

変成岩—地球深部からの贈り物と出会って—

2019/03/16 @ ES総合館 1階 ESホール



民俗学

1970/11/29



考古学



地学

榎並正樹 (名古屋大・ISEE)

理学部・理学研究科, 環境学研究科, 年代測定総合研究センター



1972/03/16

ケンロクエンノ サクラサク オメデトウ カナザワ
(合格電報)

金沢大学へ (1972年)

兼六園と石川橋, 石川門を通過して
城内キャンパスへ

理学部地学科

層位・古生物学

地殻化学

鉱物学

物理地学



都城秋穂

地殻化学セミナー



吉朝 (熊大)

後藤 (兵県大)

小畑 (京大)

板谷 (岡理大)

丸山 (東工大)

坂野先生

東野

廣井 (千葉大)

榎並

都城秋穂先生を囲んだセミナー

1980/10



石塚 (高知大)

中島 (産総研)

今泉 (農水省)

西山 (熊大)

石渡 (東北大)

桐座 (富大)

細谷 (農水省)

榎並

坂野先生

1977/10

第1章 何故、変成岩を始めたか

消去法と積極的な理由

地殻化学講座（山崎正男教授・坂野昇平助教授・佐藤博明助手）

鉱物学講座

客観的なデータ（化学組成・結晶構造）に基づけば、
先生や先輩とも何とか渡り合えるかも

←後に大きな勘違いであることに気付く
フィールドにも出てみたい

50年前のアポロ計画で月の石を、9年前には「はやぶさ」が「イトカワ」の試料を持ち帰ることに成功しても、我々はすぐ近くにある地球内部の様子を直接知ることはできない。そして、その具体的情報をもたらしてくれるものに変成岩がある（地球環境科学と私 第八回より抜粋）。

層位・古生物学講座：化石鑑定は私には無理

物理地学講座：プレートテクトニクスを研究されている先生がおられなかった

物理より化学が好き

名古屋大学博士（後期）課程へ （1978年）

その頃、立てた目標

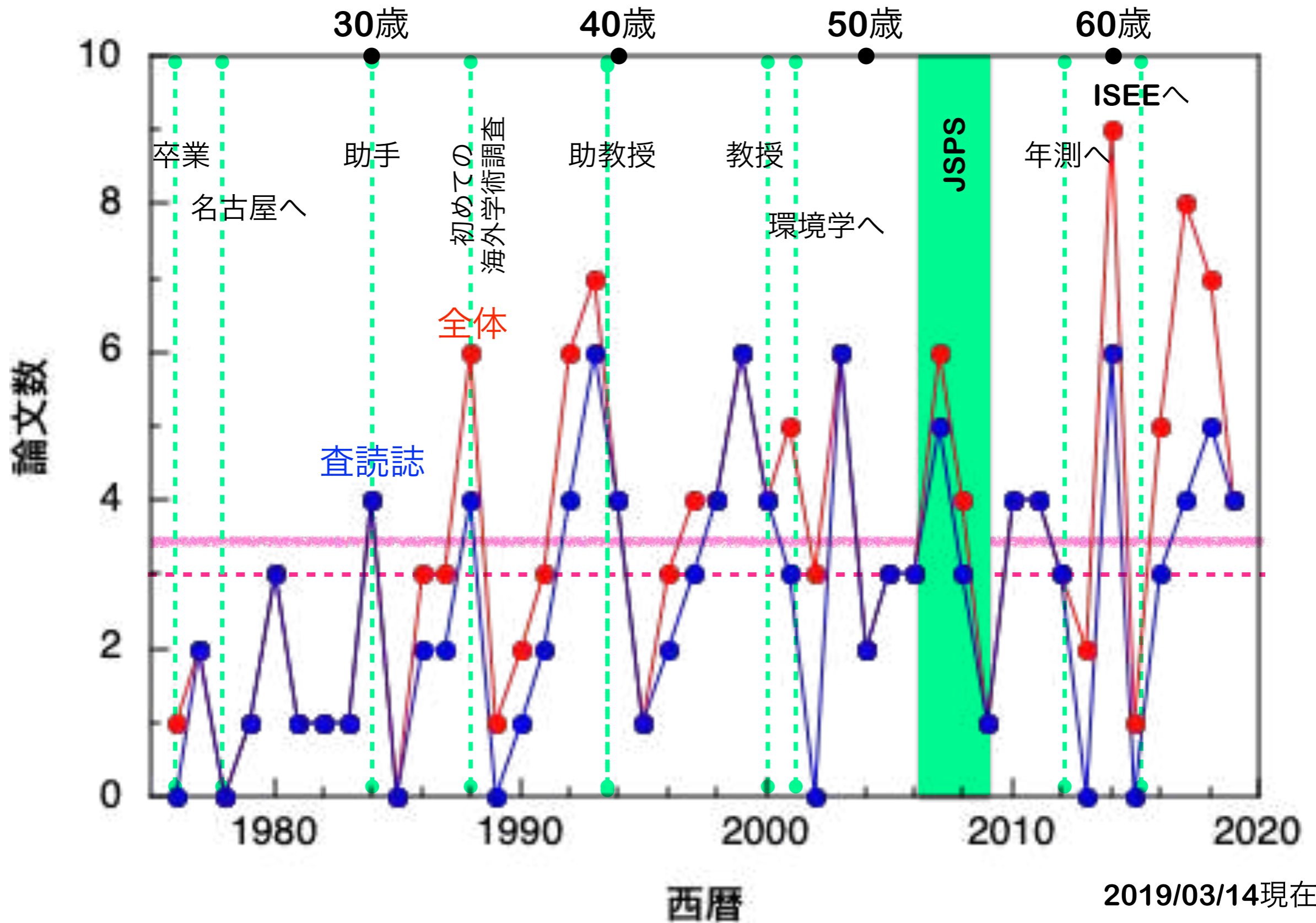
3論文・解説など／年

● 論文係数 =
(論文数／口頭発表数) を
(M先輩の目標)

● ゼロは何倍してもゼロ

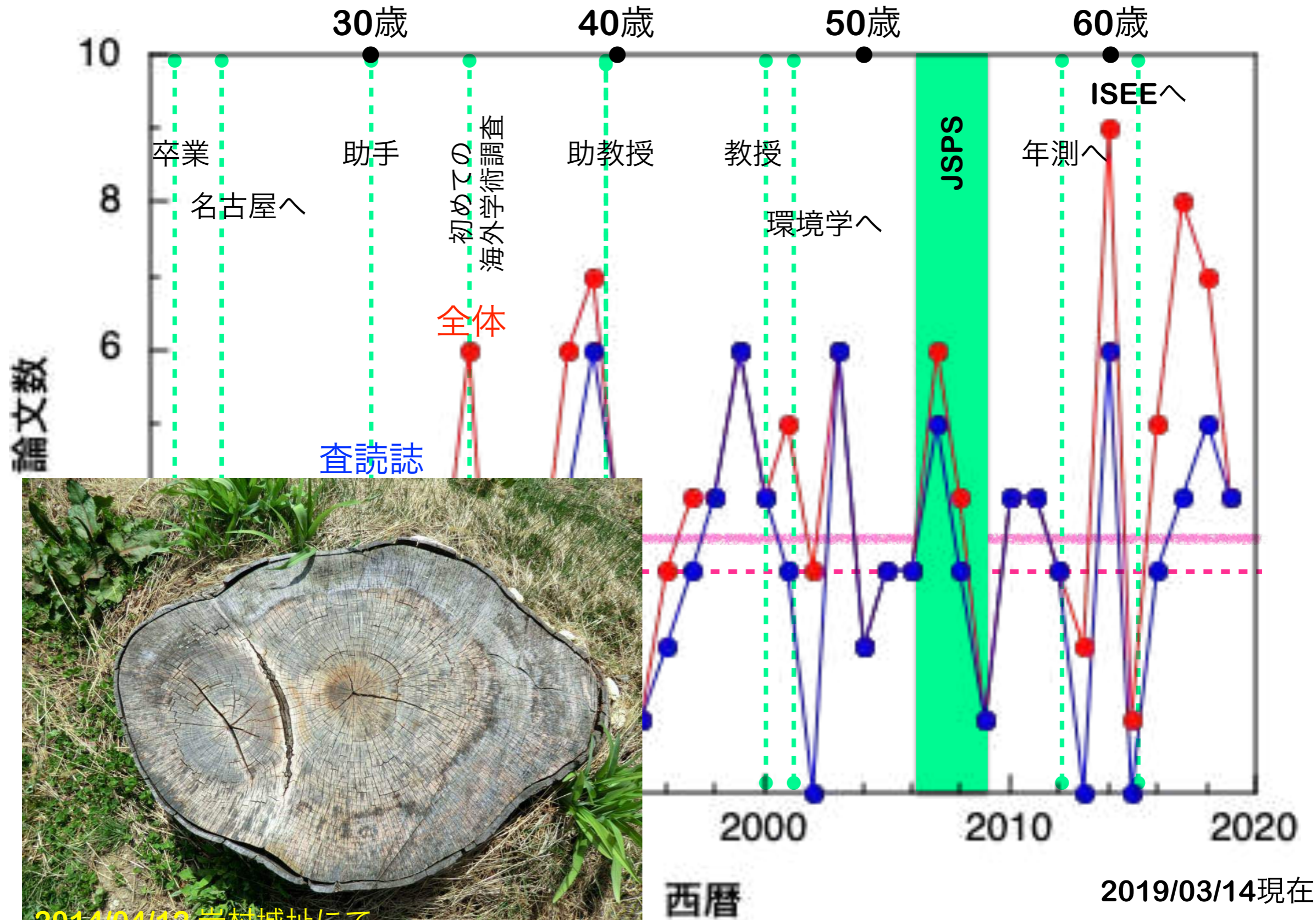
(坂野昇平先生の言葉、いつ聞いたかは定かではないけれど)



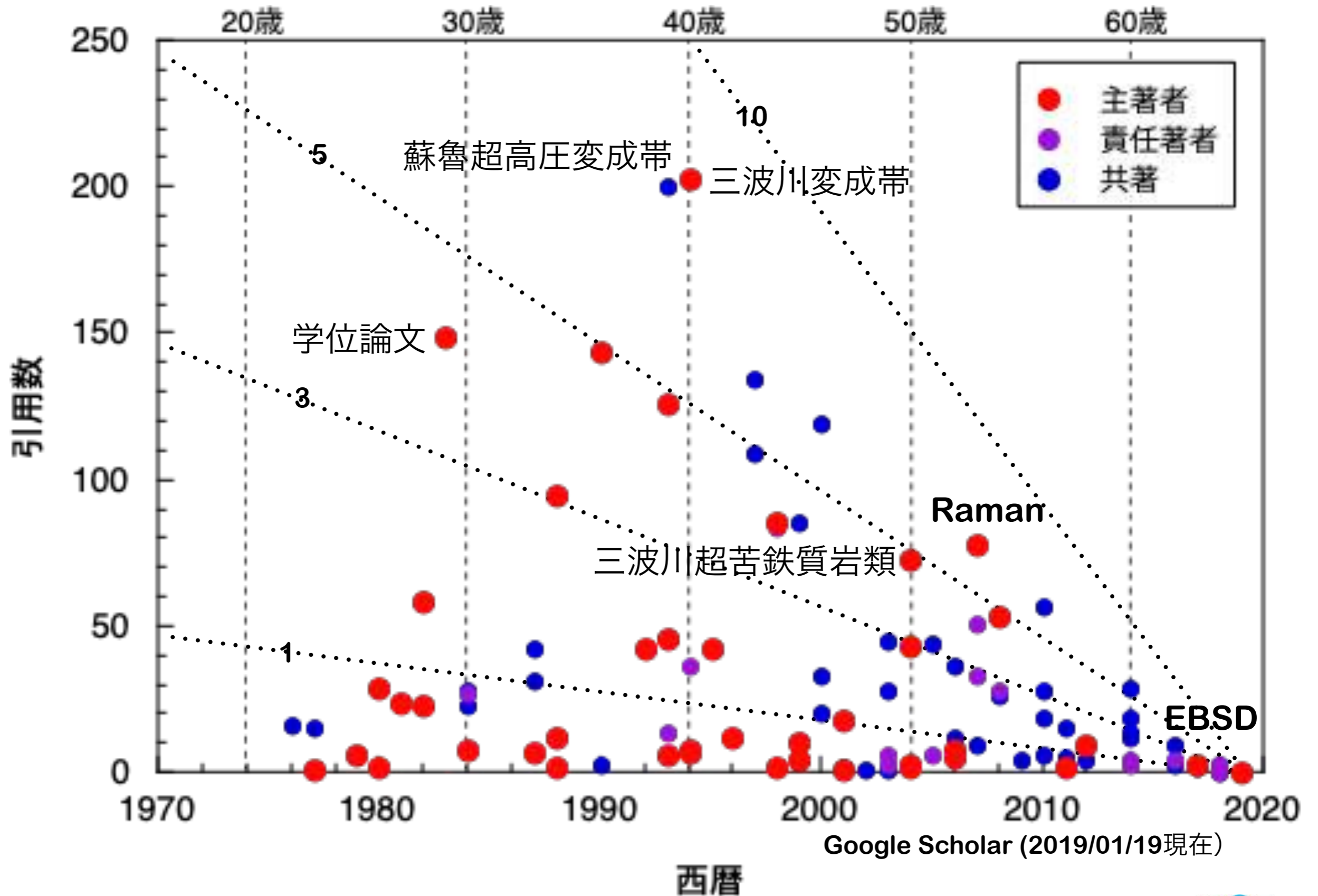


第2章 客観的に振り返ってみたい

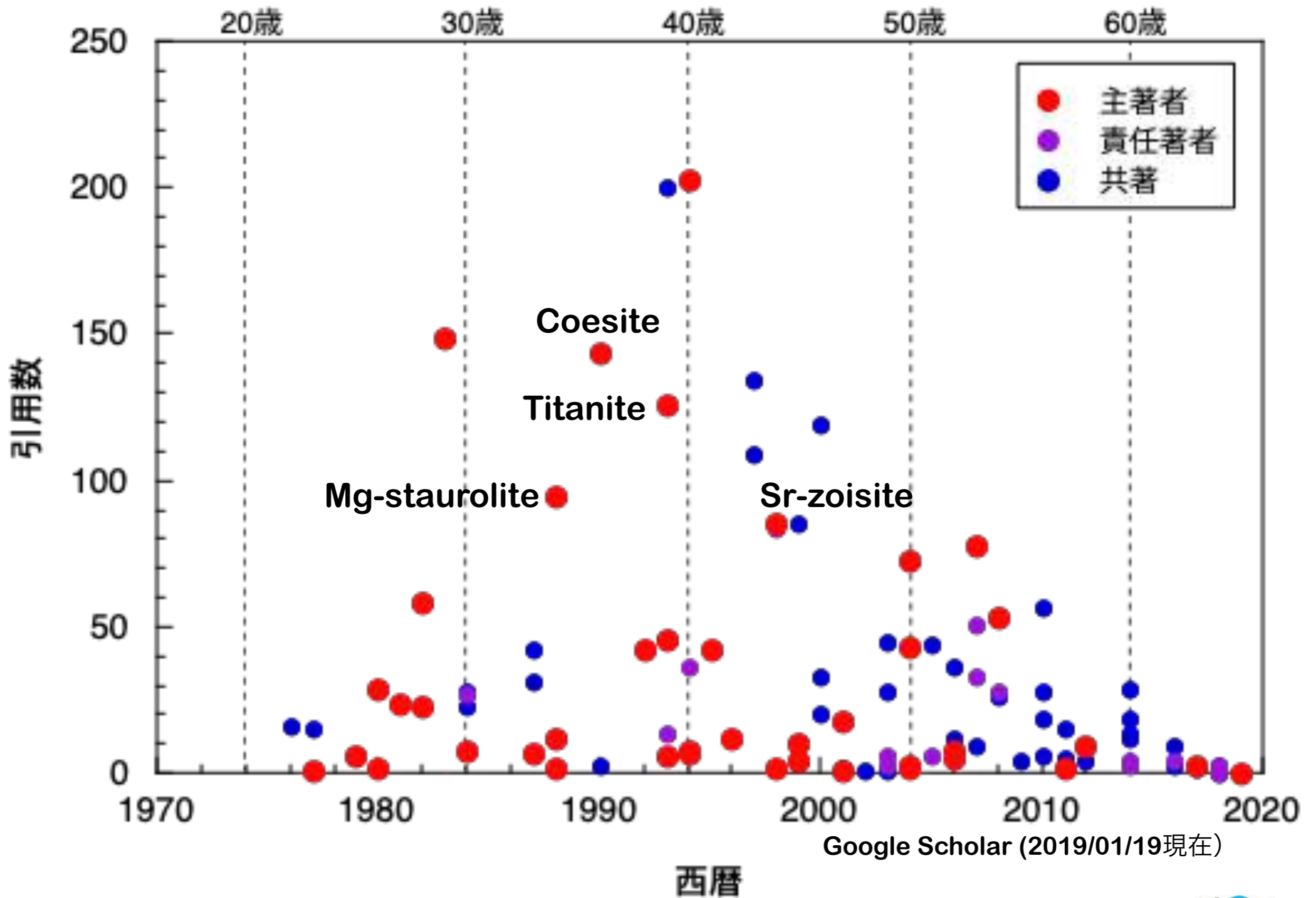
主な出来事とシンクロ



私の研究の一里塚

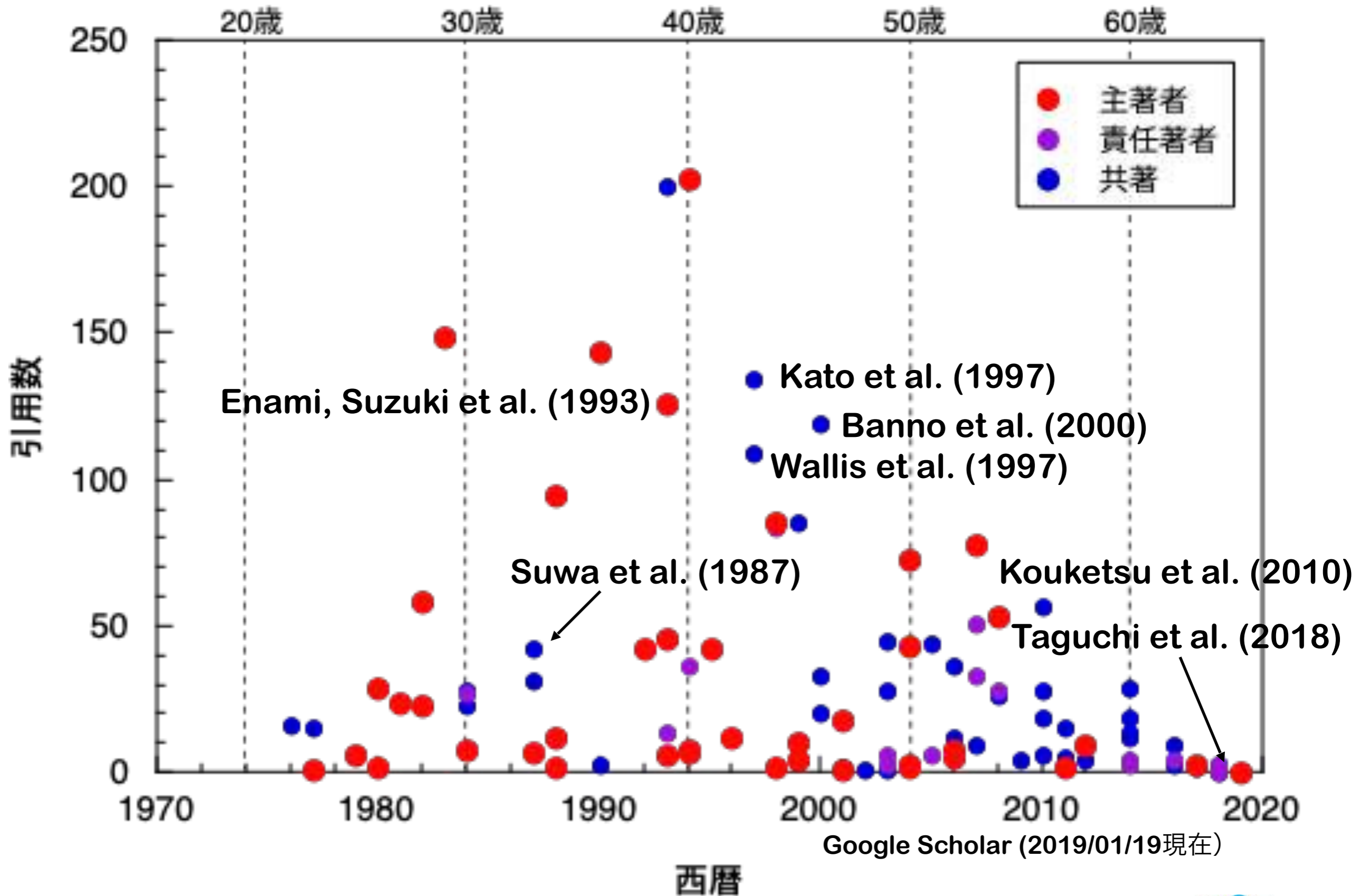


鉍物

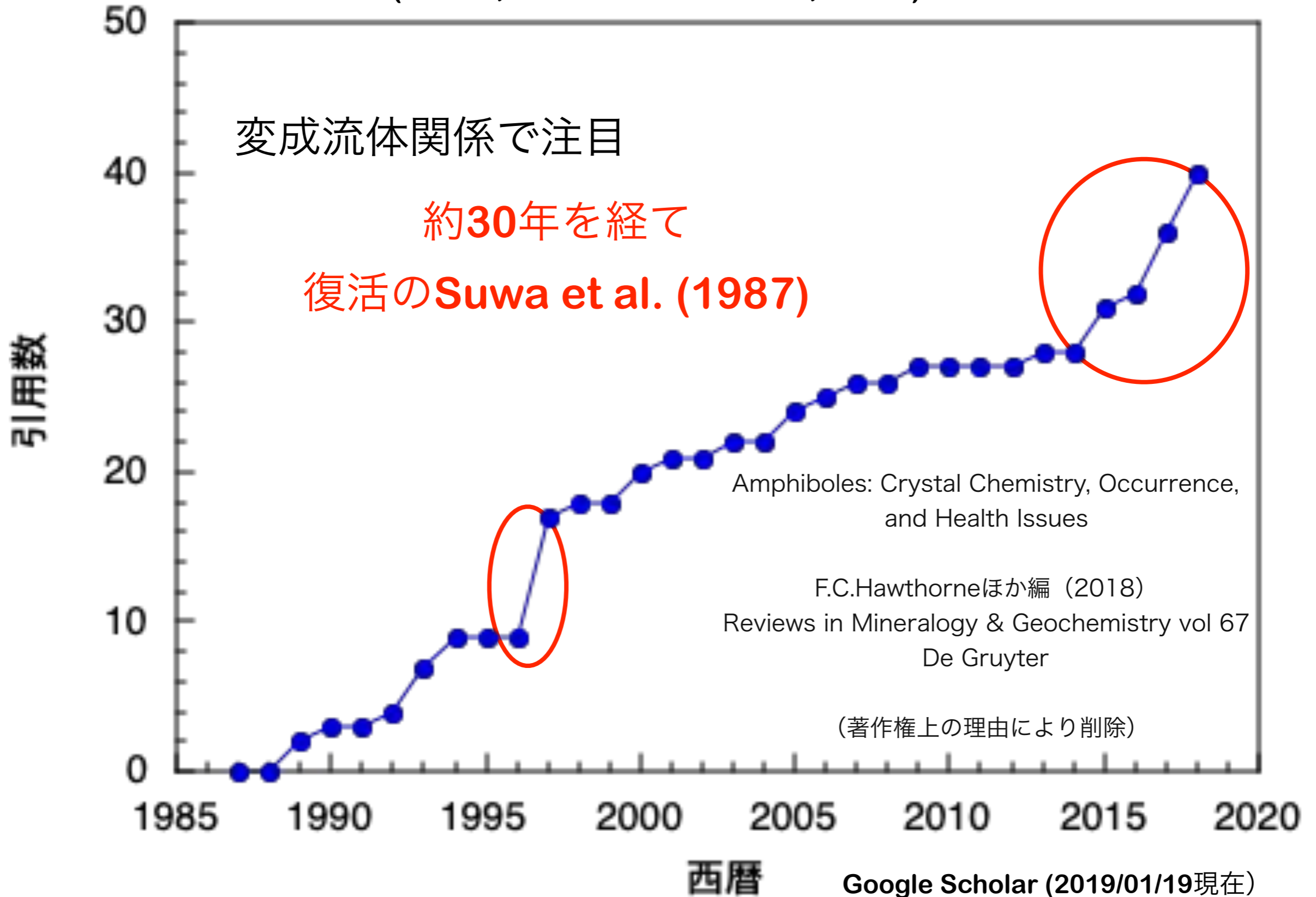


Google Scholar (2019/01/19現在)

共同研究

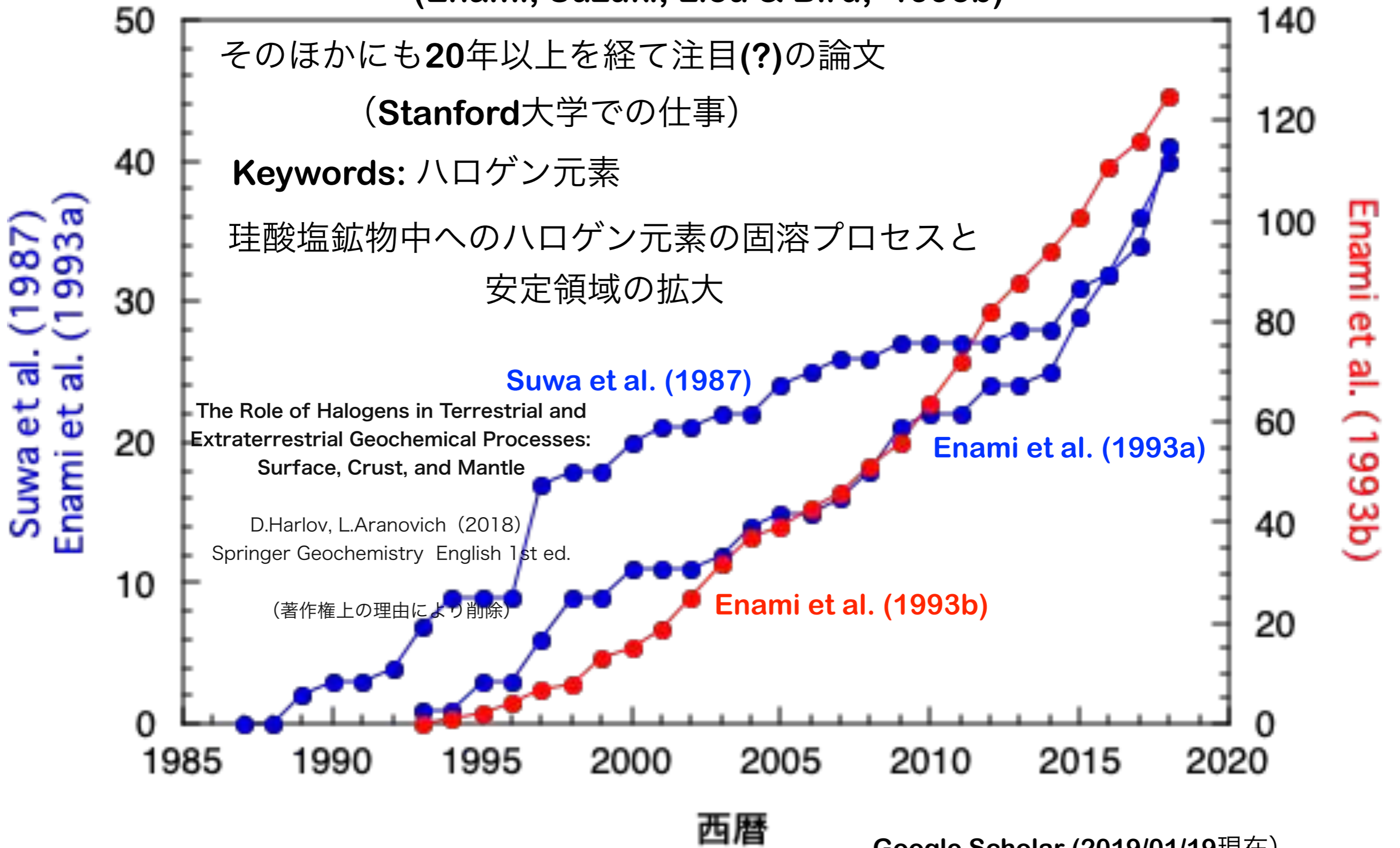


Chlorine-rich potassium hastingsite from West Ongul island,
Lützow-Holm bay, east Antarctica
(Suwa, Enami & Horiuchi, 1987)



