

巡検案内：眉山の青色片岩と岩盤クリープ

案内者：青矢睦月・西山賢一（注：青矢担当部分のみ掲載）

日時：2018年12月15日（土） 10:00~12:00

内容：低温高圧型変成岩の典型であり徳島県の石（岩石）にも指定された眉山の青色片岩の露頭観察，及び岩盤クリープや山麓で見られる落石・湧水など，眉山周辺の応用地質学的な見所の観察を行う。お散歩程度の巡検です。

集合・解散：阿波踊り会館前（徳島市新町橋 2-20）。

注) 巡検に車でお越しの方は阿波踊り会館東すぐの新町地下駐車場(市営)をご利用下さい。講演会にもご参加の場合は巡検終了後，車で徳島大学常三島キャンパス内の駐車場（下図参照）へ移動して頂く形となります。



図 1：眉山全景（大野大橋より）。北北西を向いて撮影。名前の由来が一目瞭然。

緒言：2人の巨人に寄せて（青矢筆）

青色片岩と坂野さん 坂野昇平さんをご存じでしょうか。地質温度・圧力計の原型（Wood & Banno, 1973）を作り上げた世界的にも著名な岩石学者でした。私が修士課程 2 年に進級する



年（1996 年）に京大を退官され、2008 年 8 月にご逝去されましたが、彼はとにかく三波川帯を愛してやまない人でした。2001 年に現新居浜市で国際エクロジャイト会議（IEC）が開催された際、坂野さんと私はそれぞれが別の巡検コースの案内者だったため、準備の次第について、京都の居酒屋で何度か語り合いました。そして、口を酸っぱくしてこう語るのです。「青い石を見せてやるのだ！」と。というのも、巡検コースが組まれていた別子地域（図 4）の塩基性岩は主に緑色片

岩や緑れん石角閃岩といった緑系の変成岩, すなわち高压型と中圧型のあいこのような岩石で, 都城 (1965) は, これらのなす変成相系列を「高压中間群」と呼び, 純粋な高压型変成帯と区別していたのが気に入らなかったのです. そこで, ご自身が「老人用バスコース」と称する坂野さんの巡検コースでは, 苦肉の策として日浦谷という, 三波川帯の低変成度部分 (緑泥石帯: 図 5 参照) に産する, ややしよばい青色片岩 (青矢ほか (2013) の第 3.26 図(q)及び第 3.27 図(a)参照) の露頭を案内地とされていました. もし彼がそのとき, 案内地として徳島県の高越や眉山を選択できたとしたら, 悩みは全て解消していたでしょう. それぐらい, 高越や眉山には青い石がごろごろしています. マニアックな話ですが, 変成岩研究者にとっては 1 つの「萌え石」と言っていていいでしょう.

| | | |
|-------|-------------------|---------------|
| 15:00 | 坂野先生追悼講演(司会:榎並正樹) | |
| | 岩崎 正夫 | 東大岩石学の系譜と坂野昇平 |
| | 平島 崇男 | 1980年以降の坂野先生 |
| | 鳥海 光弘 | 坂野相律論のゆくえ |
| 16:10 | 休憩 | |
| 16:20 | 坂野先生の思い出(司会:) | |
| | 清水 以知子 | 坂野先生の言葉 |
| | 西山 忠男 | |
| | 小畑 正明 | |
| | 中島 隆 | |
| | 前川 寛和 | |
| | 青矢 睦月 | |
| | 榎並 正樹 | 写真紹介 |



