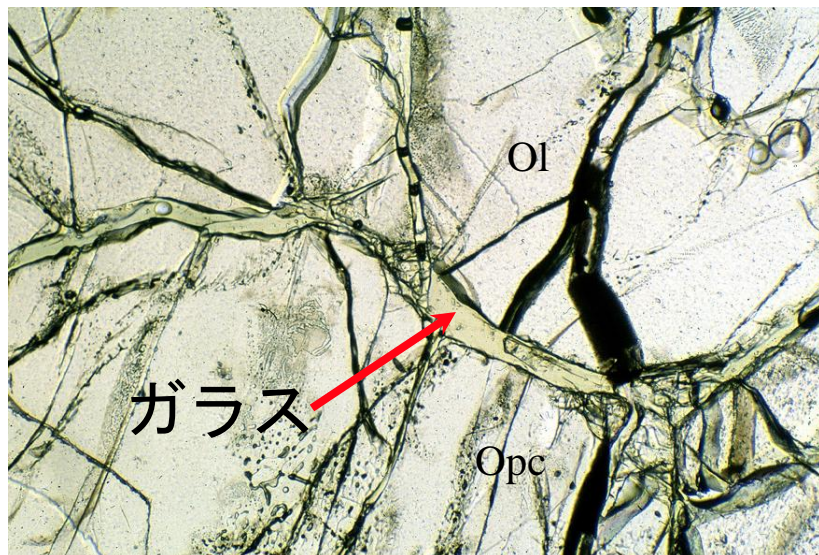
構成割合	Olivine c. 90 %	Orthopyroxene c. 6 %	Clinopyroxene c. 3 %	Spinel c. 1 %
SiO ₂	41.1	57.1	53.6	0.012
TiO ₂	<0.002	0.0075	0.113	0.0495
Al ₂ O ₃	0.0038	1.69	3.84	20.7
Cr ₂ O ₃	0.0197	0.604	1.55	48.4
FeO	8.23	5.93	2.97	14.2
MnO	0.083	0.088	0.122	0.171
MgO	50.1	33.2	16.5	15.2
NiO	0.361	0.115	0.0526	0.150
ZnO	0.0045	<0.003	<0.003	0.066
CaO	0.0663	1.01	20.2	<0.003
Na ₂ O	0.0044	0.0142	1.55	0.0051
K ₂ O	0.0023	0.0043	0.0048	0.0036
P ₂ O ₅	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Total	99.97	99.76	100.50	98.96





	1150°C	1200°C
	120 min	60 min
	0.5 %	1 %

SiO ₂	65.6	60.6
TiO ₂	1.44	2.06
Al ₂ O ₃	14.8	14.4
Cr ₂ O ₃	0.03	0.25
FeO	3.87	4.15
MnO	0.04	0.11
MgO	4.43	6.08
NiO	0.01	0.03
CaO	4.17	5.59
Na ₂ O	1.99	2.28
K ₂ O	4.34	4.20
P ₂ O ₅	0.25	0.29



1 岩石の
全岩化学組成 = 鉱物と粒界
の化学組成の合計

2 粒界濃集：偏析 (Segregation)、駆動力：歪み

$$C_i / C_b = f(T, \dots), \text{ 分配成立}$$

粒界は近似的にメルト (マグマ)

3 粒界：Incompatible elements の貯蔵庫

Mantle peridotite の部分熔融で生じる玄武岩

マグマに K, P, Ti 等の

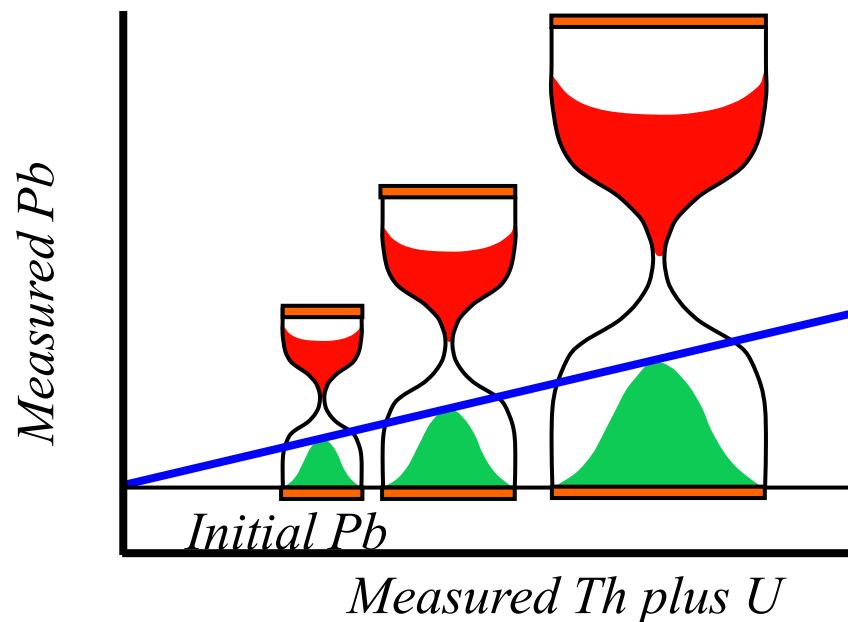
Incompatible elements を供給

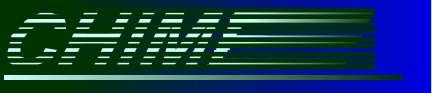
EPMAを使ったCHIME年代測定

電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)で鉱物粒子各部のTh,U,Pb含有量を多数点測定し, $\text{Th} + \text{U} = 0$ に外挿して, 初生鉛と年代を決定する。

CHIMEは Chemical Th-U-total Pb Isochron Method (トリウム-ウラン-全鉛アイソクロン法)の頭を連ねたネーミング。名古屋大学が世界に先駆けて創案。

足立 守 名誉教授
田中 剛 名誉教授 との共同研究

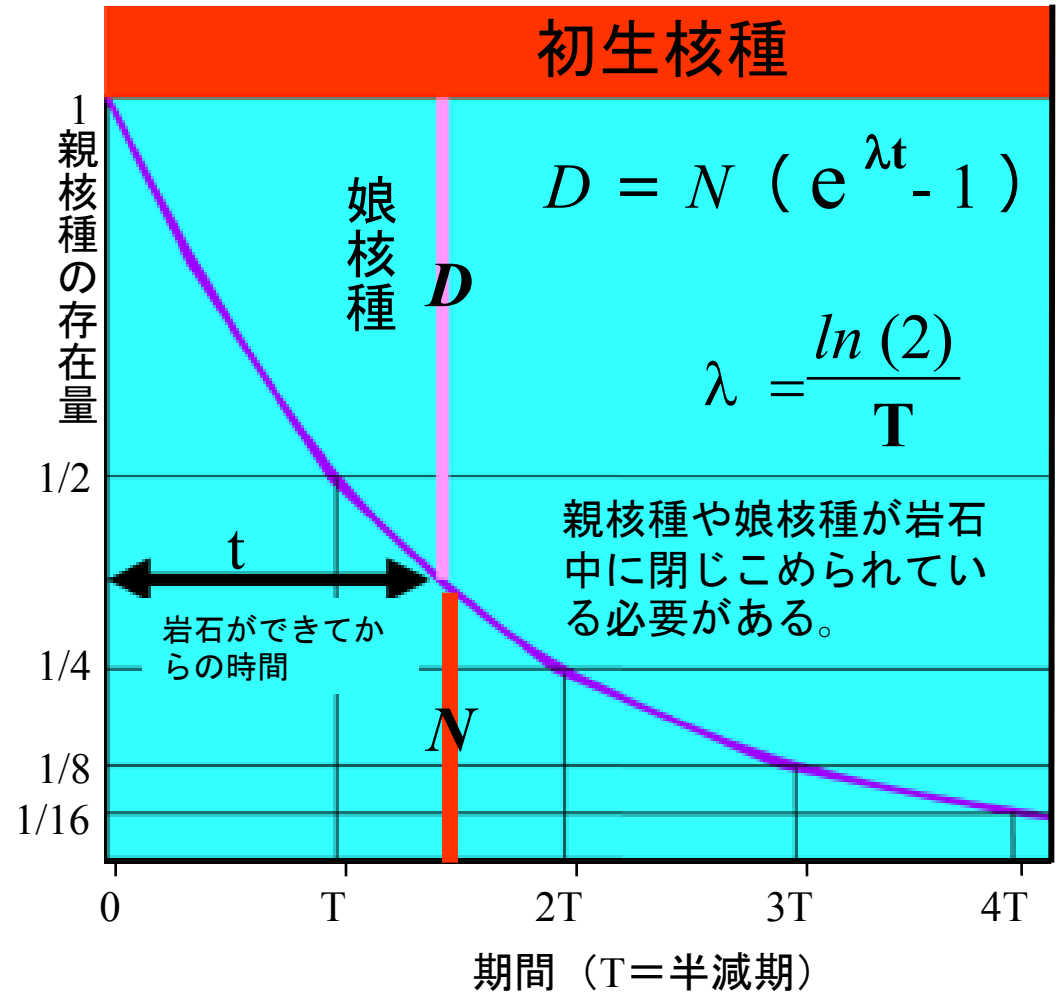




親核種は時間と共に減少し、娘核種が増加

適度な半減期
 存在量が多い
 娘同位体の存在量が少ない
 普遍性

Parent 親核種	半減期	Daughter 娘核種
^{40}K	12.5億年	^{40}Ar
^{87}Rb	488.1億年	^{87}Sr
^{147}Sm	1059.7億年	^{143}Nd
^{235}U	7.04億年	^{207}Pb
^{238}U	44.68億年	^{206}Pb
^{232}Th	140.1億年	^{208}Pb



濃飛流紋岩に貫入する伊奈川花崗岩

岐阜県恵那市岩村町上切

花崗岩の方が新しい。しかし、
何時できたのかが分からない。

年代測

定 K-Ar法ではどちらも約68Ma

中新世堆積岩

約15Ma

不整合

苗木(土岐)

花崗岩

68.1 Ma

約68Ma

伊奈川
花崗岩

83.0 Ma

約68Ma

陸
上で噴火
した
火山岩

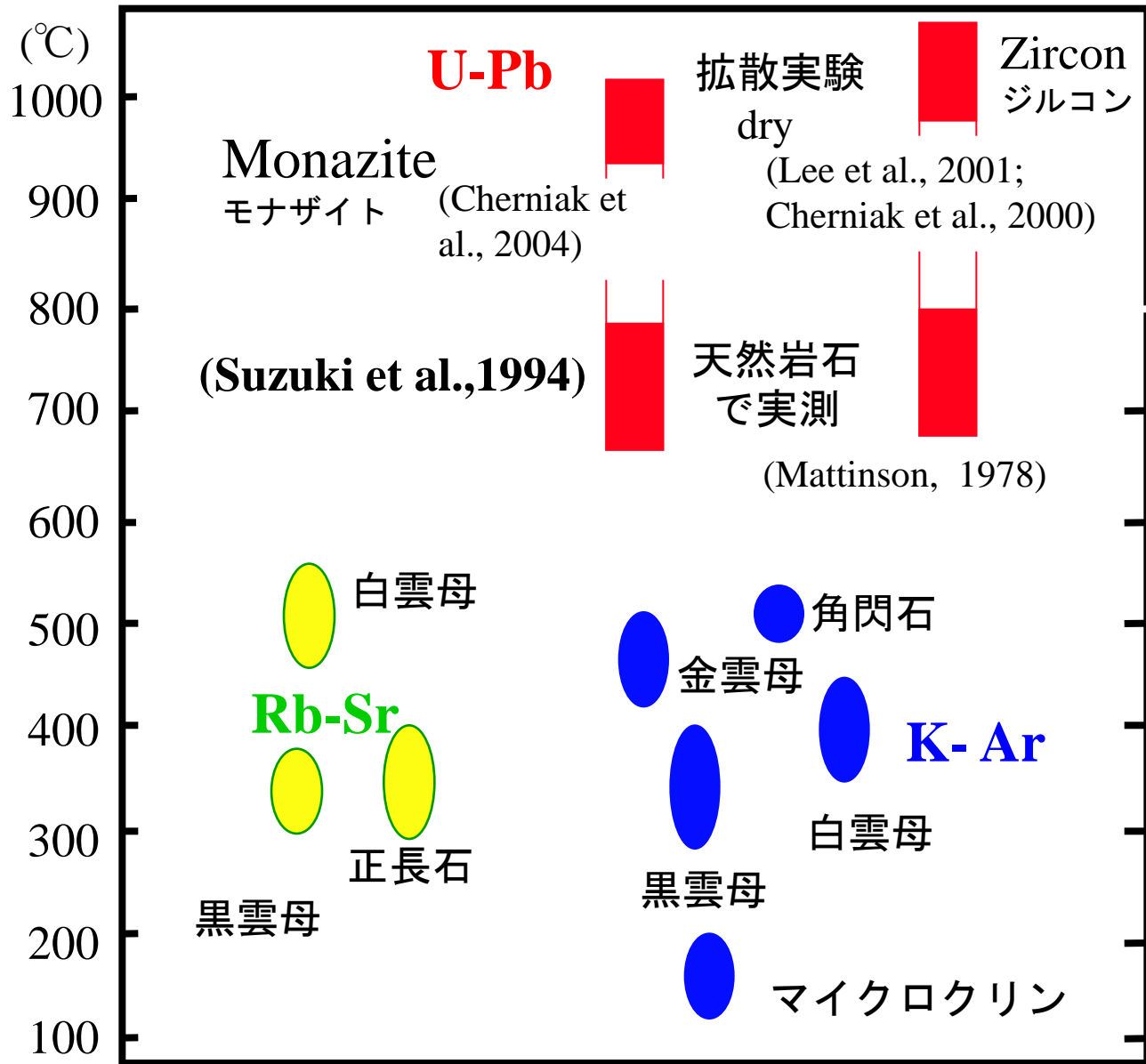
濃飛
流紋岩

85.0 Ma

約68Ma



鉱物の閉止温度（親核種・娘核種が移動しなくなる温度）

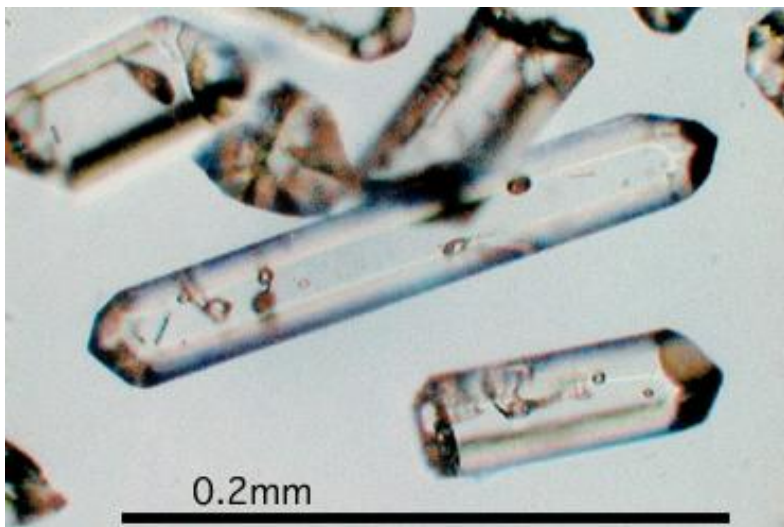


マグマの温度

変成作用の温度

島弧地殻の深さ 10 km

ジルコン
 $ZrSiO_4$
 $USiO_4$
 Coffinite
 $ThSiO_4$
 Thorite



<http://www.westatic.com/img/dict/ktkbt/~ug7s-ktu/monazi.jpg>

花崗岩中の副成分鉱物の量
 (岐阜県中津川市産の苗木花崗岩)

鉱物	mg/1kg	化学組成
ホタル石	853.8	CaF_2
燐灰石	215.2	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$
チタン鉄鉱	166.5	$FeTiO_3$
ジルコン	145.5	$ZrSiO_4$
モナズ石	78.1	$(La, Ce, Pr, Nd)PO_4$
フェルグソン石	0.5	$Y(Nb, Ta)O_4$
褐簾石	9.5	$Ca(Ca, LREE)(Al, Fe)_3(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$
ルチル	3.6	TiO_2
コロンバイト	1.7	$(Fe, Mn)(Nb, Ta)_2O_6$
トーライト	1.4	$ThSiO_4$

モナザイト

$(La, Ce, Nd)PO_4$
 + other REE < 10 mol % + Y, Th, U, Ca

- Th or U + Si = REE + P (huttonite)
- Th or U + Ca = 2REE (cheralite)

親核種	娘核種	壊変定数 (decay constant)
^{238}U	$\Rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\alpha + 6\beta$	$\lambda_8 = 1.55125 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$
^{235}U	$\Rightarrow ^{207}\text{Pb} + 7\alpha + 4\beta$	$\lambda_5 = 9.8485 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$
^{232}Th	$\Rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\alpha + 4\beta$	$\lambda_2 = 4.9475 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$

岩石からジルコン・モナザイトを分離
 数mg～数100mg (多数の粒子) を溶解
 化学的に元素の単離
 ウラン・鉛の定量 (同位体希釈法) と同位体分析
 初生鉛の補正 (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb ; ^{204}Pb は非壊変起原)

$^{206}\text{Pb}^*$ (壊変起原)

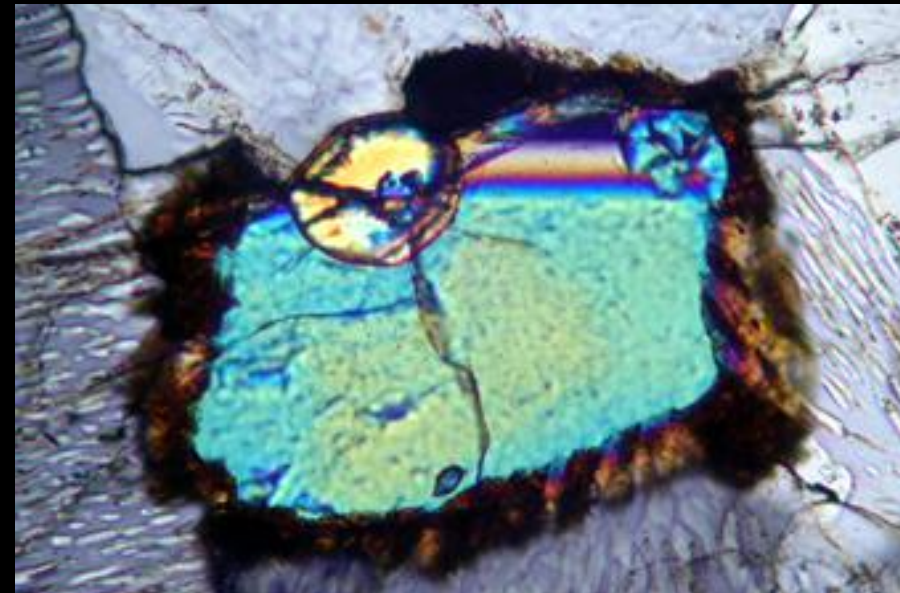
$$= \text{全}^{206}\text{Pb} - ^{204}\text{Pb} \times \text{比率}$$

$$^{206}\text{Pb}^* = ^{238}\text{U} \{ \exp(\lambda_8 t) - 1 \}$$

$$^{207}\text{Pb}^* = ^{235}\text{U} \{ \exp(\lambda_5 t) - 1 \}$$

$$^{208}\text{Pb}^* = ^{232}\text{Th} \{ \exp(\lambda_2 t) - 1 \}$$

モナザイト



南極、ナピアー岩体

100μm

100μm

ジルコン

岐阜県神岡町高原川

ジルコン

100μm

南極、昭和基地

物理的に分割
→化学的分離
→質量分析

研磨
他の鉍物と混ぜて
空気研磨

分割
顕微鏡下で切断

局所サンプリング
→質量分析

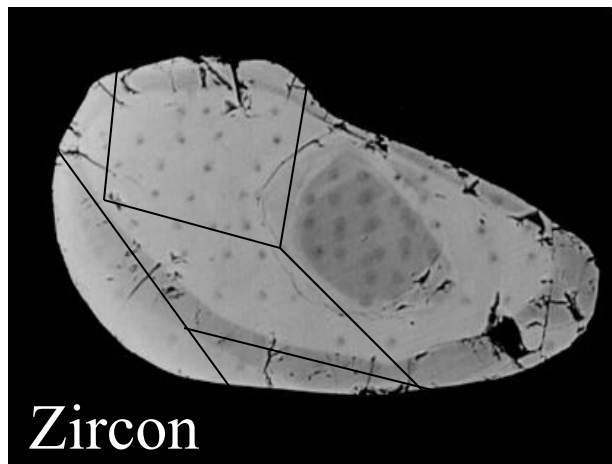
イオンでスパッタリング
SIMS (ANU)

