

平成 21 年 5 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2005～2008

課題番号：17204045

研究課題名（和文） 中部九州肥後帯ならびに黒瀬川構造帯が超高压変成帯である可能性の検証

研究課題名（英文） The study on the possibility of a ultra-high pressure metamorphic belt of the Higo and Kurosegawa Zones in Central Kyushu

研究代表者

西山忠男(NISHIYAMA TADAO)

熊本大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：10156127

研究成果の概要：九州中部肥後帯中の肥後変成岩類ならびに黒瀬川構造帯中の変成岩類の岩石学的研究を行い、これらが中国大陸超高压変成帯（Kinlin-Dabie-Sulu UHP terrane）の断片であるという仮説の検討を行った。その結果、超高压鉱物の発見には至らなかったものの、肥後変成岩類中の石灰珪質片麻岩中からザクロ石 + 単斜輝石の鉱物組み合わせを見出し、その形成条件が約 800 度、900MPa であることを明らかにした。この変成条件は従来高温低圧型とされてきた肥後変成岩類の変成条件よりも明らかに高压であり、肥後変成岩類の変成条件の見直しが必要であることを示した。現在さらに高压の条件を示す岩石を発見し、研究中であり、本研究は九州中部変成帯研究に新たな視座を与えるであろう。黒瀬川帯の変成岩については、蛇紋岩中の構造岩塊として産する含ヒスイ輝石オンファス輝石曹長岩の形成条件を検討し、この岩石が 350 度程度、500MPa-1.1GPa の温度圧力条件で形成されたことを示した。これにより九州中部黒瀬川構造帯にも低温高压型変成岩が含まれることが明らかになった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	30,000,000	9,000,000	39,000,000
2006 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2007 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
総計	39,000,000	11,700,000	50,700,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：超高压変成作用・肥後変成帯・黒瀬川帯・低温高压型変成作用

1. 研究開始当初の背景

肥後変成岩類は従来、角閃岩相からグラニュライト相に至る低压の変成作用を受けているとされてきた (Yamamoto, 1962; Obata et al., 1994; Maki et al., 2004; Miyazaki, 2004) .ところが、肥後変成岩類からは低压高温変成作用とは非調和な鉱物ないし鉱物組み合わせが報告されている。唐木田・山本 (1982) はザクロ石角閃岩を報告し、中圧型の変成作用が低压型変成作用に先立って存在した可能性を論じた。Osanai et al. (1998) は蛇紋岩中の構造岩塊として産する含サフィリン・グラニュライトを発見し、その形成条件 (1.2GPa) から高压からの減圧型温度圧力経路を提唱した。また加納・宇留野 (1995) は川砂から藍晶石を、Maki et al (2004) は片麻岩の基質中に十字石を発見している。さらに肥後変成岩類の低温部と考えられている間の谷変成岩からはローソン石やアルカリ角閃石などの低温高压型鉱物が発見されている (唐木田ほか, 1989) .このように肥後変成帯を単純で典型的な高温低压型変成帯と考えることはできない。本研究開始前にわれわれはザクロ石角閃岩ならびにザクロ石・単斜輝石・石英岩などの特異な岩石を見出し、その中のザクロ石の分解生成物としてイルメナイト・単斜輝石シンプレクタイトを見出した。この総化学組成の推定からこれらのシンプレクタイトがメジャーライトの分解生成物である可能性を指摘した。この発見により肥後変成帯が超高压変成作用を受けた可能性が浮かび上がってきた。もしそうであるならば、肥後変成岩帯は中国大陸の Qinling-Dabie-Sulu 超高压変成帯の断片であることが予想され、日本の地体構造論を書きかえることになる。そのような重大な問題提起がなされた状況にあった。

2. 研究の目的

九州中央部の肥後変成帯から超高压変成作用の痕跡と考えられる鉱物組み合わせを発見したことから、本研究では更なる調査によってこの発見を確からしいものにし、九州の基盤岩 (肥後変成帯や黒瀬川構造帯の岩石) が中国大陸 Qinling-Dabie-Sulu (QDS) 大陸衝突帯の断片である可能性を明らかにすることを目的とする。

われわれが発見したのは、6GPa 相当の高压

下 (地下約 180-200 km) で形成されたと推定されるメジャーライトの分解生成物である。西山ほか (2004) では分解生成物の総化学組成から推定を行ったわけであるが、この方法は間接的であるため、もっと直接的に超高压条件を指示するコース石やマイクロダイヤモンドを発見する必要がある。ジルコンやザクロ石に包有される鉱物を顕微ラマン分光法で同定し、これらの鉱物を探索する。予想通り、超高压変成作用の証拠が得られたならば、大陸周縁部におけるテクトニクスを考察し、QDS 大陸衝突帯が九州中部にまで延長している可能性を議論し、新たな日本列島の地体構造論を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 地質調査：研究の基礎となる地質調査を関連地域で行った。この研究では中部九州肥後帯ならびに黒瀬川帯を対象としているが、それらの地体構造論を論じるためには、九州の他の変成帯との関係が重要となる。このため、九州の変成帯のうちその帰属が明らかでなく、地体構造論上も議論の多い長崎変成帯も含めて地質調査を行った。これに伴い当然ながら、多数の岩石資料を採集し、研究の対象とした。