←図 2 2009 年 3 月に金沢で行われた「変成岩などシンポジウム」のプログラムの抜粋

眉山と岩崎さん 岩崎正夫さんをご存じでしょうか. 東大のご出身で, 坂野さんにとって直系の先輩にあたる, やはり著名な岩石学者でした. 1988 年に徳島大を退官されたあとも「岩崎地質研究所」を構えて活動され, ずいぶん長生きをされました. 2009 年の変成岩などシンポジウム (於金沢) では坂野さんの追悼セッションでご発表もされたのですが (図 2), 2016 年 3 月末に 93 歳でご逝去されました. 5 年ほど前, 私が徳大に来てしばらくの頃, 徳大に変成岩屋が着任したことを喜ばれた岩崎さんが私を眉山 (図 1) の麓のご自宅にお招き下さり, 変成岩のお話しに花を咲かせたことが懐かしく思い出されます (図々しくお昼のカレーライスまでご馳走になってしまいました). さて, 坂野さんが「別子を愛した男」であったとすれば, 岩崎さんは「眉山を愛した男」だったと言えるかもしれません. 岩崎さんは地質学の社会普及にも尽力された方で, 「徳島市民双書 徳島の自然・地質 1」という市民向けの本 (岩崎 1979 編) を著されていますが, その中に, 眉山の地形に関する思い入れたっぷりの記述があります. 「眉山は低い山と思って見くびるとひどい目にあう」と. 低山 (標高 300m 弱) とは言え, 堅硬な三波川変成岩がなす山体がかなり急峻であることを端的に表現されています. 1/5 万地質図「日比原」(青矢・横山 2009) の第 6 章の記述にあるように, 「三波川帯は地すべりのメッカとしても有名」であり, 「岩盤クリープ性傾動活動が至るところで発生している」. 横山俊治氏の口からも語られるように, 三波川帯は応用地質学的な見所も多い地域です.

観察地点とその説明

本巡検での観察地点を図3に示します. STOP1とその周辺について青矢, STOP2, 3について西山が簡単な(?)説明を書かせて頂きます.

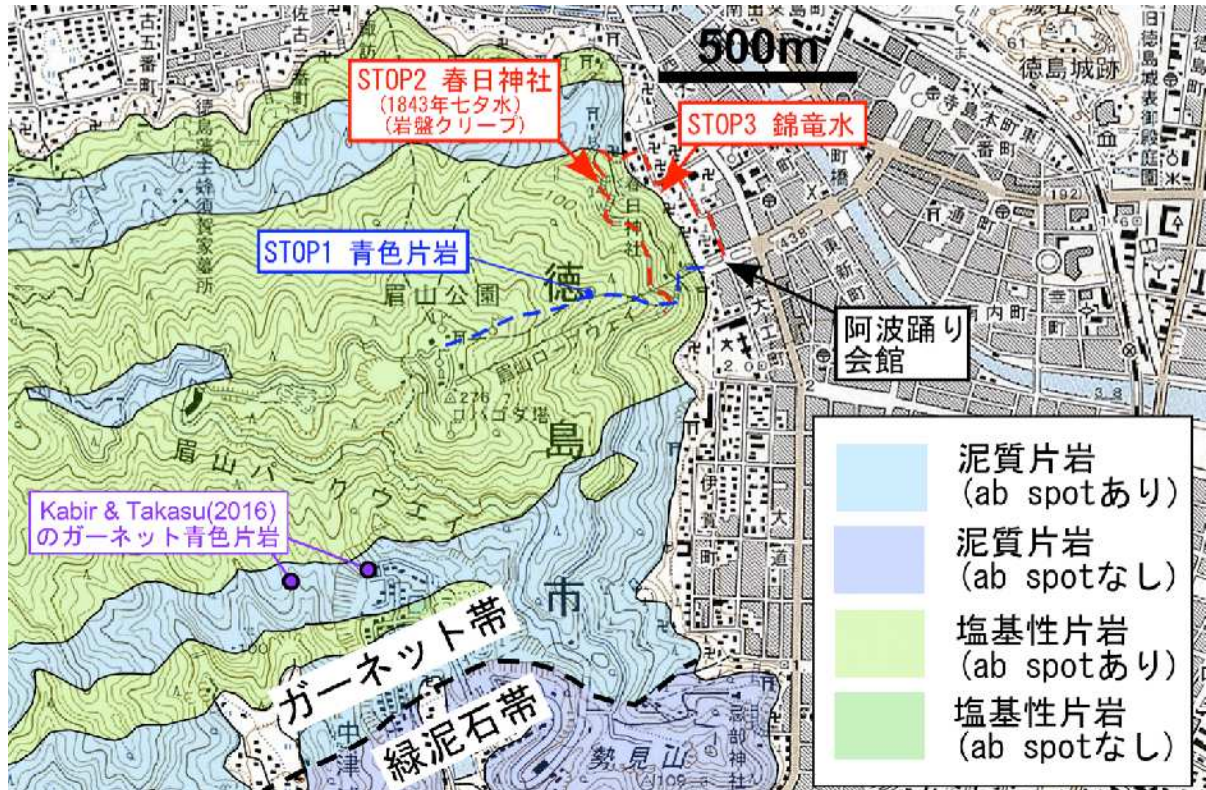
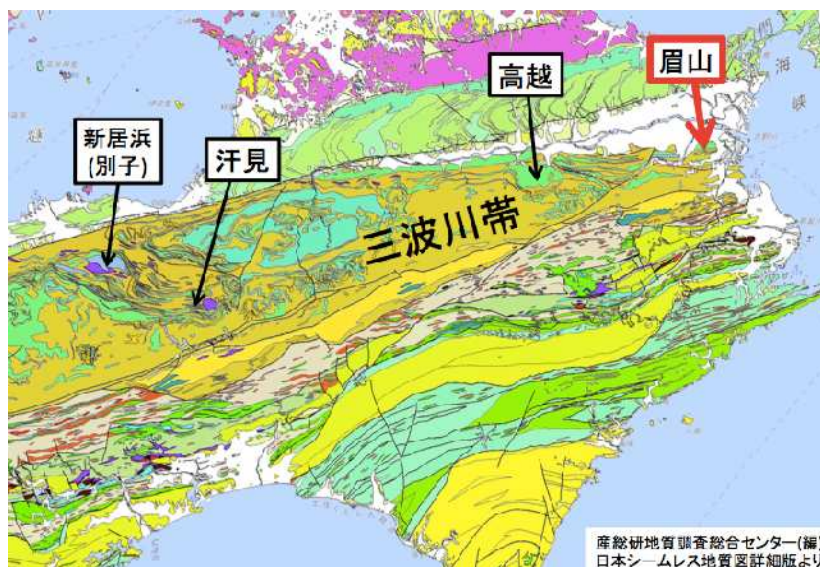