レーザーで蒸発
LA-ICPMS

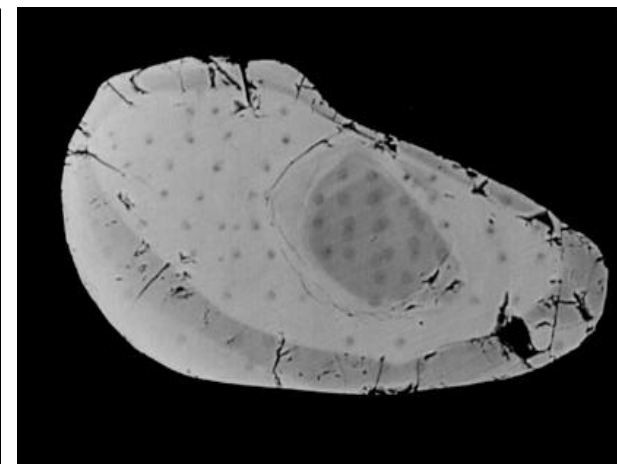
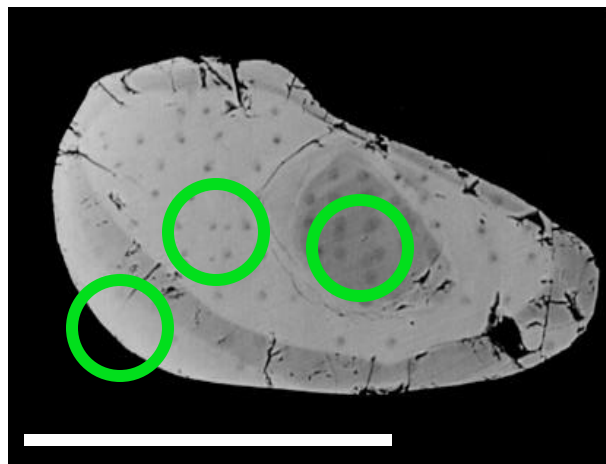
表面から蒸発
TIMS

微小領域化学分析
名古屋大学

CHIME法
EPMA
Electron probe
MicroAnalyzer



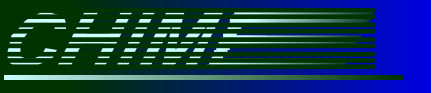
Zircon



超高精度 (ppt: 10^{-12})
低空間分解能

高精度 (ppb: 10^{-8})
空間分解能 $>20-30\mu\text{m}$

低精度 (ppm: 10^{-5})
空間分解能 $2-4\mu\text{m}$



U-Th- Pb 系の親核種-娘核種の関係

$$^{232}\text{Th} \Rightarrow ^{208}\text{Pb} : \quad ^{208}\text{Pb} = ^{232}\text{Th} \{ \exp(\lambda_{232}t) - 1 \} : \quad \lambda_{232} = 4.9475 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$$

$$^{235}\text{U} \Rightarrow ^{207}\text{Pb} : \quad ^{207}\text{Pb} = ^{235}\text{U} \{ \exp(\lambda_{235}t) - 1 \} : \quad \lambda_{235} = 9.8485 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$$

$$^{238}\text{U} \Rightarrow ^{206}\text{Pb} : \quad ^{206}\text{Pb} = ^{238}\text{U} \{ \exp(\lambda_{238}t) - 1 \} : \quad \lambda_{238} = 1.55125 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Pb} &= \text{Pb}_{\text{initial}} + ^{208}\text{Pb} + ^{207}\text{Pb} + ^{206}\text{Pb} \\ &= \text{Pb}_{\text{initial}} + ^{232}\text{Th} \{ \exp(\lambda_{232}t) - 1 \} + ^{235}\text{U} \{ \exp(\lambda_{235}t) - 1 \} + ^{238}\text{U} \{ \exp(\lambda_{238}t) - 1 \} \end{aligned}$$

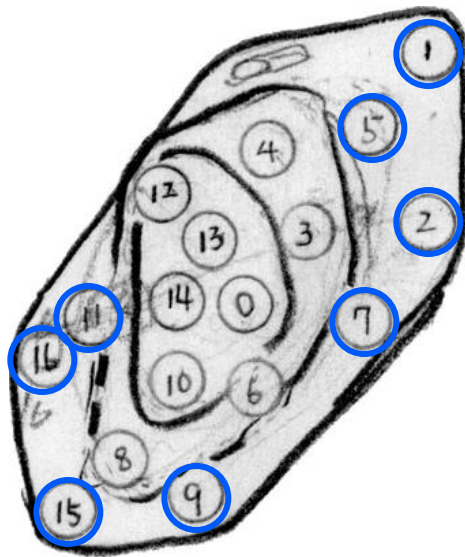
$$^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137.88 \quad (\text{Steiger and Jäger, 1977})$$

$$\begin{aligned} \text{Total Pb} &= \text{Pb}_{\text{initial}} + \text{Th} \{ \exp(\lambda_{232}t) - 1 \} \\ &+ \text{U} \left\{ \frac{\exp(\lambda_{235}t) + 137.88 \exp(\lambda_{238}t)}{138.88} - 1 \right\} \end{aligned}$$

Suzuki and Adachi, 1991

もし初生鉛($\text{Pb}_{\text{initial}}$)が壊変起原の鉛に比べて十分に小さい場合は $\text{Pb}_{\text{initial}} = 0$ として年代が決定できる

領家変成岩: 紅柱石-珪線石漸移帯 (620°C)



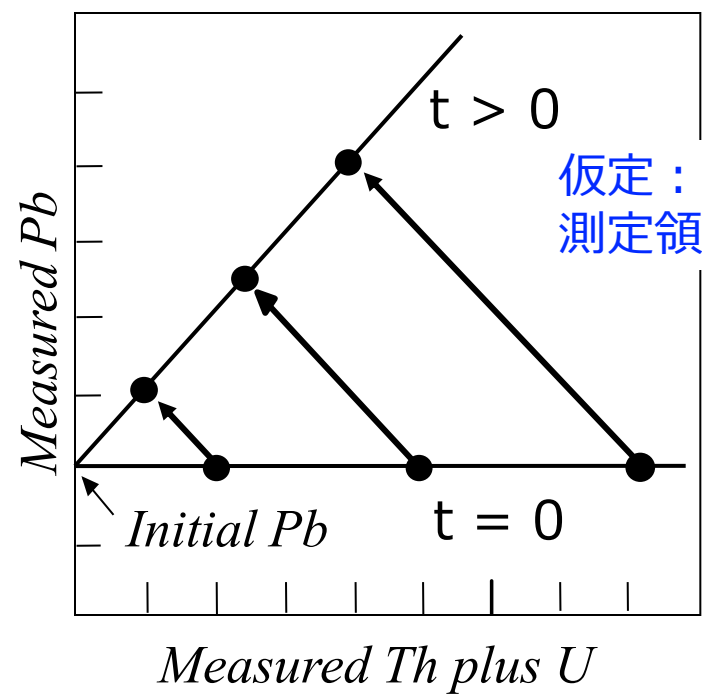
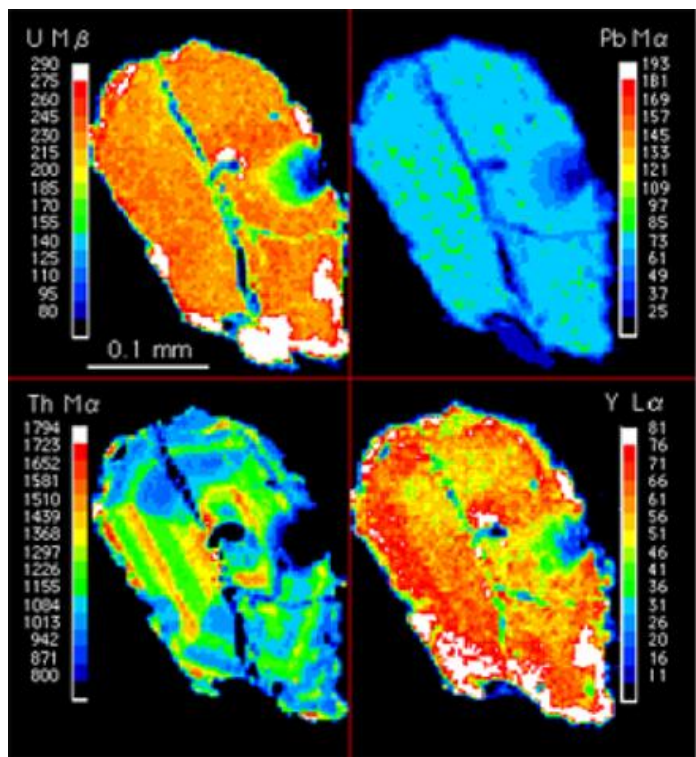
0.05mm

	wt.%	O=4
SiO ₂	0.167	0.0066
ThO ₂	6.899	0.0616
UO ₂	0.632	0.0055
Y ₂ O ₃	0.232	0.0048
La ₂ O ₃	14.69	0.2129
Ce ₂ O ₃	27.24	0.3919
Pr ₂ O ₃	2.78	0.0398
Nd ₂ O ₃	11.19	0.1570
Sm ₂ O ₃	2.34	0.0317
Eu ₂ O ₃	<0.05	-
Gd ₂ O ₃	1.14	0.0149
Tb ₂ O ₃	0.11	0.0014
Dy ₂ O ₃	0.27	0.0034
Er ₂ O ₃	<0.05	-
Yb ₂ O ₃	<0.05	-
FeO	<0.02	-
CaO	1.547	0.0651
PbO	0.476	0.0050
P ₂ O ₅	30.00	0.9982
Total	99.716	

	ThO ₂	UO ₂	PbO	Age
0	6.899	0.632	0.476	1206
1	5.323	0.540	0.030	101
2	4.124	0.396	0.021	92
3	7.405	0.691	0.352	842
4	6.338	0.535	0.304	868
5	5.044	0.480	0.027	97
6	6.538	0.342	0.290	877
7	5.213	0.438	0.029	104
8	6.602	0.516	0.301	840
9	5.053	0.450	0.031	113
10	7.113	0.687	0.501	1215
11	5.348	0.506	0.031	105
12	6.752	0.660	0.463	1181
13	7.177	0.723	0.526	1278
14	7.153	0.686	0.482	1167
15	5.417	0.431	0.026	90
16	5.454	0.470	0.030	102

$Pb_{initial} = 0$ は自明に非ず。 アイソクロン法へ

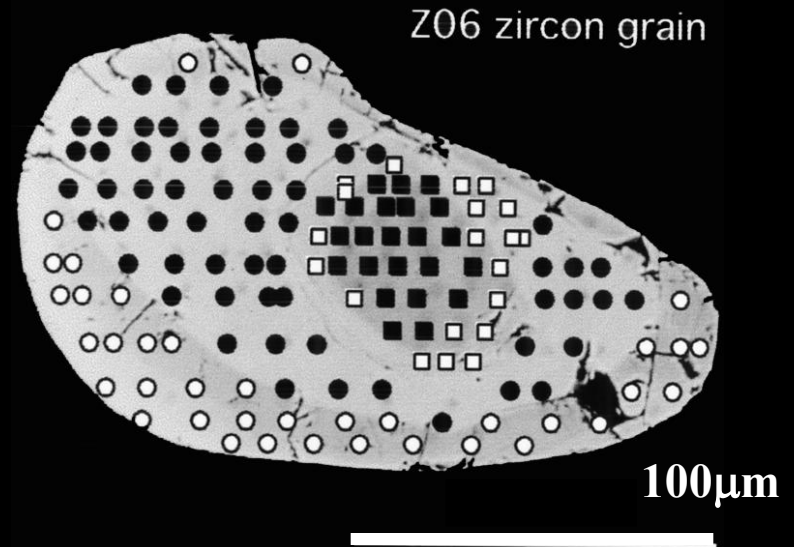
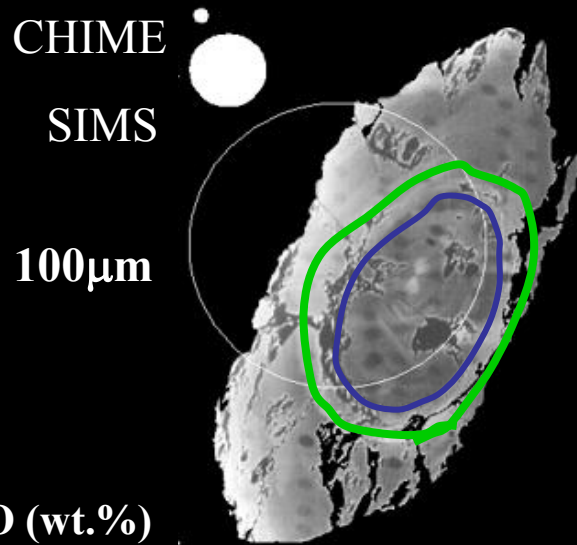
$$\begin{aligned}
 \text{Total Pb} &= Pb_{\text{initial}} + Th \{ \exp(\lambda_{232}t) - 1 \} \\
 &+ U \left\{ \frac{\exp(\lambda_{235}t) + 137.88 \exp(\lambda_{238}t)}{138.88} - 1 \right\}
 \end{aligned}$$



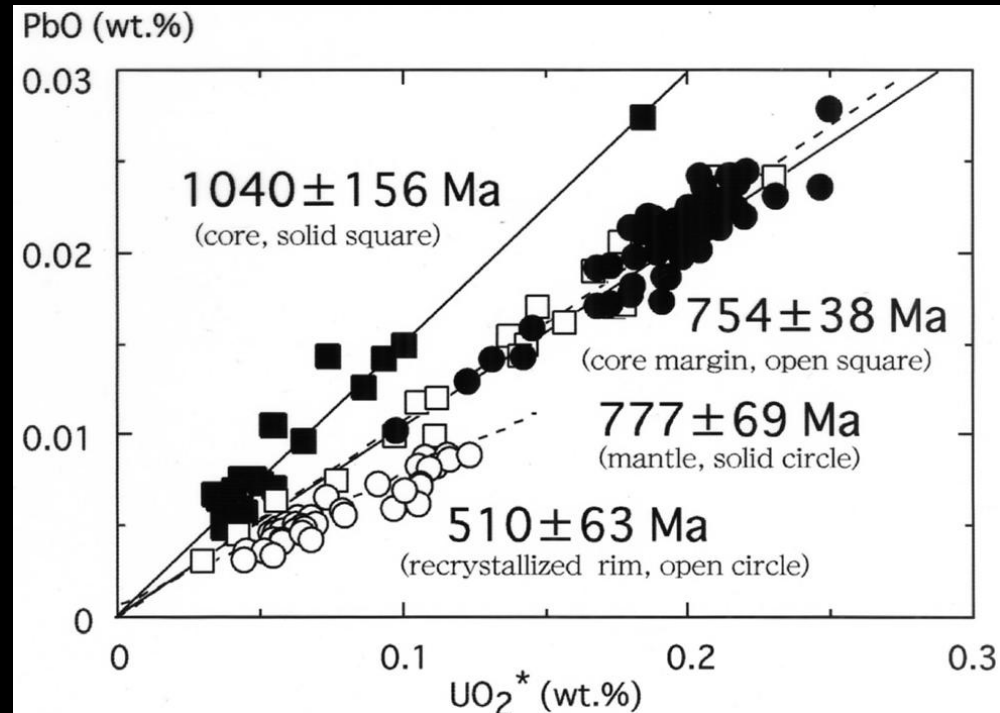
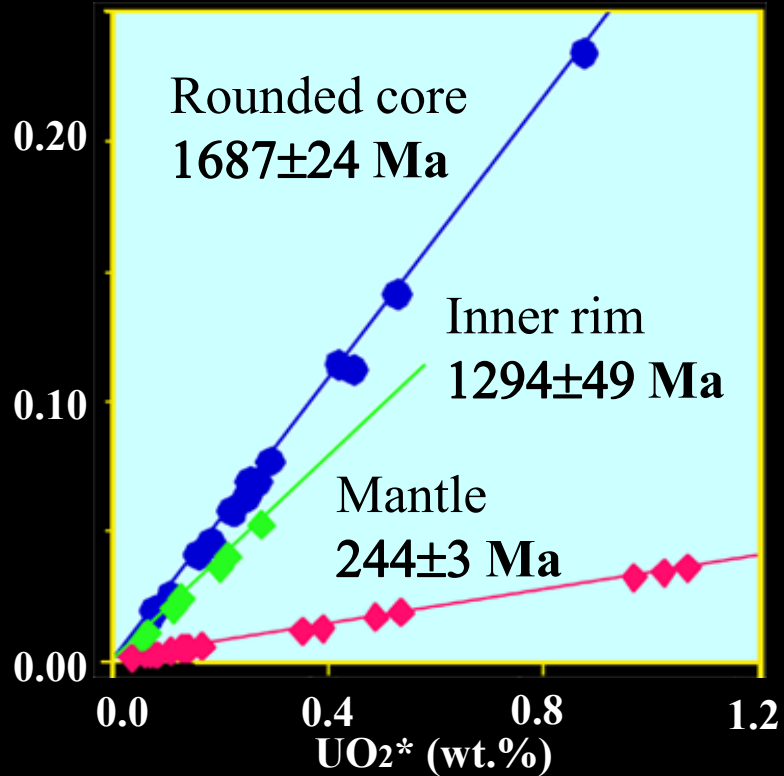
仮定：初生鉛の量は測定領域を通じて一定

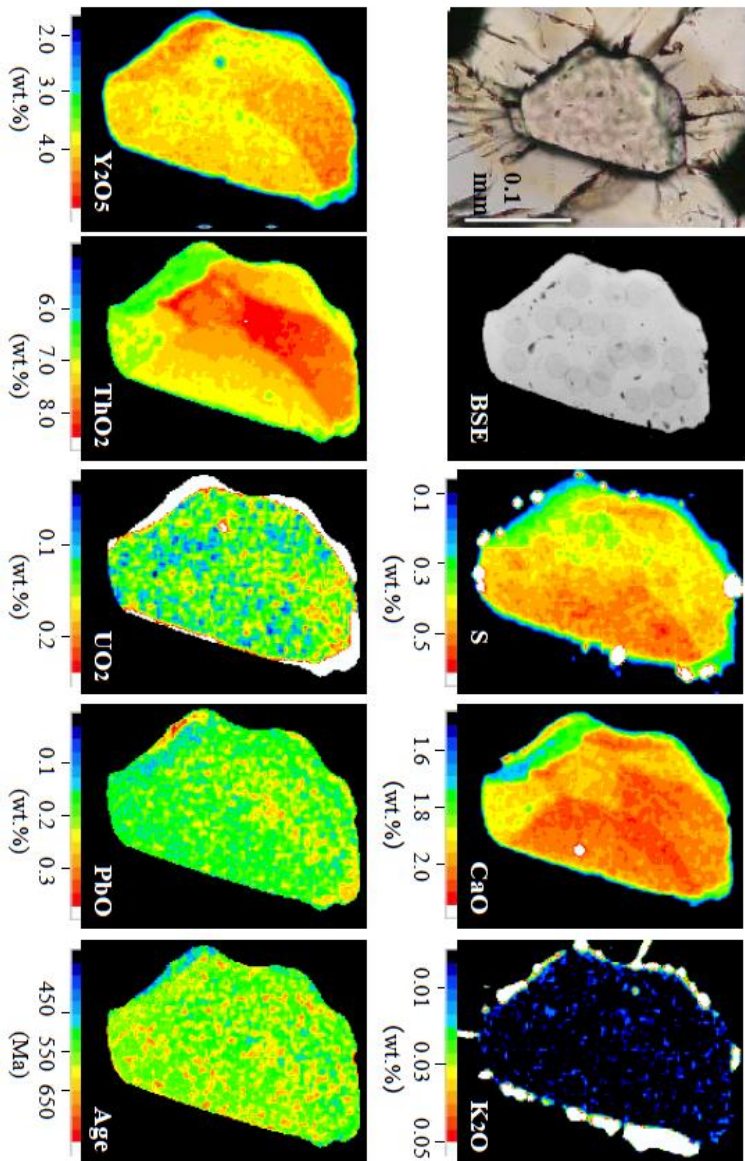
$Pb_{initial}$ を補正した化学的年代測定の実現

空間分解能の高いCHIME年代測定



PbO (wt.%)