(2) 鉱物・岩石の化学分析：採集した岩石の琢磨薄片を作成し、エネルギー分散型 X 線分析装置で化学組成の決定を行った。また岩石の全岩化学組成を蛍光 X 線分析装置で測定した。

(3) 変成条件の推定：鉱物組み合わせならびに各鉱物間の元素分配を利用した地質温度圧力計や、シュードセクションの方法によって、岩石が形成された温度圧力条件ならびに温度圧力履歴の検討を行った。

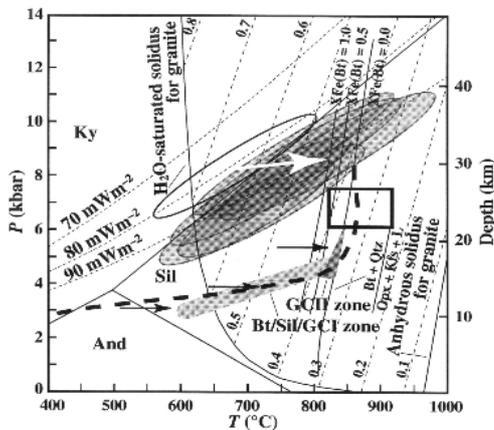
(4) 顕微ラマン分光法の応用：ザクロ石などの微細な包有結晶の同定のために顕微ラマン分光法を応用した。またザクロ石中に包有される石英結晶の残留応力見積もり法を名古屋大学榎並教授と協力して開発した。

4. 研究成果

(1) 肥後変成帯の一部 (川越地域) から発見したザクロ石 + 単斜輝石の鉱物組み合わせをもつ岩石の詳細な岩石学的検討を行った。この岩石が石灰珪質岩を原岩とする中圧

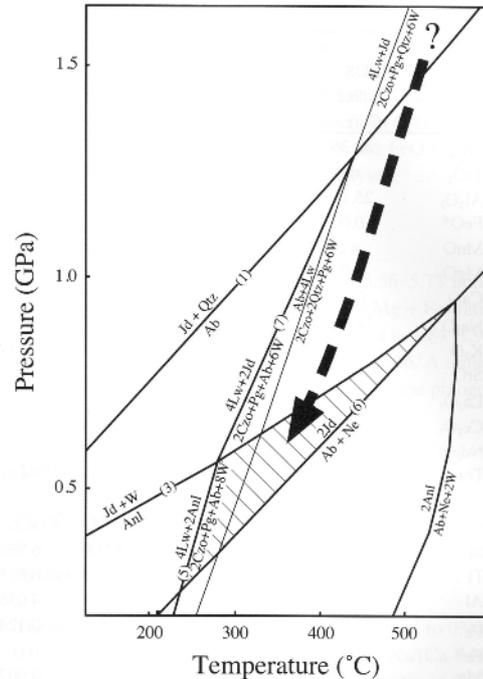
型グラニュライトであることを、地質温度圧力計による検討ならびにシュードセクション法による解析にもとづいて明らかにした。その形成過程は3つのステージに分けることができる。1番目から2番目のステージへはほぼ等圧の温度上昇過程（約800-900MPaで680-820度）を示している。この岩石は周囲の泥質片麻岩類と互層しており、肥後変成岩類全体がこのような高圧の条件下にあったことを強く示唆する結果である。肥後変成岩類が高圧ないし超高压の変成条件下にあった可能性はすでにOsanai(1998)によって示唆されているが、彼らの結論は蛇紋岩中の構造岩塊に基づくものであり、片麻岩本体が高圧の変成条件を記録していることが本研究によって明らかになったことに大きな意義がある。この研究成果はMaki et al.(2009)として発表された。まだ超高压変成岩であるとの確証は得られていないが、その仮説の検証に大きく近づいたところである。現在も引き続き、超高压変成作用の痕跡を求めて調査研究を継続しているところである。

下図にMaki et al.(2009)の図を掲載する。無地の楕円体は、1番目のステージの変成条件を誤差評価して示したものであり、影をつけた楕円体は2番目のステージの温度圧力条件を同様に誤差評価して示したものである。この図より地下約30kmの深さで等圧温度上昇過程が存在したことが読み取れる。