Cl-bearing amphibole in the Salton Sea geothermal system, California (Enami, Liou & Bird, 1993a)

Al-Fe³⁺ and F-OH substitutions in titanite and constraints on their P-T dependence (Enami, Suzuki, Liou & Bird, 1993b)



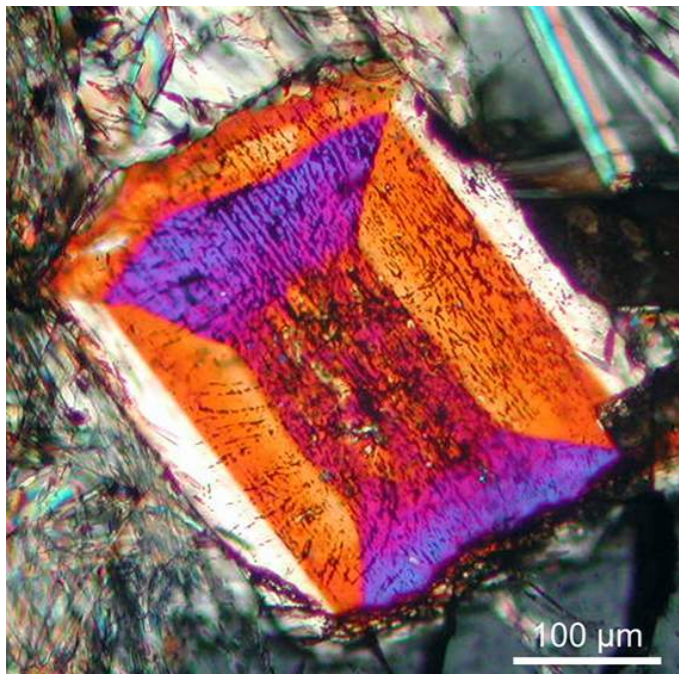
卒論テーマ “Miscibility gap between zoisite and clinozoisite”

Enami & Banno (1980)

Zoisite-clinozoisite relations in low- to medium-grade high-pressure metamorphic rocks and their implications (国際誌デビュー)

実質的論文デビュー (スピンオフ)

- Enami (1977) Sector zoning of zoisite from a metagabbro at Fujiwara, Sanbagawa metamorphic terrain in central Shikoku.
- Enami & Banno (1977) Compositional range of α and β zoisites



結晶成長の異方性と
化学組成 (東北大学
での他流試合)

Enami (1977), Enami and Banno (1977, 1980), Sakai et al. (1984), Nagasaki & Enami (1998), Yang and Enami (2003), Enami et al. (2004), Masumoto et al. (2014)

8編

Enami, Liou & Mattison (2004)
Epidote minerals in high P/T
metamorphic terranes: subduction zone
and high- to ultrahigh-pressure
metamorphism

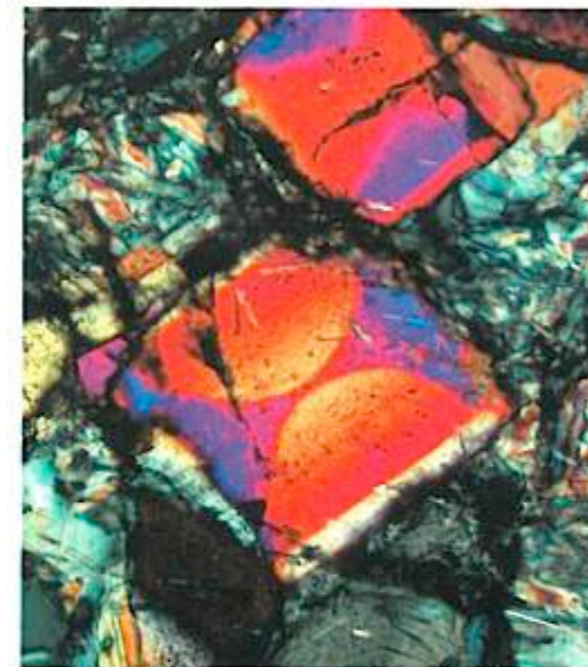


REVIEWS in
MINERALOGY &
GEOCHEMISTRY
Volume 56



EPIDOTES

EDITORS:
Axel Liebscher & Gerhard Franz



(←) Sector zoned zoisite, cut almost normal to the crystallographic *b* axis and through the center of the crystal (Fujiwara metagabbro/Japan sample no F-10; see Enami 1977); photomicrograph, crossed polarized light; long axis of the crystal is about 410 μm . The crystal shows a perfect hourglass structure, with smoothly curved sector boundaries indicating a continuous change of the growth rates in the sectors.

Reviews in Mineralogy & Geochemistry 56

ISBN 093995068-5



9 780939 950683

Series Editor: Jodi J. Rosso
MINERALOGICAL SOCIETY OF AMERICA
GEOCHEMICAL SOCIETY

2004

ISSN 1529-6466

<http://www.minsocam.org/MSA/RIM/rim56.html> 2019/5/22

第3章 私の研究 その1

現代地球科学入門シリーズ 16
岩石学

微小領域分析装置 新しい応用を目指して

榎並 正樹 著
大谷栄治ほか編
共立出版 (2013)

(著作権上の理由により画像は削除)

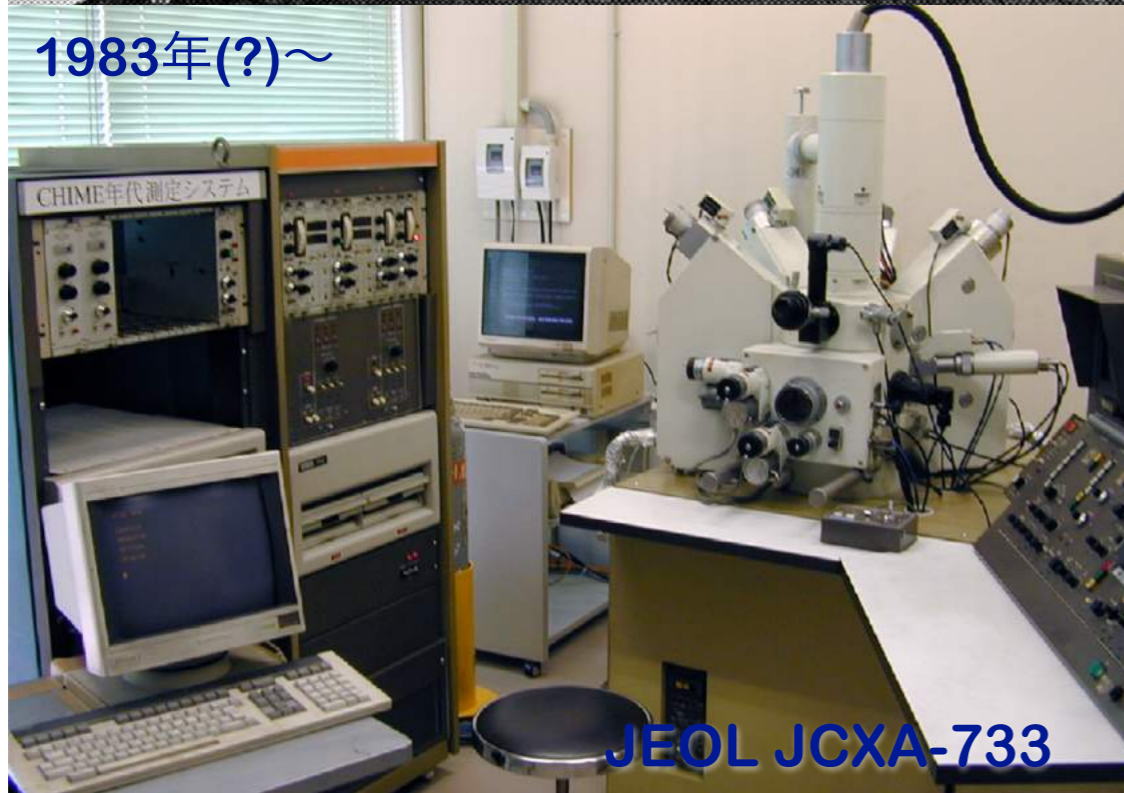
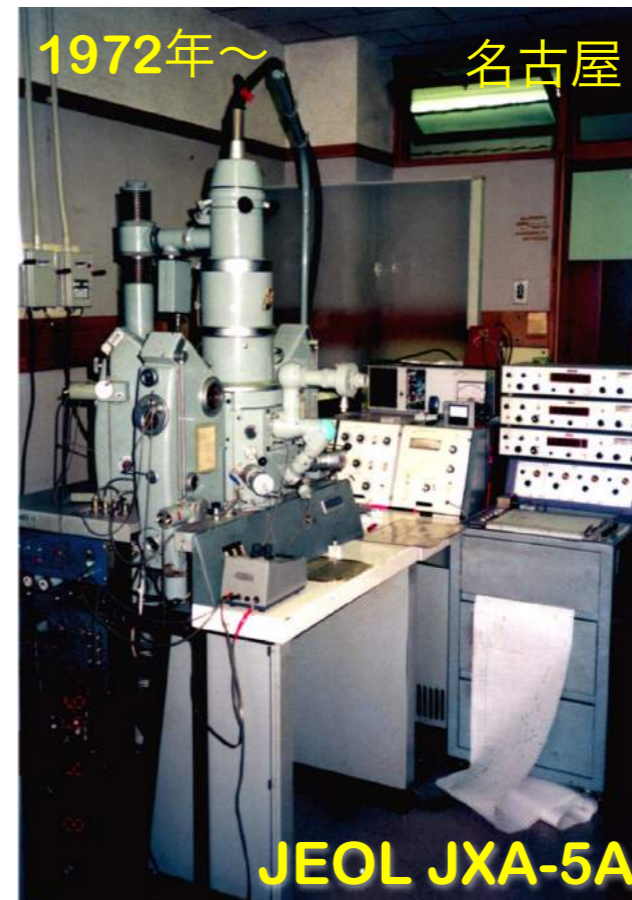
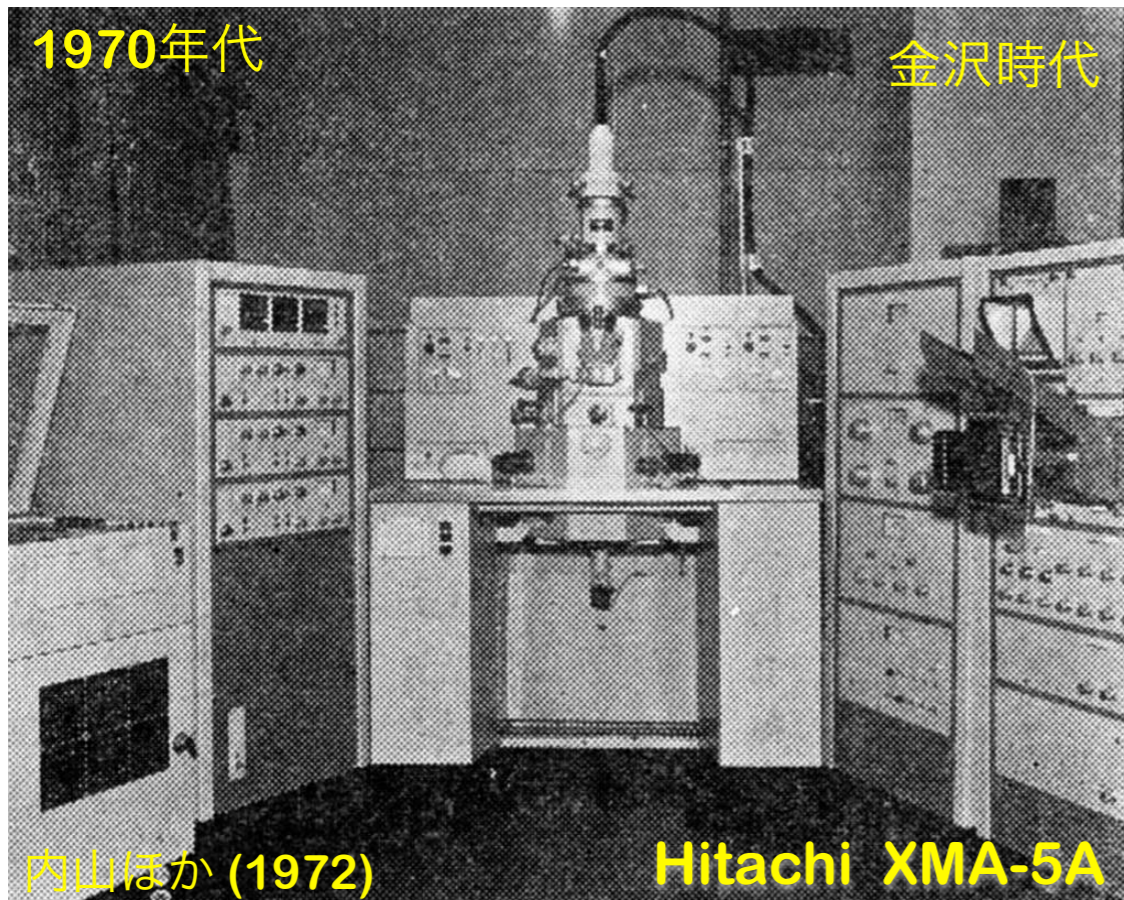
岩石学（地質学）と鉱物学の境界領域の
研究をしてみたい

新しい応用を目指して

EPMA

電子線
マイクロアナライザ
鉱物の微小領域組成分析

卒論を始めた頃、一部の大学
では**EPMA**を学生が使用でき
るようになっていた。

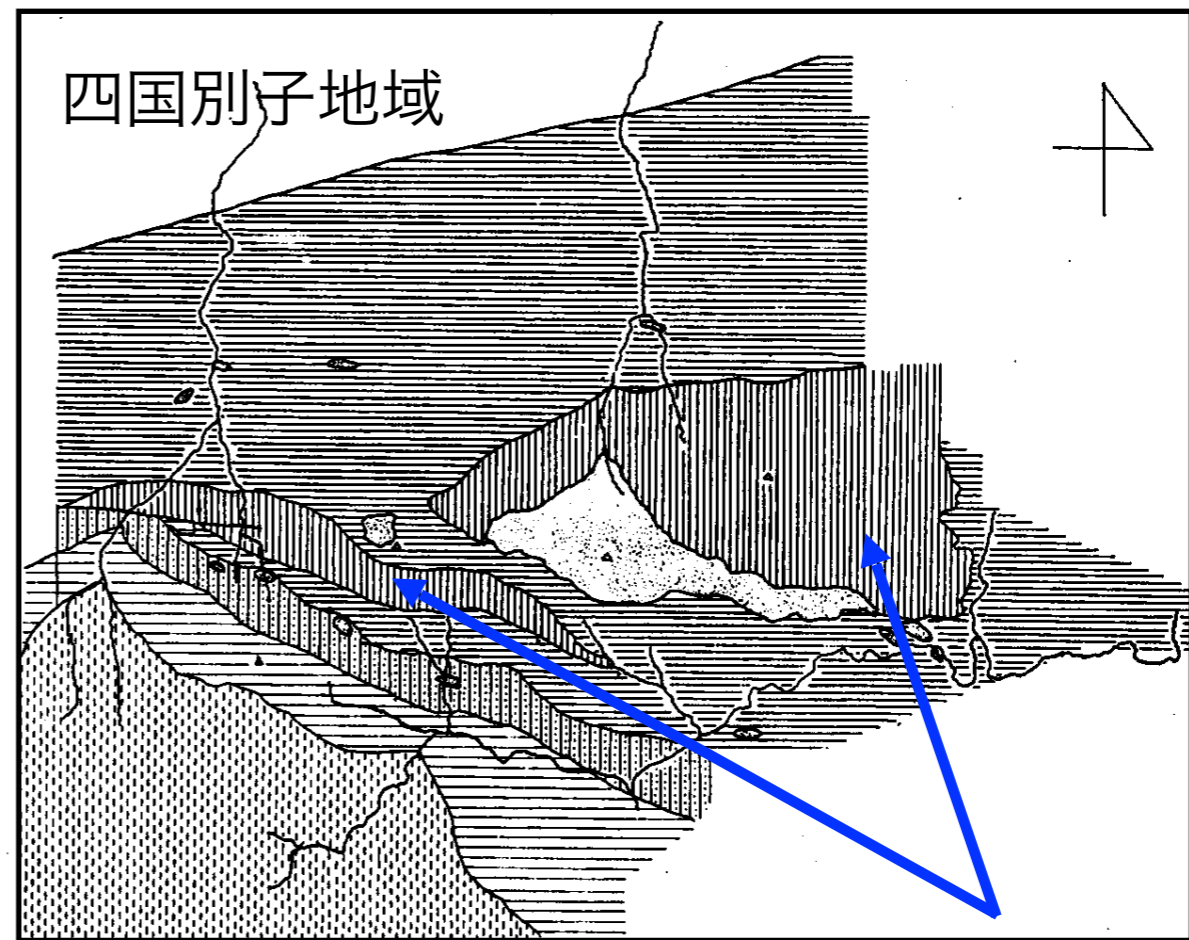
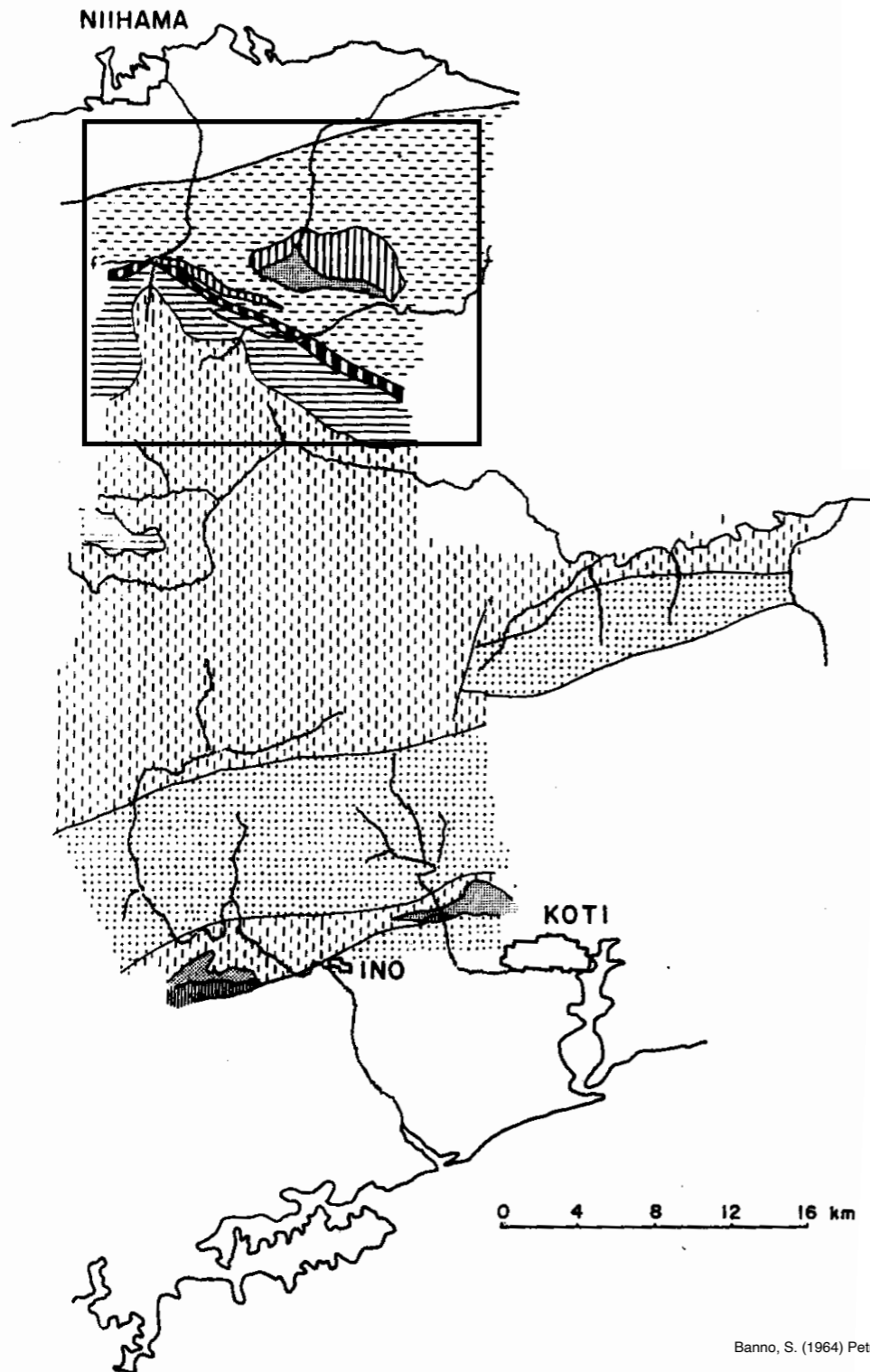


四国中央部三波川変成帯の分帯

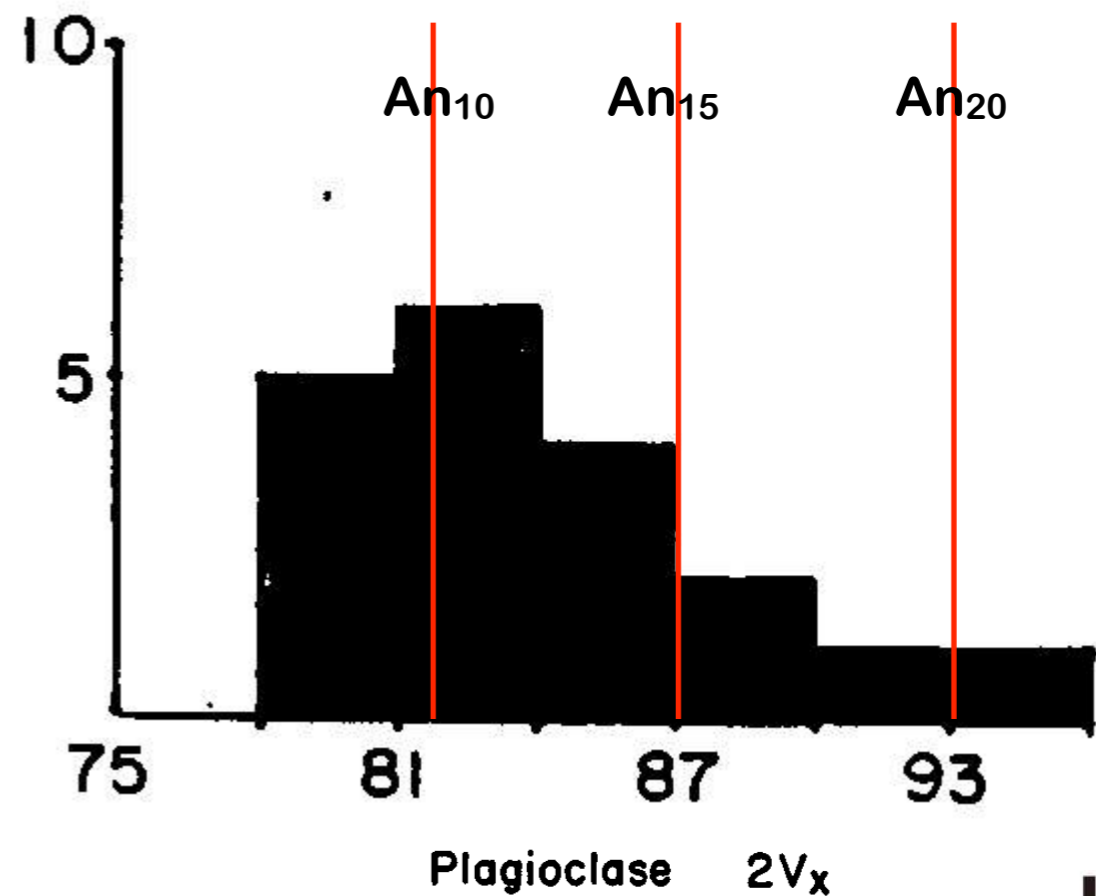
斜長石組成問題

Oligoclase zoneの提案

(Banno, 1964)



Oligoclase-epidote amphibolite subfacies



Oligoclase zoneの提案 (Banno, 1964)

光学的手法



Oligoclase zoneの撤回 (Ernst et al., 1970; 坂野ほか, 1976)

EPMAなどの化学組成分析でOligを確認できなかった

決して間違いではなかったが正確ではなかった



真相 「Banno (1964) が想定するほどOlig zone は広くなかった」

もし、この撤回がなかったら

- これからお話しする私の研究 (榎並, 1982) はなかった。
- 私は学位論文 (Enami, 1983) は書けなかった。たとえ書くことができたとしても全く別のテーマだっただろう。
- そもそも私は研究・教育職に就けたらだろうか。そして、ほぼ確実に言えることは、私は今ここで最終講義をしてはいなかった。