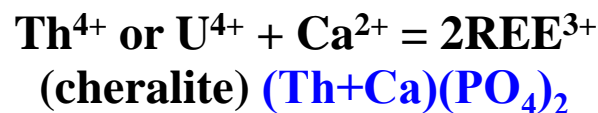
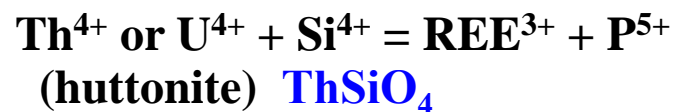


Monazite $(La,Ce)PO_4$

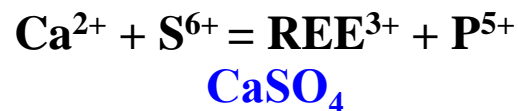
三価の Y は直接 REE を置換



Th と U はチャージを合わせるために:



6 配位の Ca + 4 配位 (P を S で置換)



理想的には

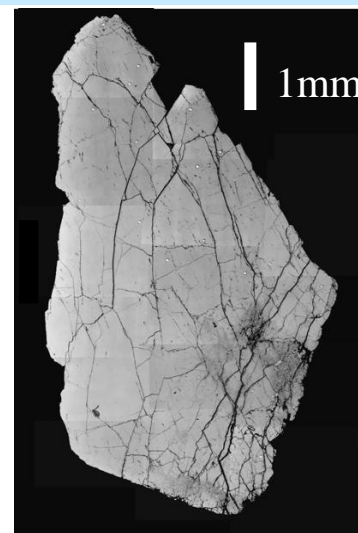
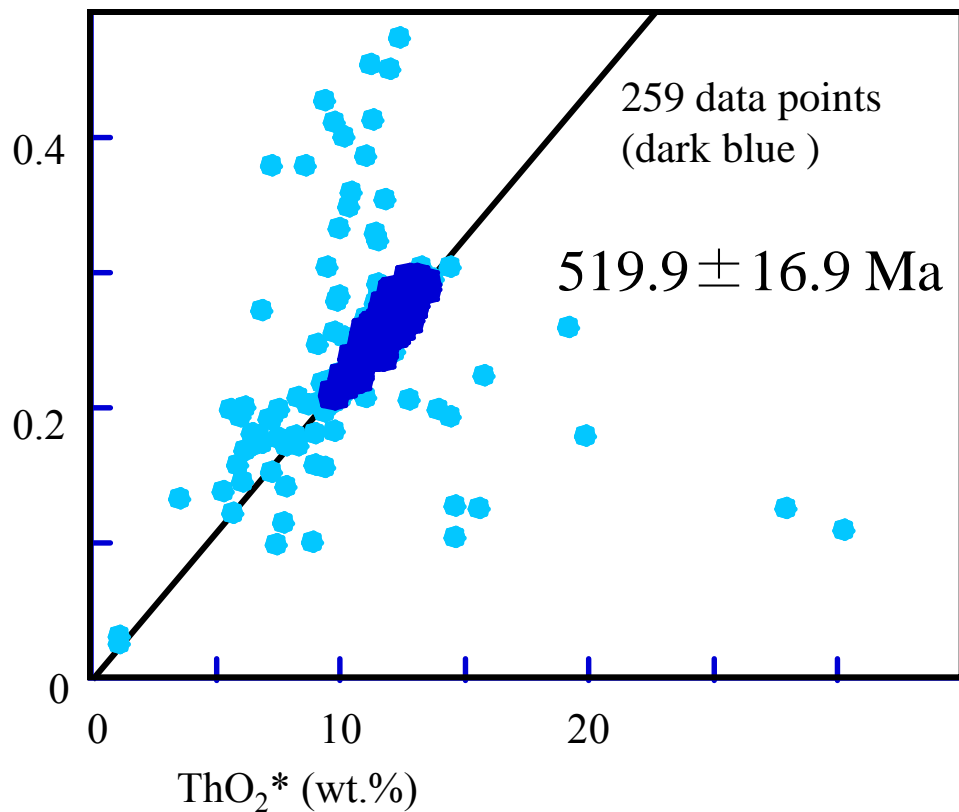
$$\frac{(Ca+Si)}{(Th+U+Pb+S)}$$

は 1 になる。

$$0.95 < \frac{(Ca+Si)}{(Th+U+Pb+S)} < 1.05$$

Ca = REE with S = P

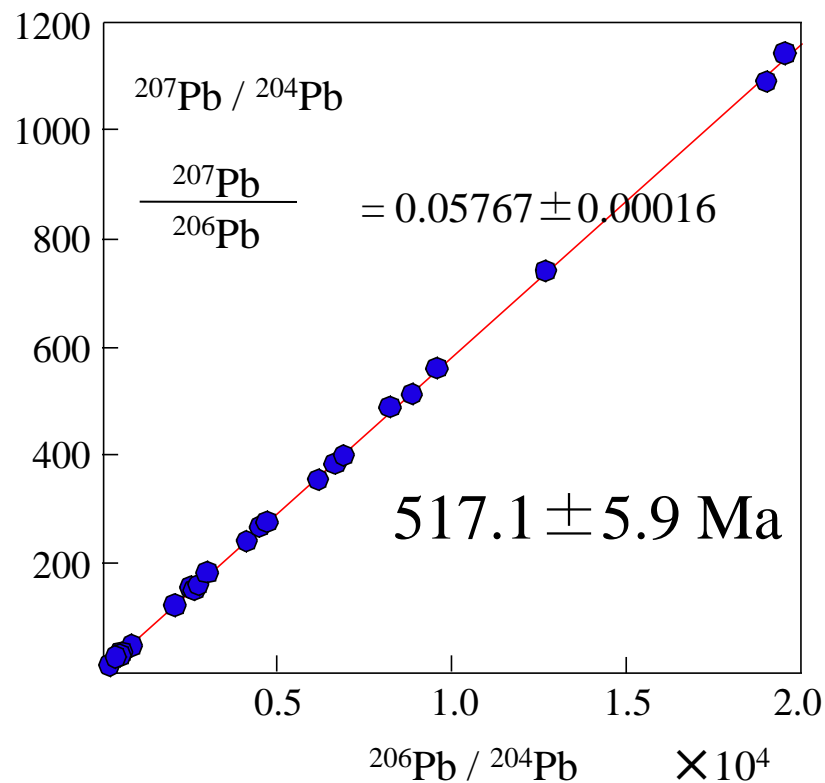
PbO₂ (wt.%)



filtering with chemical criteria

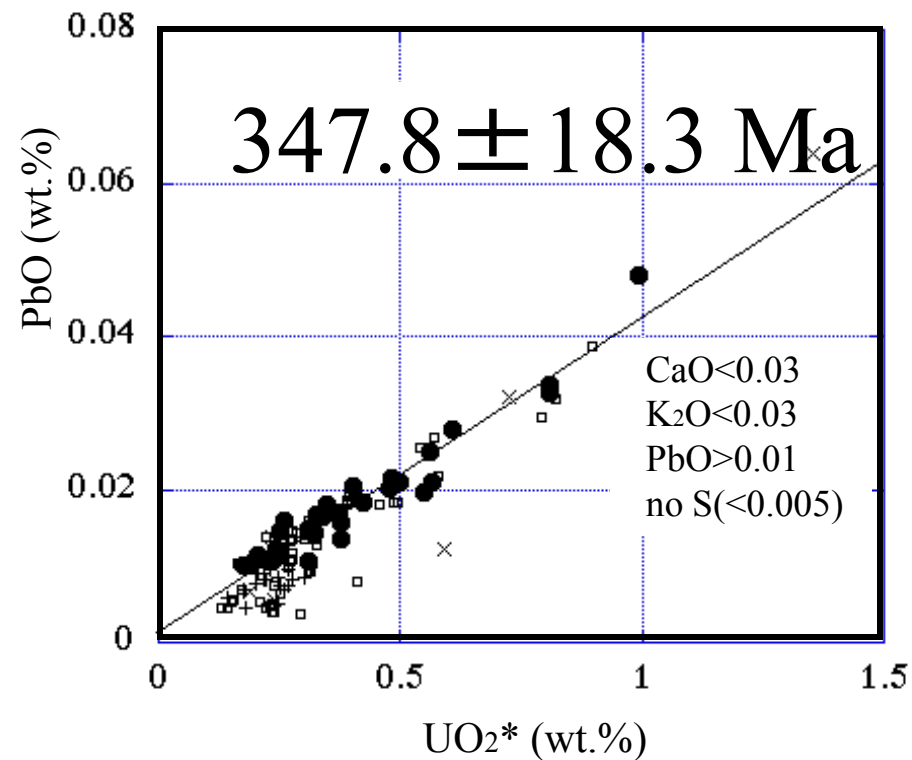
$$0.95 < \frac{\text{Ca+Si}}{\text{Th+U+Pb+S}} < 1.05$$

$$\text{K}_2\text{O} < 0.02$$



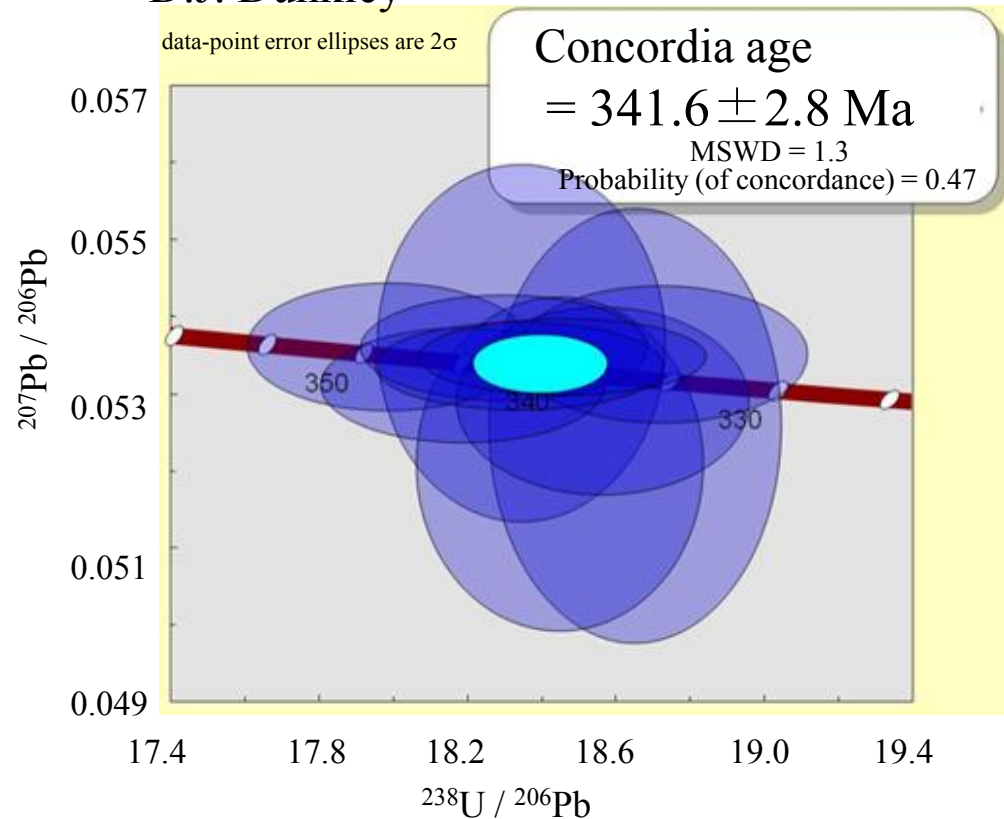
CHIME (名大年測センター)

CaO, K₂O and S concentrations



SHRIMP (国立極地研究所)

D.J. Dunkley



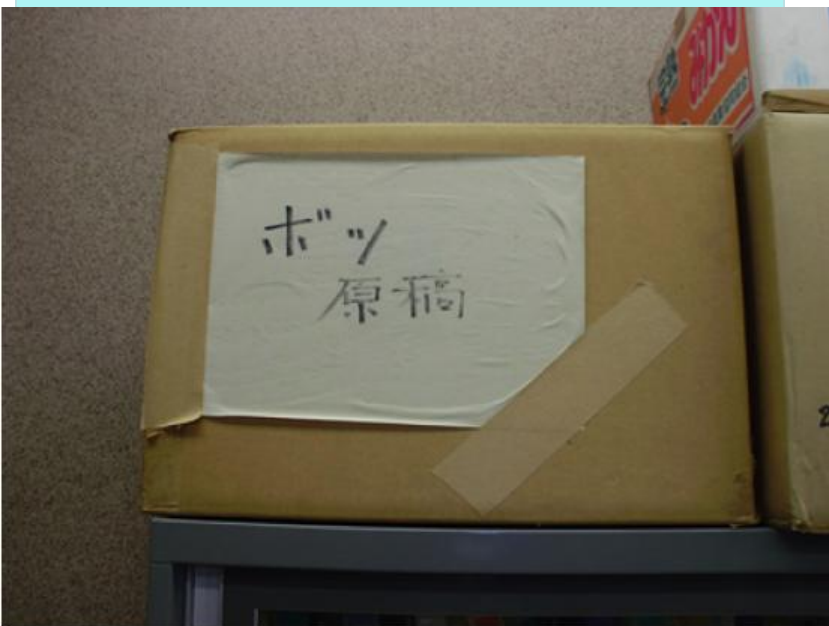
Kusiak, A.A., Dunkley, D.J., Suzuki, K., Kachlík, V., Kędzior, A., Lekki, J. and Opluštil, S. (2010), Gondwana Research, 17, 153-161

CHIME法の論文は日の目を見るまでに 2年余の歳月を要した

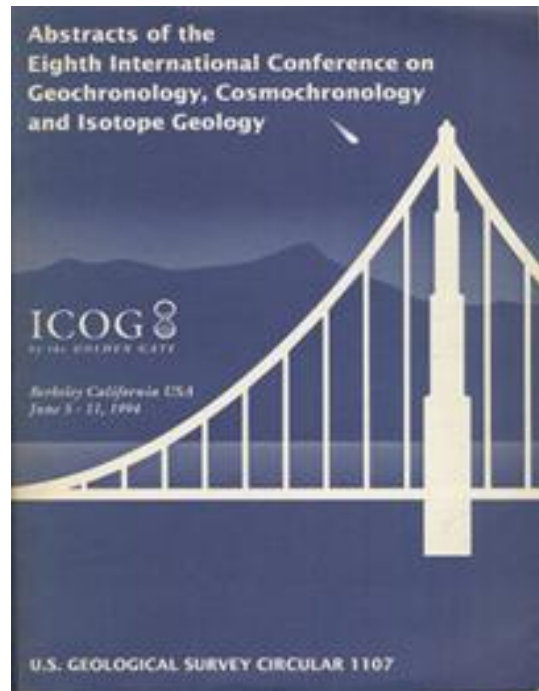
- 1985: JXA5A改造着手
- 1985: 基礎研究開始
- 1986: JXA-5A改造完了
ジルコンの主成分分析
- 1987: モナザイトの分析法確立
- 1988: 最初の論文投稿 (年末)
- 1989: 論文リジェクト連続
- 1990: 論文リジェクト連続
- 1991: 論文が初めてアクセプト



CHIME法は容易には理解されなかった。最終的に掲載が決まった *Sedimentary Geology* でも否定意見が多かったため、編集長の **K.A.W. Crook** 教授は論文の掲載を迷っていた。しかし、SHRIMP年代測定を推進しているANUの **I.S. Williams** 博士が何人目かの査読者として原稿を読み、図表の細部に至るまで細かく検討して、論文の掲載を **Crook** 教授に強く推薦した結果、やっと掲載可となった。



Suzuki, K., Adachi, M. and Tanaka, T. (1991): Middle Precambrian provenance of Jurassic sandstone in the Mino Terrane, central Japan: Th-U-total Pb evidence from an electron microprobe monazite study. *Sedimentary Geology*, 75, 141-147. (被引用回数 84-201203)



スイス、チューリッヒ工科大学

R.H. Steiger教授

注目

多くの人
関心を寄せる

論文が受理
され易くなる



Suzuki, K., Adachi, M. and Kajizuka, I. (1994): Electron microprobe observations of Pb diffusion in metamorphosed detrital monazites. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 128, 391-405. (被引用回数 **143**-201203)

Suzuki, K. and Adachi, M. (1994): Middle Precambrian detrital monazite and zircon from the Hida gneiss in the Oki-Dogo Island, Japan: their origin and implication for the correlation of the basement gneiss of Southwest Japan and Korea. *Tectonophysics*, 235, 277-292. (被引用回数 **91**-201203)

先シルル紀基盤岩説

後シルル紀貫入岩説

デボン系
シルル系

不整合

村田ほか (1974)

氷上花崗岩
442 ± 3.5 Ma
(Watanabe et al., 1995)
440 ± 14.1 Ma (浅川, 1996)

貫入

壺ノ沢
片麻岩

変成作用

430 ± 10 Ma (Suzuki and Adachi, 1991)

430-440 Ma (Watanabe et al., 1995)

原岩堆積

< 500 Ma (Suzuki and Adachi, 1991)

< 500 Ma (Watanabe et al., 1995)

氷上花崗岩
346 ± 18 Ma
(Shibata, 1974)

固体貫入
野沢ほか
(1975)

デボン系
シルル系

氷上花崗岩

430 ± 20 Ma

350 ± 20 Ma

(Suzuki and Adachi, 1991)

大船渡市、くさやみ沢の不整合露頭
この露頭の記載でCHIME法はダメと烙印



シルル系
川内層の
基底砂岩

255 ± 17 Ma

267 ± 25 Ma

氷上花崗岩 240 ± 11 Ma

くさやみ沢不整合露頭

Suzuki, K. and Adachi, M. (1991): Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime.

Geochemical Journal, 25, 357-376. (被引用回数173-201203)

地質の野外観察と対応した年代測定

武節花崗岩

領家変成帯 (約1億年) の後変動期花崗岩

白雲母 K-Ar 年代

74.6 Ma (河野・植田, 1966)



Pegmatite

76.4Ma

モリブデナイトのRe-Os年代
(Ishihara et al., 2002)

両雲母

モンゾ花崗岩

77.6 ± 3.7Ma

(鈴木他, 1994)

77.0 ± 2.8Ma

(Nakai and Suzuki, 2003)

黒雲母花崗閃緑岩

黒雲母モンゾ花崗岩

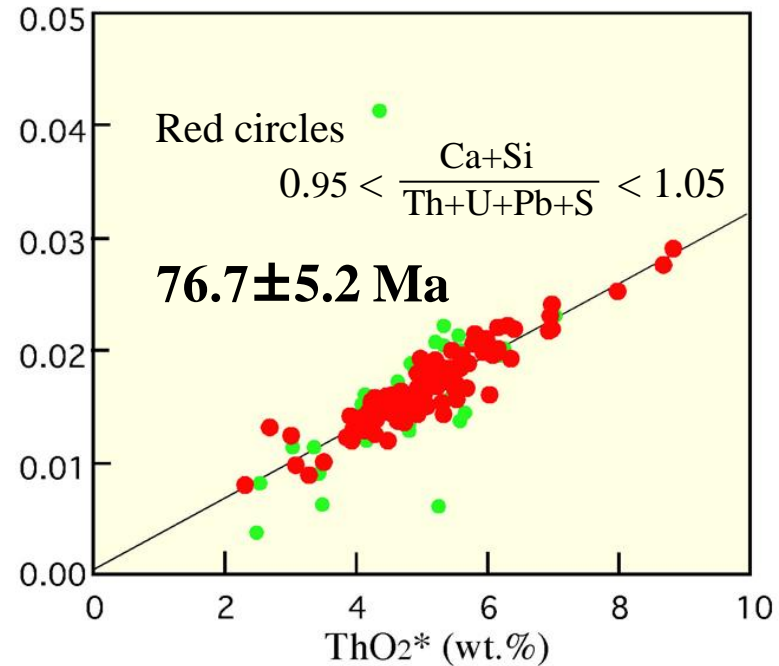
76.7 ± 5.2 Ma

伊奈川花崗閃緑岩

82.5 ± 0.9Ma

(Suzuki and Adachi, 1998)

PbO (wt.%)



高K, Sr/Y花崗岩

下部花崗岩質地殻の部分溶融?