図3 巡検コース. 地質図は徳島県(1987)を基に青矢研が作成.

STOP1: 青色片岩

岩崎さんが亡くなられた直後の2016年の5月, 眉山・高越地域の青色片岩は地質学会によって徳島県の石(岩石)に指定されました. 選出理由の1つは, その「青色(藍閃石による)」が徳島を象徴する地場産業, 「藍染め」を連想させるものだからでしょう. ただ, 地質学的な

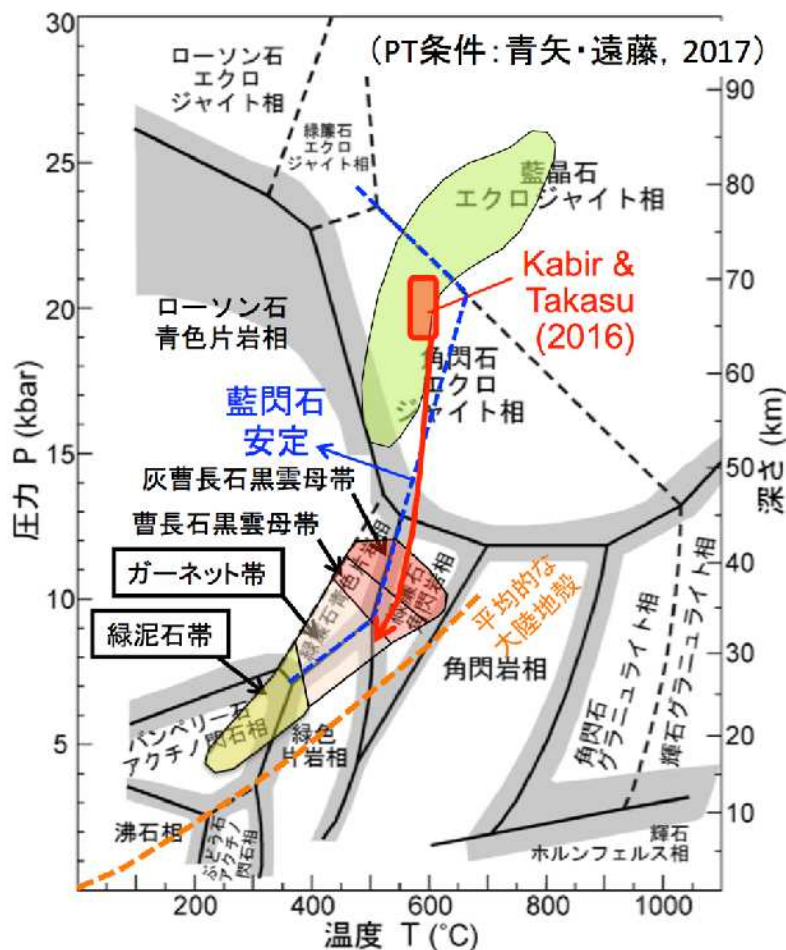


含蓄ももちろんあります. 要は, 三波川帯広しと言えども, 青色片岩のまとまった産出が認められるのは徳島県の高越と眉山(図4)のみだからなのです.

←図4 四国三波川帯の
エクロジャイト相変成岩
分布地域.

そして、今となってはなぜ高越山と眉山がこれほど青々とした山なのか、その大まかな理由が判明しています。エクロジャイト相での変成作用を受けていたから、というのがその答えです。**エクロジャイトユニットとは？** 1980年代には三波川帯の一部に、それまでの認識よりも有意に高圧の岩石、エクロジャイト（ガーネット+オンファス輝石+石英を含み、曹長石を含まない岩石）が産出することが確実となっていました（例えば Enami et al., 1979; Takasu, 1984）。その後、エクロジャイト相変成岩の確認範囲は徐々に拡大し、現在では、こういった岩石の分布域としての「エクロジャイトユニット」が、マappableな構造単位として提案されるに至っています。愛媛県別子地域での研究が先んじていましたが（青矢ほか2013など）、近年は高知県の汗見川（Taguchi & Enami, 2014 など）や徳島県の高越（Matsumoto et al., 2003 など）・眉山でもエクロジャイトユニットの分布範囲の究明が進められています（図4）。

ただし、ここで明言しておくべきことは、眉山では未だエクロジャイトの産出報告がない、という点です。エクロジャイトが出ないのにエクロジャイトユニットと呼ぶ理由は、岩石としてのエクロジャイト（オンファス輝石を含む石）ではないが、いわゆるエクロジャイト相相当のPT条件を記録した岩石が分布するためです。眉山では Kabir & Takasu (2016) によるガーネット青色片岩の岩石学的解析から、エクロジャイト相相当のPT条件 (c.580-600°C, 18-20kbar) が見積もられ、エクロジャイトユニットの存在が確定しました（図5）。つまり、エクロジャイトユニットという言葉は、厳密にはエクロジャイト「相」ユニット、の意味で用いられていることに注意が必要です。



←図5 変成相図（坂野ほか，2000；中島ほか，2004）。黄緑色で示した範囲はエクロジャイトユニットのPT条件の総括。その他の書き込みについては本文参照。緑泥石帯のPT条件でも青色片岩はできるが、Kabir & Takasu (2016)の青色片岩よりもはるかに低温・低圧条件での産物であることがわかる。

エクロジャイト相の定義の不完全性 誤解を恐れずに言えば、変成相図（図5）とはかなり大雑把なものです。個々の変成相は塩基性（玄武岩質）の岩石の鉱物組み合わせによって定義されたものですが、そもそも塩基性岩の全岩化学組成にはかなりの幅があります。この観点から言うと、全

岩化学組成を固定し、問題とする岩石専用の変成相図を作成しない限り、鉱物組み合わせから PT 条件に関する厳密な議論はできないこととなります。このように岩石の全岩化学組成を決定した上でその岩石専用の変成相図を描く手法が、最近よく用いられるようになったシュードセクション解析です。