(2) 長崎変成岩類中のヒスイ輝石岩の形成条件の解明：肥後変成帯・黒瀬川構造帯を含む九州の地体構造論を議論する上で、帰属が不明な長崎変成岩類の検討は避けて通ることができない。この観点から長崎変成岩類中から産するヒスイ輝石岩の形成条件を、共同研究者の重野未来・森康とともに詳細に検討した。その結果、このヒスイ輝石岩は他地域のヒスイ輝石岩とは異なり、ヒスイ輝石の内部に微細な石英の包有結晶を含み、その部分の全化学組成はアルバイトに一致することが判明した。このことから、長崎変成岩中の

ヒスイ輝石岩はアルバイトの分解反応によって形成され、その温度圧力条件は450度、1.5GPaに達することが示された。この発見はヒスイ輝石岩の固体反応による形成過程を世界で初めて明らかにした点で重要である。下図にShigeno et al.(2005)によるヒスイ輝石岩の温度圧力履歴を示す。



(3) 顕微ラマン分光法による残留応力推定法の確立：名古屋大学榎並正樹教授との共同研究によるザクロ石中の石英包有結晶の残留応力をラマンシフトから見積もる方法を確立し、変成作用の圧力条件推定へ新しい道を開いた。この共同研究では弾性体モデルによる応力推定の部分を研究代表者が担当した。ザクロ石がその成長の際に石英を取り込むと、変成帯上昇にともなう温度圧力変化のため弾性定数の違いにより内部応力が発生する。その残留内部応力をラマンシフトにより測定することで、ザクロ石が石英を取り込んだ際の圧力条件を逆推定できる。この方法は極めて強力で、榎並氏により三波川帯のエクログナイトナップの再定義の仕事へと発展しつつある。われわれも現在この方法を用いて肥後変成帯中の泥質片麻岩に含まれるザクロ石を対象に研究を進めている。以下にEnami et al.(2007)で公表した残留圧力の弾性体モデルによる見積もりの結果を示す。

TABLE 3. Numerical simulations of internal pressures of metamorphic quartz incl

Senbagawa		Qz-rich eclogite			
T_{peak} (°C)	665		710		
P_{peak} (GPa)	2.4	2.5	2.4	2.5	
P_{int} (GPa)					
in Alm	0.81	0.85	0.80	0.84	
in Prp	0.90	0.95	0.90	0.94	
in Grs	0.45	0.49	0.45	0.48	
in Sps	0.84	0.88	0.83	0.87	

Sanbagawa epidote-amphibolite facies rocks

		Olig-biotite zone			
T_{peak} (°C)	585		635		
P_{peak} (GPa)	0.9	1.1	0.9	1.1	
P_{int} (GPa)					
in Alm	0.23	0.31	0.22	0.30	
in Prp	0.30	0.38	0.30	0.38	
in Grs	0.10	0.15	0.09	0.14	
in Sps	0.25	0.33	0.24	0.32	

Allai amphibolite facies rocks

		470		570	
P_{peak} (GPa)	0.30	0.55	0.30	0.55	
P_{int} (GPa)					
in Alm	0.02	0.12	0.01	0.09	
in Prp	0.07	0.17	0.06	0.16	
in Grs	-0.02	0.04	0.04	0.02	
in Sps	0.04	0.13	0.01	0.11	

Notes: T_{peak} and P_{peak} = deduced peak metamorphic conditions; P_{int} = estimated internal stress
 grossular; Sps = spessartine; Olig = oligoclase; Ab = albite.

これはホストのザクロ石の組成を、アルマン
 デイン、パイロープ、グロッシュラー、スペ
 サルティンの4つの端成分で考え、それぞれの
 弾性定数を用いて計算した結果である。その
 結果、ザクロ石の化学組成の効果はそれほど
 大きくないことが分かる。

(4) 黒瀬川構造帯から産する含ヒスイ輝
 石・オンファス輝石・アルバイト岩の形成条
 件とアルカリ輝石の固溶体モデル: 標記岩石
 を詳細に検討し、この岩石が350度程度、
 500MPa-1.1GPaの温度圧力条件下で形成され
 たことを明らかにした。またこの岩石に含ま
 れる3種の輝石: ヒスイ輝石、オンファス輝
 石、ヘデンベルグ輝石/透輝石の組成の検討
 から、これらの輝石間の不混和領域の推定を
 行い、この不混和領域と調和的な輝石固溶体
 モデルを議論した。この成果は Miyazoe et
 al.(2009)として発表した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
 は下線)

[雑誌論文](計 11 件)