Nakai, Y. and Suzuki, K. (2003): Hutton symp. V, Field guidebook, Geol. Surv. Japan, Interim-Rept. 28, 103-114



JCXA-733
(1984)

EPMA
controller
spectrometer
stage
counting

**CHIME
JASCAL**

DEC
LSI-11

NEC
PC-98

MANGY
correction

NEC
PC-98

HEISEI
storage and
isochron

NEC
PC-98

mapping **MAPPNG**
Composition
age

BSE, SEM
images

**Digital 733
module**

Workstation

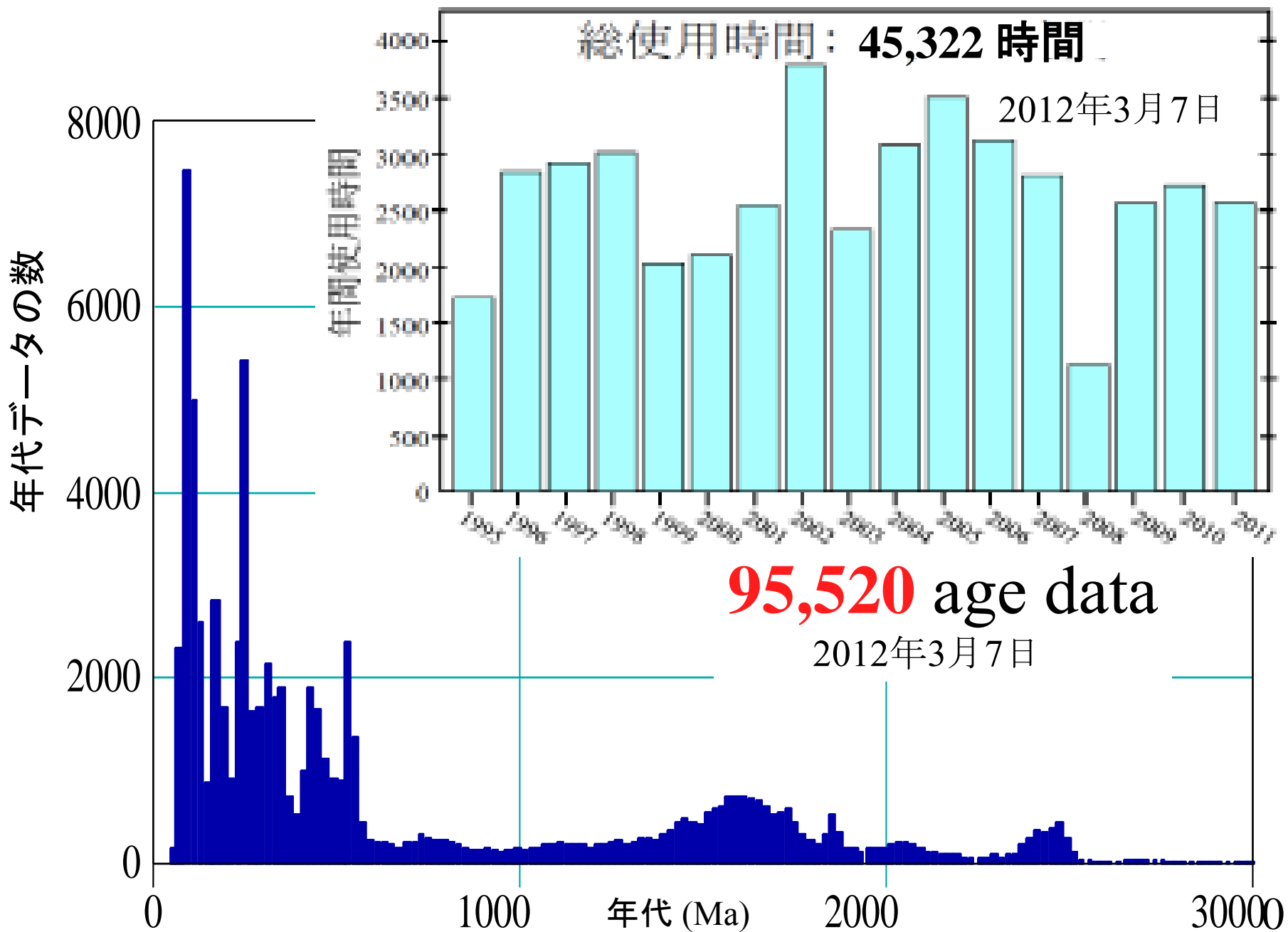
Mac

DISPLAY
tif.file
Display

NEC
PC-98

Probe 電流変化 < 1%/100hrs

	ch-1	ch-2	ch-3	ch-4
Radius(mm)	140	140	140	140
Diffraction crystal	PET/TAP	PET/LiF	PET/LiF	PET
Detector	Sealed Xe (Gas flow Ar)	Sealed Xe	Sealed Xe	Sealed Xe

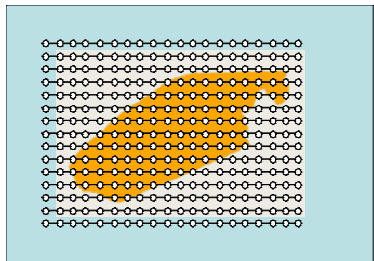


最近のCHIME年代測定 of 進歩-その 1

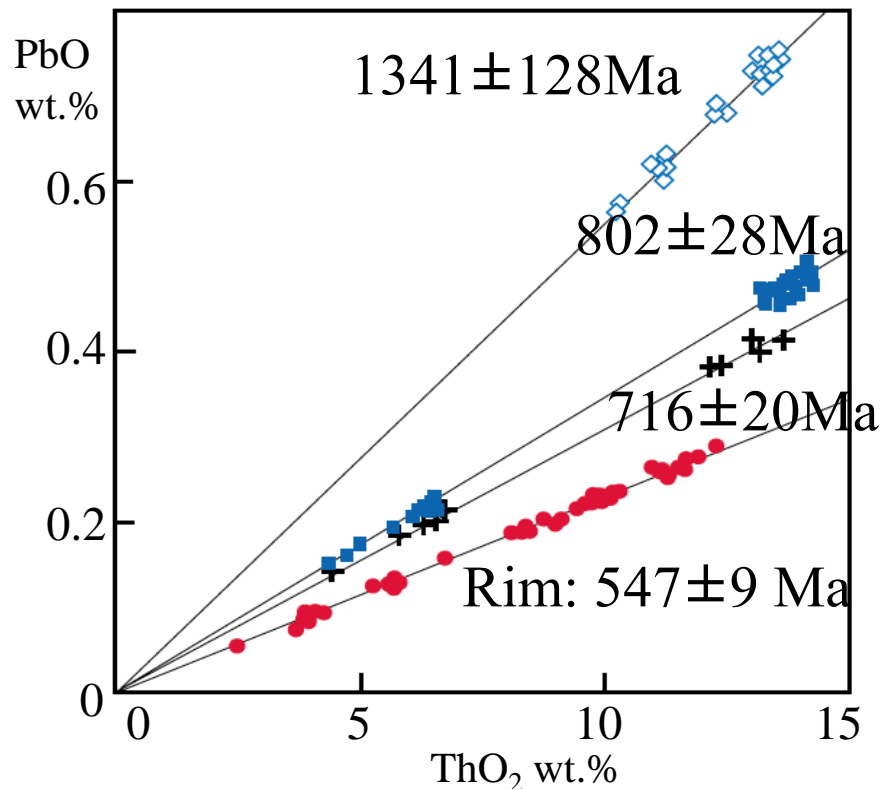
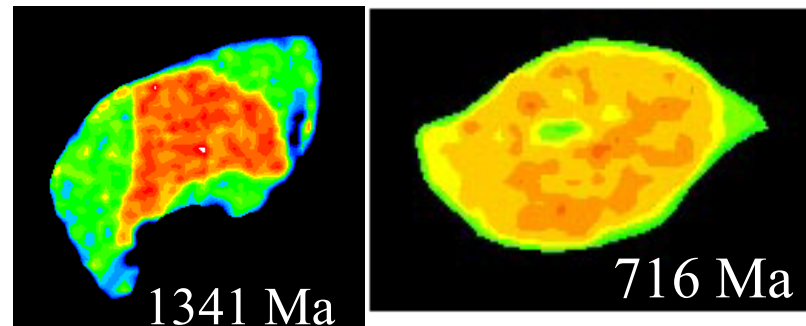
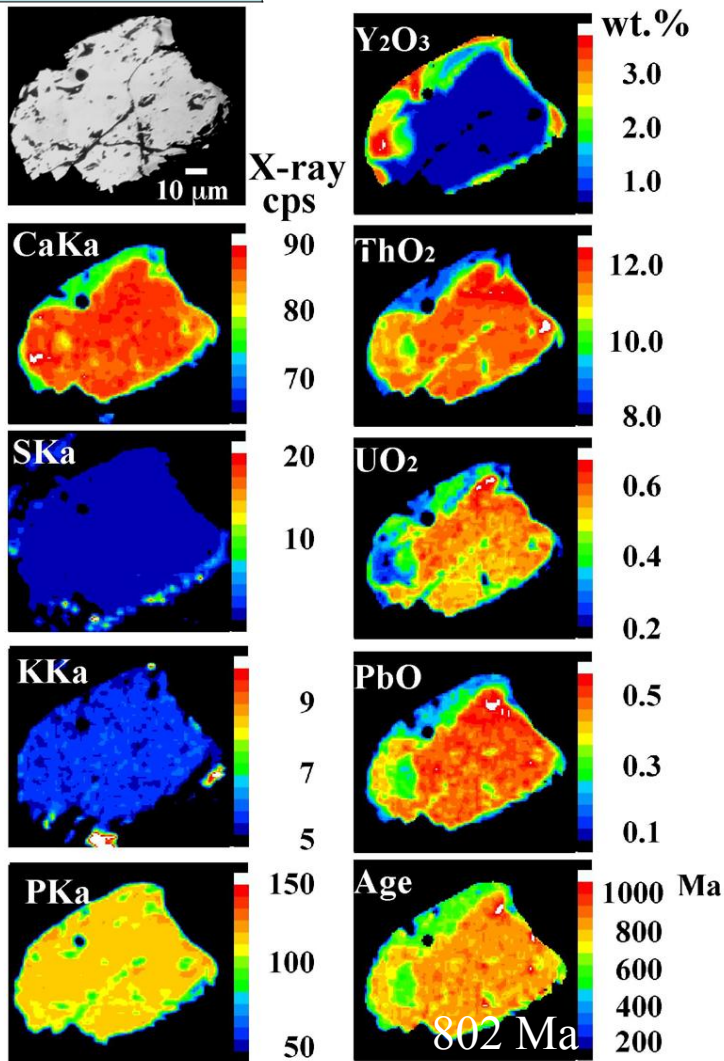
インド産 片麻岩：5億年～10億年

従来は復変成作用と考えられてきた。

同一薄片中でコアの年代が異なる。碎屑粒子



Step interval
= 2-4 μ m

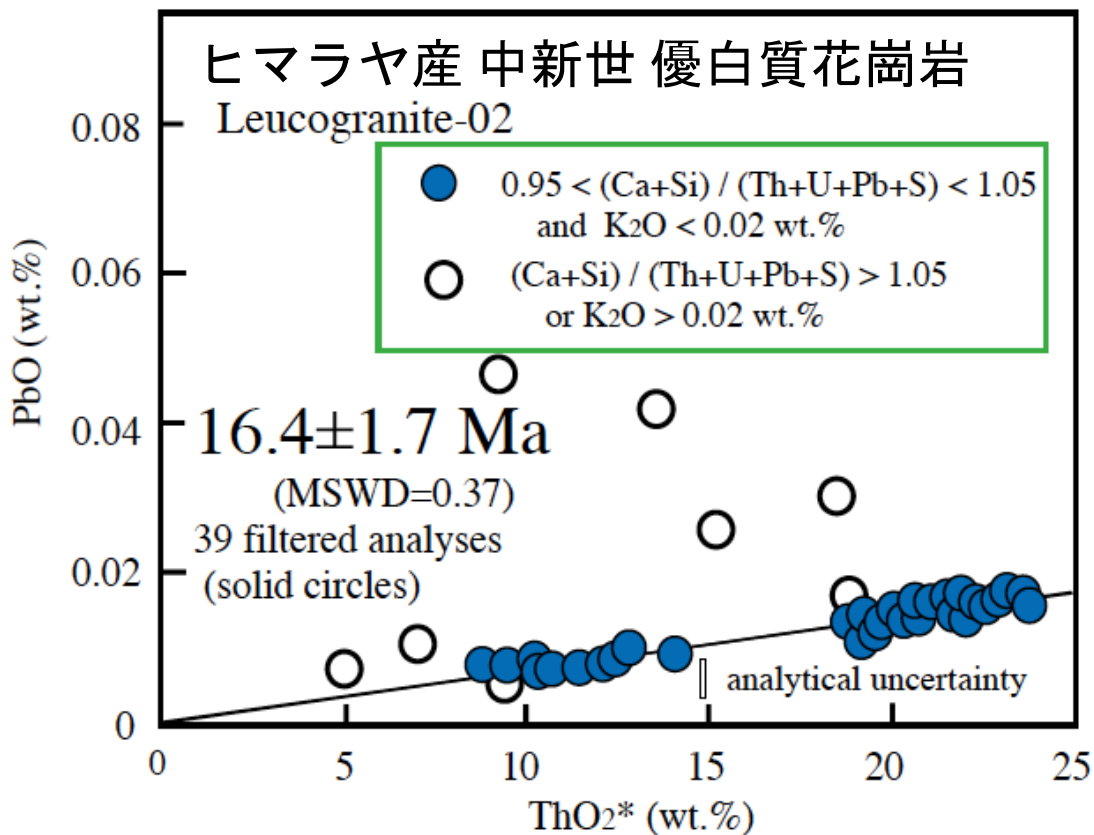
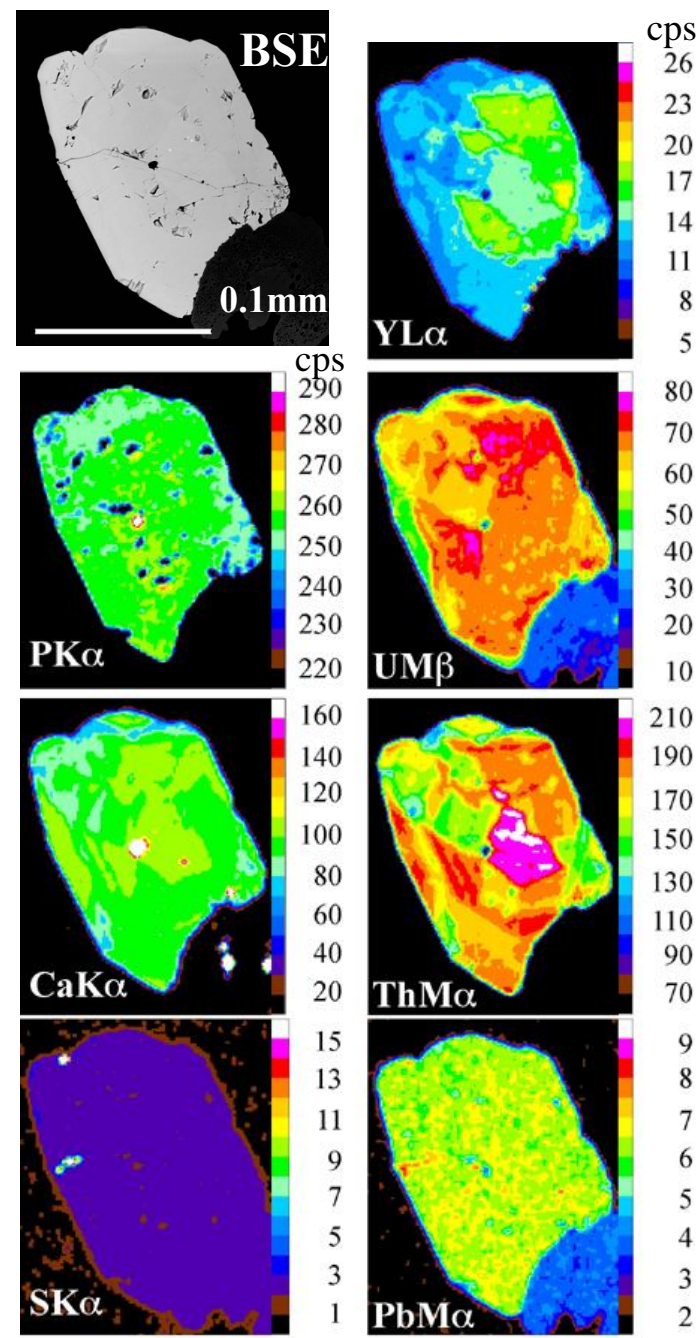