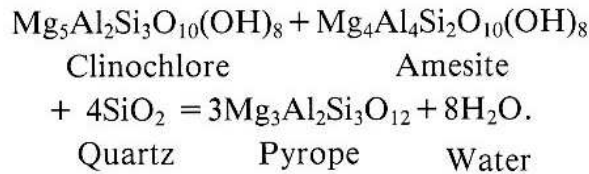
Weller et al. (2015) は高越のガーネット青色片岩を用いたシュードセクション解析から、この岩石がいわゆるエクロジャイト相相当の PT 条件 (c.560°C, 18kbar) を経験したことを示しました。また同時に、この PT 条件では全岩化学組成 (例: 全 Fe に対する Fe³⁺ の比率) に依存してオンファス輝石が生じたり生じなかったりすること、つまり、ある特定の全岩化学組成を持つ塩基性岩のみがエクロジャイトとなり、それ以外はガーネット青色片岩となることを示しました。オンファス輝石を含まない塩基性岩もエクロジャイト相に達していた、という話ですから、エクロジャイト相の定義には多少なりとも不備があることとなります。加えて、この論文と Kabir & Takasu (2016) による重要な示唆は、まず、ガーネットを含む青色片岩は基本的にエクロジャイト相変成作用を被っていたらしいという点。つまり、ガーネット青色片岩を発見すれば、その地点をエクロジャイトユニットとみなしてよかろうということ。もう 1 つは、同じ青色片岩でも、いわゆる三波川帯の緑泥石帯 (緑れん石青色片岩相相当: 400°C 程度) で生じたガーネットを含まないものよりも、高越や眉山 (エクロジャイト相相当: 560-600°C) の石の方がはるかに立派な、つまり反応進行度が高い粗粒の青色片岩となるであろう点です (図 5)。高越山・眉山が堂々たる青石山である理由はここにあります。

眉山でひすい輝石が産出! Kabir & Takasu (2016) が眉山から報告したガーネット青色片岩は、オンファス輝石こそ含まないものの、実は、定性的にはより高圧を指標する「ひすい輝石」を含んでいました。もし坂野さんがご存命であれば、この発見を大いに喜んだことでしょう。というのも、都城 (1965) が真の高圧型とみなす変成相系列の条件に「ひすい輝石」の産出があったからです。ちなみに、現在までに認識されている三波川帯・エクロジャイトユニットの PT 条件 (図 5) は基本的に全て、ひすい輝石安定領域にプロットされます。胸を張って「高圧型だ」と主張してよい状況となったわけです。

エクロジャイト相変成と変成分帯 (主変成) の関係 三波川帯では泥質片岩の鉱物組み合わせに基づき、変成圧力の低い方から順に緑泥石帯、ガーネット帯、曹長石黒雲母帯、及び灰曹長石黒雲母帯という 4 帯への変成分帯が伝統的に行われてきました (図 5: 東野 1990 など)。眉山では緑泥石帯とガーネット帯のみが認識されます (図 3)。Kabir & Takasu (2016) の PT 経路 (図 5 の赤矢印) からわかるように、この変成分帯を記録した、三波川帯全域に及ぶ一連の変成作用 (主変成作用: 青矢・遠藤, 2017 参照) は、エクロジャイトユニットの岩石にとっては後退変成期の記録となります。つまり、眉山の青色片岩はエクロジャイト相で変成を受けた後、ガーネット帯相当の条件で後退変成を受けていて、この影響が強い場合にはエクロジャイト相変成の痕跡は消失してしまいます。

STOP1 周辺の青色片岩 やっと本題です。阿波踊り会館からロープウェイ下の登山道を西へ向かうルート沿い (図 3) には延々と青色片岩が続いています。というのも、片理が北傾斜なのでおおむね走向方向へと進むためです。図 6 には STOP1 で採取した青色片岩の薄片写真を示します。残念ながら、この青色片岩はガーネットを含まず、主な構成鉱物は藍閃石、緑れん石、緑泥石、及び少量の曹長石、石英、フェンジャイトであり、岩型としてはいわゆる緑れん石青

色片岩に相当します (図 6A, B). ただし, この岩石中の緑泥石には全体として粒状の集合体として産するものがあり (図 6A), ガーネットの仮像, すなわち元々存在していたガーネットの分解組織とみなすことができます. ガーネットは後退変成時に水が加わると, 例えば次に示す反応 (Inui, 2002 など) の逆反応によって比較的容易に緑泥石に置換されてしまいます.