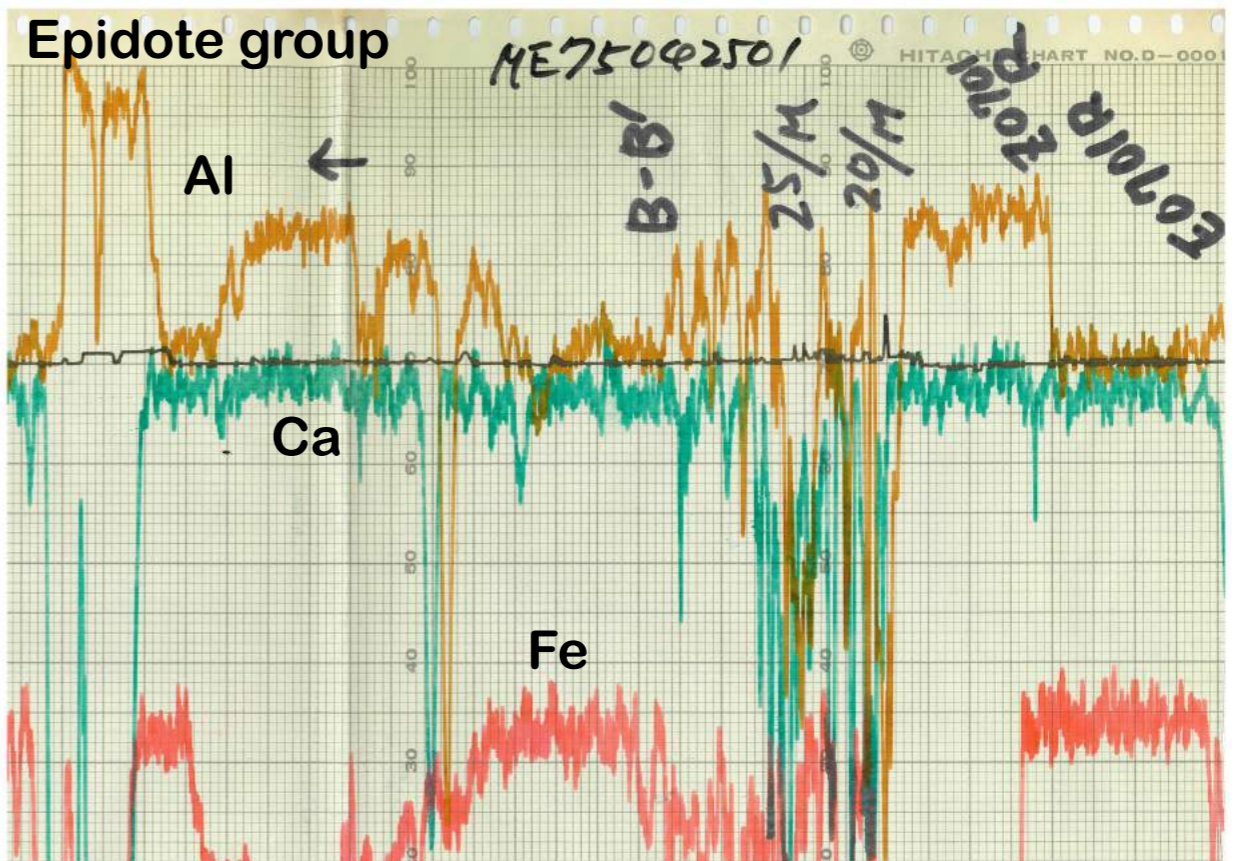
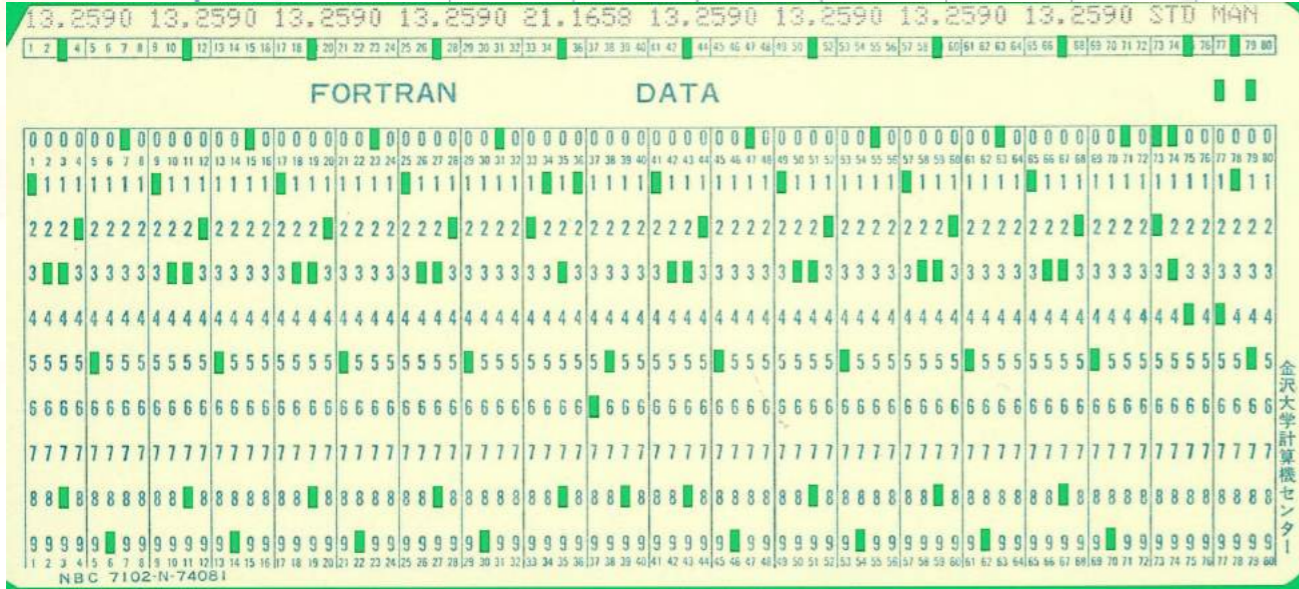
私の知らないところで、

私にとってのとてつもなく大きな分岐点があった

Oligoclaseを再確認できたのは、多分手動測定だったから（装置につきっきり）

YS-3A Jan. 27, 77 0.02μF 15KV. No. _____ 20KV. 0.009μF

	Si	Ti	Al	Fe	(metal) Mn	Mg	Ca	Na	K		Ca	Na
STD OX	147680	160595	174658	101928	147821	155126	83764	9666	26740		47019	3381
KaO	50163	9184	21231	12591		14751	17702	2125	3133			
B.G. Mg	335		261	252			368	122	191			
Ti	564		427	302			368	122	253			
Al		344			159	276					201	109
Fe		636			323	209					290	108
P101 Hb	60526	891	13921	18682	645	11823	21224	474	542	1	3744	1933
P102 Hb	55248	838	19152	16898	587	12707	19805	1333	849	2	1933	3494
P103 CZ	49367	379	48459	4722	294	397	42179	174	297	3	1964	7827
P104 ZO	49871	378	53428	1927	239	367	41935	171	251	4	2022	3866
P203 Pl.			36258	306			6549			5		
P204 Hb	63316	620	10415	15099	507	62	21485	509	453	6		
P205 chl	26877	432	29038	23588	510	20016	463	192	326	7		
P206 Pl.			34429	529			2211			8		
P301 chl.	32118	474	25958	24315	533	19854	417	148	398	9		
P302 Pl.			35364	456			4338			10		
P304 Pl.			33656	355			2512					
			37917	434			10028					
			36774	475			6323					
			34376	483			3715					



パンチカード

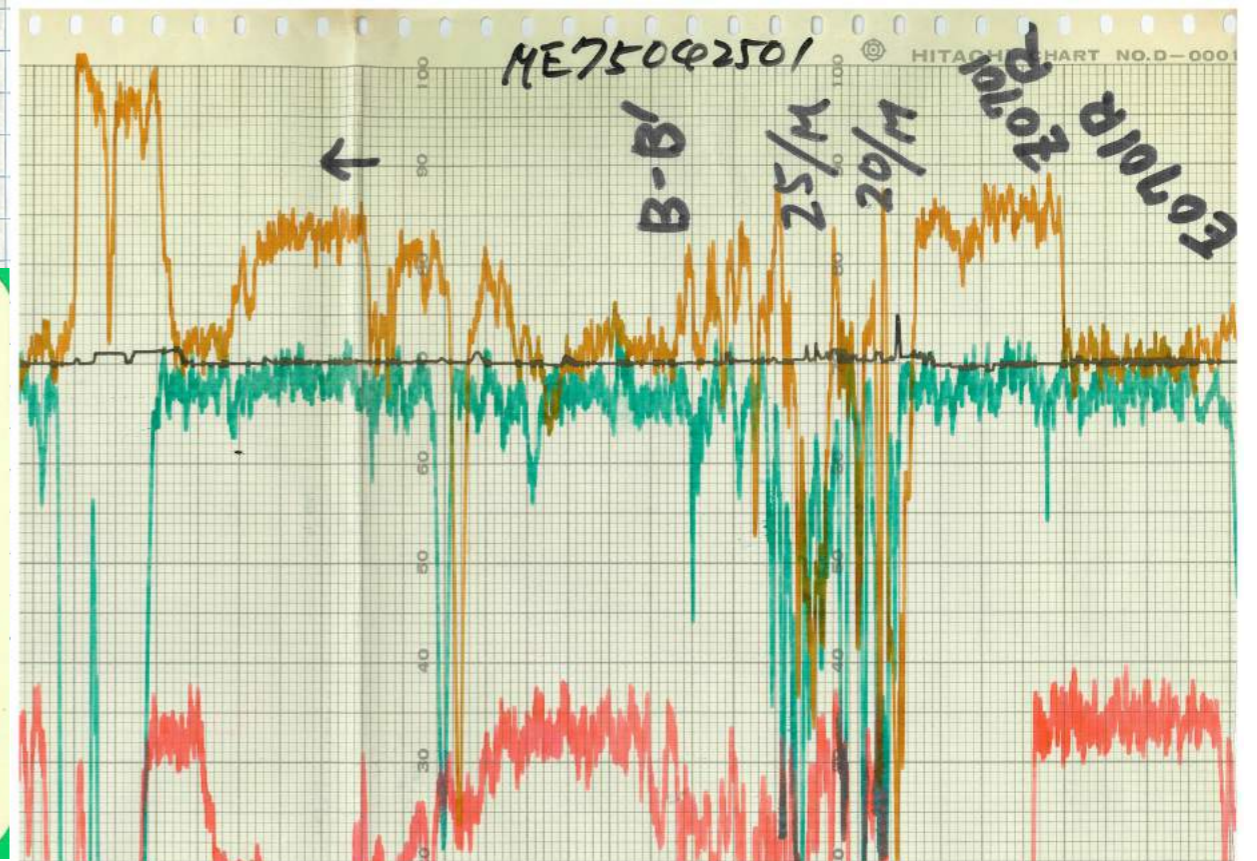
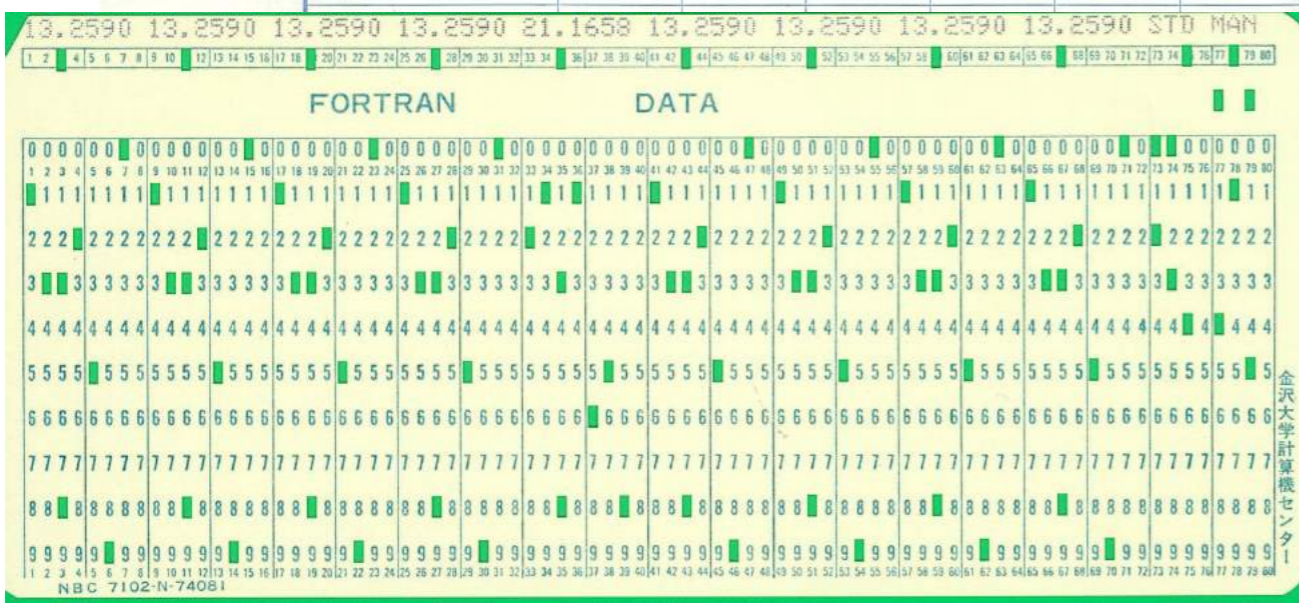
ペンレコーダの記録

Oligoclaseを再確認できたのは、多分手動測定だったから（装置に付きっきり）

YS-3A Jan. 27, 77 0.02uF 15KV. No. _____ 20KV. 0.009uF

	Si	Ti	Al	Fe	(metal) Mn	Mg	Ca	Na	K	Ca	Na
STD OX	147680	160595	174658	101928	147821	153106	83764	9666	26746	47019	3381
K90	52163	2184	21231	12591		14751	17702	2125	2133		
BC	338		20	257		388	388	191			
11	504		421	302		268	122	213			
Al		344			159	276				201	109
Fe		336			1373	208				290	108
P101	40536	891	13921	18483	645	11823	21224	474	542		
P102	40536	891	13921	18483	645	11823	21224	474	542		
P103	40536	891	13921	18483	645	11823	21224	474	542		
P104	40536	891	13921	18483	645	11823	21224	474	542		
P203	49871	378	53428	1927	239	367	41935	171	251		
P204	49871	378	53428	1927	239	367	41935	171	251		
P205	49871	378	53428	1927	239	367	41935	171	251		
P206	49871	378	53428	1927	239	367	41935	171	251		
P207	49871	378	53428	1927	239	367	41935	171	251		
P208	49871	378	53428	1927	239	367	41935	171	251		
P209	49871	378	53428	1927	239	367	41935	171	251		
P210	49871	378	53428	1927	239	367	41935	171	251		
P205 chl	26857	432	29038	23588	510	20016	463	192	326		
P206 pl.			34429	529			2211				
P207 pl.			25958	529			2211				
P208 pl.			35364	456			4338				
P209 pl.			33656	355			2513				
P210 pl.			34376	483							

現在のようない自動化はされておらず、ゴニオメータ（回折結晶と計数器の可動部）は手動、カウント数も計数管の値を集計用紙に手書きで写し、それをテープあるいはカードに手入力して、大型計算機で補正計算をしていた。（佐藤博明先生 最終講義録2010年「火山岩とつきあって40年」より抜粋，一部を改変）



パンチカード

ペンレコーダの記録

先日は、シイベル機械トクにおいて 新知識を得、
とくに存じました

さて、金沢大学の坂野氏から榎並氏の論文について
手紙を寄せて頂いて、これに就し、小生から
左記の要旨を返信して置きました

「論文の内容は有意味であり価値のあるもの、小生には
わかるが、今のままの形式は、一般の読者(外人を含む)に
は、わかりにくいと思う。もっとポイントがはっきりし
た方がいいらしい。そのことは小生から 瀬田氏に話してある。
瀬田氏から友人に伝えてあると思う。つぎは、瀬田氏と相談
の上、友人に、原稿の書き方とその指導をしてほしい。
原稿が整いさえすれば、内容は有意味である故、小生から
喜んで、プロシーディングスに紹介する。」

以上を、おまじに小生所見を申す所である。

(1) はじめに「野子の三浦川楽成者」についての 従来の形え方
の解説を述べ

(2) オリジナルと複製の経緯を報告し、

(3) それを従来の形え方に就してその意義を論じ

(4) 以上を、今回の論文(研究)のディテールを記す

ことをしよるべきか。

諸々の表題も、内容にあわせて、もっとアップグレードする
ように変更はしよるべきか。

一九八〇年一月

坪井誠太郎

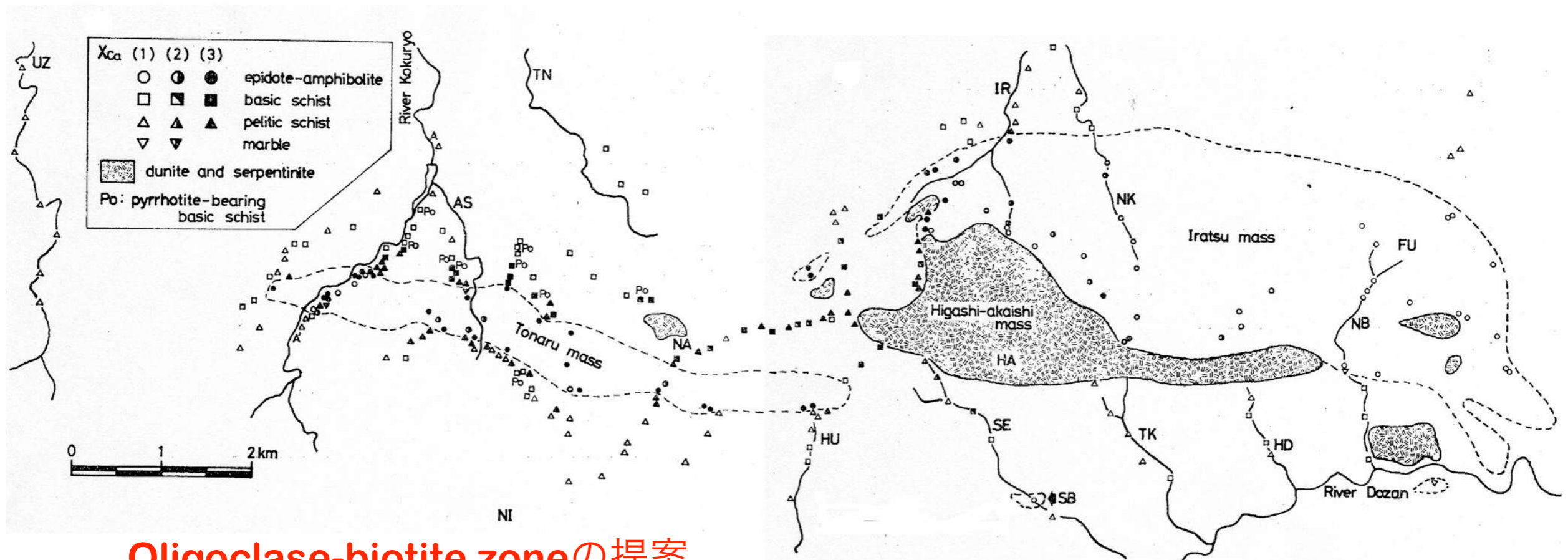
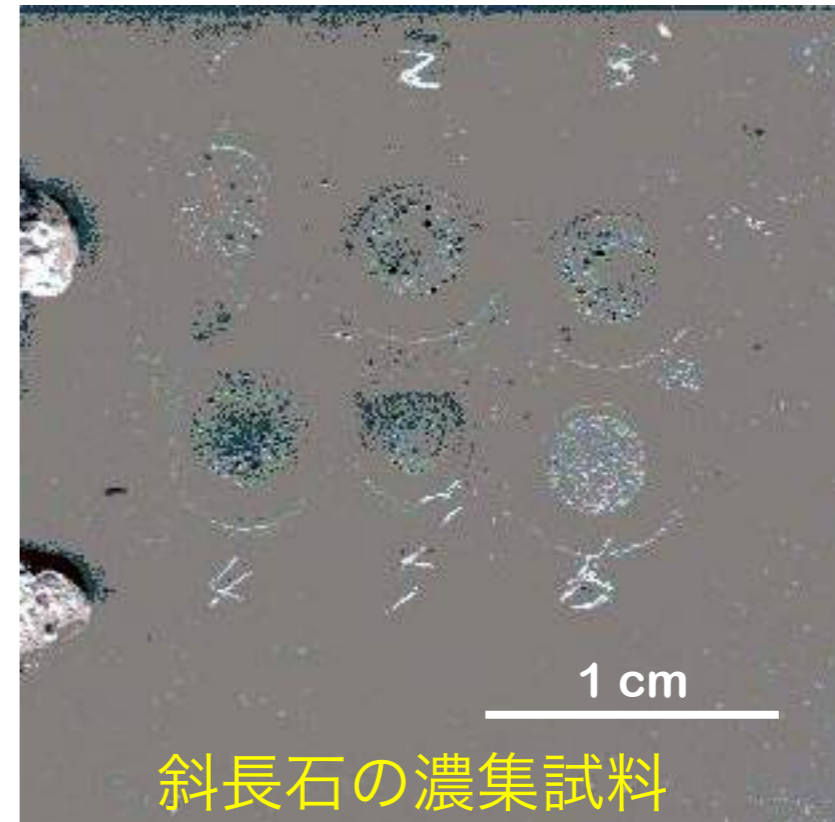
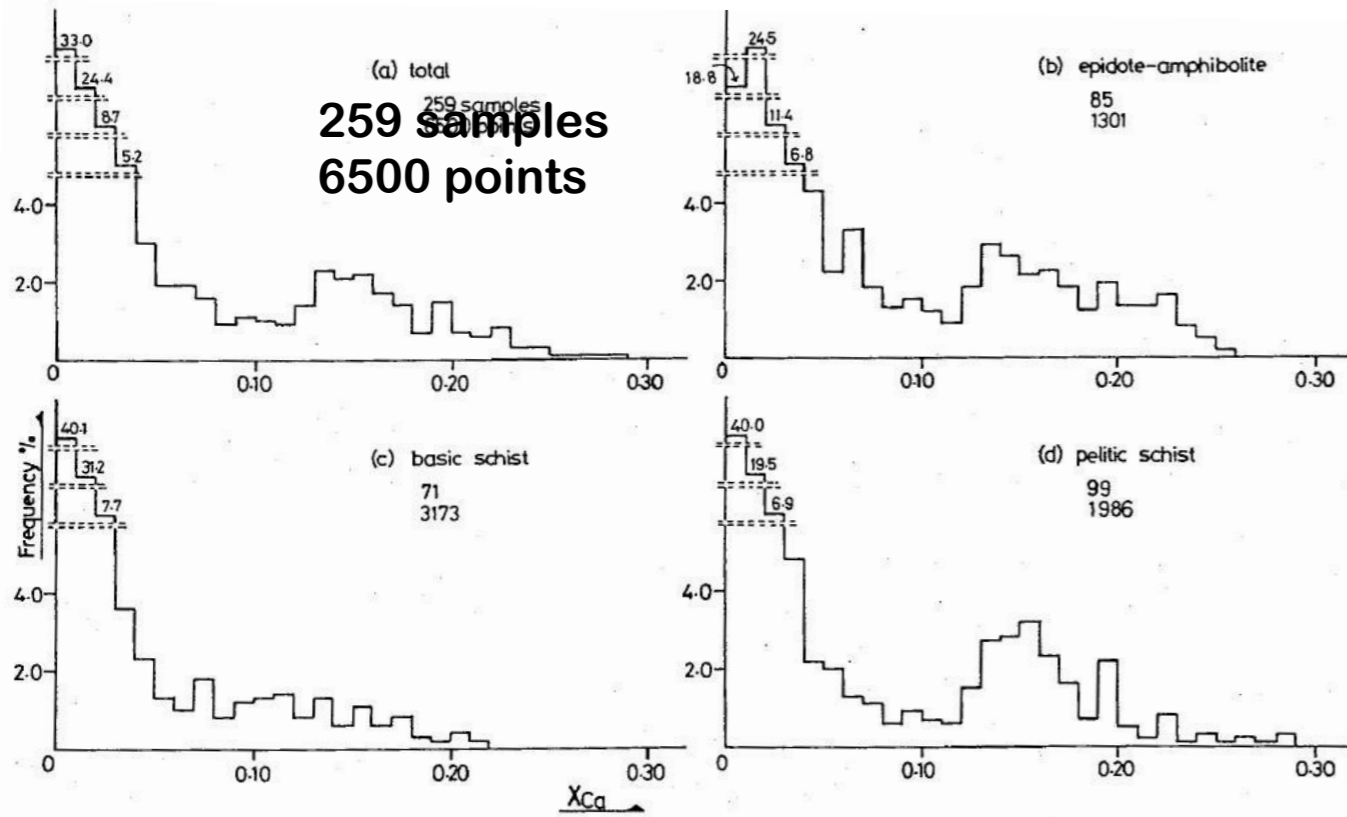
諏訪兼位様



坪井誠太郎
(1893-1986)
34歳

諏訪 (2018)

大量分析 統計処理 固溶体組成を使った分帯



Oligoclase-biotite zoneの提案

榎並 (1982)

榎並正樹 (1982) 四国中央部別子地域・三波川帯の灰曹長石-黒雲母帯. 地質学雑誌, 88, 887-900, doi: 10.5575/geosoc.88.887.

復活のOligoclase zone

坂野先生への恩返し？

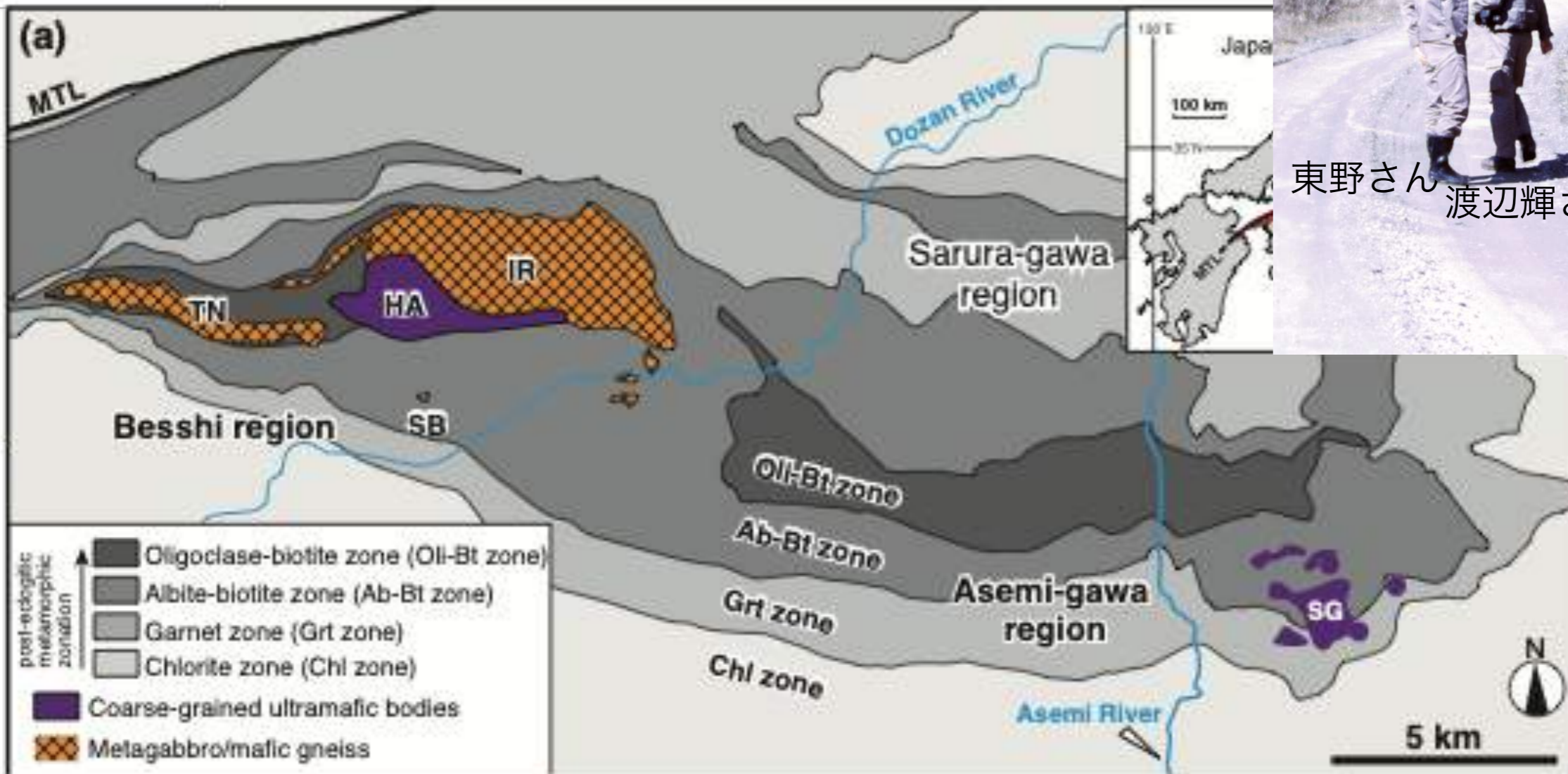
その後、東野さんの誰も真似のできない労作が公表される（東野, 1990; Higashino, 1990）

東野さんの変成分帯があったから、世に出た学位論文や学術論文は数知れず。



東野さん 渡辺輝さん

1977/03
汗見川



Taguchi, T., Enami, M. and Kouketsu, Y. (2019) Metamorphic record of the Asemi-gawa eclogite unit in the Sanbagawa belt, southwest Japan: Constraints from inclusions study in garnet porphyroblasts. Journal of Metamorphic Geology, 37, 181-201. doi: 10.1111/jmg.12456.