若いモナザイトの年代測定

2010年までの限界

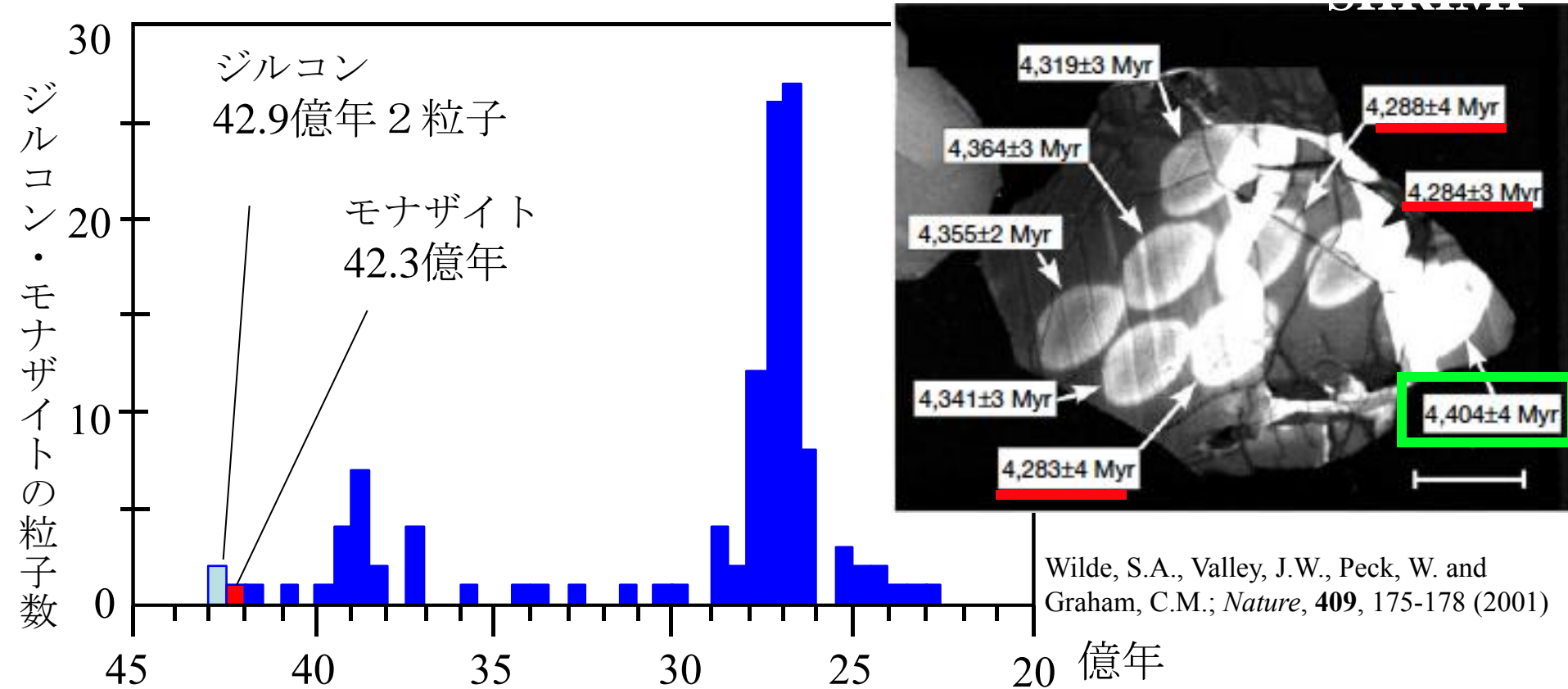
SHRIMP 15 Ma

CHIME 50 Ma



地球創世記の研究

Jack Hillsの碎屑性ジルコンとモナザイトCHIME年代測定結果



モナザイトは $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) > 1$ の岩石に限定

泥質変成岩 (角閃岩相より高温)
Sタイプ・高分化Iタイプ花崗岩



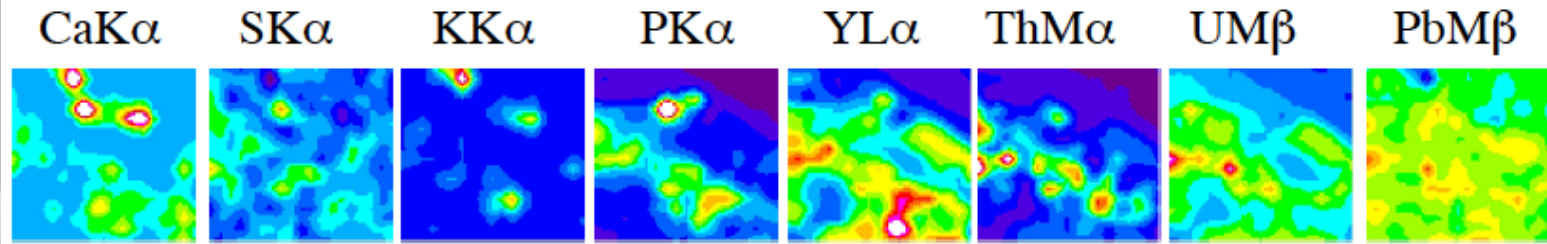
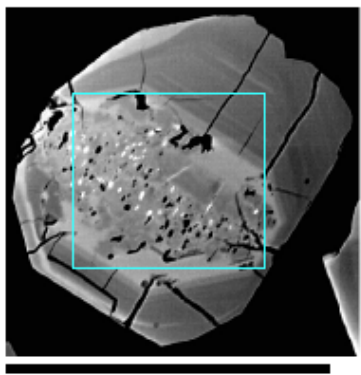
岩石が風化・化学的分別

+

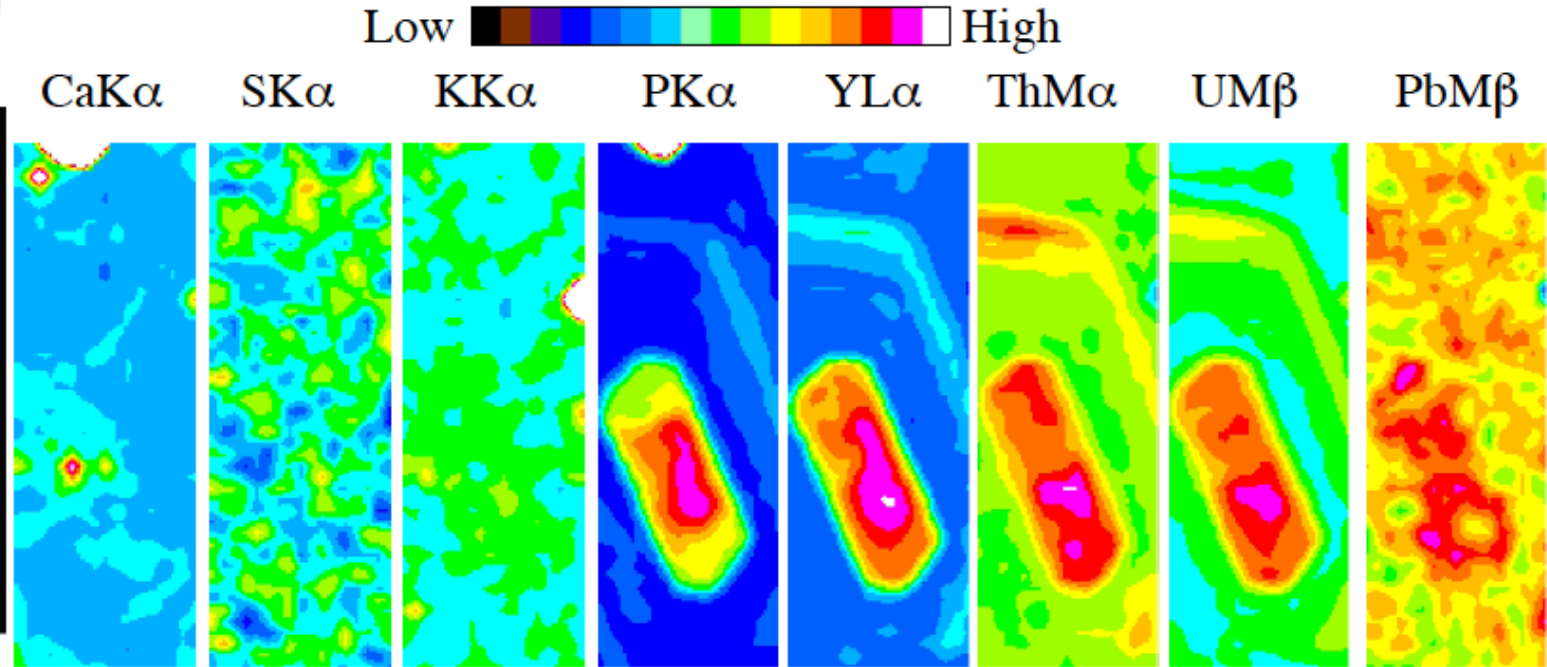
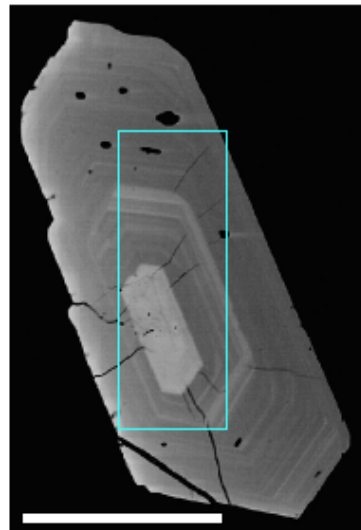
Subductionに起因する

高温変成作用 38.6-42.3億年前

ジルコンのU・Thの分布と非調和なPb分布 (lumpy lead)

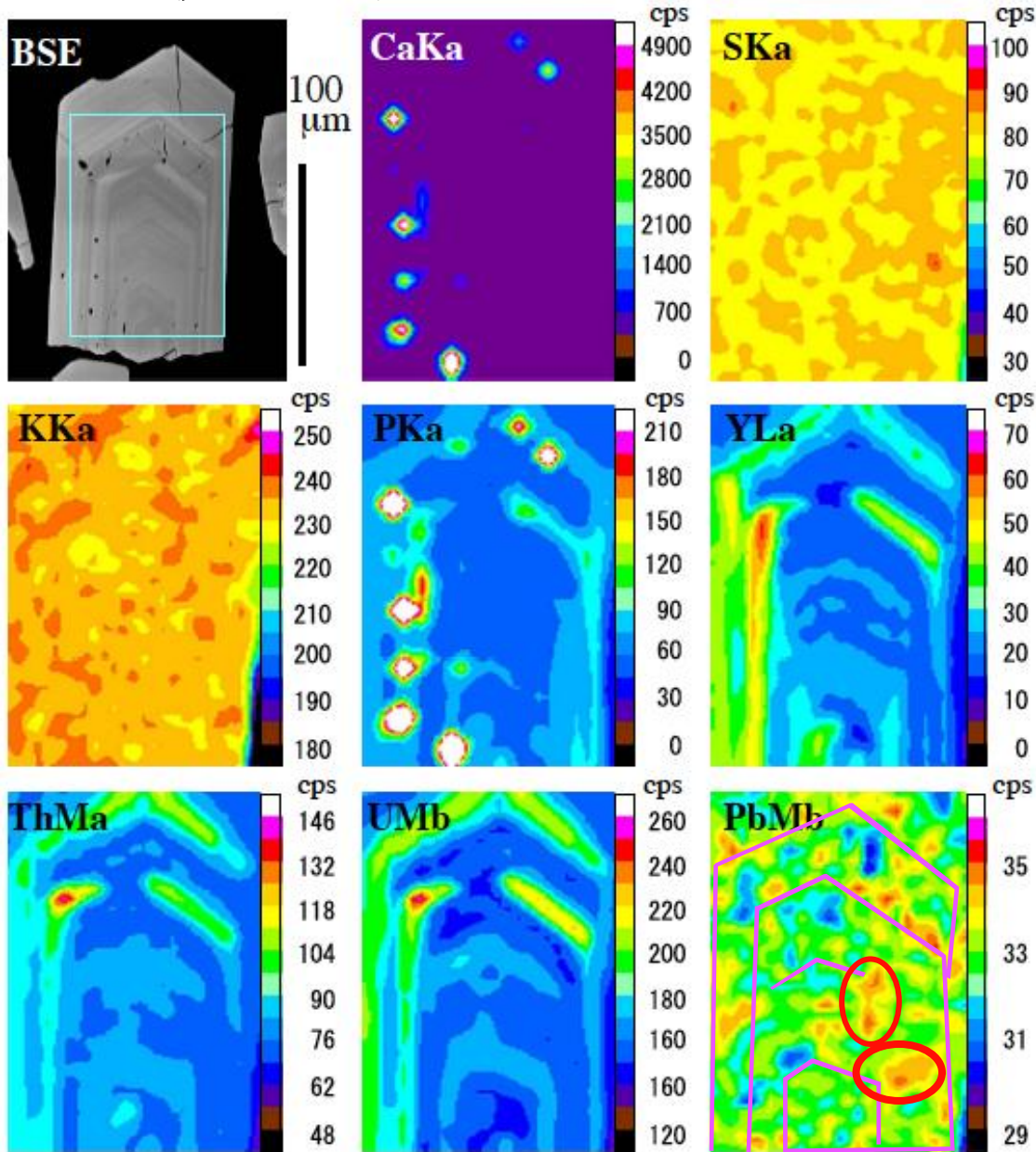


100μm

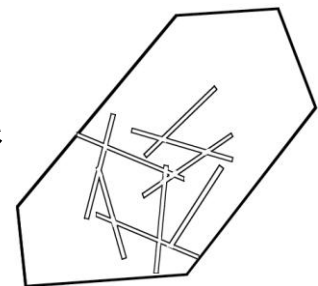


100μm

82 Ma 伊奈川花崗岩



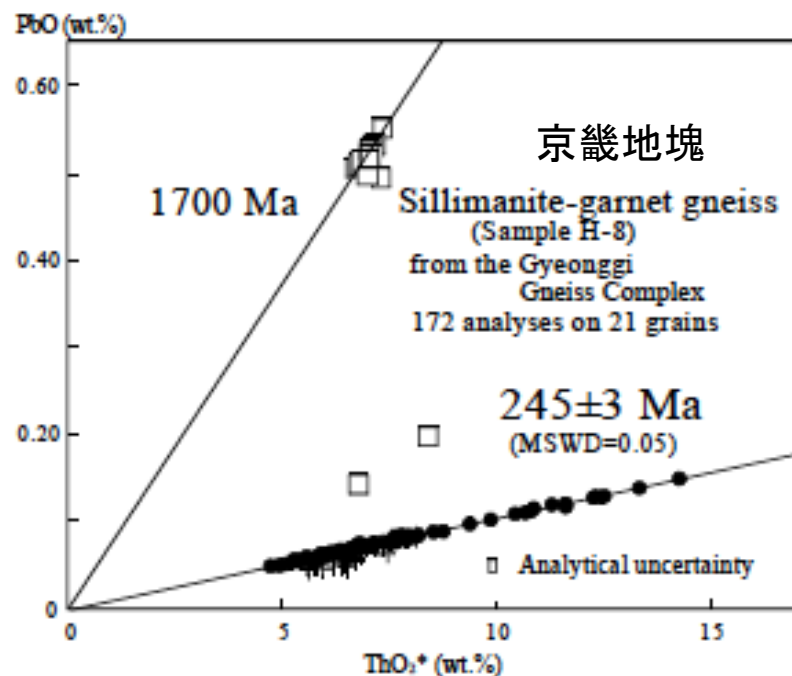
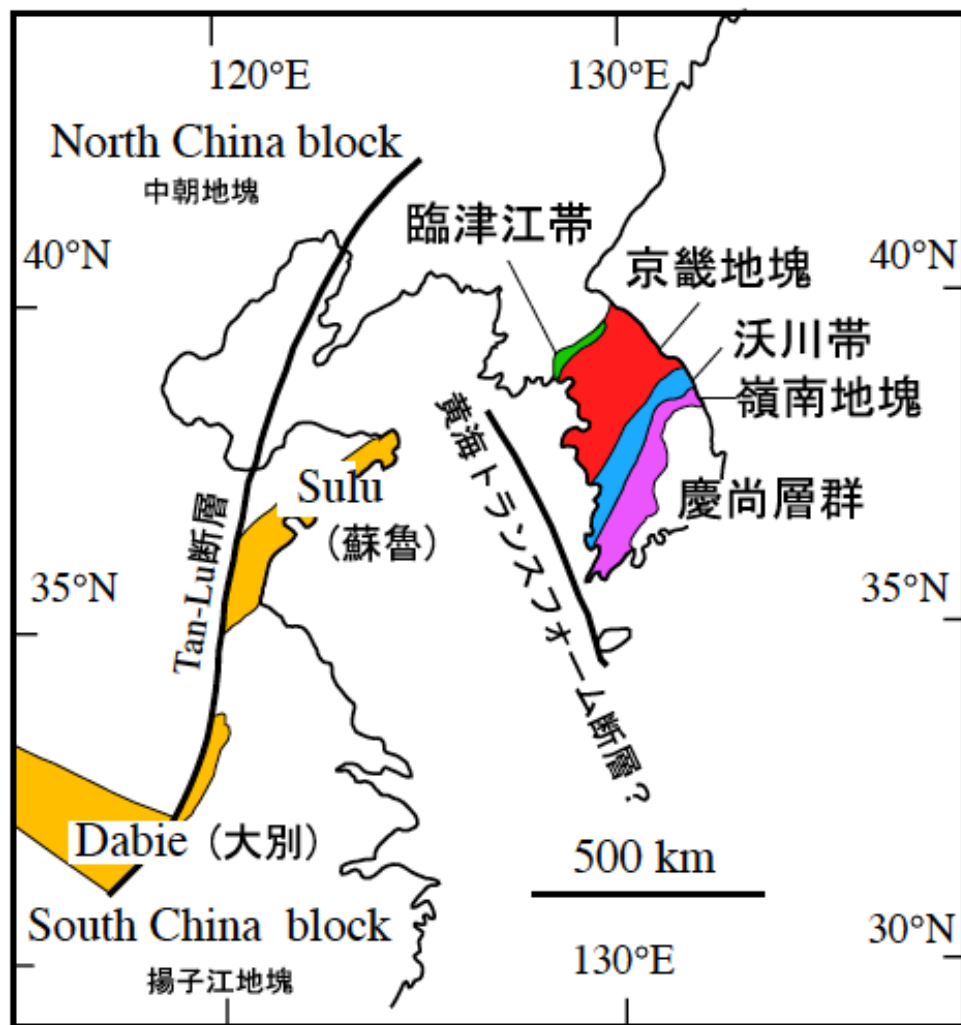
高濃度領域に
Pbが集まる。
拡散では説明で
きない？



仮定：一部のRnはα壊変の反跳で格子からフィッシュントラックに入り、次の核種に異変するまでランダムウォークを続ける。

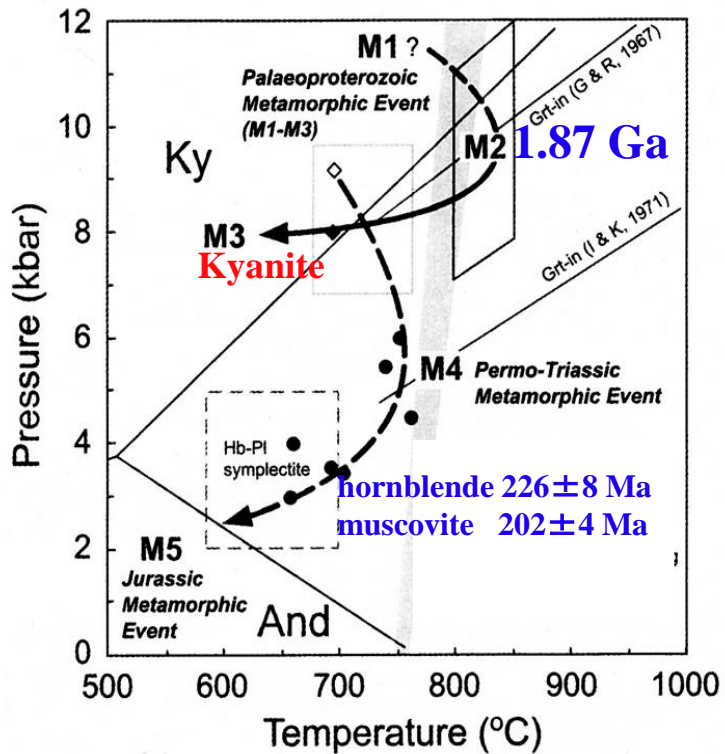
- 平均飛行時間 10^{-11} s
- 平均滞在時間
 - 4.87×10^{-9} s for $Q = 8$ kcal
 - 7.24×10^{-8} s for $Q = 10$ kcal
- 平均移動距離
 - 50 μm for ^{219}Rn from ^{235}U (life-time = 5.77s)
 - 1.5 cm for ^{222}Rn from ^{238}U (life-time = 5.72d)

年測センターにおけるCHIME展開研究：韓半島中部、京畿地塊の中期原生代とペルム-三畳紀変成岩



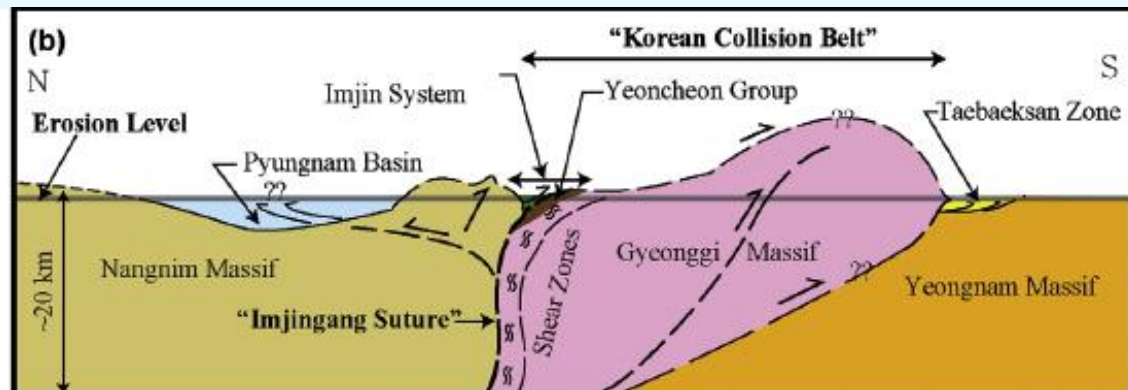
Cho, D.L., Suzuki, K., Adachi, M. and Chwae, U.
 J. Earth Planet. Sci. Nagoya Univ., 43, 49 -65 (1996)