ここで Pyrope はガーネット固溶体の端成分, また Clinochlore, Amesite はともに緑泥石固溶体の端成分です. つまりガーネット仮像の存在 (図 6A) から, この岩石は元々ガーネット青色片岩だったと判断できるため, STOP1 はエクロジャイトユニットの内部に位置すると考えています. 午後のポスターセッションに, エクロジャイトユニット分布範囲に関する発表 2 件 (長谷川・青矢と西江・青矢) をエントリーしていますので, ぜひご議論下さい.

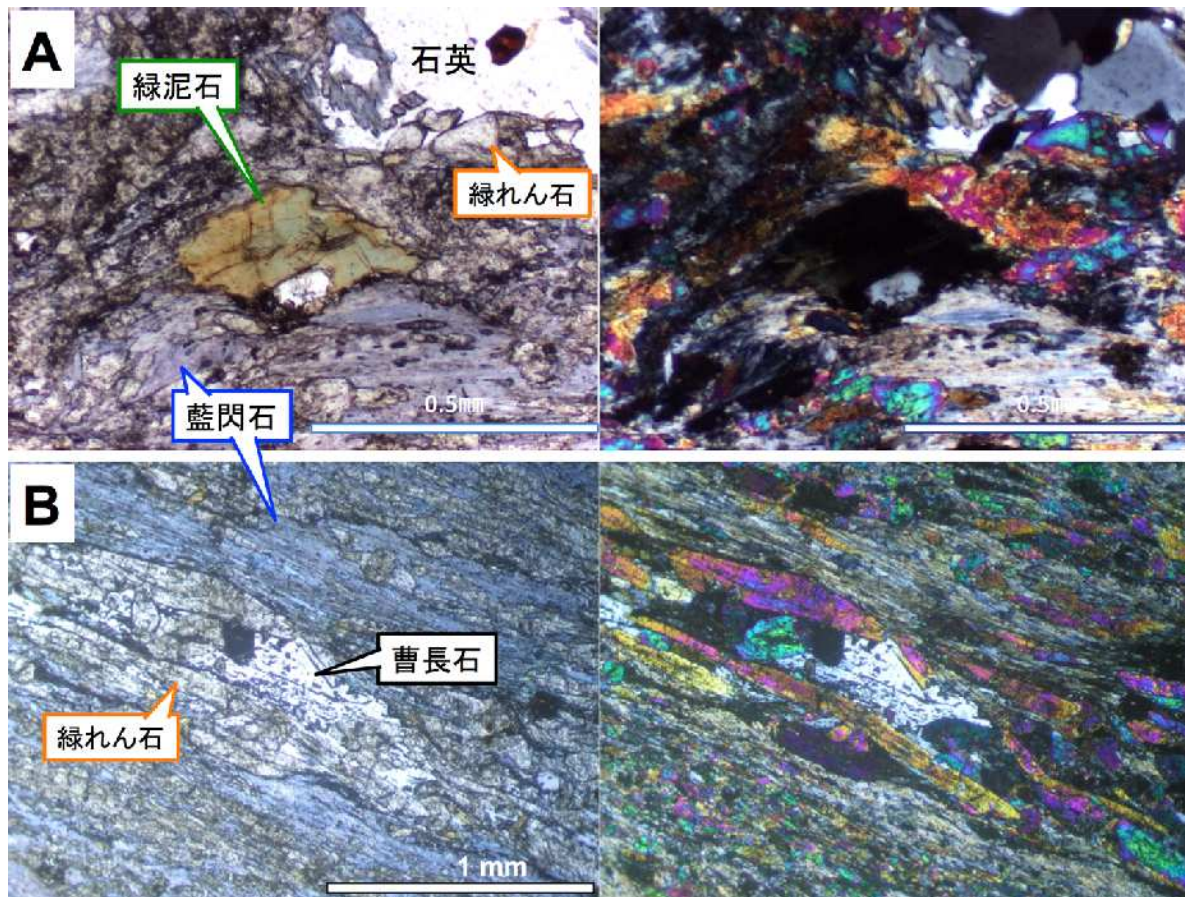


図 6 STOP1 で採取した青色片岩の薄片写真 (左: オープンニコル, 右: クロスニコル)
 A: ガーネット仮像と思われる緑泥石集合体. B: 藍閃石と緑れん石が示す片理に沿った定向配列. 曹長石はこの定向配列を乱すことなく, 片理構成鉱物の粒間を埋めるように成長しており, 片理の形成時期には曹長石 (エクロジャイト相で不安定) が存在しなかったことを示す.

引用文献（青矢担当部分）

- 青矢睦月・遠藤俊祐（2017）初期三波川変成作用の認識，及び後期白亜紀三波川沈み込み帯の描像。地質学雑誌, **123**, 677-698.
- 青矢睦月・野田篤・水野清秀・水上知行・宮地良典・松浦浩久・遠藤俊祐・利光誠一・青木正博（2013）新居浜地域の地質。地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）。産総研地質調査総合センター, 181 p.
- 青矢睦月・横山俊治（2009）日比原地域の地質。地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），産総研地質調査総合センター, 75 p.
- 坂野昇平・鳥海光弘・小畑正明・西山忠男（2000）岩石形成のダイナミクス，東京大学出版会，304p.
- Enami, M., Iwata, O. and Banno, S. (1979) Notes on petrography and rock-forming mineralogy (6) Glaucophane in the Iratsu amphibolite in the Sanbagawa belt in central Shikoku. *Journal of Japanese Association of Mineralogy, Petrology and Economical Geology*, vol.74, p.332-338.
- 東野外志男（1990）四国中央部三波川変成帯の変成分帯。地質学雑誌, **96**, 703-718.
- Inui M. (2002) Forward calculation of the formation of chemical zoning in garnet. *Transactions of the Kokushikan univ. faculty of engineering*, No.35, p.8-16.
- 岩崎正夫（1979 編）徳島の自然 地質 1. 徳島市民双書 13, 徳島市, 279p.