Kurata & Banno (1974), 東野 (1975), Enami (1983),
Sakai (1985), 古山ほか (1985), 東野 (1990)

東野 (1990), Taguchi et al. (2018)

(著作権上の理由により削除)

Journal of Metamorphic Geology / Volume 1, Issue 2

Petrology of pelitic schists in the oligoclase-biotite zone of the Sanbagawa metamorphic terrain, Japan: phase equilibria in the highest grade zone of a high-pressure intermediate type of metamorphic belt

M. ENAMI

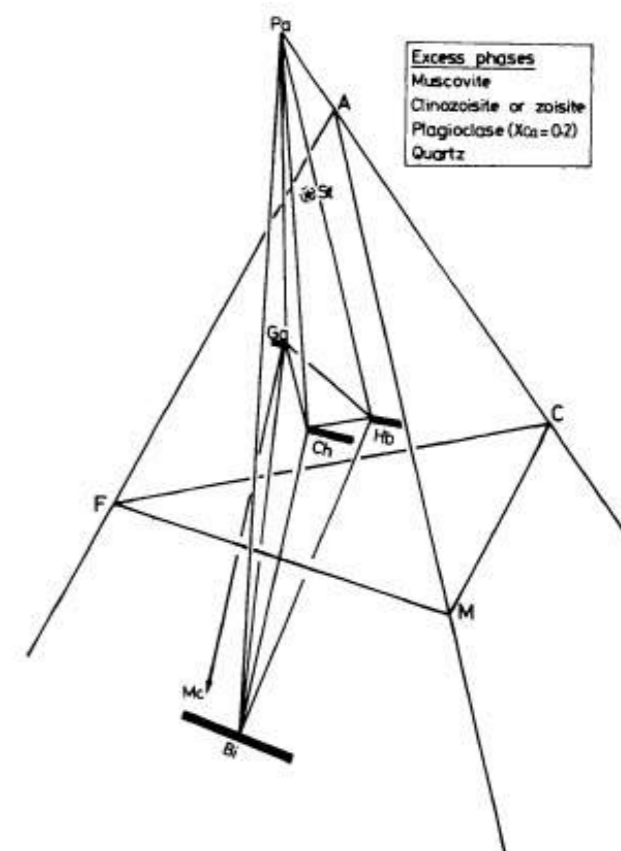
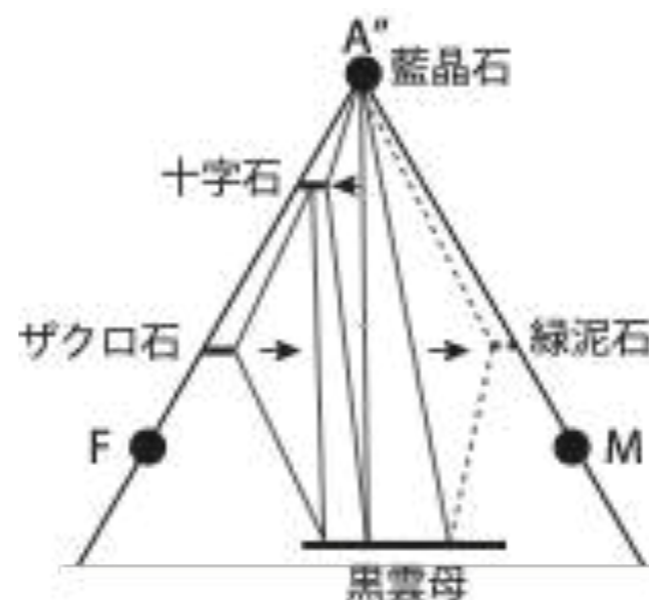
First published: June 1983

<https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1983.tb00269.x>

Cited by: 85

Abstract

The oligoclase-biotite zone of the Bessi area, central Shikoku, Japan, contains sodic plagioclase ($X_{Ca} = 0.10-0.28$)-bearing assemblages in pelitic schists of this zone, all with quartz, sodic plagioclase, muscovite and clinozoisite (or zoisite). Mineral assemblages in pelitic schists of this zone, all with quartz, sodic plagioclase, muscovite and clinozoisite (or zoisite), are garnet + biotite + chlorite + paragonite, garnet + biotite + hornblende + chlorite, and partial assemblages of these two types. Correlations between mineral compositions, mineral assemblages and mineral stability data assuming $P_{H_2O} = P_{solid}$ suggests that metamorphic conditions of this zone are about $610 \pm 25^\circ\text{C}$ and 10 ± 1 kbar.



(著作権上の理由により削除)

Edited By: Michael Brown, Bernardo Cesare, Katy Evans, Doug Robinson, Richard White and Donna Whitney

Impact factor: 4.418

ISI Journal Citation Reports © Ranking: 2017: 2/47 (Geology)

Journal of Metamorphic Geology / Volume 1, Issue 2

Petrology of pelitic schists in the oligoclase-biotite zone of the Sanbagawa metamorphic terrain, Japan: phase equilibria in the highest grade zone of a high-pressure intermediate type of metamorphic belt

M. ENAMI

First published: June 1983

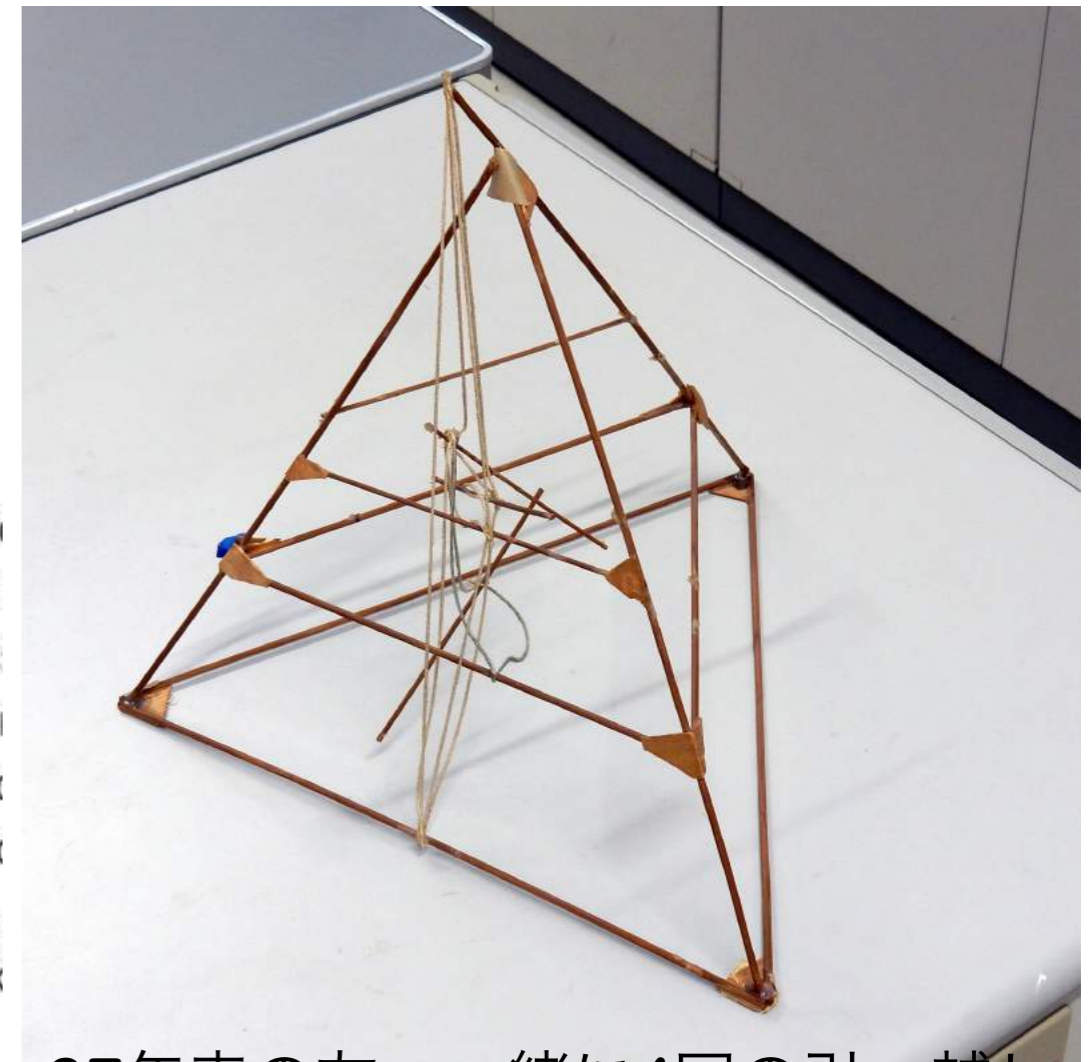
<https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1983.tb00269.x>

Cited by: 85

Abstract

The oligoclase-biotite zone of the Bessi area, central Shikoku is characterized by plagioclase ($X_{Ca} = 0.10-0.28$)-bearing assemblages in pelitic schists, and the highest-grade zone of the Sanbagawa metamorphic terrain. Mineral assemblages in schists of this zone, all with quartz, sodic plagioclase, muscovite and clinopyroxene, are garnet + biotite + chlorite + paragonite, garnet + biotite + hornblende, and partial assemblages of these two types. Correlations between mineral assemblages and mineral stability data assuming $P_{H_2O} = P_{solid}$ metamorphic conditions of this zone are about $610 \pm 25^\circ\text{C}$ and $10 \pm 1 \text{ kbar}$.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1525-1314.1983.tb00269.x> 2019/5/22



37年来の友と一緒に4回の引っ越し

もうひとつの微小領域分析

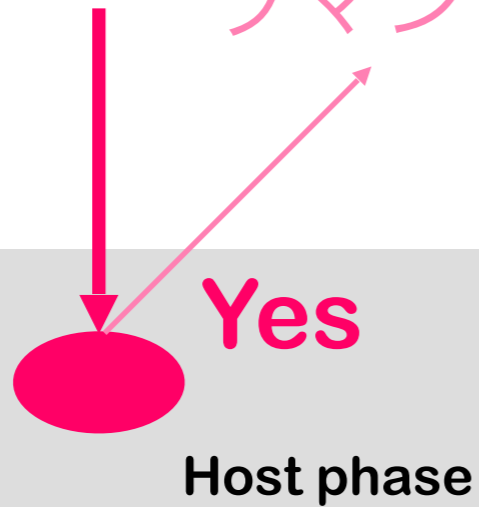
EPMAにはないRaman 分光分析法の強み

光学的に透明な物質中の包有物の分析

Raman spectroscopy

レーザー光

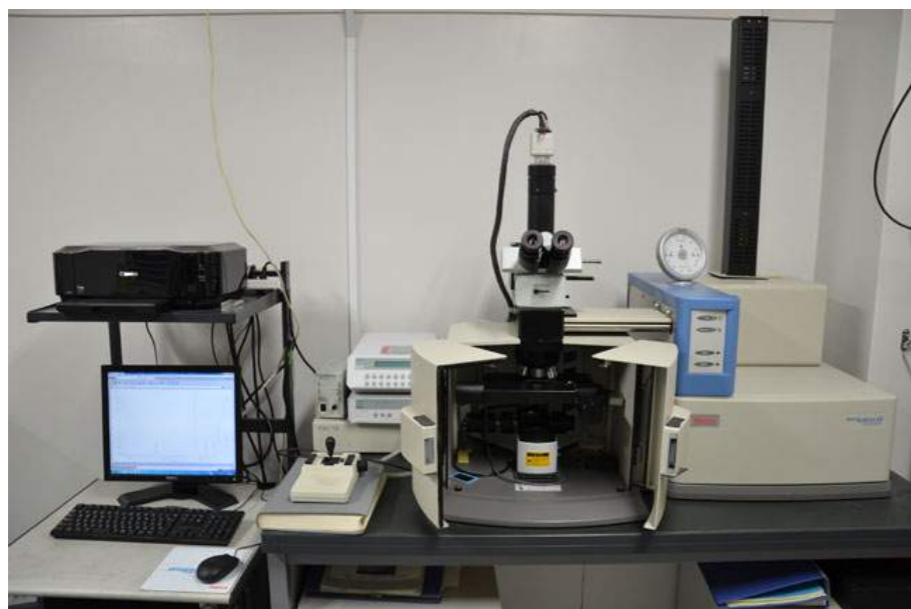
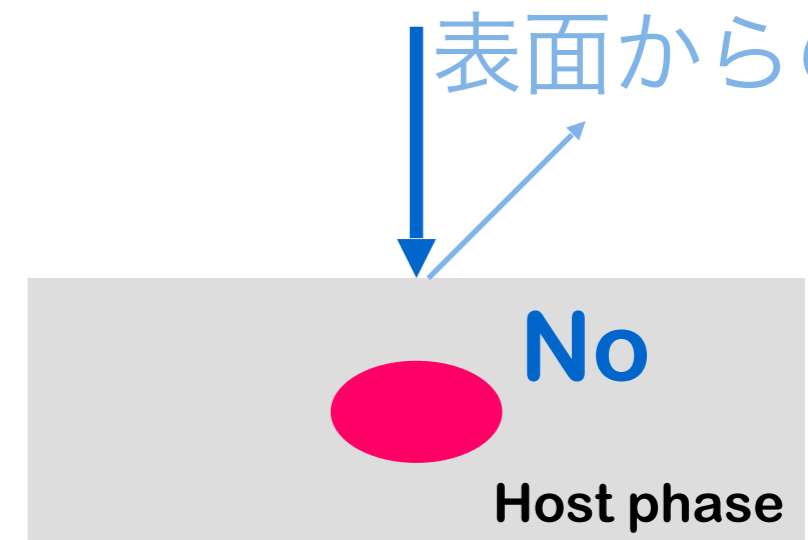
ラマン散乱



包有物分析？

Electron-probe microanalyzer
(EPMA)
電子線

表面からのX線



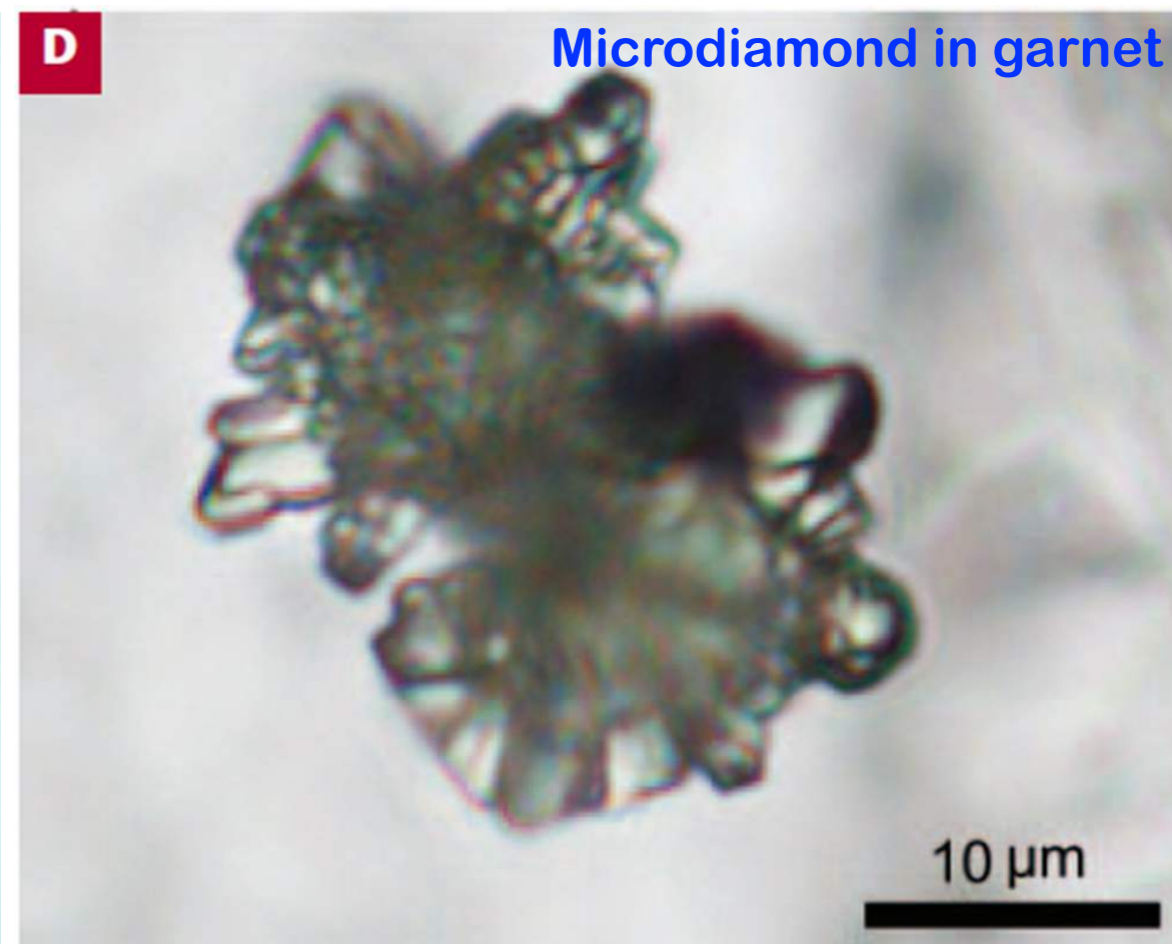
Raman分光装置の一般的利用法

(微小) 鉱物 (物質) の非破壊同定

重要だけれど, これだけではおもしろくない



<http://www.amnh.org/exhibitions/diamonds/>
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2006/nj/b513451j?page=search> 2019/5/27



Ogasawara (2005)

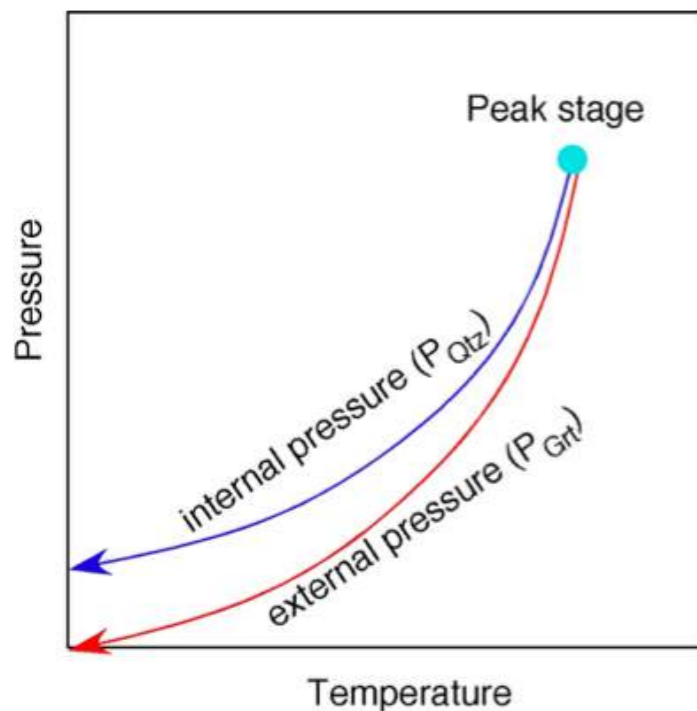
https://www.amazon.co.jp/dp/4657094033/ref=sr_1_2?ie=UTF8&s=books&qid=1240816637&sr=1-2 2019/6/3

石英ラマン圧力計

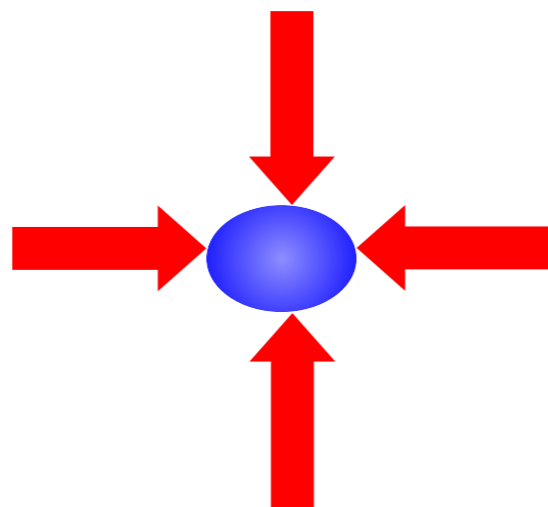
ざくろ石を圧力容器として使おう

基質の石英単結晶

ざくろ石に包有されている石英粒
(ざくろ石は圧力容器)



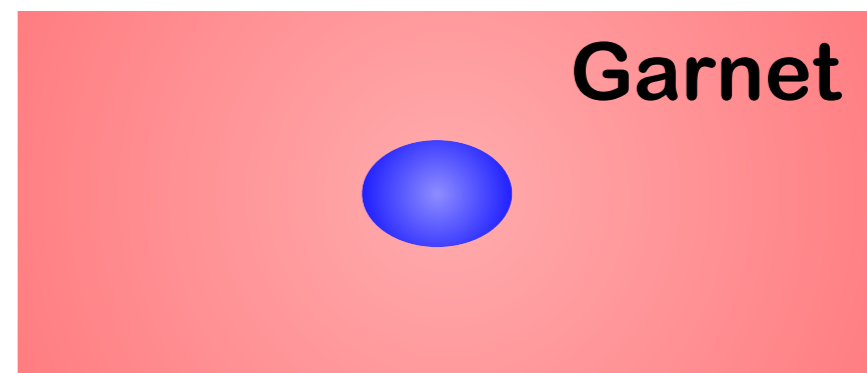
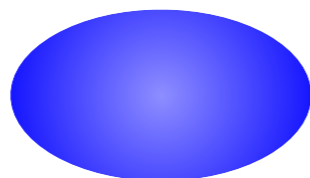
地下深部・高圧条件