京畿地塊は蘇魯(Sulu)衝突帯の東方延長？

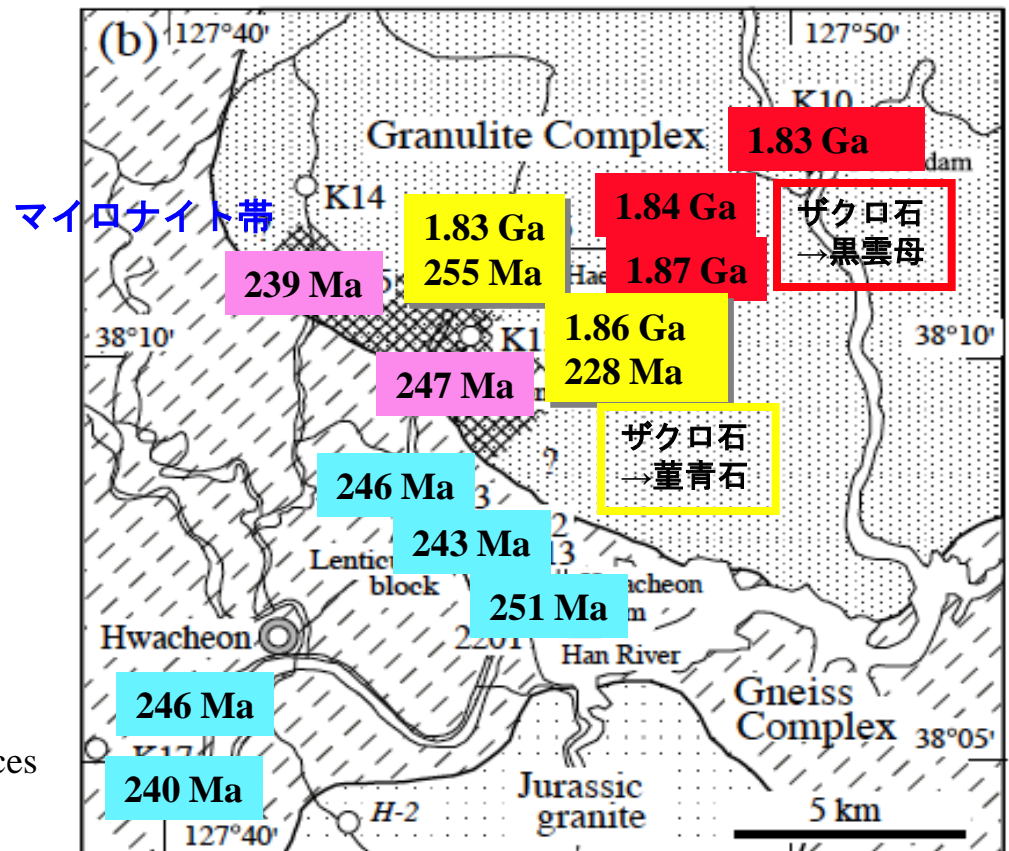


Lee & Cho, 2003: *Jour. Petrol.*, **44**, 197-225

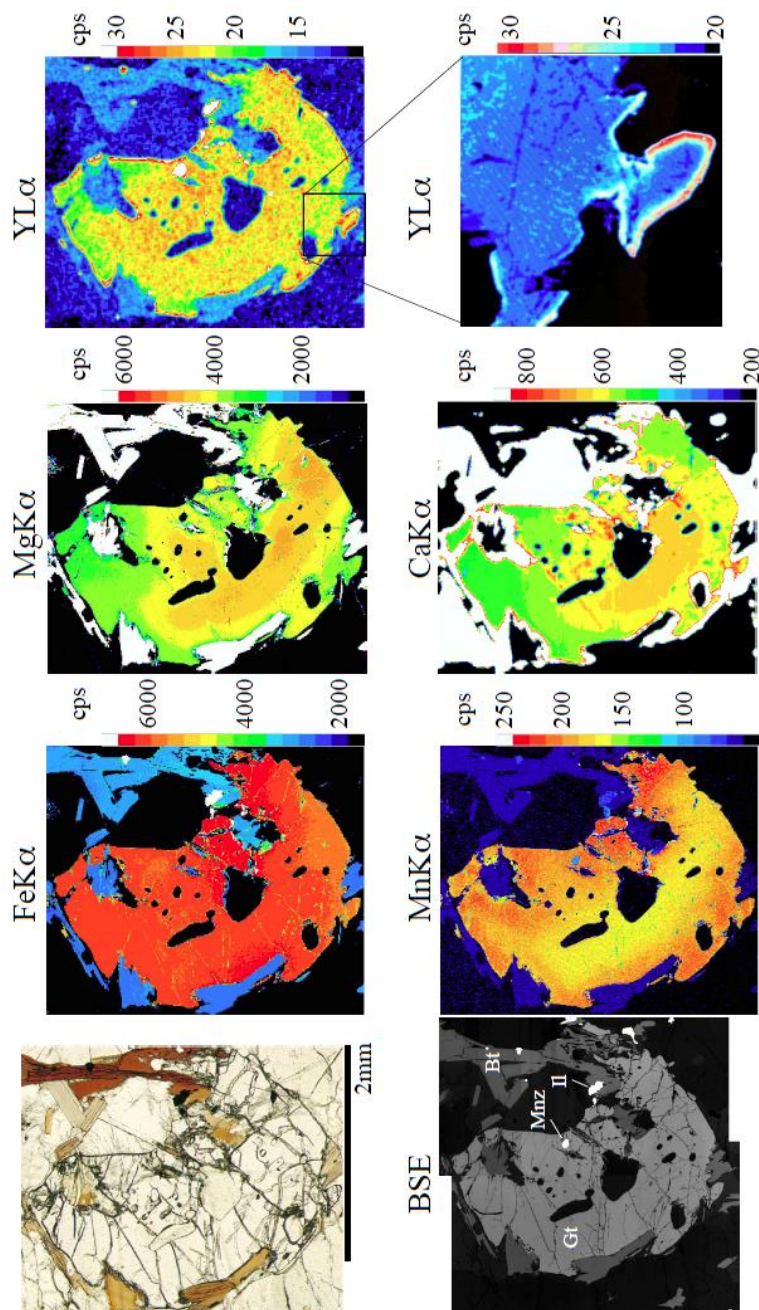
Suzuki, K., 2009, *Geosciences Jour.*, **13**, 275-292



Kwon et al., 2009: *EPSL*, **279**, 340-349.



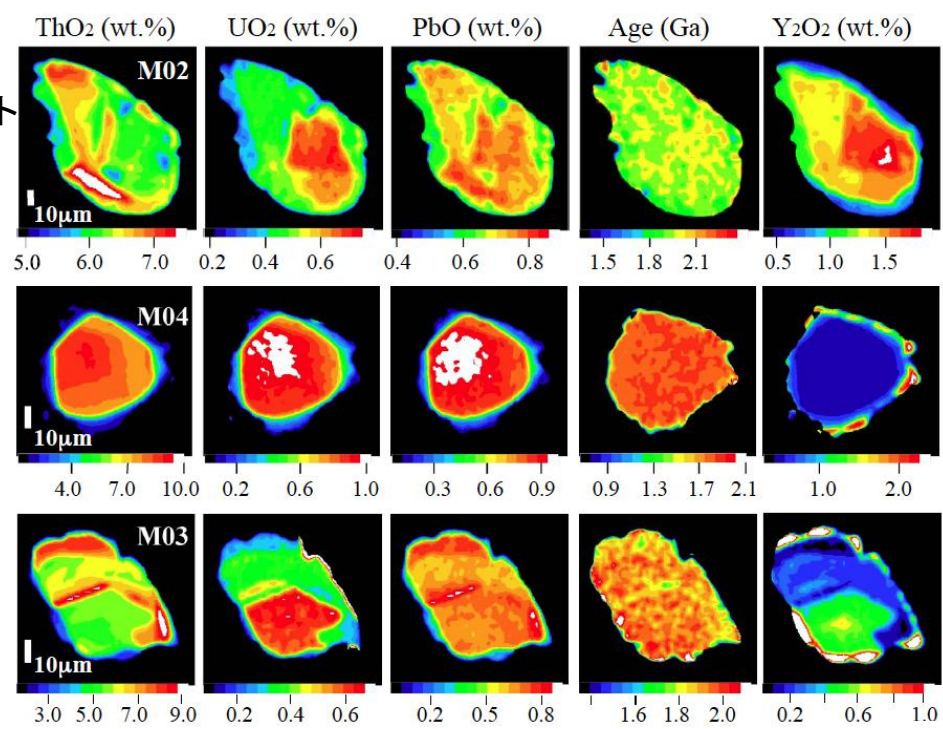
マイロナイト帯から離れたグラニュライト



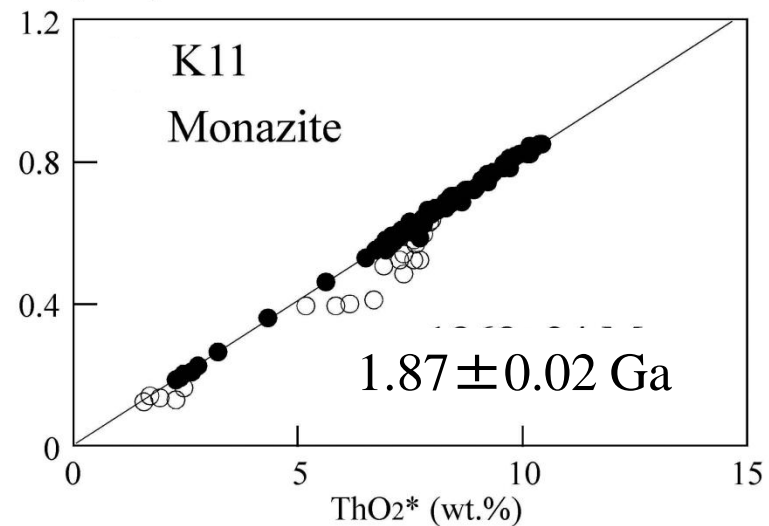
ガーネット
に包有

基質

基質

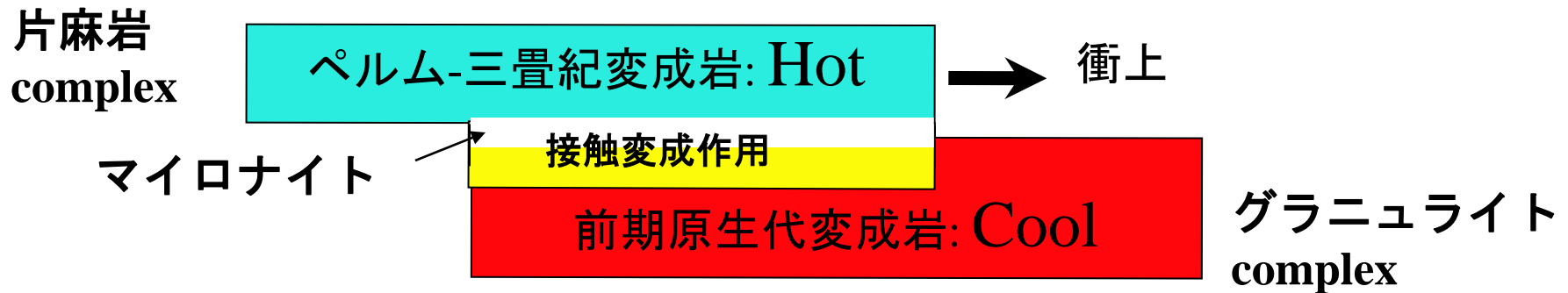


PbO (wt.%)



仮説：熱い異地性岩体による接触変成作用

片麻岩とグラニュライトの境界：マイロナイト帯



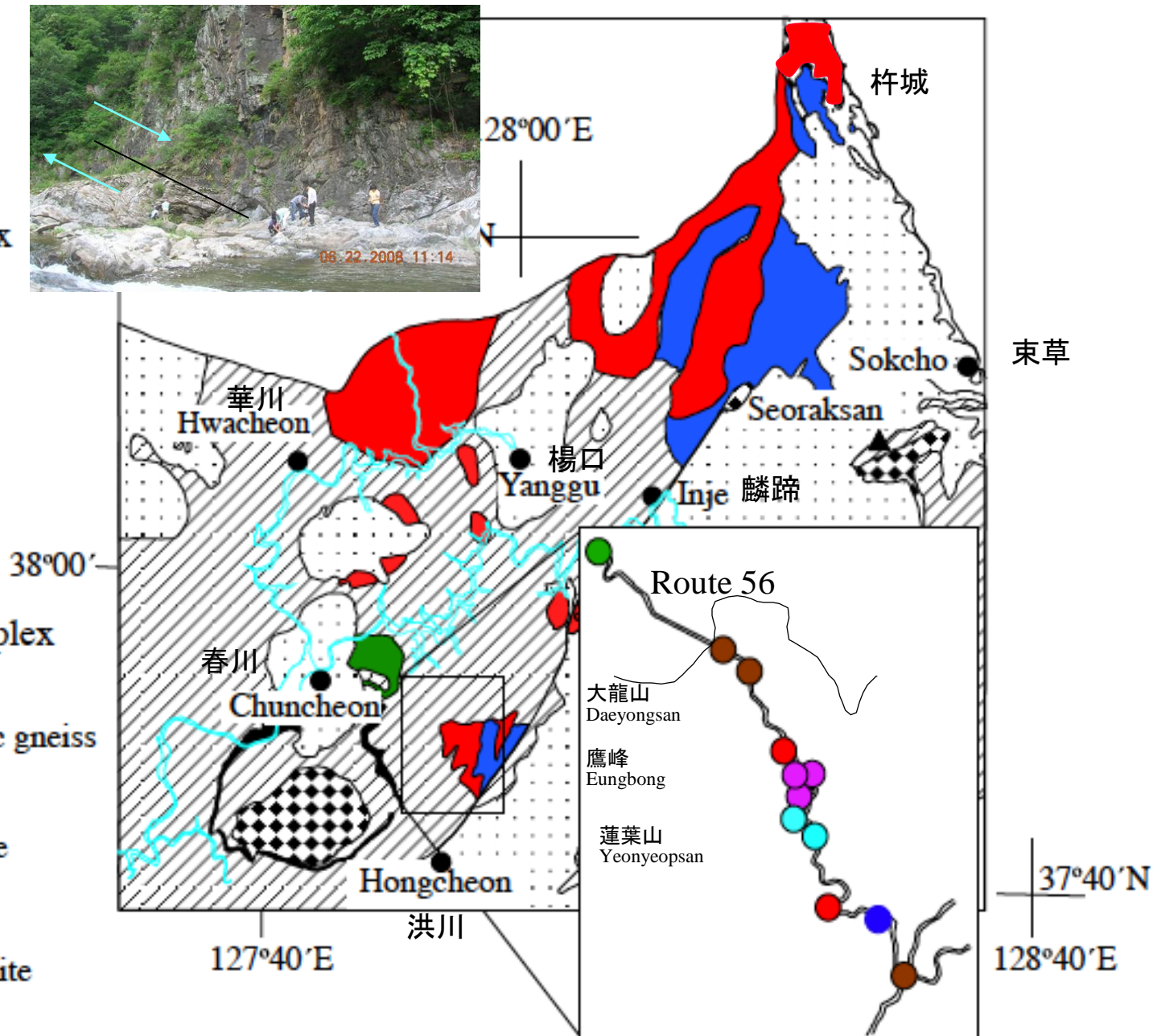
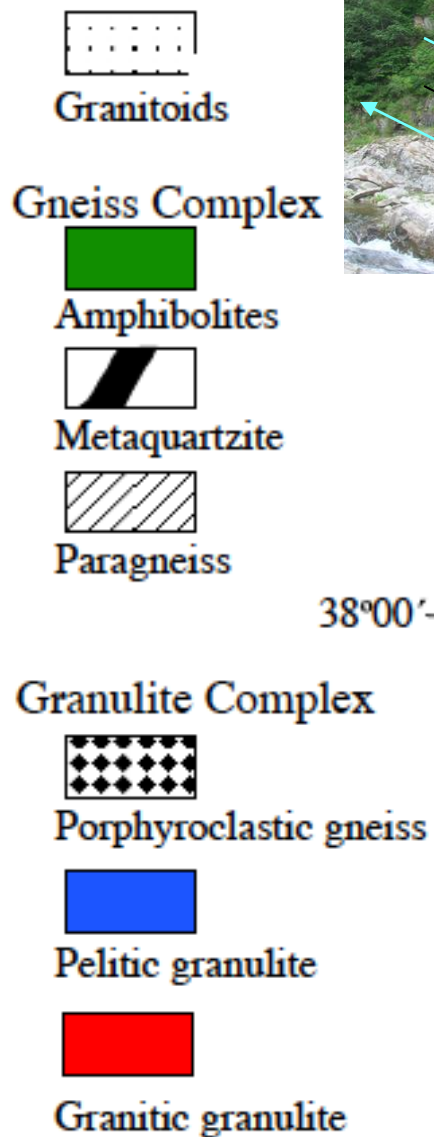
原岩：後期原生代以降, ペルム-三畳紀(c.250-245Ma)変成作用