- Kabir, M. F. and Takasu, A. (2016) Jadeite-garnet glaucophane schists in the Bizan area, Sambagawa metamorphic belt, eastern Shikoku, Japan: significance and extent of eclogite facies metamorphism. *J. Metamorph. Geol.*, **34**, 893-916.
- Matsumoto, M., Wallis, S., Aoya, M., Enami, M., Kawano, J., Seto, Y. and Shimobayashi, N. (2003) Petrological constraints on the formation conditions and retrograde P-T path of the Kotsu eclogite unit, central Shikoku. *Journal of Metamorphic Geology*, vol.21, p.363-376.
- 都城秋穂（1965）変成岩と変成帯。岩波書店, 458p.
- 中島 隆・高木秀雄・石井和彦・竹下 徹（2004）変成・変形作用。日本地質学会（編）フィールドジオロジー第7巻，共立出版，194p.
- 産総研地質調査総合センター編（2015）20万分の1日本シームレス地質図2015年5月29日版。産総研地質調査総合センター。
- Taguchi, T. and Enami, M. (2014) Coexistence of jadeite and quartz in garnet of the Sanbagawa metapelite from the Asemi-gawa region, central Shikoku, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, vol.109, p.169-176.
- Takasu, A. (1984) Prograde and retrograde eclogites in the Sambagawa metamorphic belt, Besshi district, Japan. *Journal of Petrology*, vol.25, p.619-643.
- 徳島県（1987）土地分類基本調査「徳島」（5万分の1表層地質図）。徳島県農林水産部, 34p.
- Weller O. M., Wallis S. R., Aoya M. and Nagaya T. (2015) Phase equilibria modelling of blueschist and eclogite from the Sanbagawa metamorphic belt of southwest Japan reveals along-strike consistency in tectonothermal architecture. *Journal of Metamorphic Geology*, vol.33, p.579-596.
- Wood, B. J. and Banno, S. (1973) Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol.42, p.109-124.