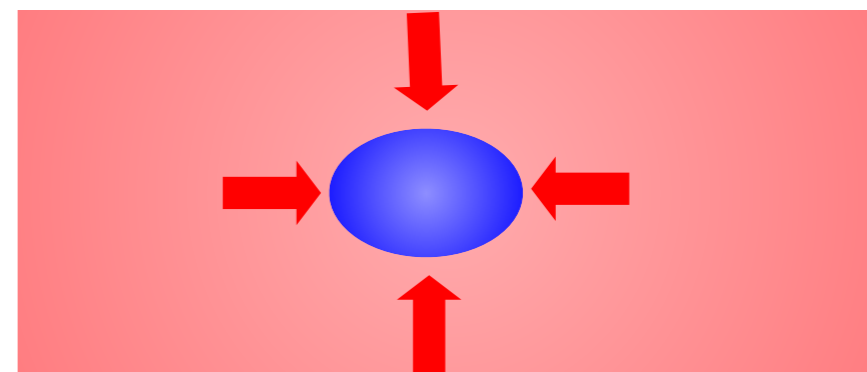
上昇・地表の削剥
圧力低下

石英粒の膨張

大気圧



圧縮率の違い **Garnet << Quartz**

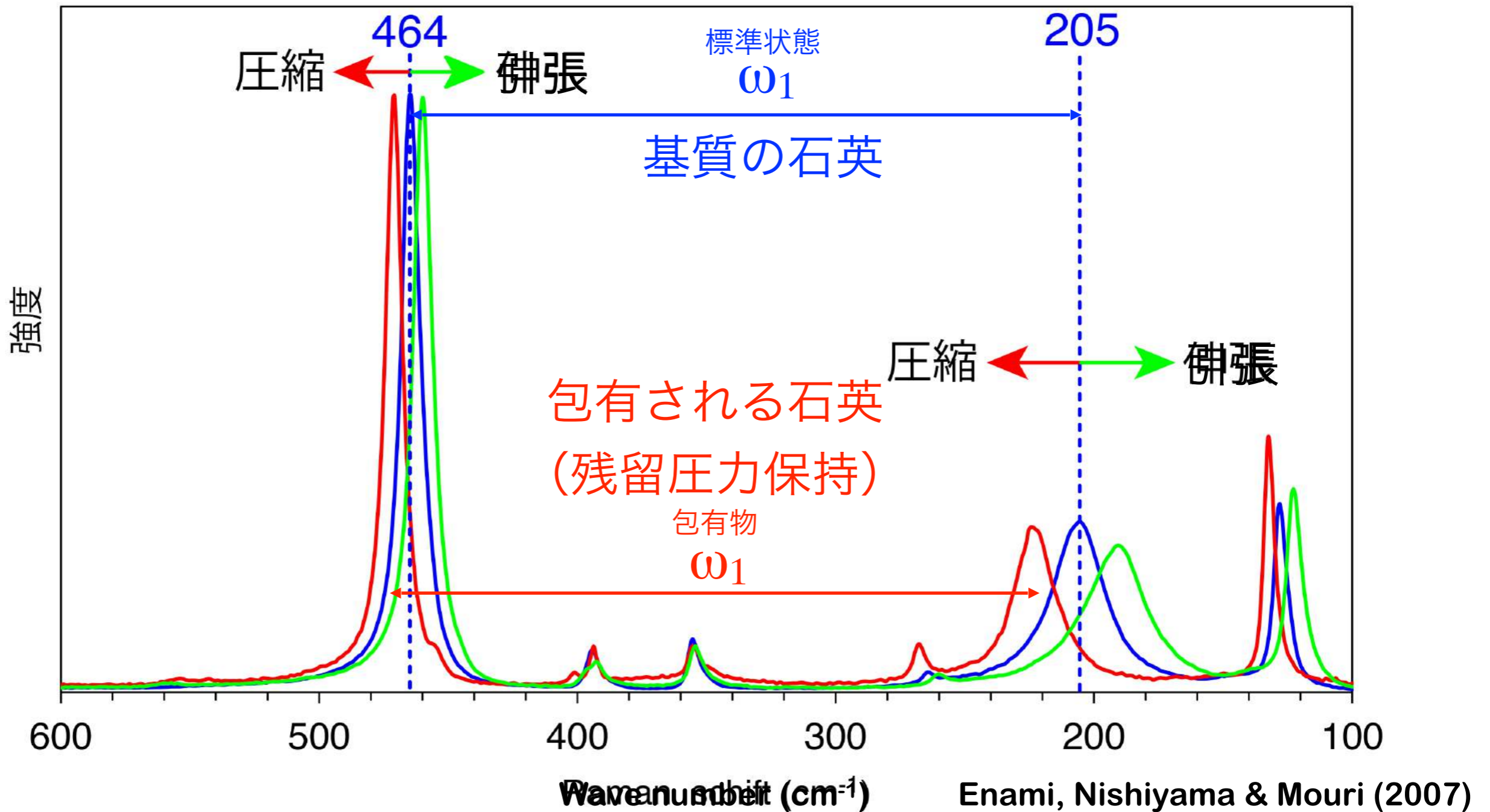


ラマン法で測定

石英は残留圧力を持つ

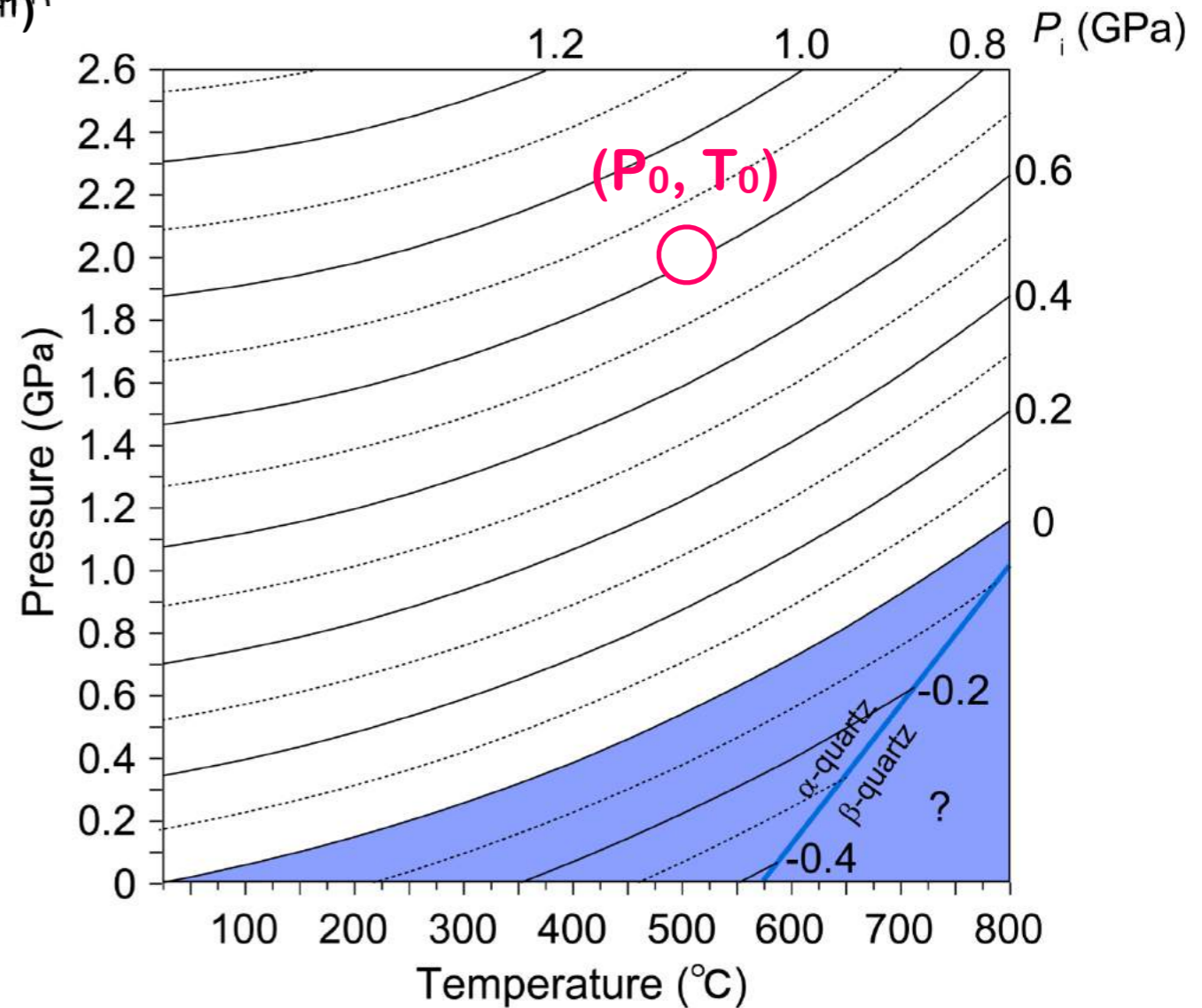
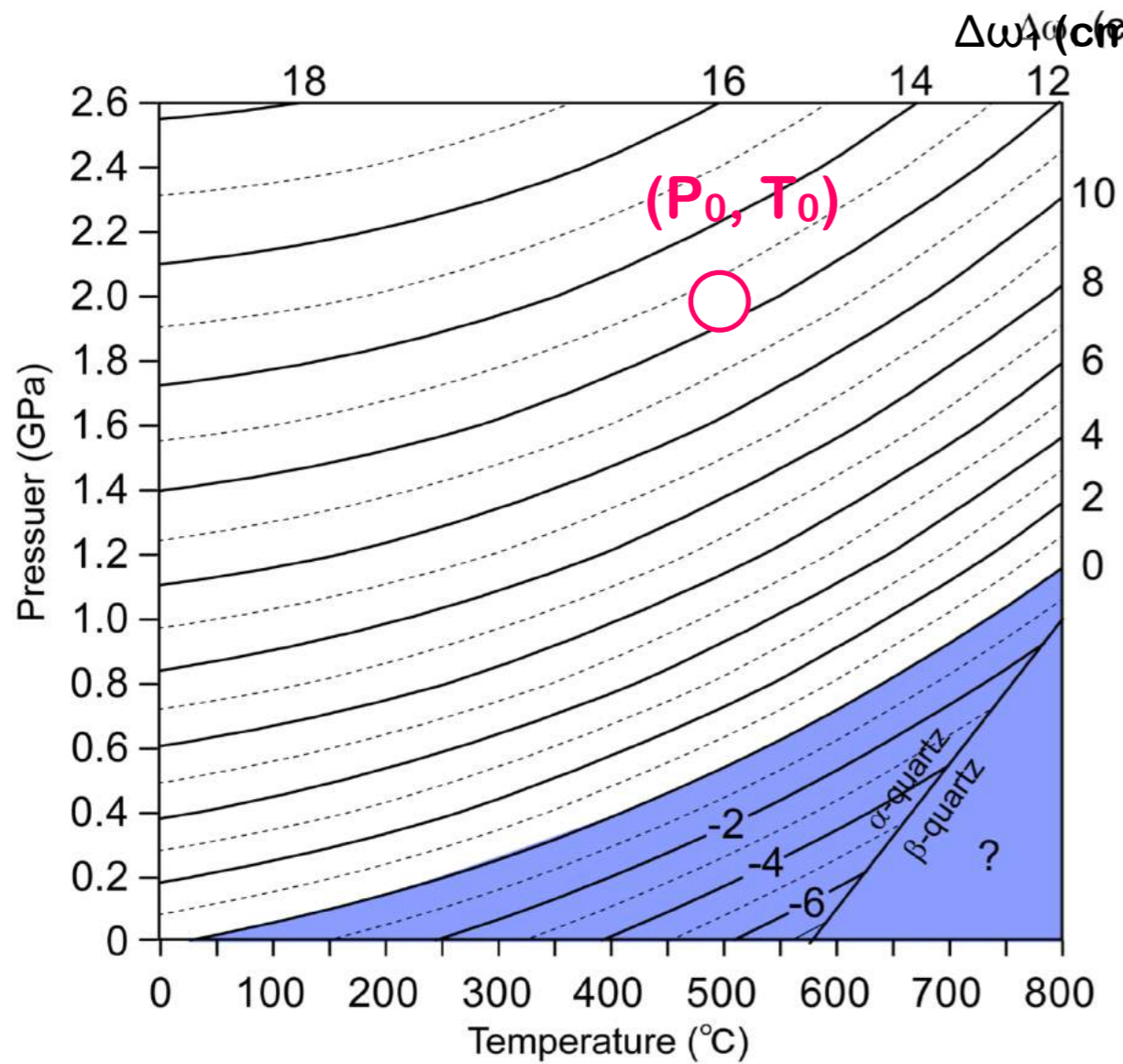
残留圧力 (P_i) をラマンシフト ($\Delta\omega_1$) で測定する

$$\Delta\omega_1 = \overset{\text{標準状態}}{\omega_1} - \overset{\text{包有物}}{\omega_1} = f(P_i)$$



石英ラマン圧力計の提唱

Kouketsu et al. (2014b)

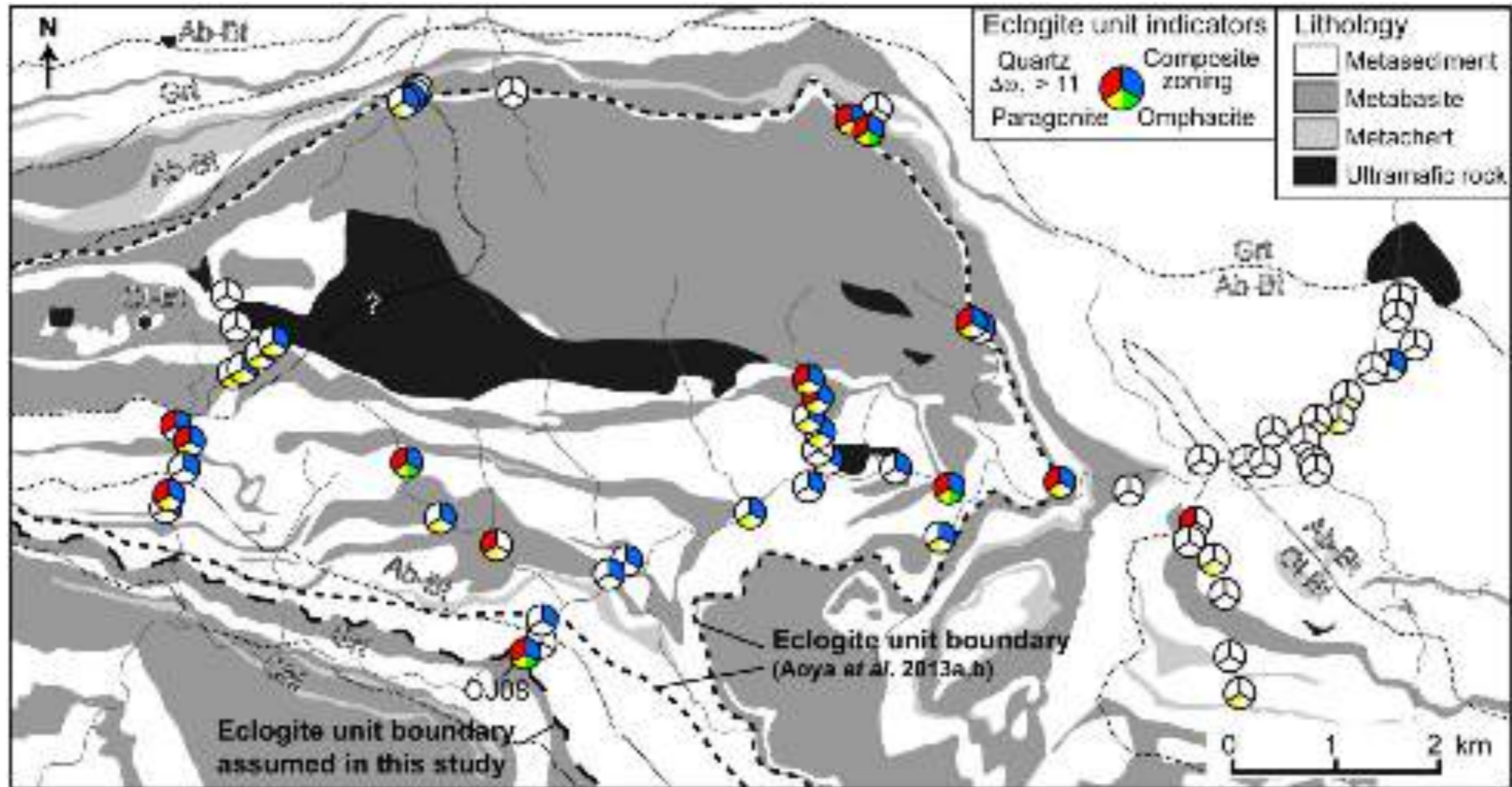


$$\Delta\omega_1 = f(P_0, T_0) \quad \longrightarrow$$

残留圧力 $P_i = f(P_0, T_0)$

$$\frac{V_h(P, T)}{V_h(P_0, T_0)} = \frac{V_i(P_i, T)}{V_i(P_0, T_0)} - \frac{3}{4G}(P_i - P)$$

Schmidt & Ziemann (2000)
Guiraud & Powell (2006)



Kouketsu, Y., Enami, M., Mouri, T., Okamura, M. and Sakurai, T. (2014a) Composite metamorphic history recorded in garnet porphyroblasts of Sambagawa metasediments in the Beshli region, central Shikoku, Southwest Japan. *Island Arc*, 23, 263-280. doi: 10.1111/iar.12075.

Kouketsu et al. (2014a)

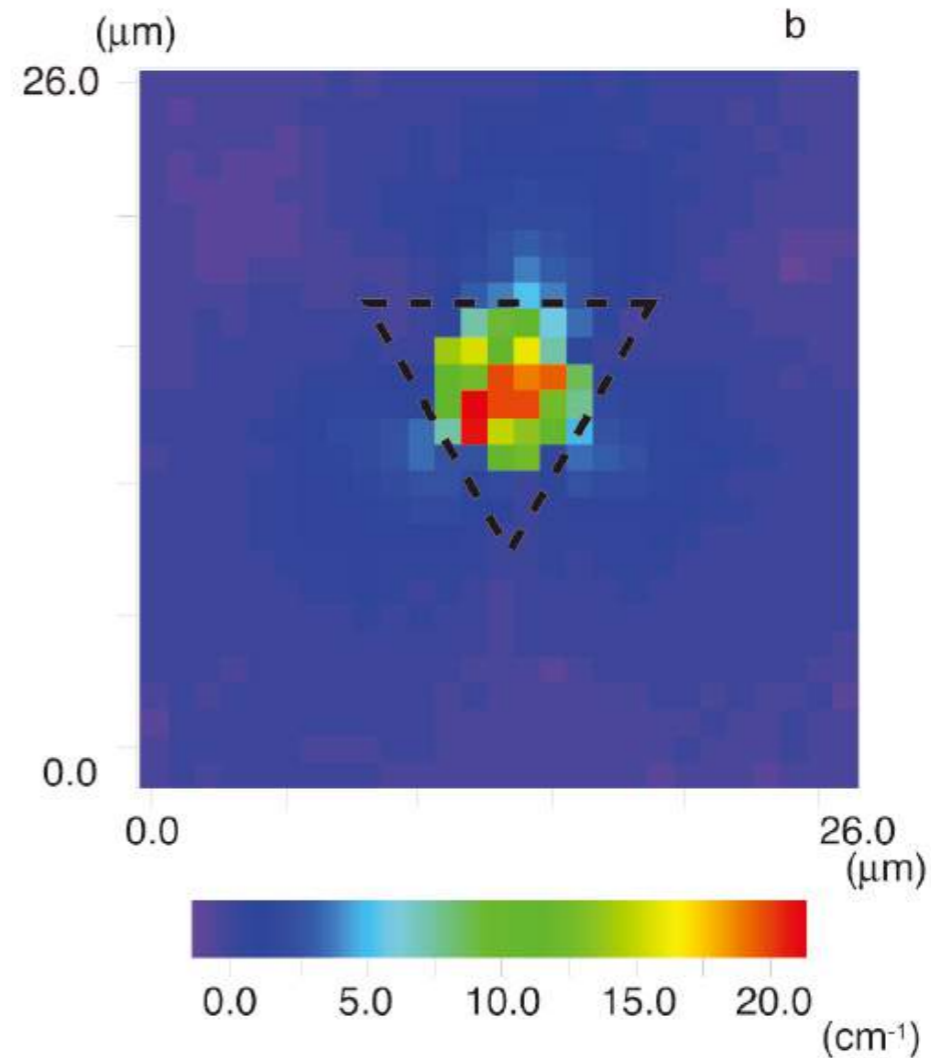
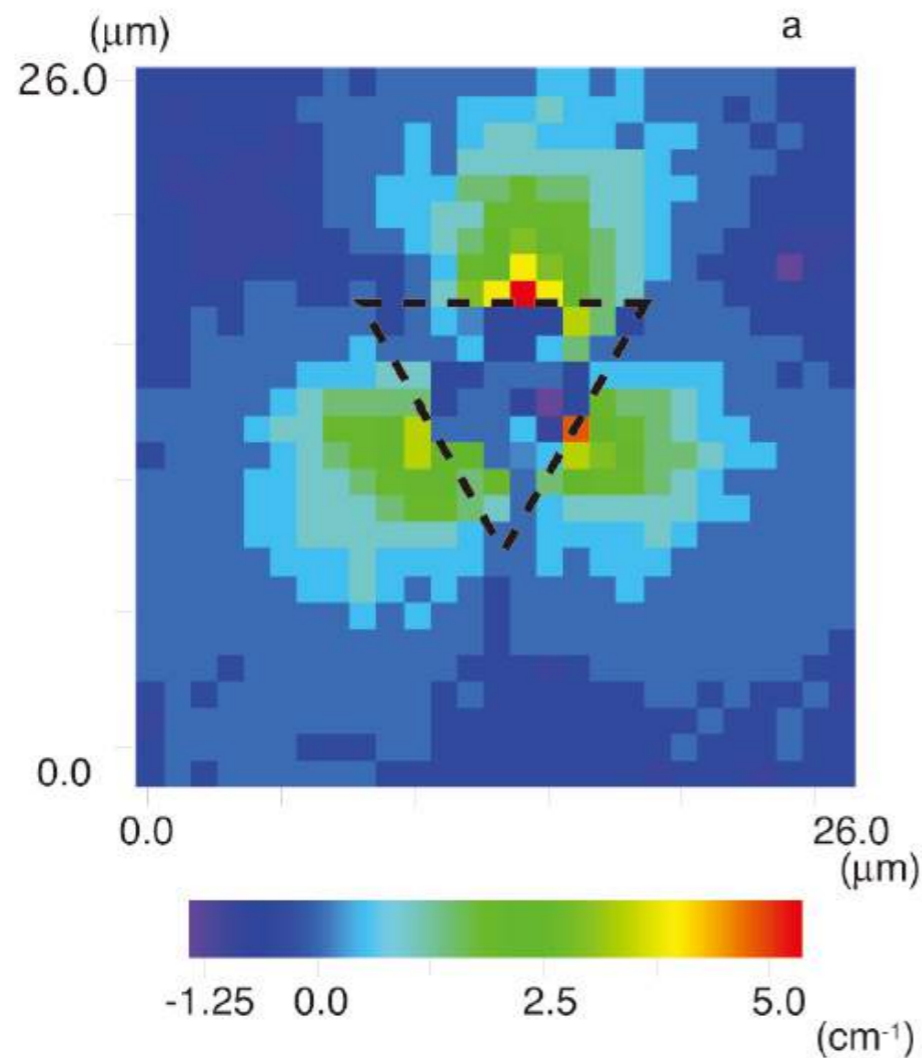
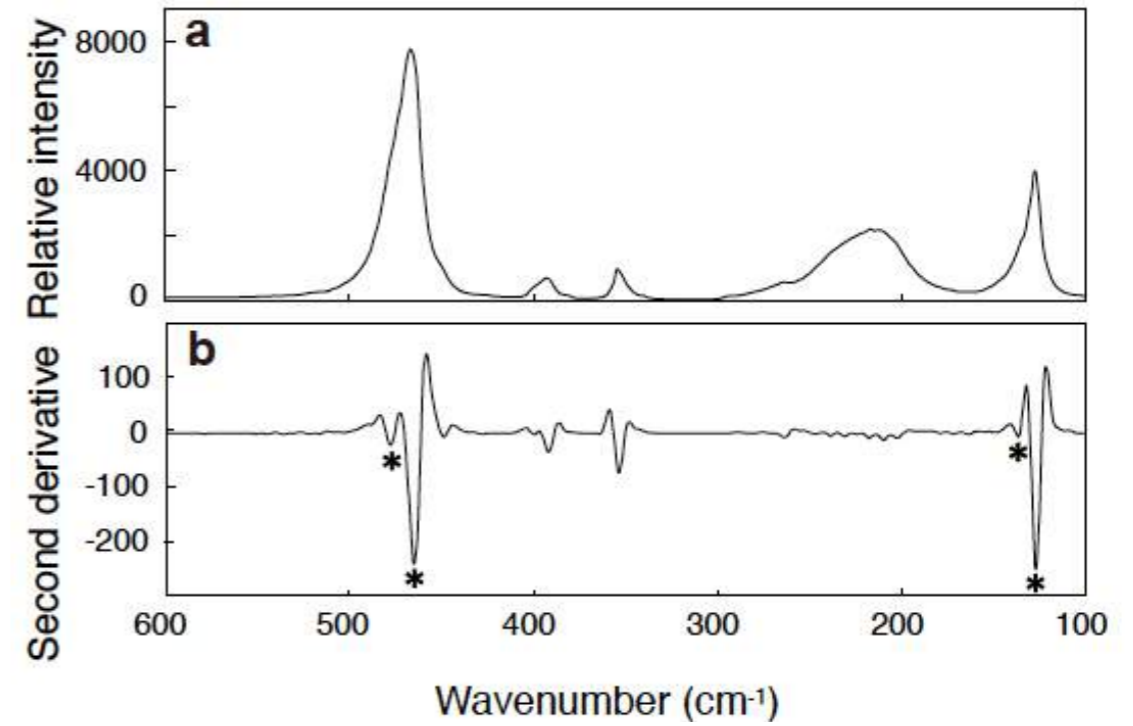
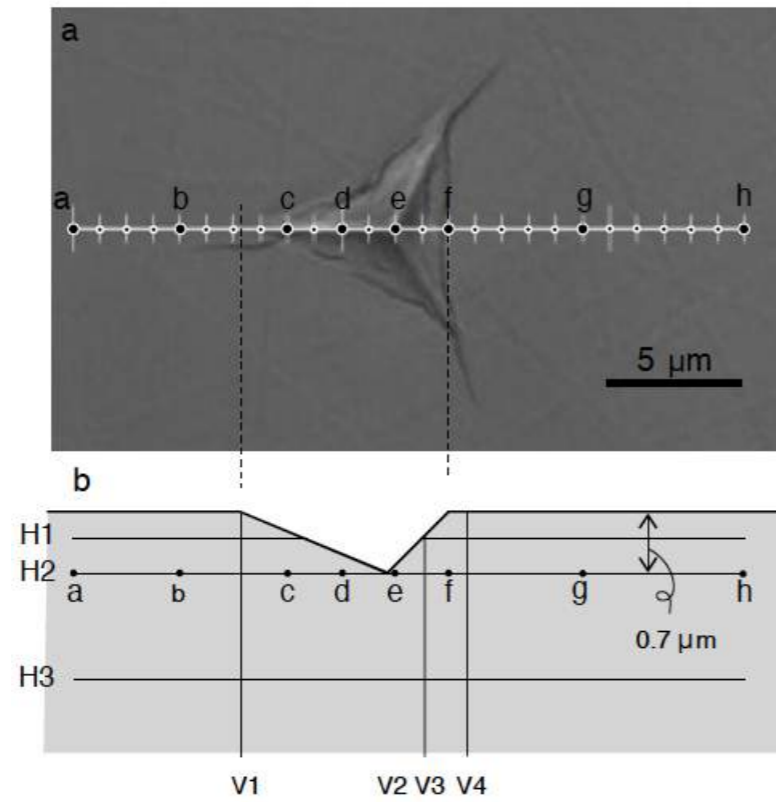
New Calibration

Ashley et al. (2014); Kohn (2014); Ashley et al. (2016); Thomas & Spear (2018)

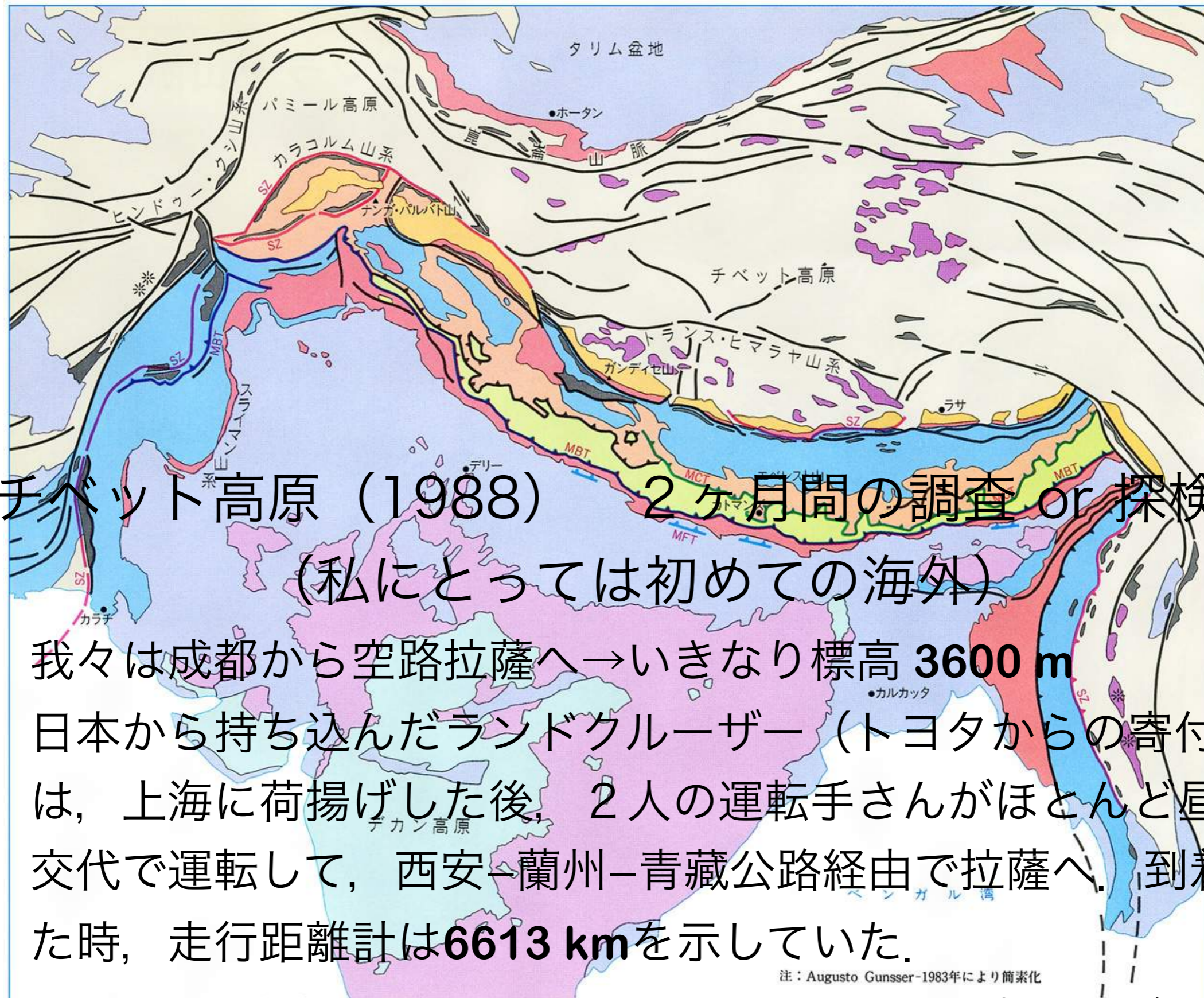
Ultra-high residual compressive stress (>2 GPa) in a very small volume (<1 μm^3) of indented quartz

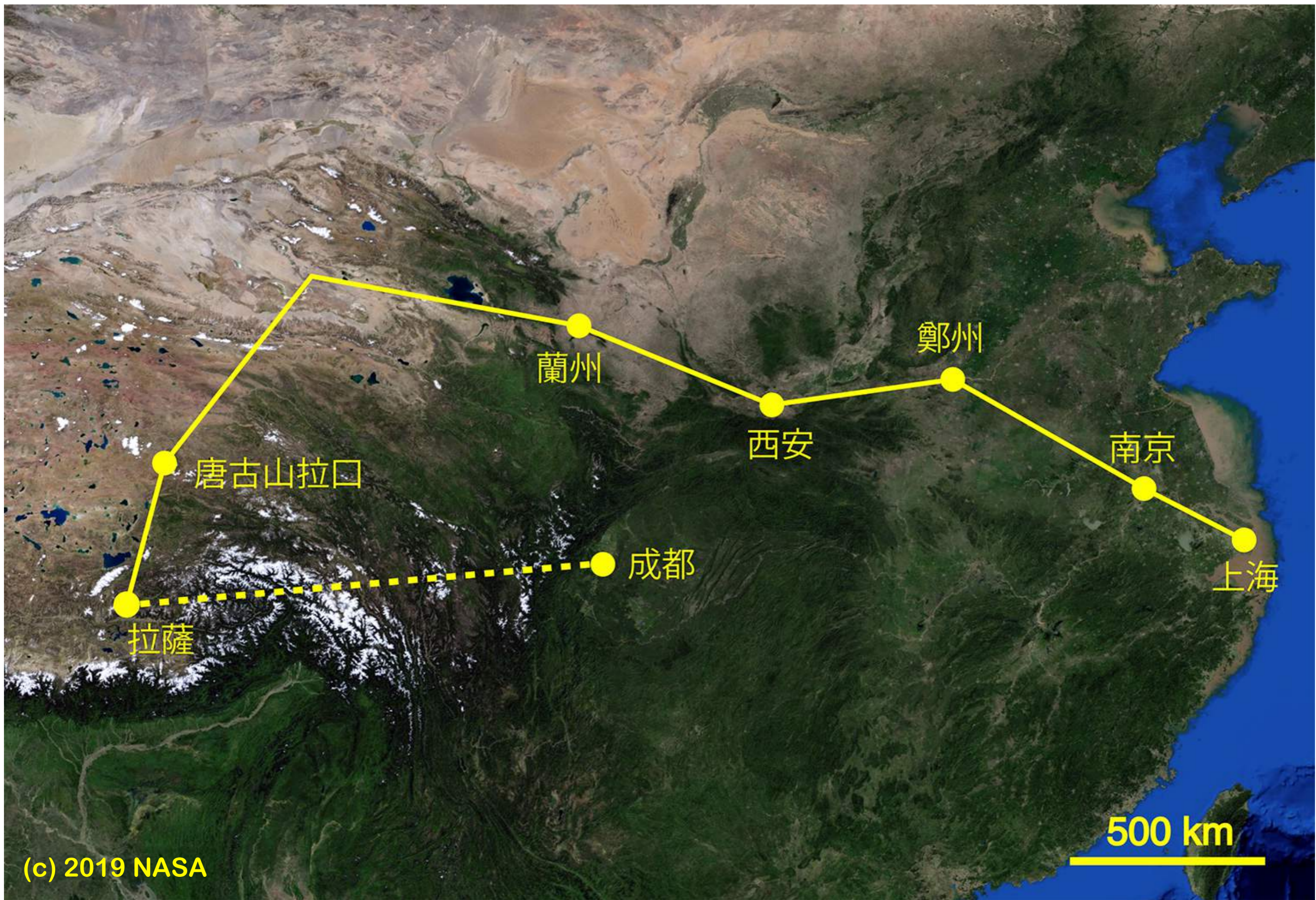
Masuda et al. (2011)