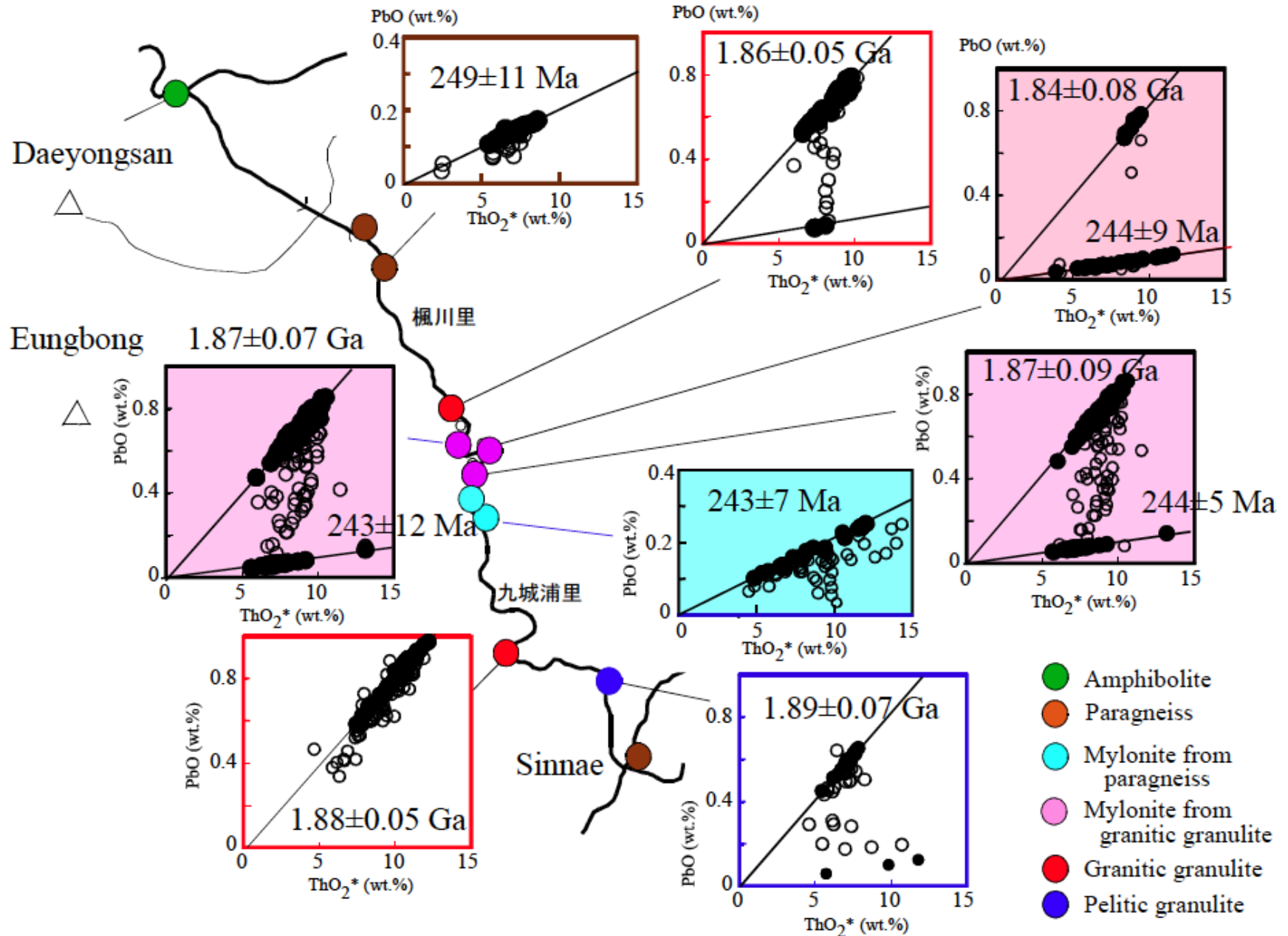
1.87 Ga 変成作用

別の場所でできた熱いペルム-三畳紀変成帯が前期原生代変成帯に衝上

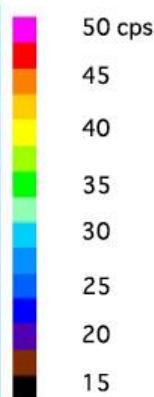
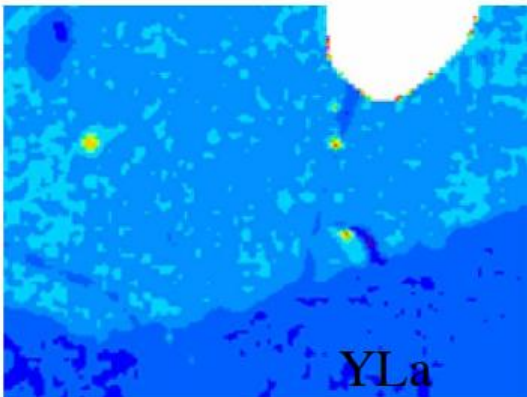
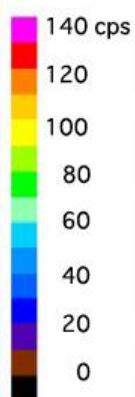
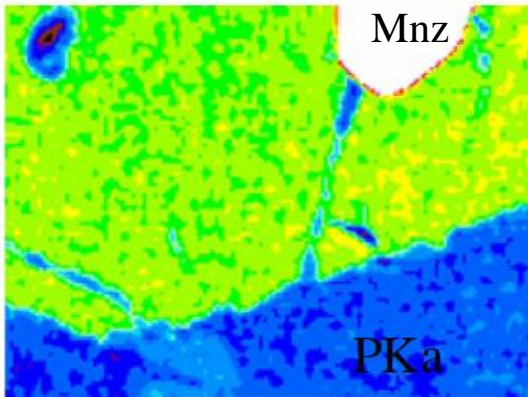
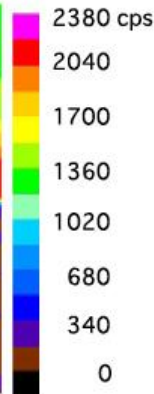
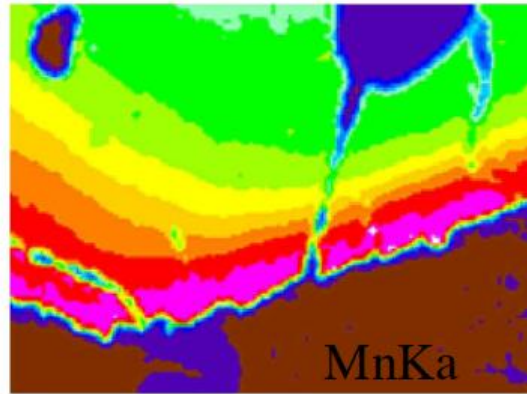
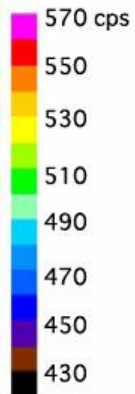
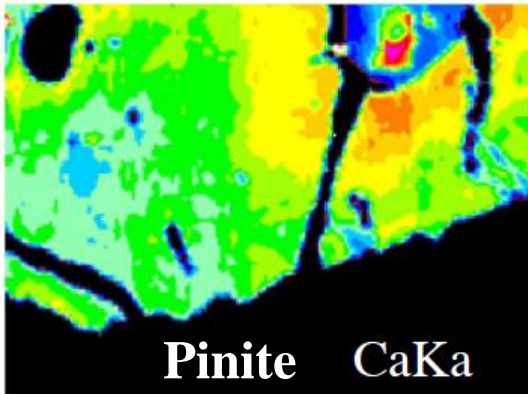
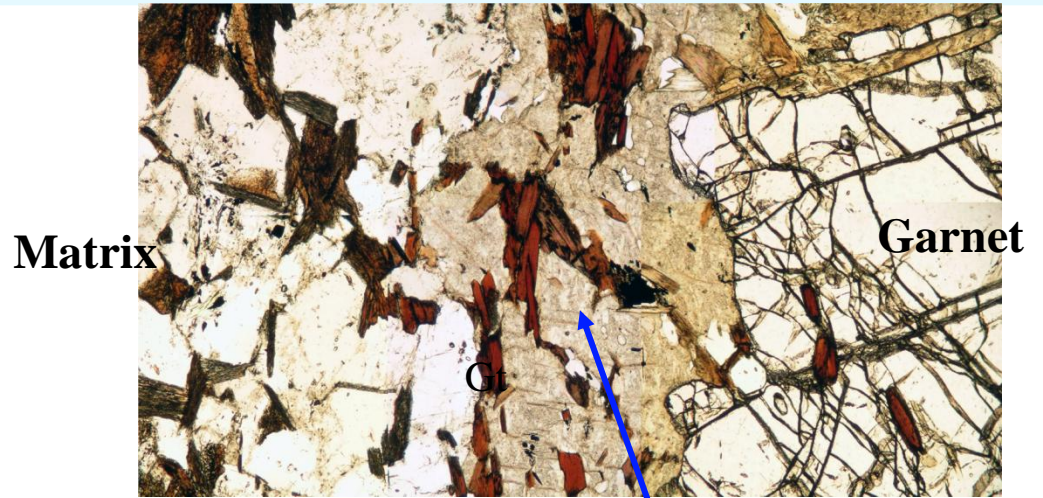
↓
マイロナイト帯および近傍のグラニュライトが接触変成 (c.244 Ma)

片麻岩とグラニュライトはNappeとWindow





マイロナイト化した泥質グラニュライト



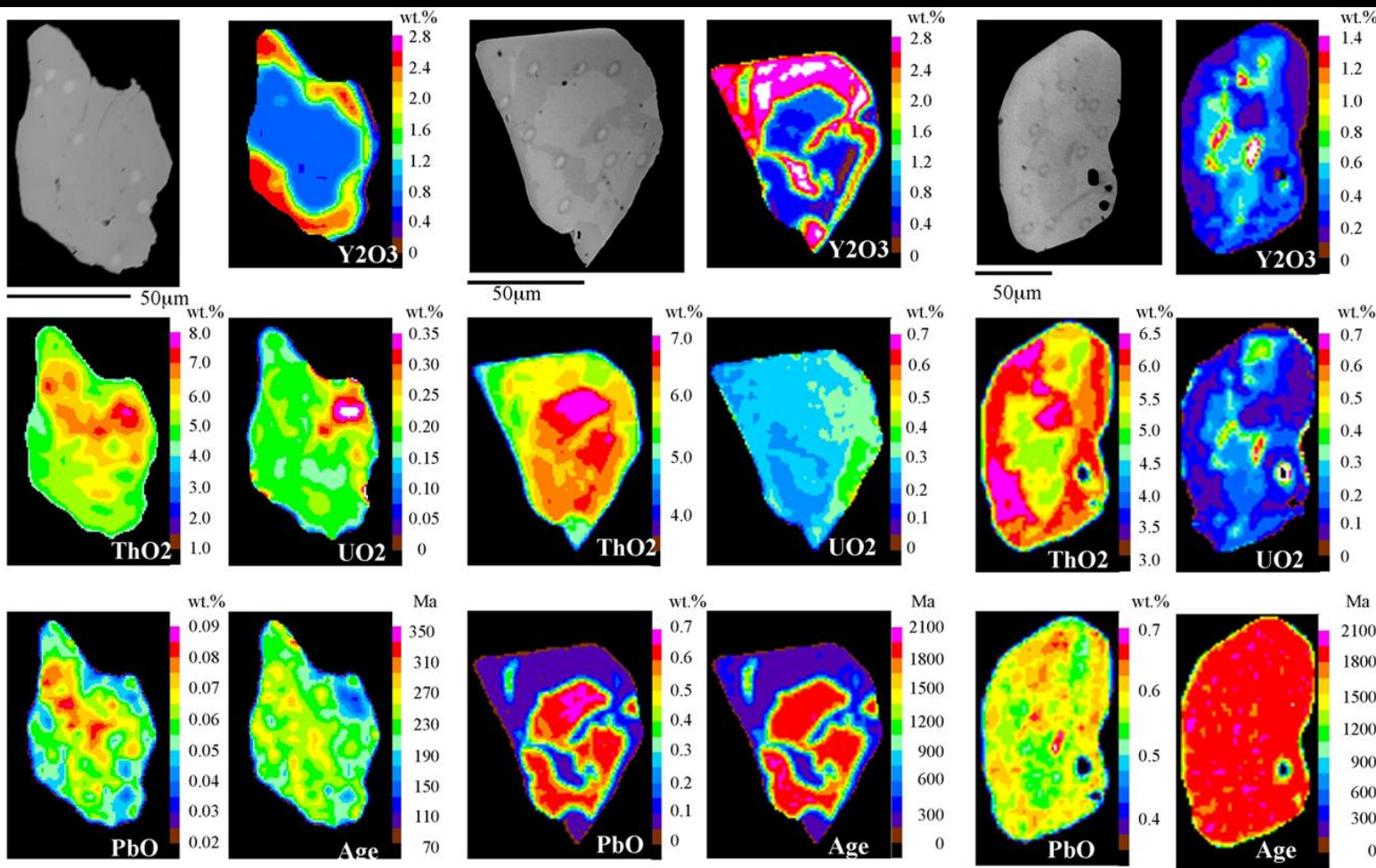
Pinite after cordierite

組織から
 塑性変形
 ▼
 ガーネット
 → 堇青石・Y解放
 ▼
 ピナイト
 の順番が読み取れる

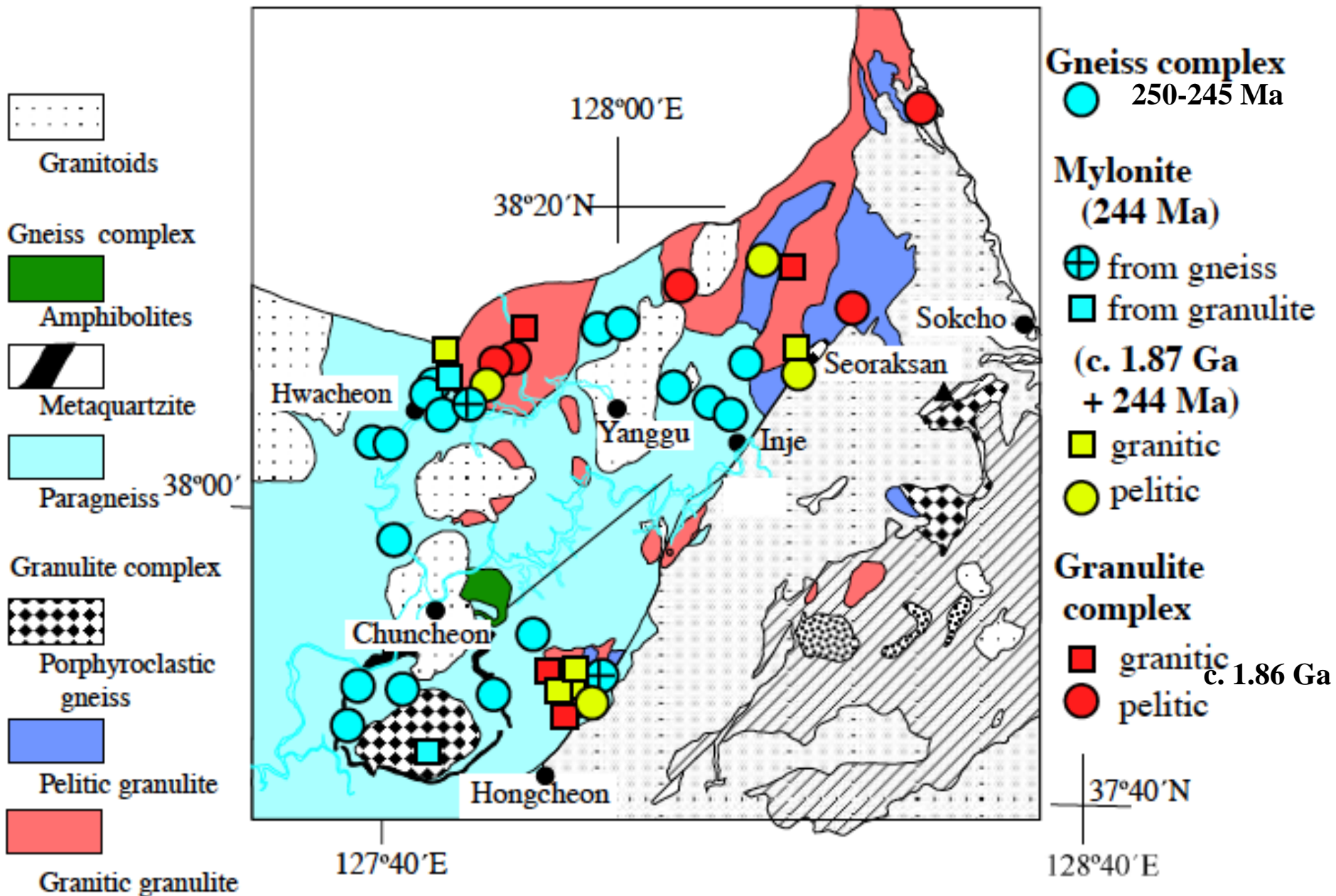
Matrix



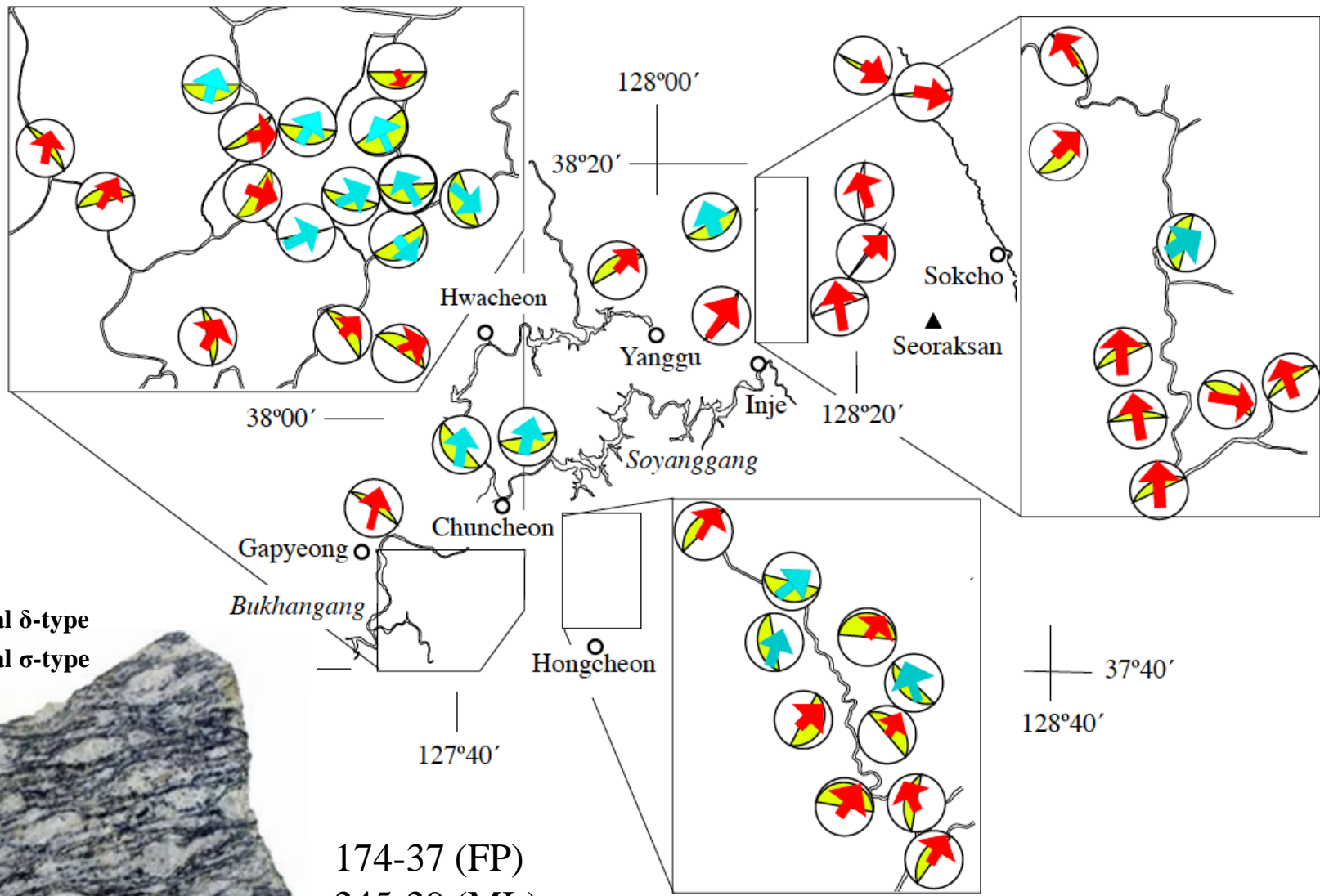
Garnet porphyroblast



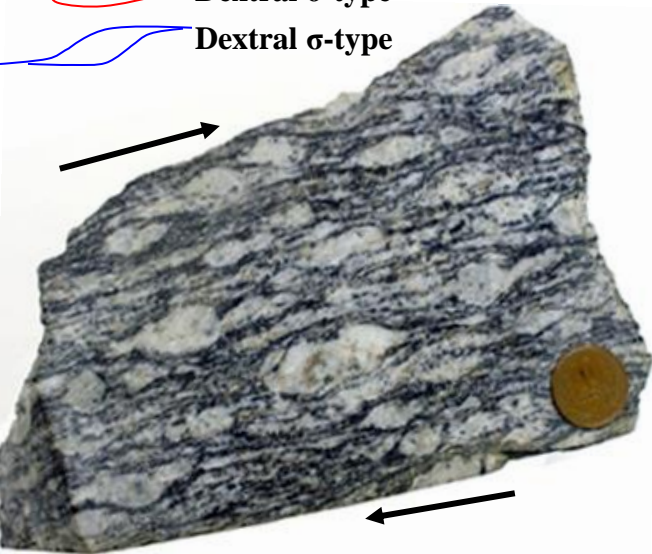
京畿地塊北東部の年代分布



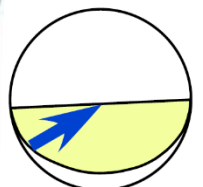
剪断センス: top to the NE direction



 Dextral δ -type
 Dextral σ -type



174-37 (FP)
 245-29 (ML)



原岩:後期原生代
c. 250-245 Ma
角閃岩相変成作用



マイロナイト帯
塑性変形後に
c. 244 Ma
変成作用

1.87 Ga
グラニュライト相
変成作用

Gneiss complex : 大陸衝突時に揚子江
地塊から剥がれて中朝地塊に衝上



異地性岩体
Allochthon

里山からキツネが消えた日

豊田市小手沢町



キツネは1960年代後半から少なくなり、いつの間にかいなくなった。キツネの目撃は1972年あるいは1974年が最後。しかし、1977年頃の初夏に子ギツネの死骸を埋葬したという人もいて確かではない。