石英

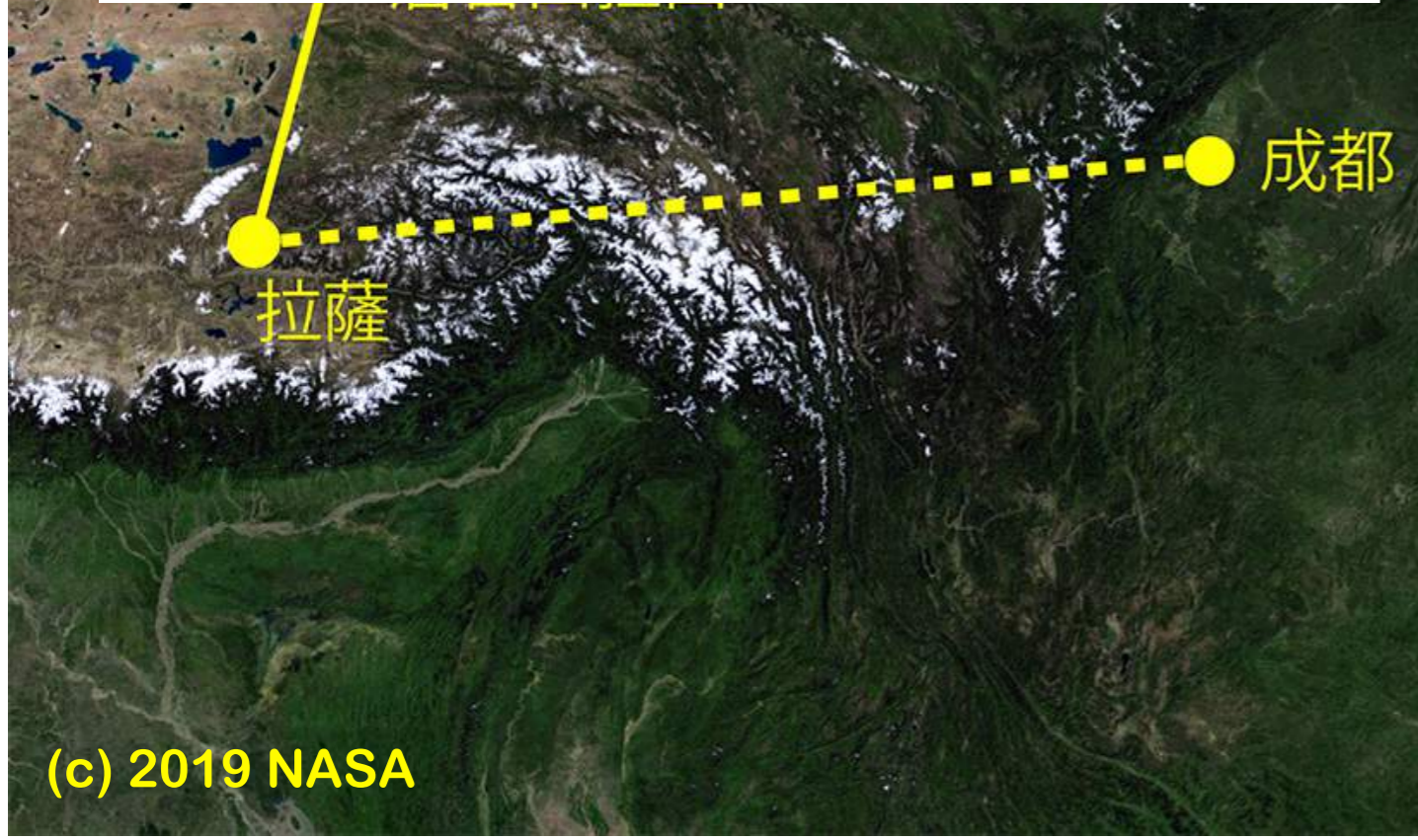
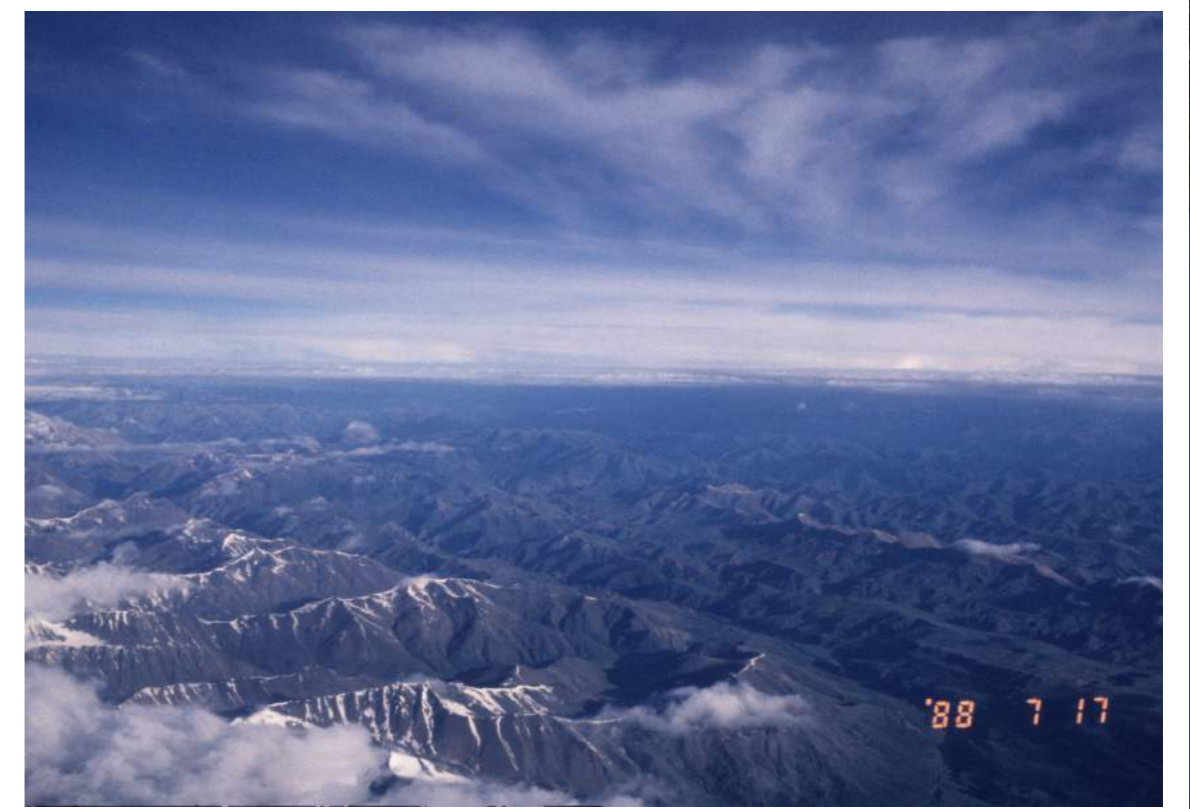


第4章 私の研究その2 海外へ (1988-1989, 1991-1995, 2014)





(c) 2019 NASA



(c) 2019 NASA

チベット高原

青蔵公路

諏訪兼位隊長・小松正幸

柳 哮・高橋正樹

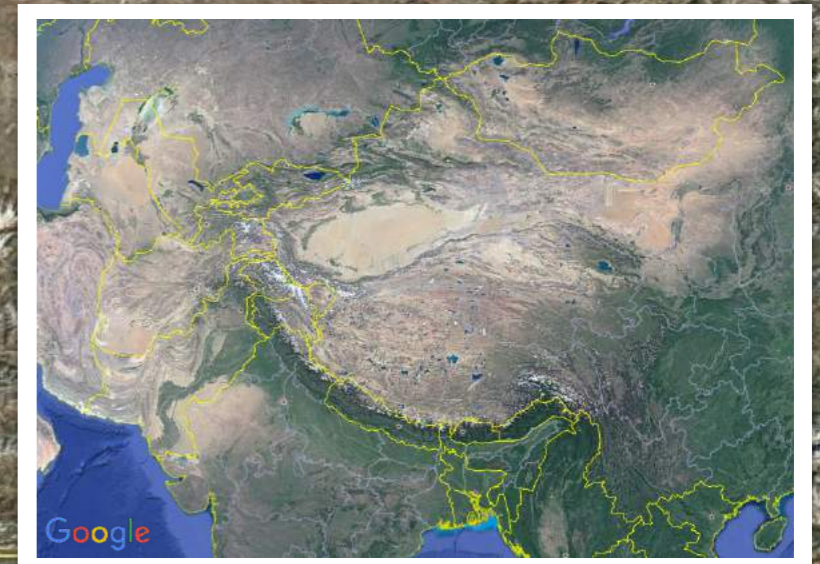
榎並正樹

青海省

唐古拉峠

安多

那曲



チベット自治区

念青唐古拉山脉

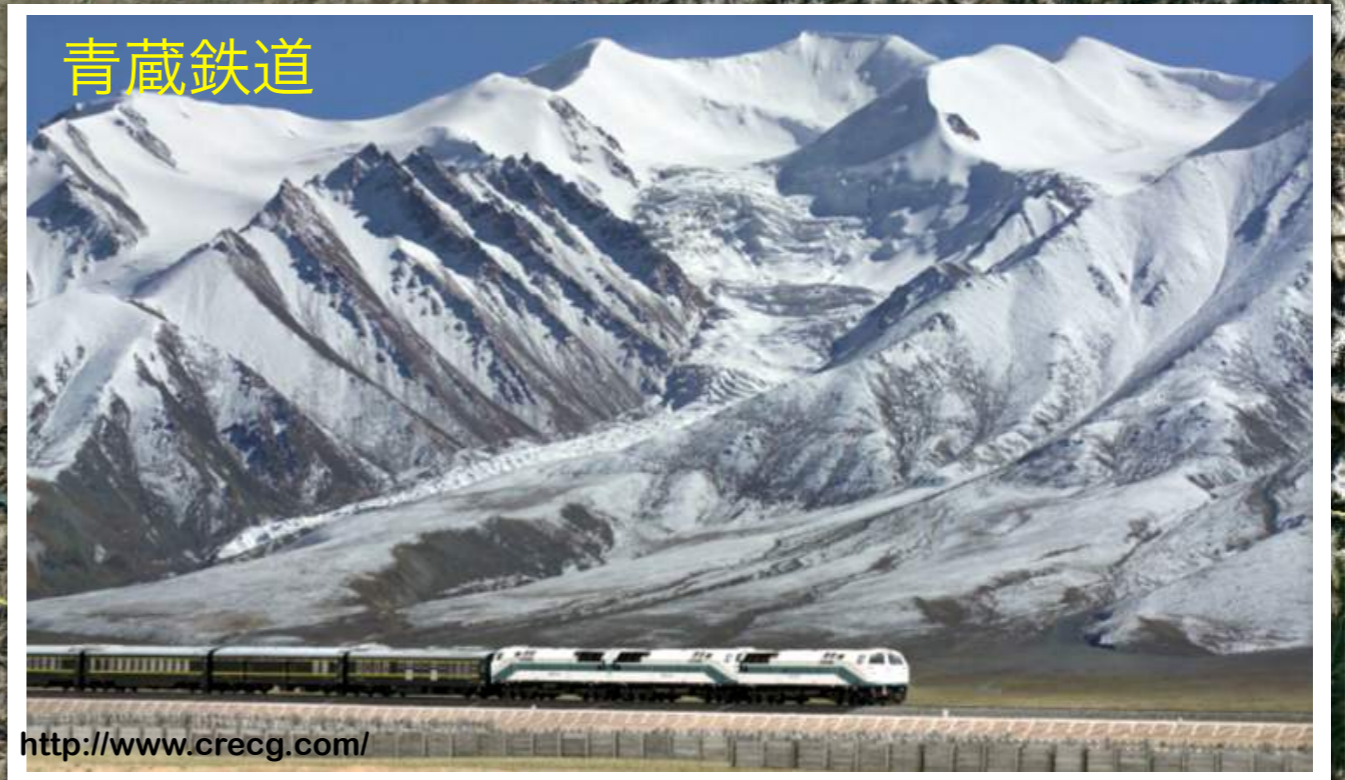
当雄

拉萨

チベ
ラサ

雅魯藏布江

青蔵鉄道



<http://www.crecg.com/>

100 km

Google Earth

Google Earth <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/> 2019/5/29

チベット高原

青蔵公路

諏訪兼位隊長・小松正幸

柳 哮・高橋正樹

榎並正樹

唐古拉峠

安多

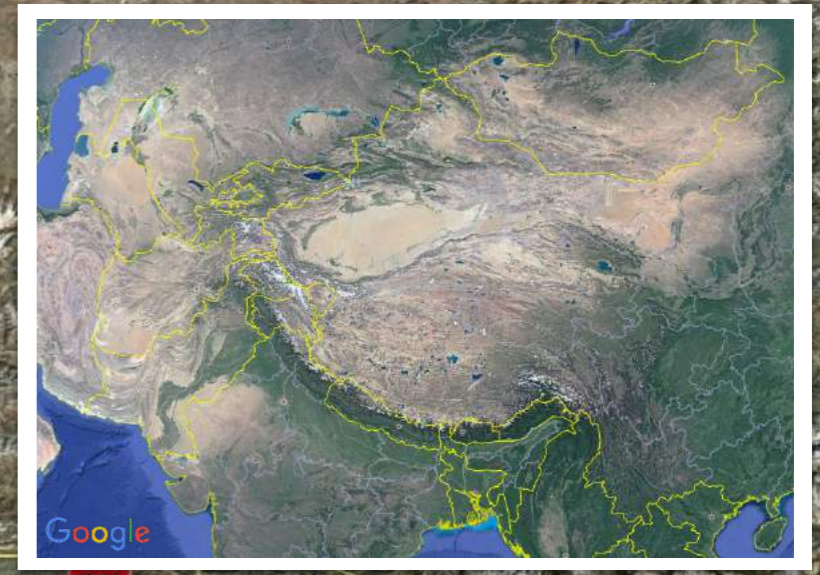
那曲

当雄

拉萨

雅魯藏布江

念青唐古拉山脉



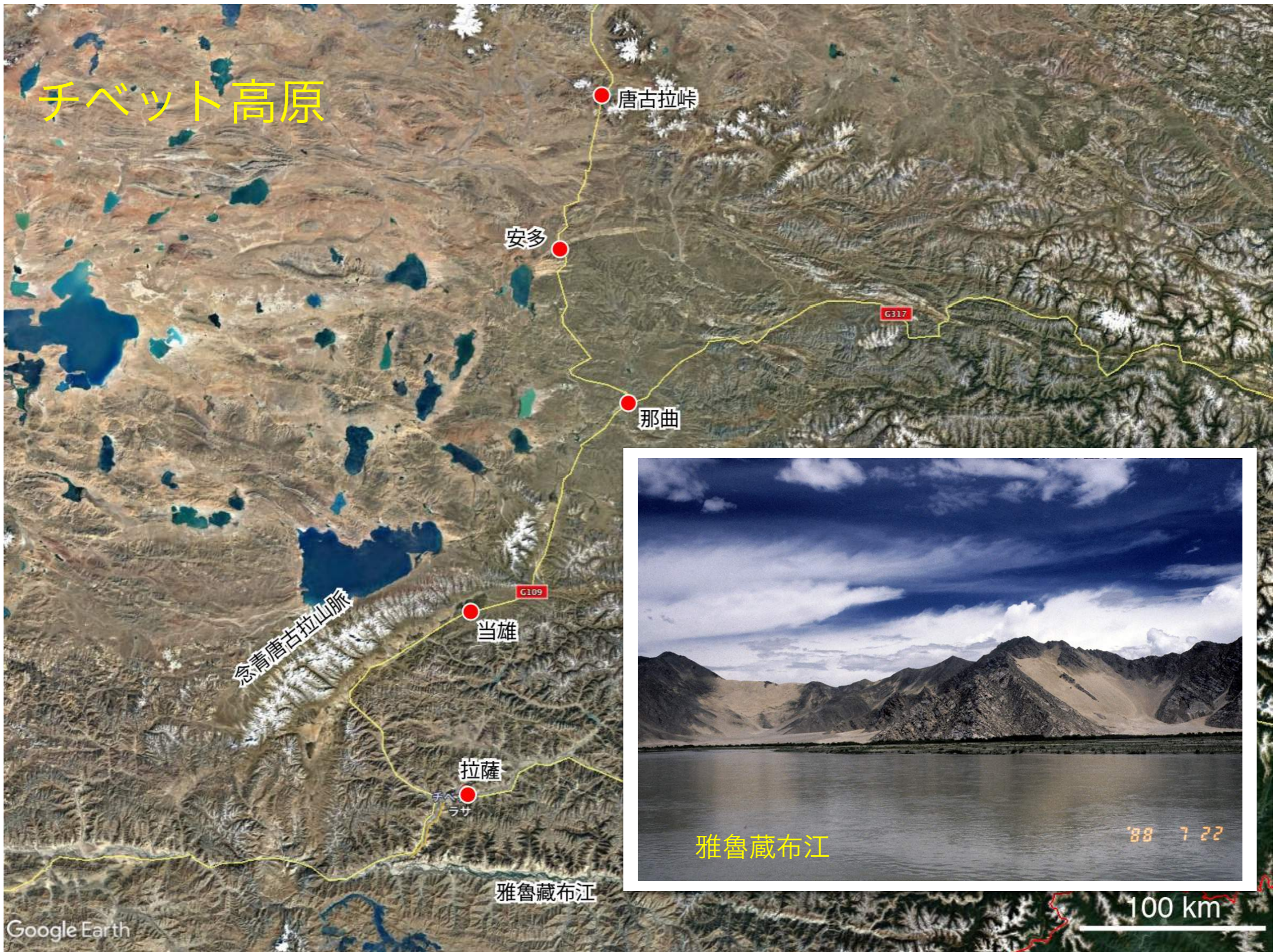
私は、雅魯藏布江沿いの調査をしたかったが、自治区政府が解放軍の許可が下りずに断念
→ 私の出番はなし
→ 論文は1編もかけなかった

「最初の海外調査がここなら、後は何処でも行けるな。」
同行のTさんの励まし？ 慰め？

100 km

Google Earth

Google Earth <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/> 2019/5/29



チベット高原

唐古拉峠

安多

那曲

G317

念青唐古拉山脉

当雄

G109

拉萨

チベ
拉萨

雅魯藏布江

雅魯藏布江

'88 7 22

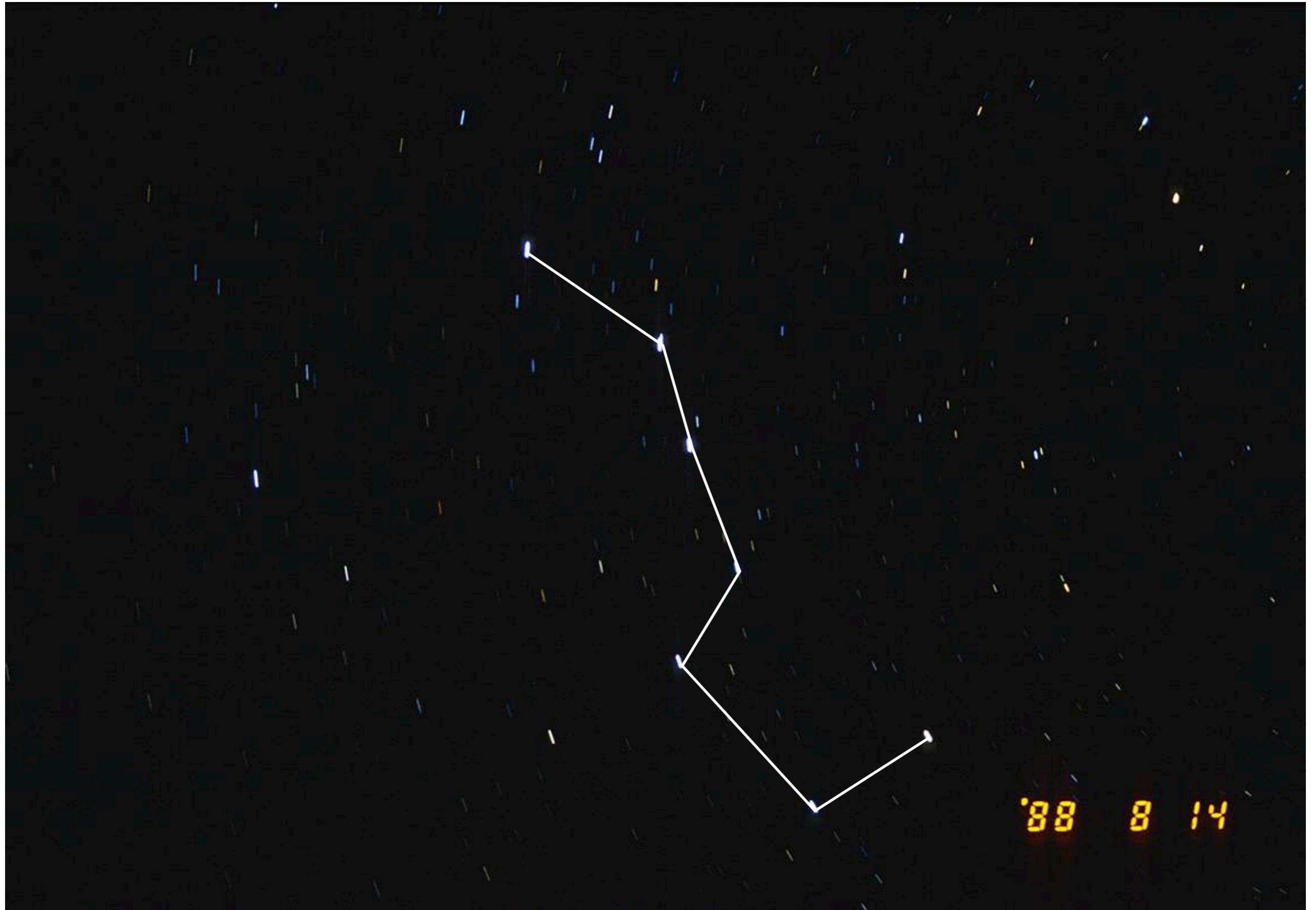
100 km

Google Earth

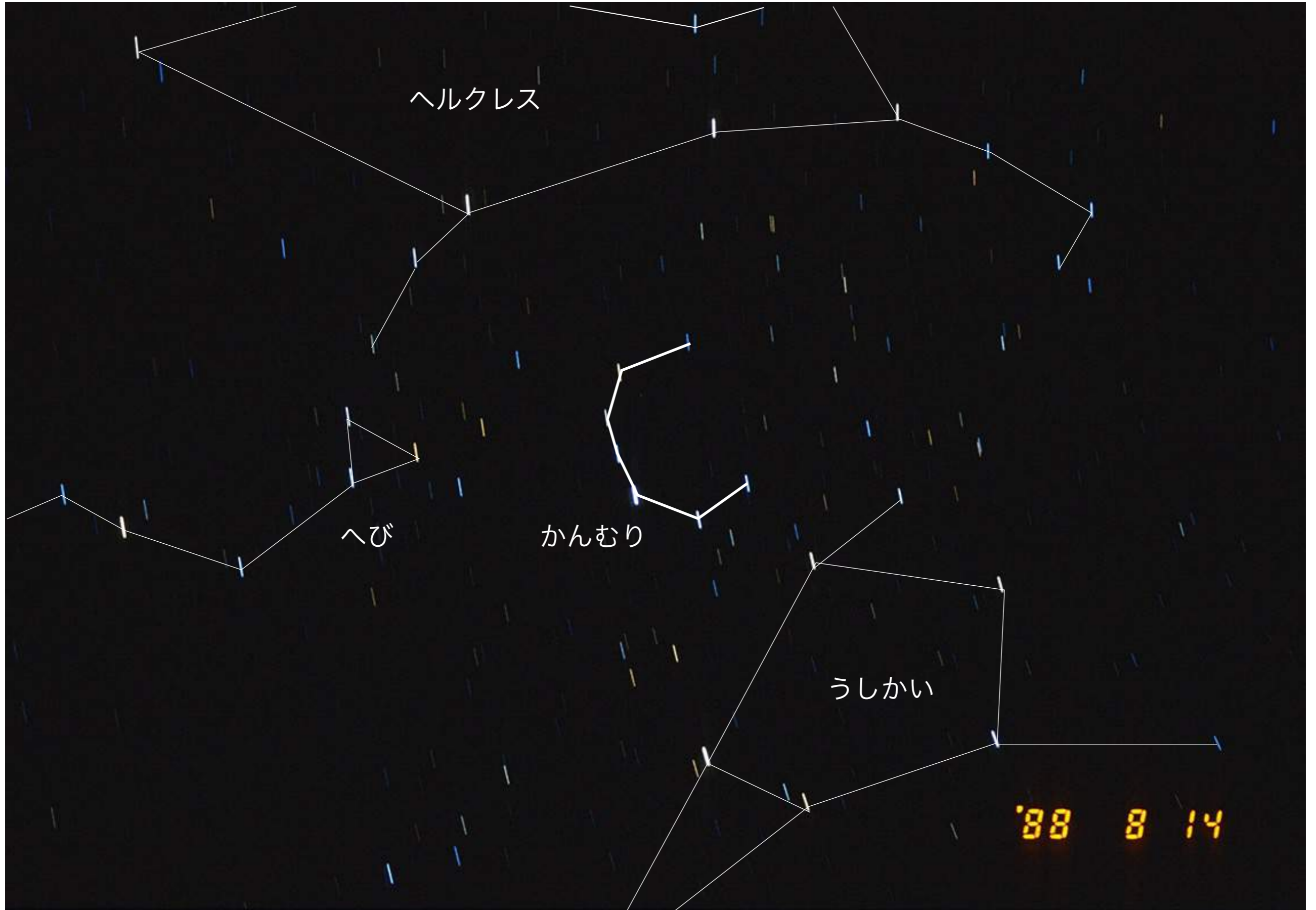
Google Earth <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/> 2019/5/29



チベット高原の星空



チベット高原の星空



次の海外調査へ（その前に）

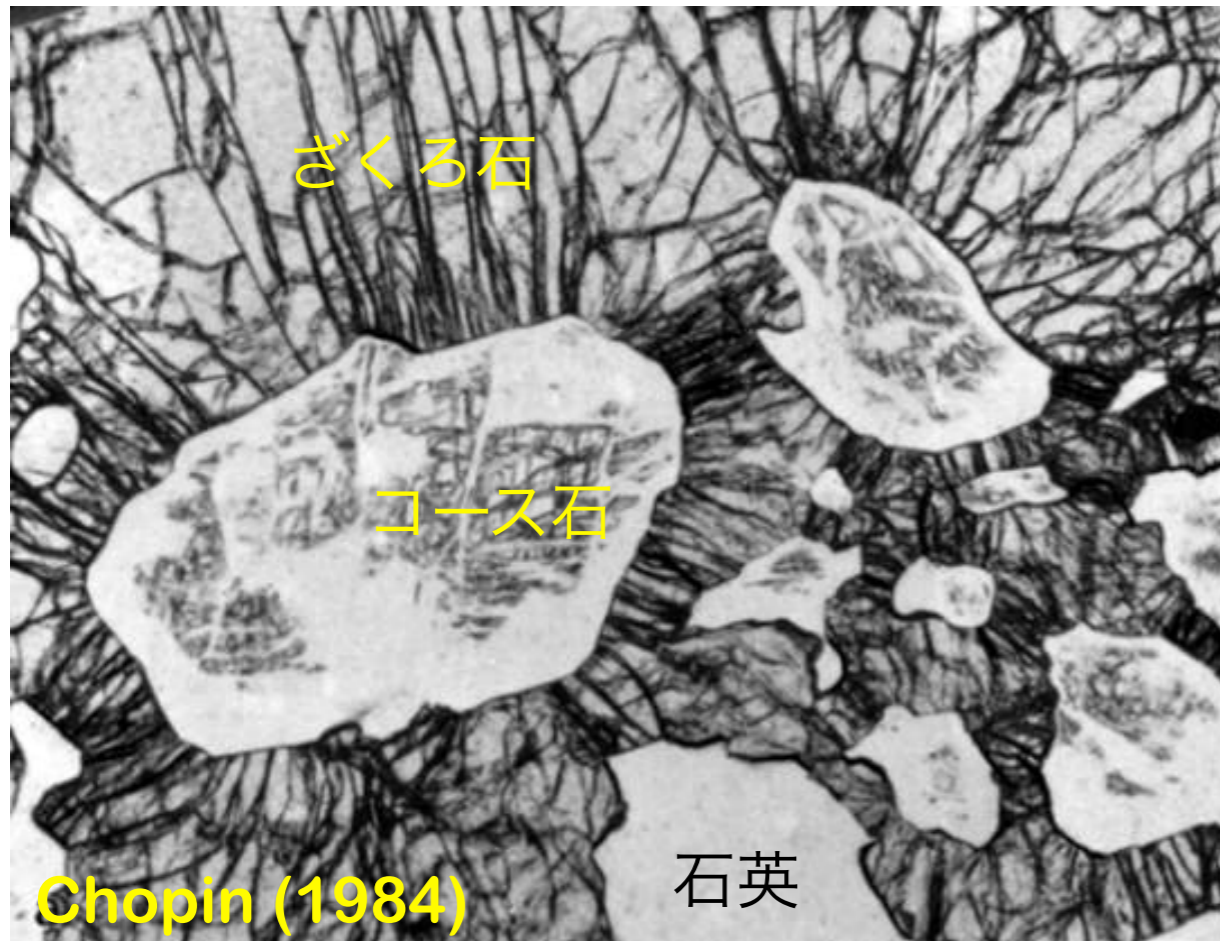
変成岩研究の一里塚
超高压変成岩の報告

石英 (SiO_2) の高压相 コース石の発見

ペンローズ国際討論会 (1983)

Chopin (1984); Smith (1984)

地殻物質の地球内部大循環の
直接的証拠



コース石を保有するざくろ石

次の海外調査へ（分岐点となる出会い 1986年）

諏訪先生の招待（**JSPS**基金）で，臧 啓家 博士（北京大学）が来学

エクロジャイトなど貴重な試料がお土産

飾るため綺麗に磨いてあったのに，私は平岩さんに頼んで薄片を作ってもらった．→岩石屋のさがこれが，**始まりだった**．



<https://e-rocks.com/item/ljm715140/ruby-pyrope-muscovite> 2019/6/3

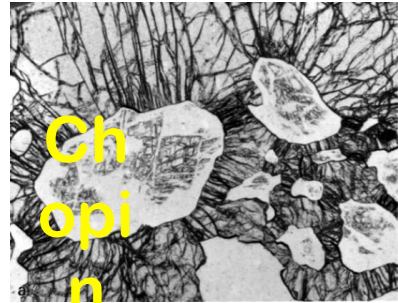
榎並ほか (1986), Enami and Zang (1988),

Enami et al. (1990), Zang et al. (1993),
Enami et al. (1993)

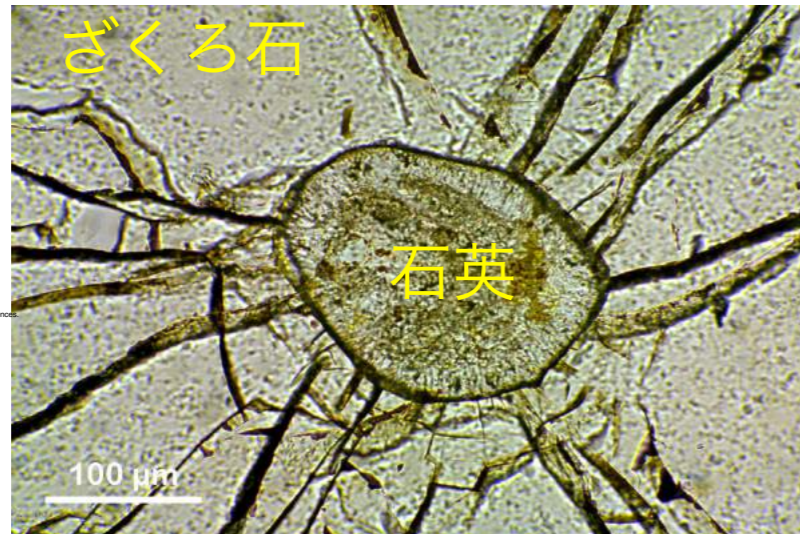
Magnesian staurolite in
pyrope-corundum rock

次の海外調査へ（超高压変成岩発見顛末記）

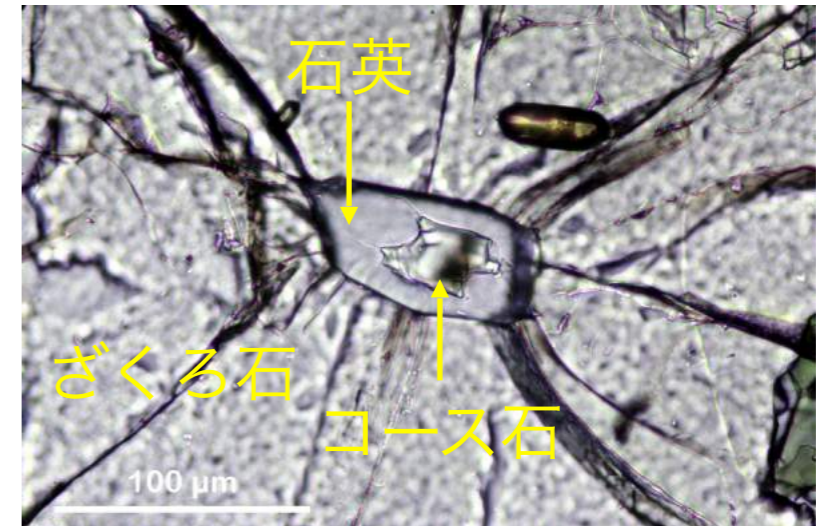
1989年1月名古屋大学 → 2月17日渡米 → 3月上旬Stanford 大学



Chopin
(1984)



コース石の仮像
(組織の解釈も重要だ)



X. Wangさんがコース石を発見していたことを知る

→ 3月日本から試料データを取り寄せる → 4月13日原稿投稿 → 1989年10月31日受理
＜＜ユーラシア大陸に超高压変成帯＞＞

Wang et al. (1989); Okay et al. (1989); Yang & Smith (1989);
Enami & Zang (1990); Hirajima et al. (1990)

まさかと思うようなテーマでも、ライバルは常にいること、そして論文はどんなに早く投稿しても早すぎることはないと思い知らされた。しかし、それが研究者として駆け出しの頃であったことは、私にとって幸運なことであった（地球環境科学と私 第八回より抜粋）。

すべてのわざには時がある



ロマ・プリータ地震

1989年10月17日17時4分 (夏時間)

6.9 M_w

改正メルカリ震度階級 IX (破壊的)

<https://en.wikipedia.org/>

その時

私：地下1階の研究室

家族：Mitchel Park

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B5%E3%83%B3%E3%83%95%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%82%B7%E3%82%B9%E3%82%B3%E3%83%BB%E3%82%B8%E3%83%A3%E3%82%A4%E3%82%A2%E3%83%B3%E3%83%84> 2019/5/22



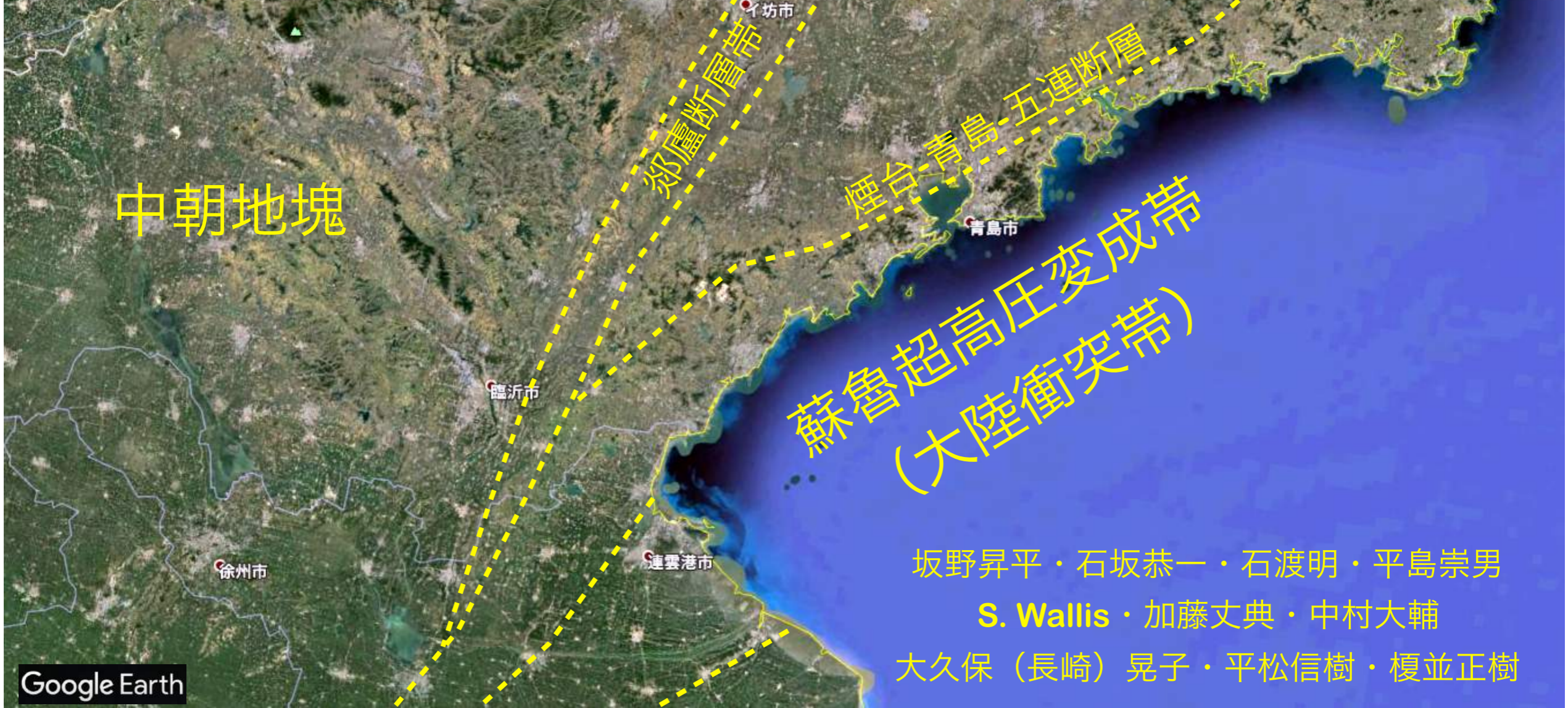
https://en.wikipedia.org/wiki/2013_Oakland_Athletics_season 2019/5/22

ベイブリッジ・シリーズ



Google Map <https://www.google.com/maps/> 2019/5/29

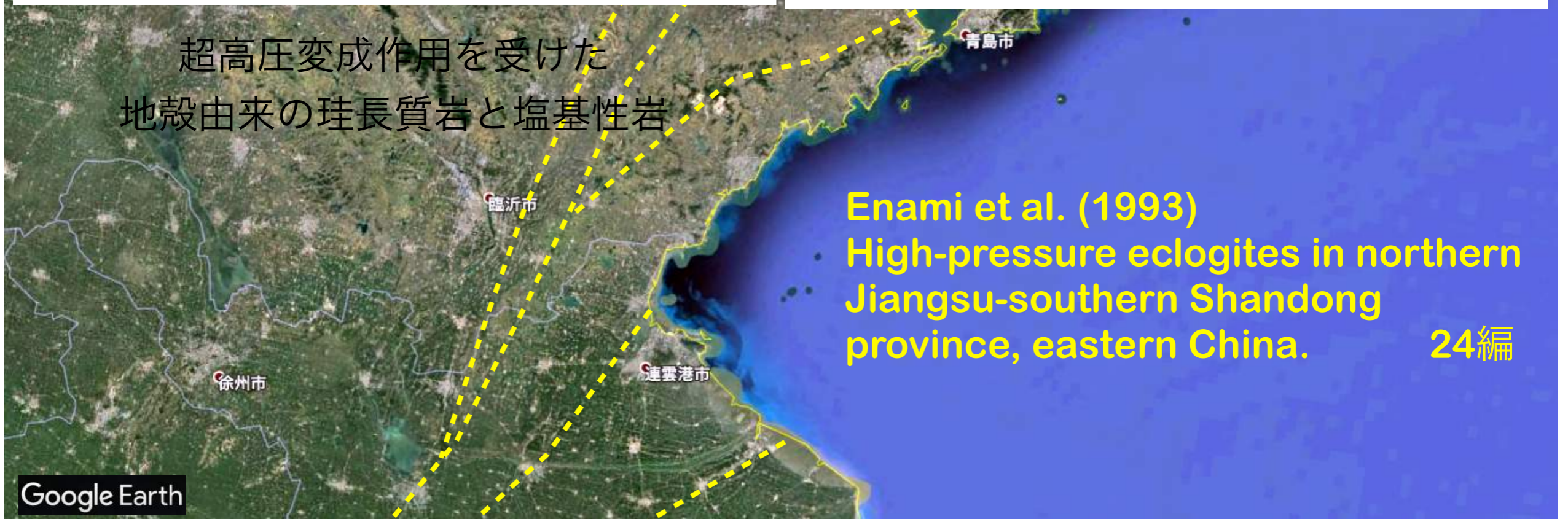
京都大学・金沢大学・中国科学院との共同研究 (1991-1995)



坂野昇平・石坂恭一・石渡明・平島崇男
S. Wallis・加藤丈典・中村大輔
大久保（長崎）晃子・平松信樹・榎並正樹

Google Earth <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/> 2019/5/29

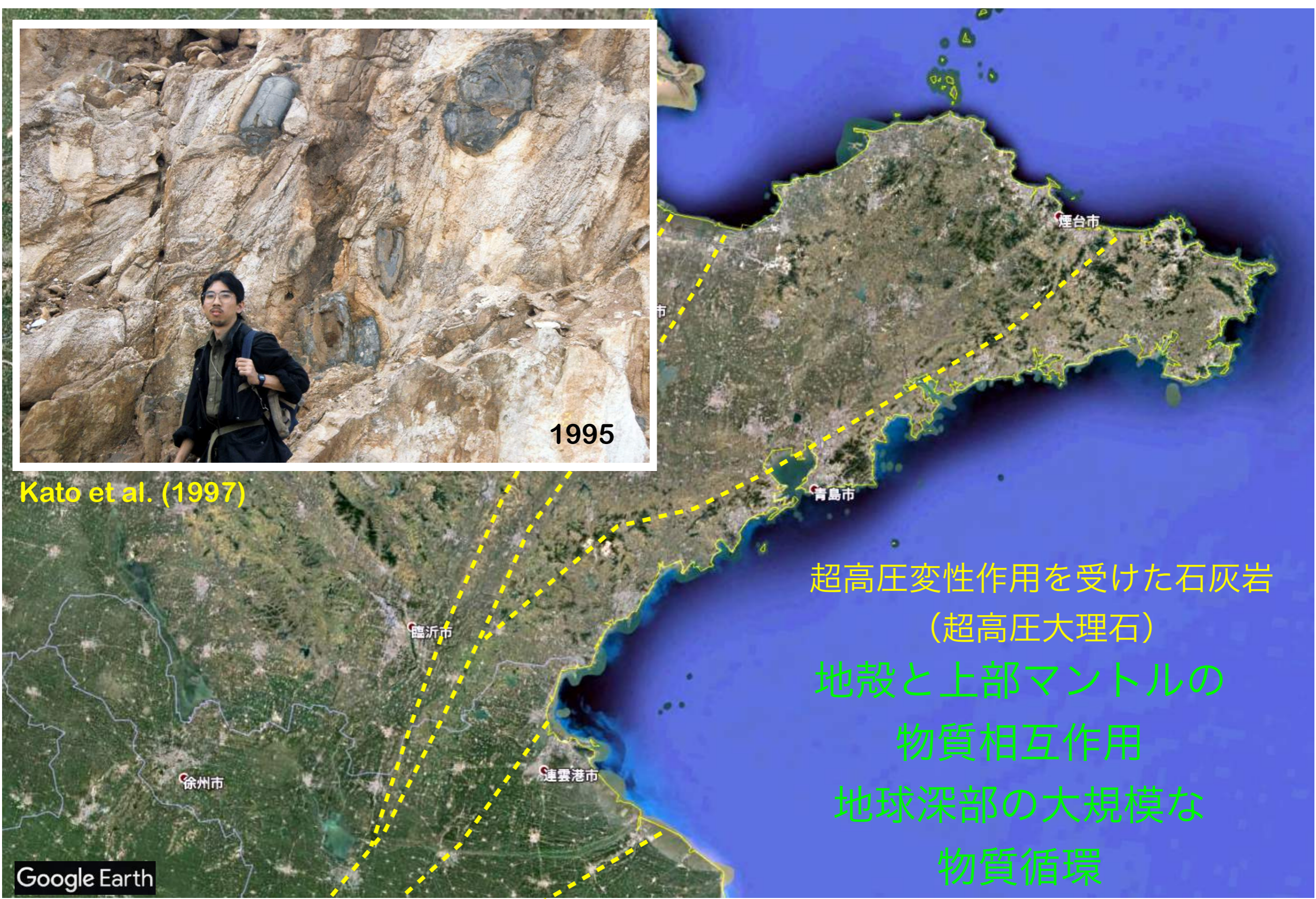
揚子地塊



Google Earth <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/> 2019/5/29



Kato et al. (1997)

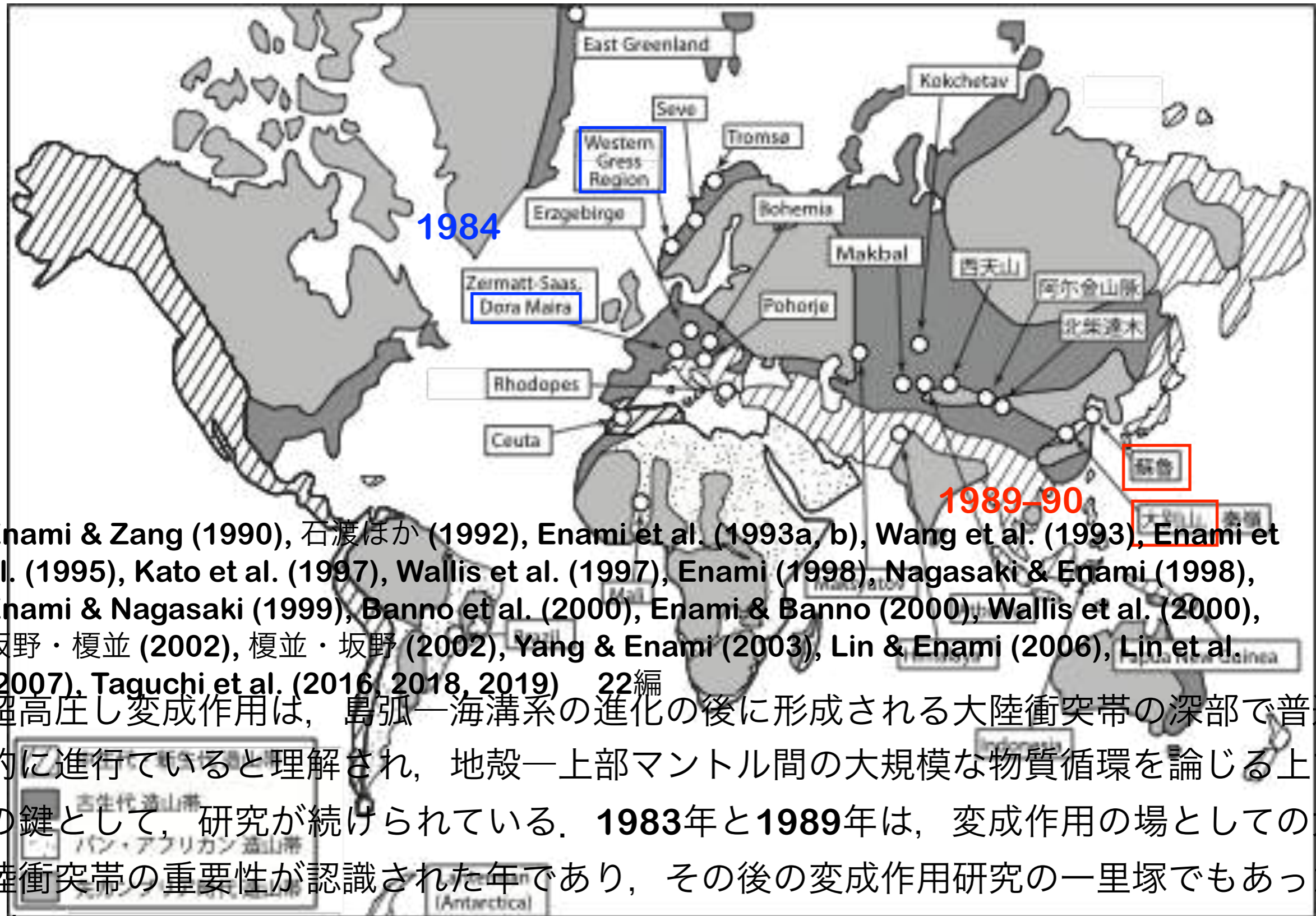


超高压変性作用を受けた石灰岩
(超高压大理石)
地殻と上部マントルの
物質相互作用
地球深部の大規模な
物質循環

Google Earth

Google Earth <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/> 2019/5/29

Keyword: 大陸衝突帯



Enami & Zang (1990), 石渡ほか (1992), Enami et al. (1993a, b), Wang et al. (1993), Enami et al. (1995), Kato et al. (1997), Wallis et al. (1997), Enami (1998), Nagasaki & Enami (1998), Enami & Nagasaki (1999), Banno et al. (2000), Enami & Banno (2000), Wallis et al. (2000), 坂野・榎並 (2002), 榎並・坂野 (2002), Yang & Enami (2003), Lin & Enami (2006), Lin et al. (2007), Taguchi et al. (2016, 2018, 2019) 22編

超高圧し変成作用は、島弧—海溝系の進化の後に形成される大陸衝突帯の深部で普遍的に進行していると理解され、地殻—上部マントル間の大規模な物質循環を論じる上での鍵として、研究が続けられている。1983年と1989年は、変成作用の場としての大

陸衝突帯の重要性が認識された年であり、その後の変成作用研究の一里塚でもあった

(地球環境科学と私 第八回より抜粋)。

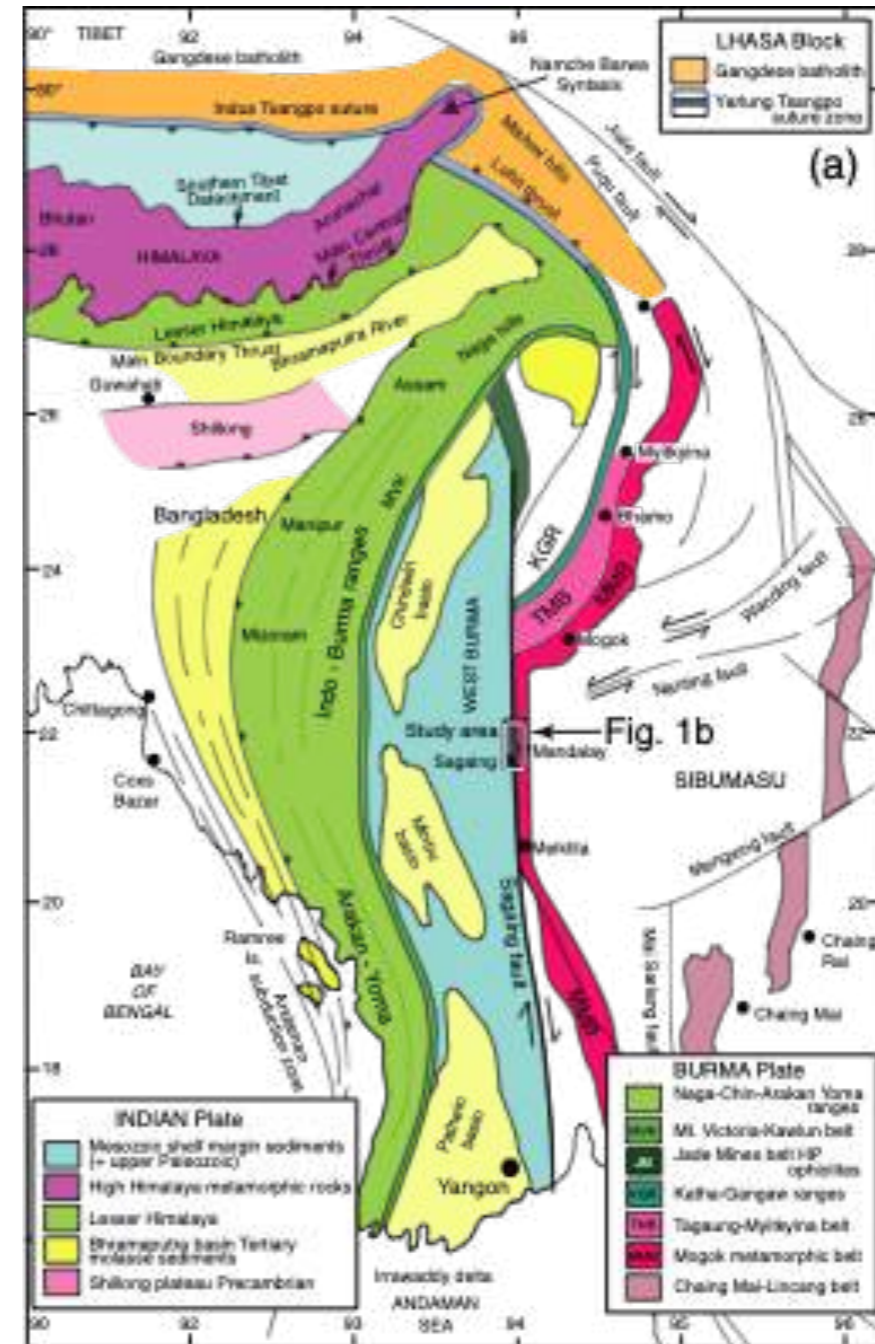
榎並・平島 (2017)に加筆

https://www.jstage.jst.go.jp/article/geosoc/123/9/123_2017.0020/_pdf/-char/ja 2019/5/27

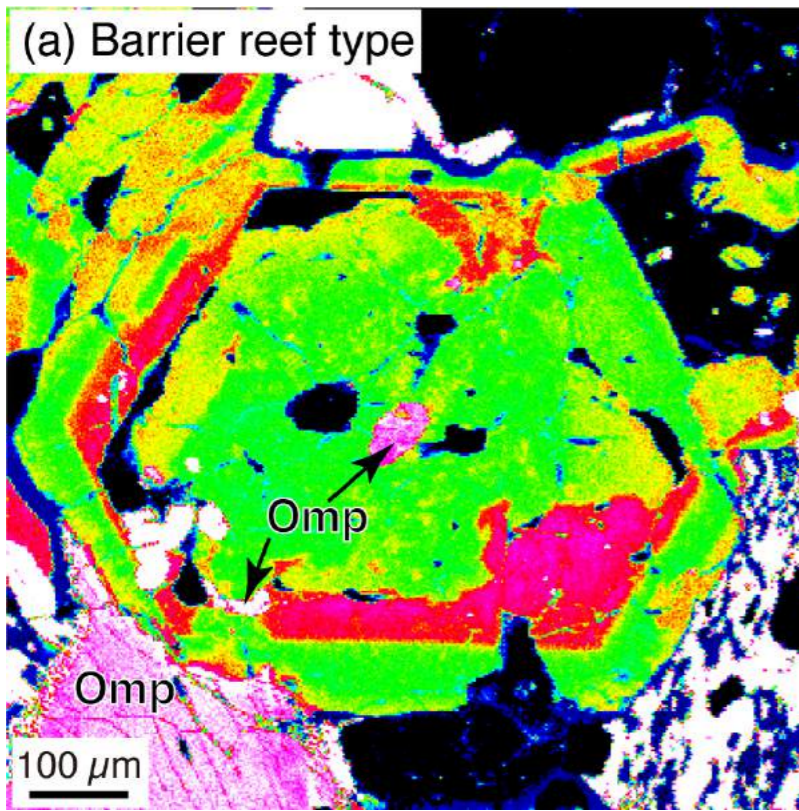
久しぶりの海外調査 2014

ミャンマー Mogok変成帯

Zaw Win Ko (2000–2004)
Maw Maw Win (2012–2016)
Ye Kyaw Thu (2013–2017)