この地域では「キツネは、うり坊を襲うことにより、イノシシの人里進出を抑制していた」という見解があり、キツネの消えた時期に関心が高い。

イノシシは1980年代初めに田畑に出没し始め、年々その被害が拡大。キツネが消えたのが1970年代前半なら抑制説は疑わしくなる。

2010年の地蔵堂建て替え

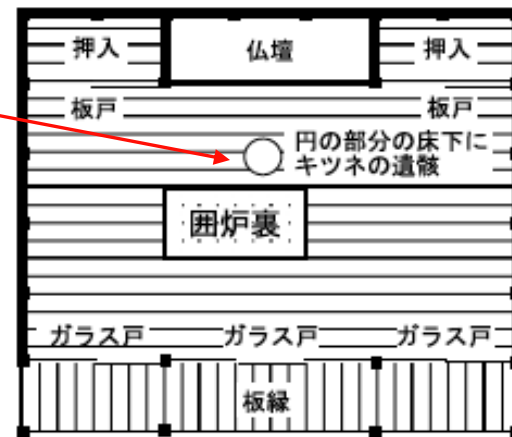


2010年1月17日
旧堂取り壊し



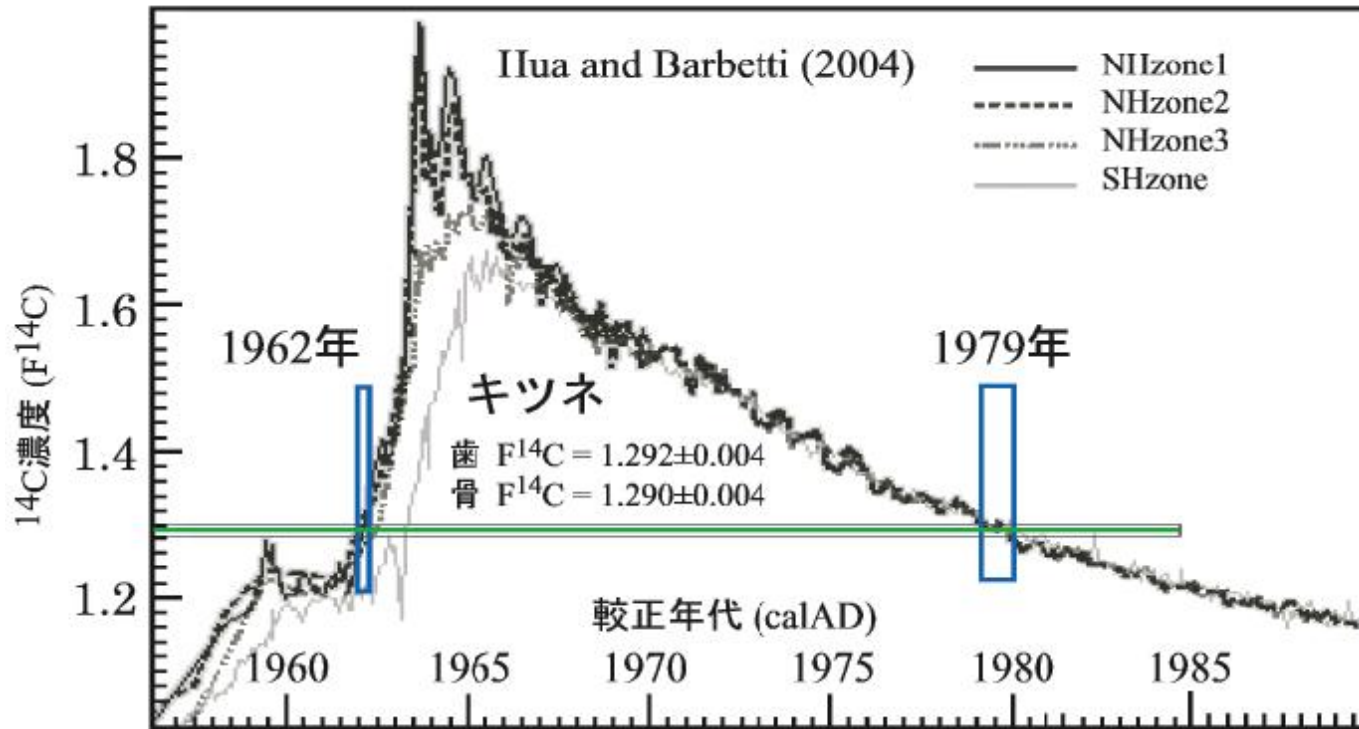
2010年3月20日 棟上
5月30日 完成

キツネの遺骸と
チキンラーメン
の袋



体長：50cm以上
左側半分は皮を残して保存。
地面に接した体半分(右側)は骨まで溶けていた。体毛は全く残っていなかった。

大気中核実験で生じた¹⁴C濃度の異常 (Bomb effect)



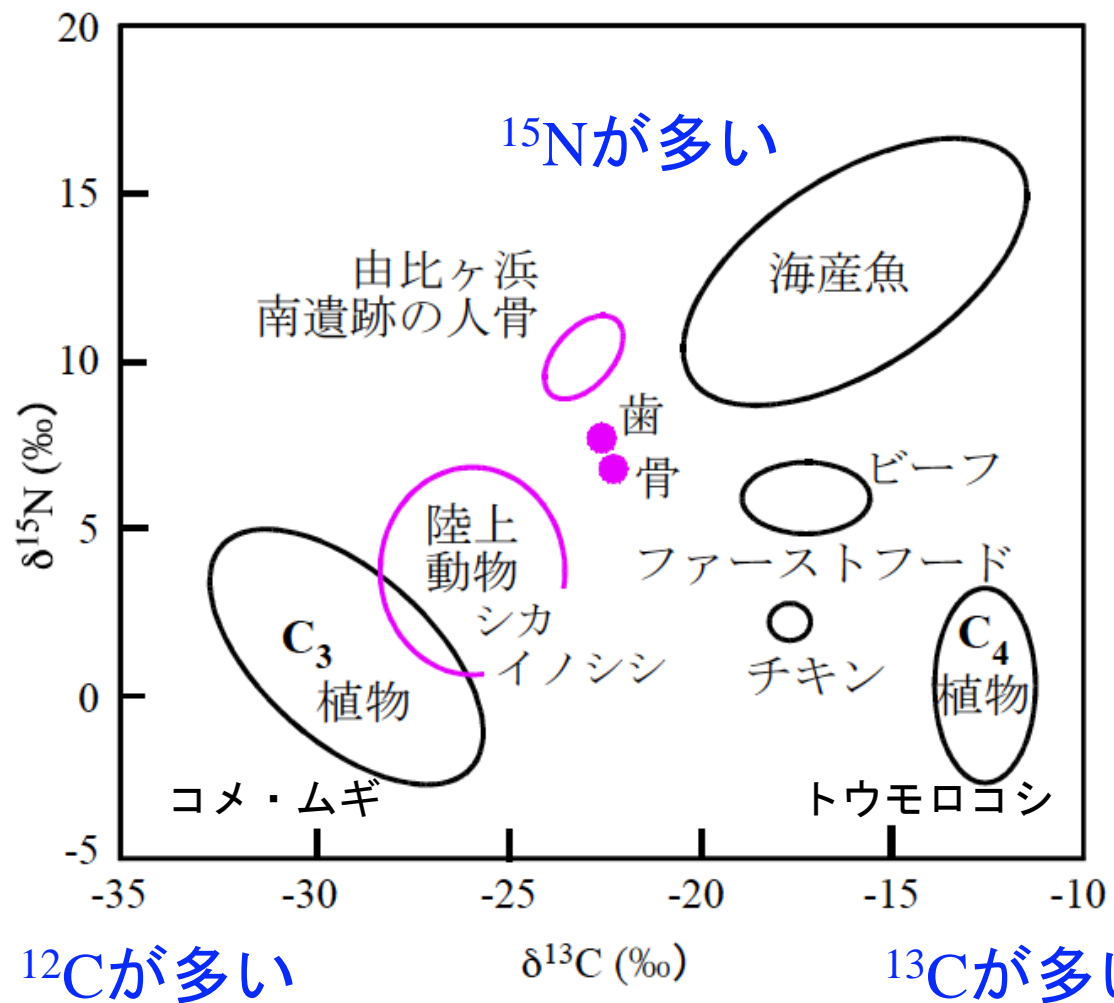
歯 1.292 ± 0.004

骨 1.290 ± 0.004



チキンラーメンの袋の変遷 [画像提供: 日清食品ホールディングス株式会社]

キツネの食べ物： $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$



① C₃ 植物とC₄植物を摂取
 $\delta^{15}\text{N}$ が説明できない

② 食物連鎖の高次消費者
ネズミ、野ウサギ
カエル、うり坊、鳥

地域内

③ 海産魚・C₄植物も含めて雑食

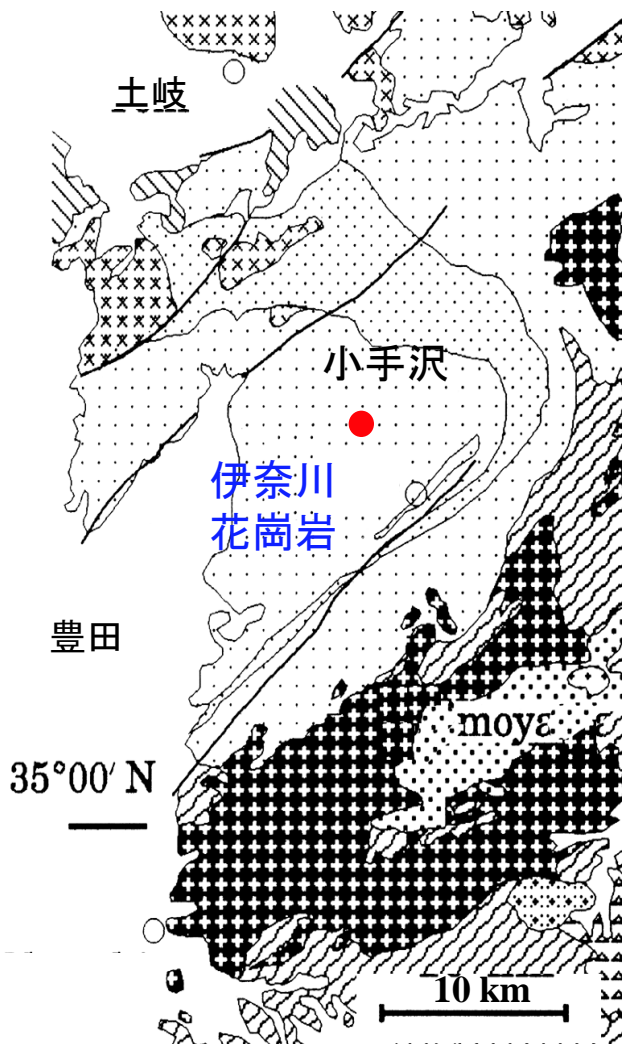
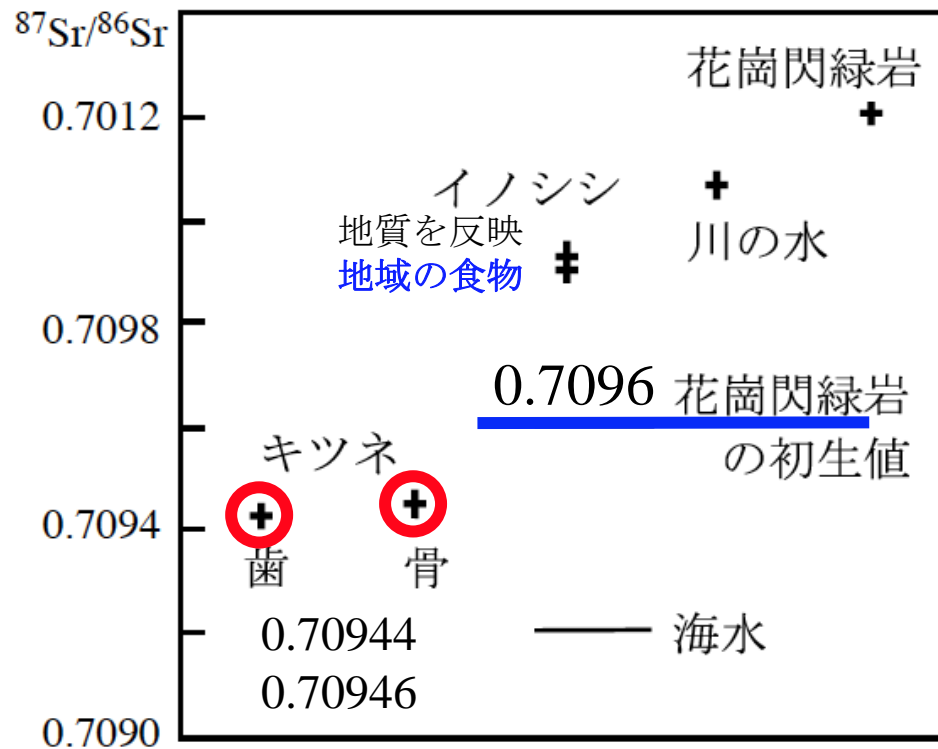
配合飼料、
ドッグ・キャットフード

地域外

赤澤・米田・吉田 (1993), Minamigawa et al. (2005), Minami (1995), Yoneda et al. (2004), Jahren and Kraft (2008), 南・中村・平田・長岡・鶴澤 (2007)
ファーストフード (米国) はトウモロコシを含む飼料で飼育されたもの
ピンクはコラーゲンの測定値を $\delta^{13}\text{C}$ で-4.5‰, $\delta^{15}\text{N}$ で-3.4‰補正してプロット

キツネのSr同位体比は花崗閃緑岩の初生値以下

$^{84}\text{Sr} = 0.56$
 $^{85}\text{Rb} = 72.1654$
 $^{86}\text{Sr} = 9.87$
 $^{87}\text{Rb} = 27.8346 \longrightarrow ^{87}\text{Sr} = 7.04$
 $^{88}\text{Sr} = 82.53$



地域外のSr同位体比の小さい食物も摂取

配合飼料 (家畜の餌)

トウモロコシ、コーングルテンフィード、
 大麦、大豆油かす、魚粉、脱脂粉乳、-----

1975年までに消えたと思われていたキツネが1979年まで生存していたことが判明し、イノシシの田畑進出（1980年頃から）との間隔が狭まった。**因果関係の存在**

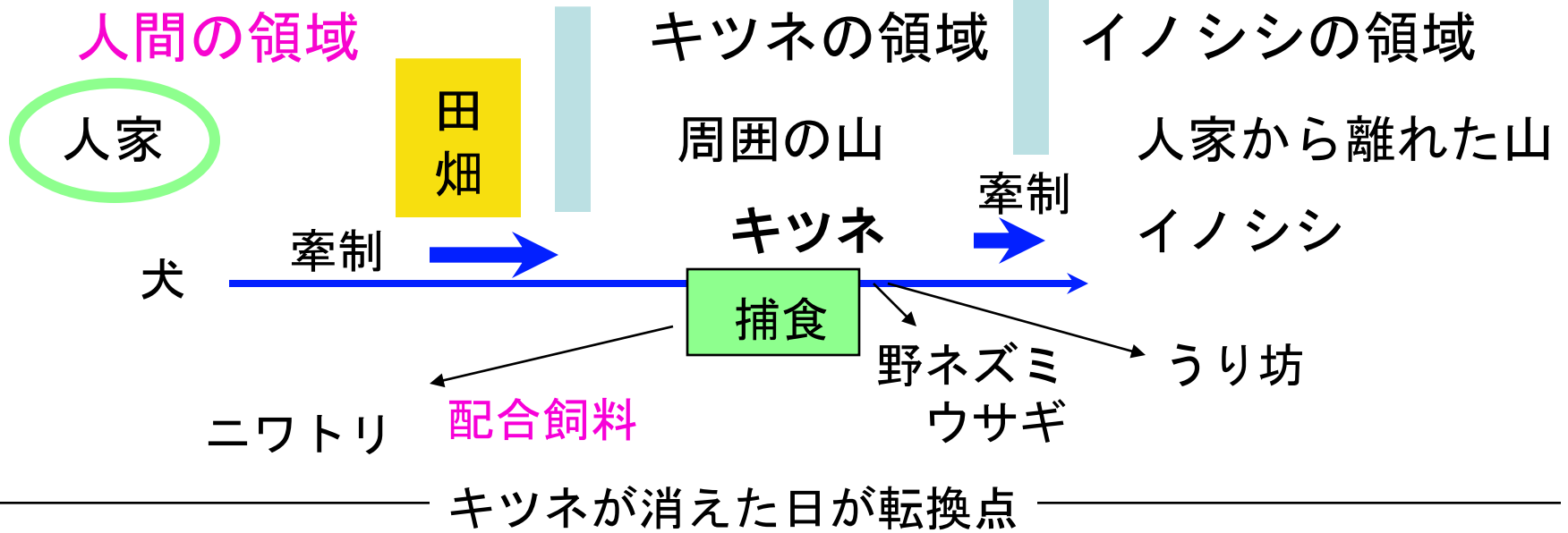
20-21日の夜間
柵の下を掘って侵入



26-27日の夜間
柵を押し倒して侵入



キツネがイノシシを防いでいた



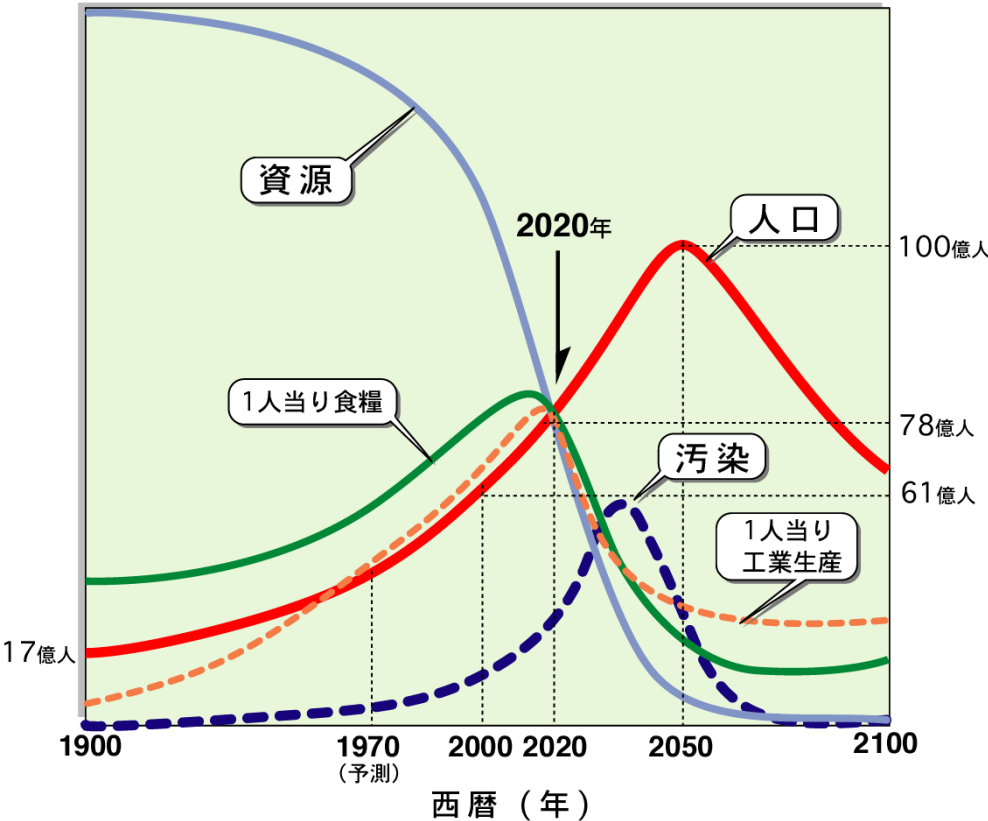
柵で人間とイノシシの領域を区画



世界平均1人1日あたりの穀物量
 497 g (米3.3合)
 人類は食料危機の直前(?)

日本の余力は山間の耕作放棄地
 22.3 万ha (2005年)
 360.8 万ha

成長の限界がやってくる



ローマクラブ (1970)



お礼

地球科学教室の寛大な大学院入試に救われ、自由闊達な雰囲気の中で定年退職を迎えることができました。この間、実に多くの先生や先輩から教えを受け、学生や同僚・友人にも恵まれて、好き勝手な研究に没頭することができて幸せでした。寛容に見守って援助と協力をいただきましたことを厚く感謝申し上げます。

ご清聴ありがとうございました。