Maw Maw Win et al. (2017)



- Enami et al. (2012) **Eclogite** from the Kumon range, Myanmar: Petrology and tectonic implications.
(ミャンマーからの最初で未だ唯一の報告)
- Maw Maw Win et al. (2016) Metamorphic conditions and **CHIME monazite ages** of Late Eocene to Late Oligocene **high-temperature** Mogok metamorphic rocks in central Myanmar.
- Ye Kyaw Thu et al. (2018) **Granulite facies paragneisses** from the middle segment of the Mogok metamorphic belt, central Myanmar. 計5編



<http://photrip-guide.com/2014/08/20/myanmar/> 2019/5/27

第5章 私の研究 その3

コラボレーション

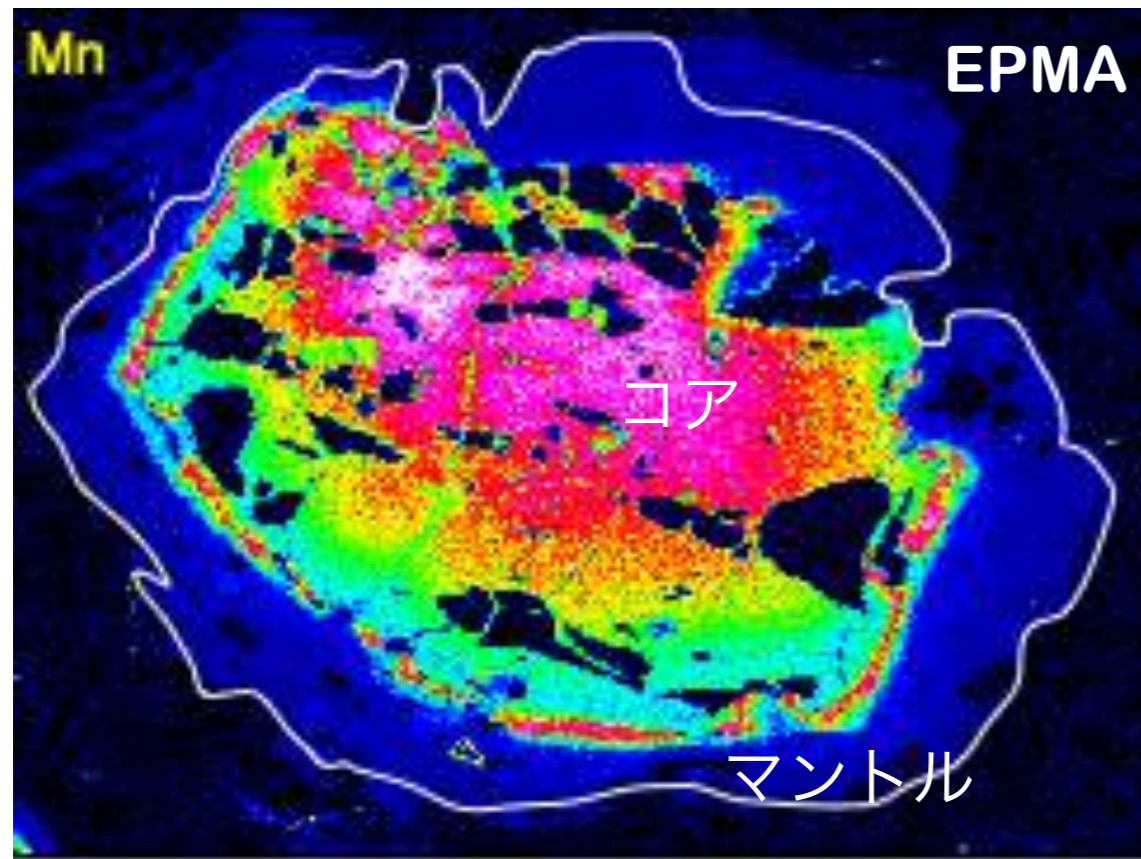
化学組成 (EPMA)



結晶系・結晶方位 (EBSD)



S. Wallisさん・道林克禎さん

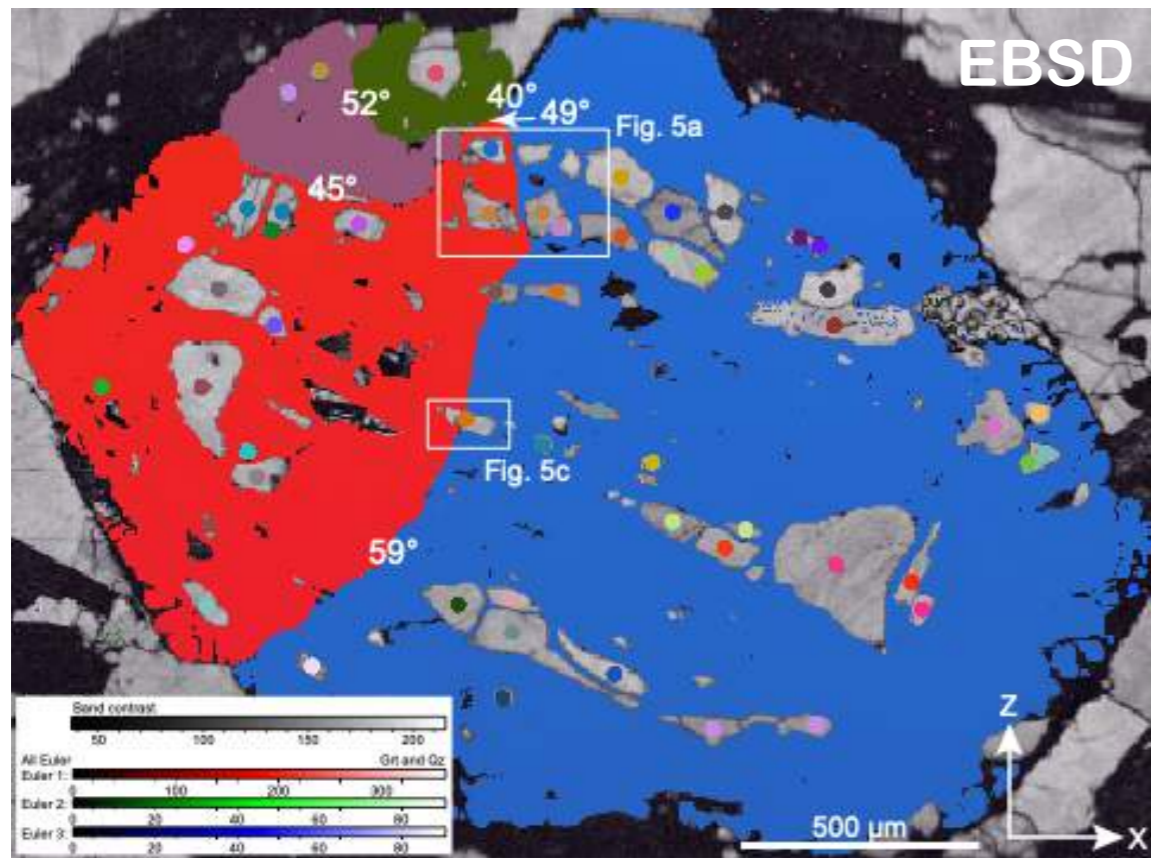


予想はことごとく外れたが、
新しい道に繋がっていた
だから研究は面白い
予想 (三波川エクロジャイトの例)

- ざくろ石は単結晶
- でもひょっとしたらコアとマントルで結晶方位が異なるかも

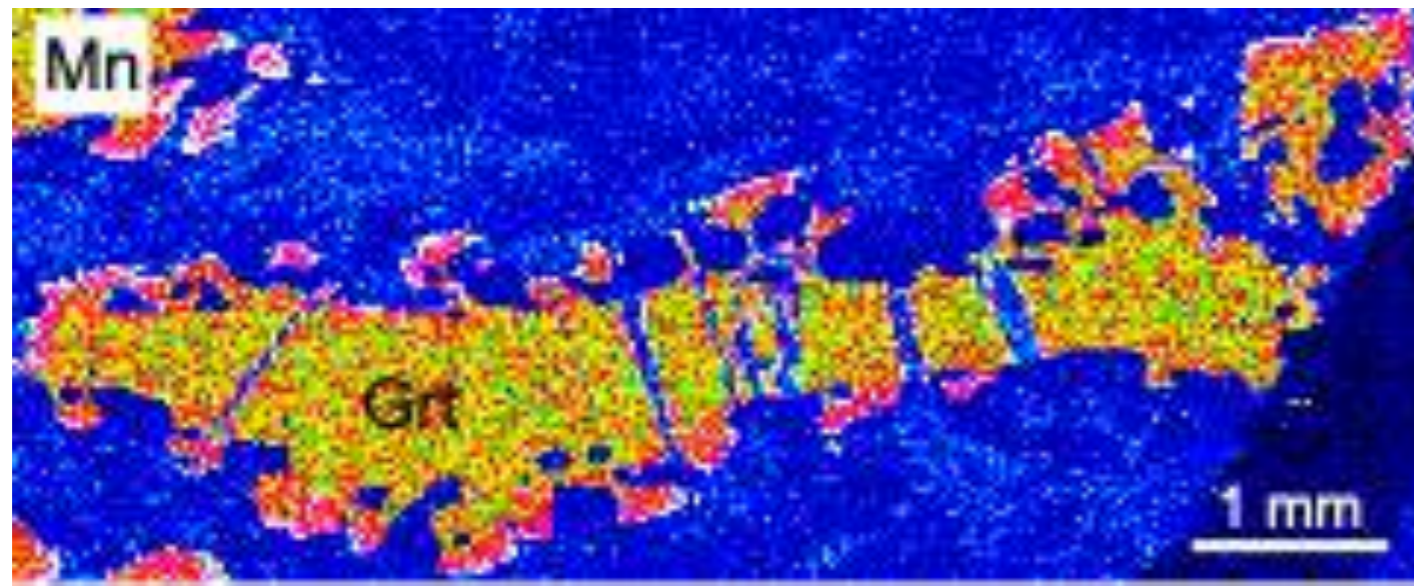
分析結果

- このざくろ石は多結晶体だった
- しかも、各セグメント毎では、コアとマントルは共通した結晶方位を持っている



Enami et al. (2017)

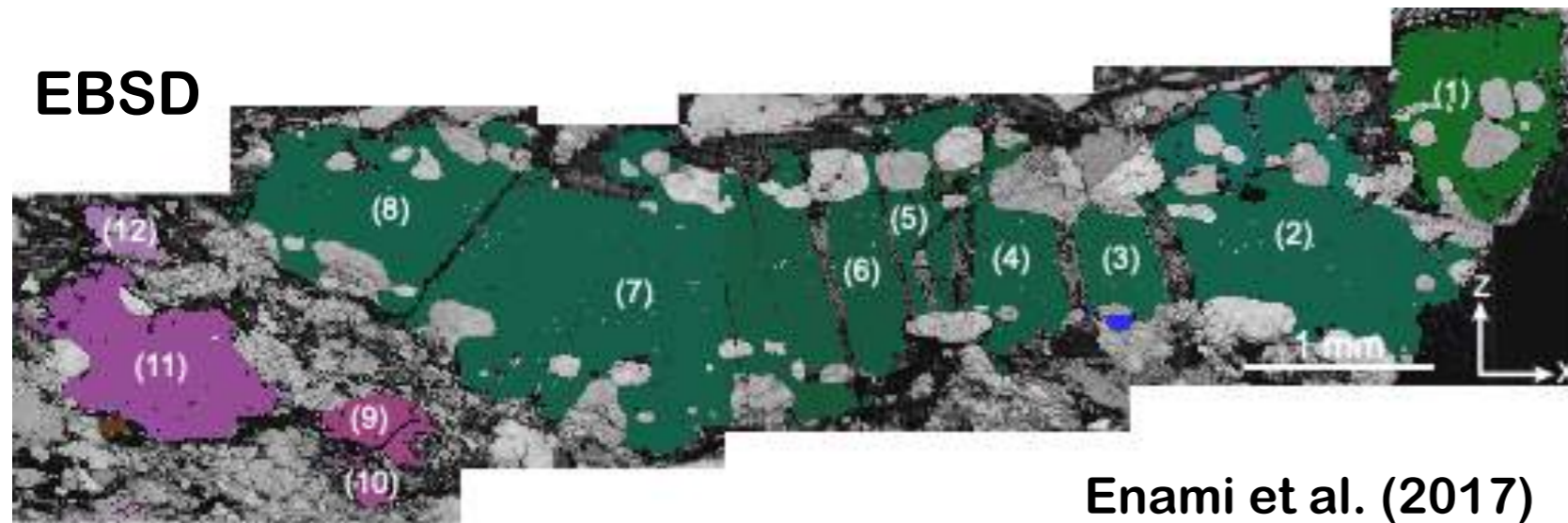
EPMA



ミャンマー・
グラニュライトの例



EBSD



Enami et al. (2017)

Enami, M., Nagaya, T. and Maw Maw Win. (2017) An integrated EPMA-EBSD study of metamorphic histories recorded in garnet. American Mineralogist, 101, 192-204, doi: 10.2138/am-2017-5666.

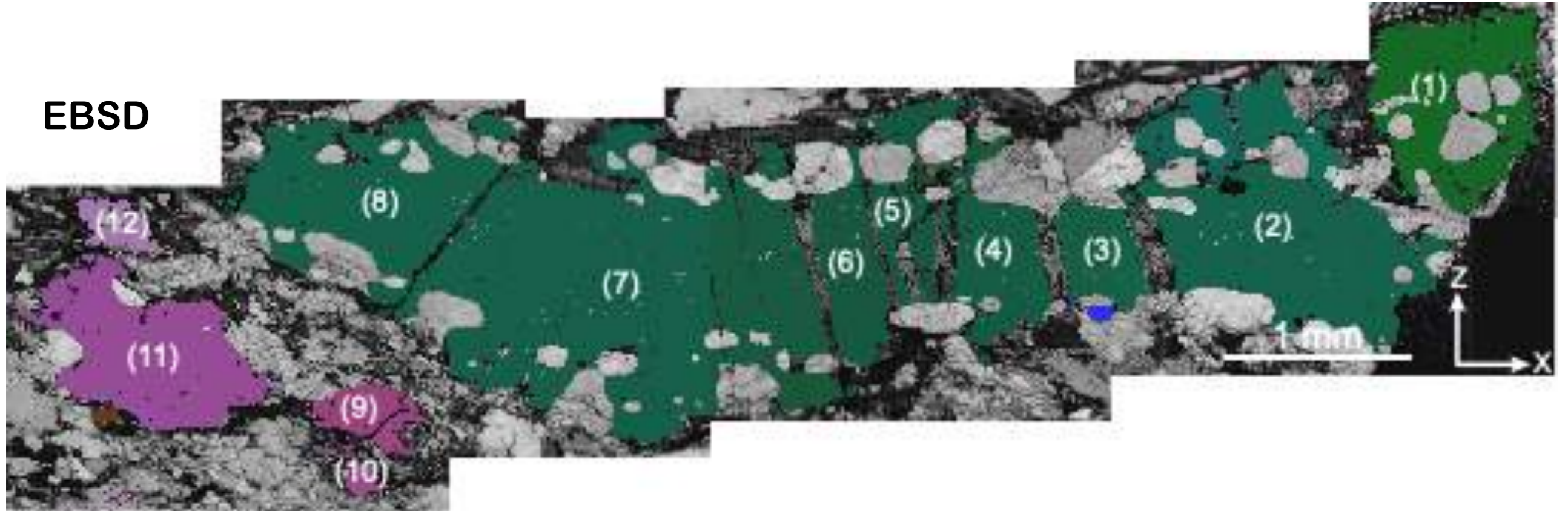
疑問と予想

- 等軸晶系なのに何故こんなにアスペクト比が大きい？
- このざくろ石は、多結晶体？

分析結果

- このざくろ石は単結晶だった
- でも、セグメント化している

EBSD

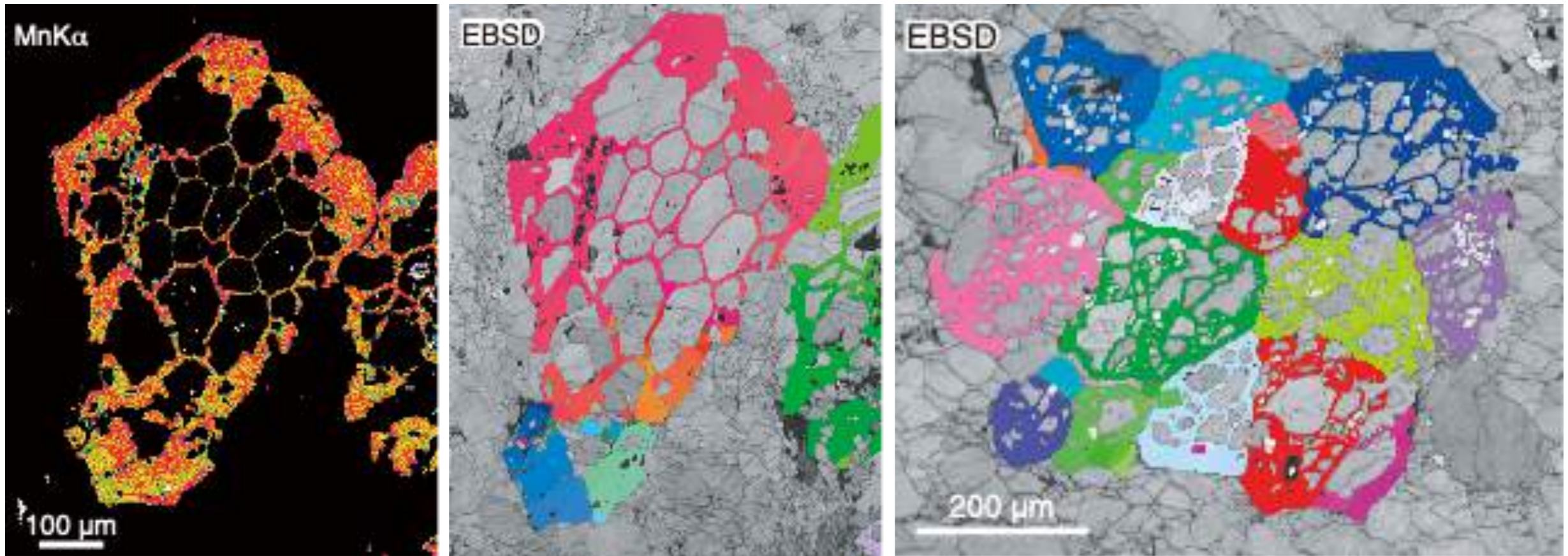


Enami, M., Nagaya, T. and Maw Maw Win. (2017) An integrated EPMA-EBSD study of metamorphic histories recorded in garnet. American Mineralogist, 101, 192-204, doi: 10.2138/am-2017-5666.

分析結果とその解釈・意義

- このざくろ石は，もともと単結晶だった。
- そして，セグメント化している（地球内部**10–15 km**での出来事）。
- しかし，現在でも**同じ結晶方位を保ったまま**である。
- → 地表に顔を出すまでの間 (**exhumation**)，**static**（静的な）な状態にあった。すなわち**回転などの変形運動を記録していない**。

もう少しやってみたい事 その1 ざくろ石のハニカム（蜂の巣）構造



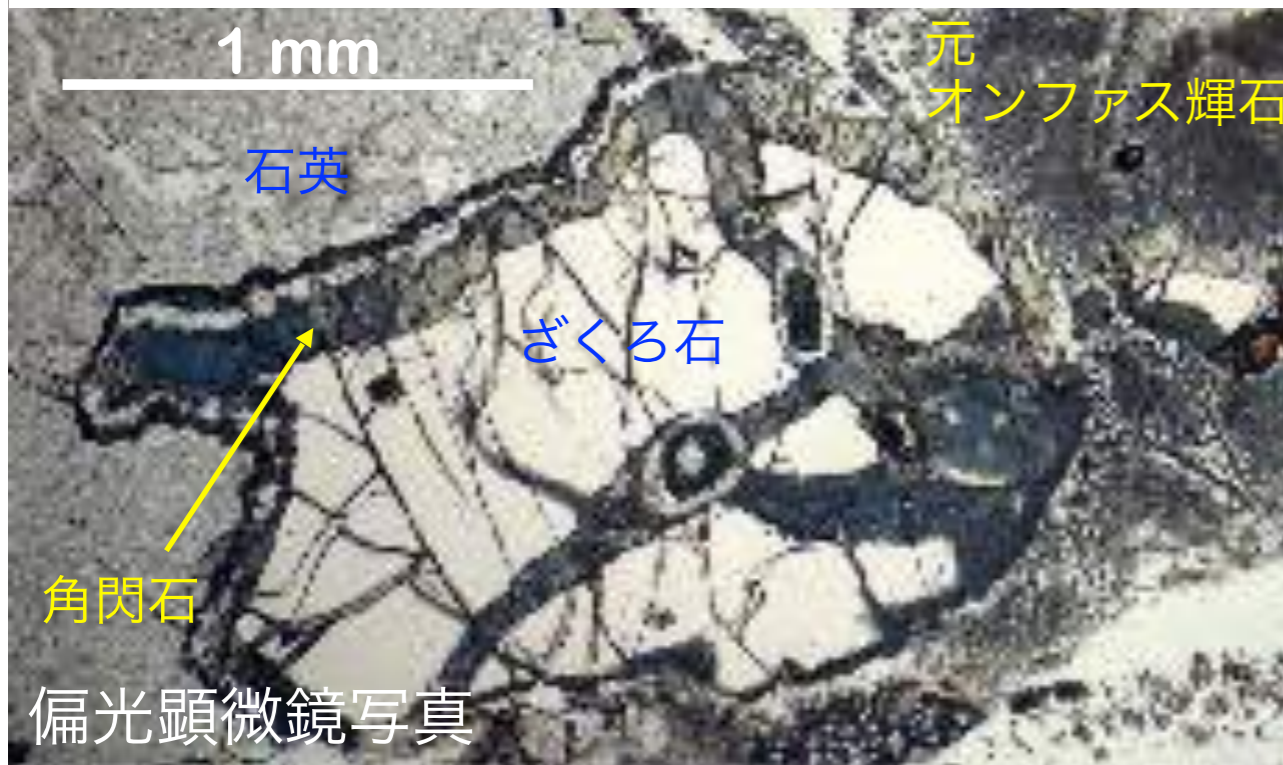
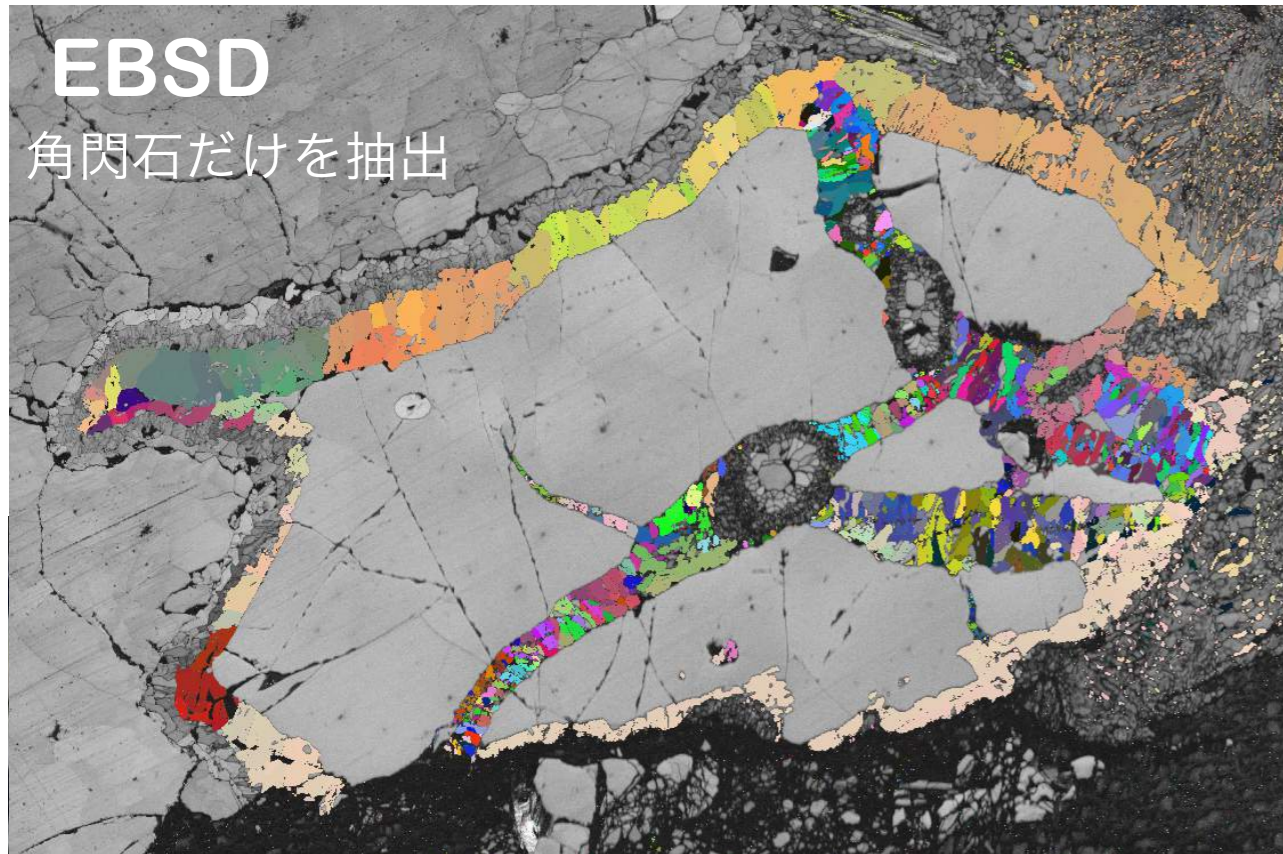
Enami and Kouketsu (under review)

地球内部 ~30 kmで形成された構造

地表に到達するまでに、この構造を壊すような変形運動を記録していない。

これは、変成岩の**exhumation**に関する一般理解と相容れない。

何故？



もう少しやってみたい事 その2

さまざまな組織の角閃石の結晶方位

- 鉱物間の反応帯（ざくろ石の角閃石仮像）→ **もともとの鉱物境界は何処にあったのか** → 物質（元素）移動を議論する際の原点

- **ざくろ石とオンファス輝石の仮像として産する角閃石は、何故共通の結晶方位を持つのか？** → 結晶成長を論じる際の鍵になる？

お礼

私の原点 理学部

私は、博士（後期）課程から名古屋大学でお世話になりました。昼夜の別なく誰かが何かをしていて、時々夜食用に大量のインスタント麺を買いだしに出かける研究室でした。そこでの私は、先生に研究テーマを相談することもなく、勝手にフィールド調査へ出かけ、当時地球科学分野に導入が始まったばかりの**EPMA**を勝手に使うという、今思うととんでもなく失礼な学生でした。しかし、石岡、諏訪両先生はそれを許して下さいました。冷や汗と感謝の気持ちで一杯です。

(名大理学同窓会報 No. 31 掲載予定の文章より抜粋)

金沢大学、名古屋大学でお世話になった諸先生、先輩、同級生、後輩、

技術職員、事務職員、学部・大学院OG・OBの皆さん

共同研究をしていただいた（いただいている）皆さん

本当にありがとうございました

変成岩と変成帯

岩石と鉱物の熱力学

都城 秋穂 (1960)

地学団体研究会

(著作権上の理由により削除)

都城 (1960)

都城 秋穂 (1965)

岩波書店

(著作権上の理由により削除)

都城 (1965) 私のバイブル