1. Maki, K., Fukunaga, Y., Nishiyama, T.,
 and Mori, Y.: Prograde P - T path of
 medium-pressure granulite
 facies calc-silicate rocks, Higo
 metamorphic terrane, central Kyushu,
 Japan. *Journal of Metamorphic Geology*,
 査読あり, v.27, 2009, 107-124.
2. Miyazoe, T., Nishiyama, T., Uyeta, K.,
 Miyazaki, K. and Mori, Y.: Coexistence
 of pyroxenes jadeite, omphacite, and
 diopside/hedenbergite in an
 albite-omphacite rock from a
 serpentinite mélange in the Kurosegawa
 Zone of Central Kyushu, Japan.
American Mineralogist, 査読あり,
 v.94, 2009, 34-40.
3. Yuguchi, T. and Nishiyama, T.: The

mechanism of myrmekite formation
 deduced from steady-diffusion
 modeling based on petrography:: Case
 study of the Okueyama granitic body,
 Kyushu, Japan. *Lithos*, 査読あり,
 v.106, 2008, 237-260.

4. Yuguchi, T. and Nishiyama, T.: Cooling
 process of a granitic body deduced from
 the extents of exsolution and deuteritic
 sub-solidus reactions: Case study of
 the Okueyama granitic body, Kyushu,
 Japan. *Lithos*, 査読あり, v.97, 2007,
 395-421.
5. Enami, M., Nishiyama, T. and Mouri, T.:
 Laser Raman microspectrometry of
 metamorphic quartz: A simple method
 for comparison of metamorphic
 pressures. *American Mineralogists*,
 査読あり, v.92, 2007, 1303-1315.
6. Mori, Y. and Nishiyama, T.: Chemical
 mass balance in a reaction zone between
 serpentinite and metapelites in the
 Nishisonogi metamorphic rocks, Kyushu,
 Japan: Implications for
 devolatilization. *Island Arc*, 査読
 あり, v.16, 2007, 28-39.
7. Nishiyama, T., Tominaga, A. and Isobe, H.:
 From an initial transient state to
 steady-state in metamorphic
 reactions: An experimental approach in
 the system dolomite-quartz-H₂O.
Island Arc, 査読あり, v.16, 2007,
 16-27.
8. Ikeda, T., Nishiyama, T., Yamada, S.
 and Yanagi, T.: Microstructures of
 olivine - plagioclase corona in
 meta-ultramafic rocks from Sefuri
 Mountains, NW Kyushu, Japan. *Lithos*,
 査読あり, v.97, 289-306.
9. Fukuyama, M., Nishiyama, T., Urata, K.,
 and Mori, Y.: Steady-diffusion
 modeling of a reaction zone between a
 metamorphosed basic dyke and a marble
 from Hirao-dai, Fukuoka, Japan.
Journal of Metamorphic Geology, 査読
 あり, v.24, 2006, 153-168.
10. Ikeda, T., Yoshida, H., Arima, K.,
Nishiyama, T., Yanagi, T., and
 Miyazaki, K.: Grfanet-clinopyroxene
 amphibolites from the Takahama
 metamorphic rocks, western Kyushu, SW
 Japan: evidence for high-pressure
 granulite facies metamorphism.
*Journal of Mineralogical and
 Petrological Sciences*, 査読あり,
 v.100, 2005, 104-115.
11. Shigeno, M., Mori, Y. and

Nishiyama, T.: Reaction microtextures in jadeitites from the Nishisonogi metamorphic rocks, Kyushu, Japan. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 査読あり, v.100, 2005, 237-246.

〔学会発表〕(計 8 件)

1. Shigeno, M., Mori, Y. and Nishiyama, T.: Metasomatic zoning around jadeitite: Evidence for chemical interaction with Sr- and Ba-rich fluids during exhumation. 33rd International Geological Congress, 2008年8月20日, Oslo, Norway.
2. 宮副智之・西山忠男:九州黒瀬川帯の破木変成岩類における変成作用. 日本地質学会西日本支部会, 2008年2月16日, 熊本.
3. Miyazoe, T. and Nishiyama T.: P-T path recorded in lawsonite-blueschists from the Kurosegawa Belt at Itsuki, central Kyushu, Japan. 日本地球惑星科学連合大会, 2007年5月20日, 幕張.
4. 牧 賢志・西山忠男: 肥後変成作用の高温高压変成作用. 日本地球惑星科学連合大会, 2006年5月16日, 幕張.
5. 宮副智之・西山忠男・植田和男: 九州黒瀬川帯に産するヒスイ輝石-オンファス輝石-ヘデン輝石の共生を含むアルバイト・オンファス輝石岩. 日本地質学会, 2006年9月17日, 高知.
6. 高田里美・西山忠男: 熊本県五木村の黒瀬川帯に産する変成岩類: その岩石学的特徴と原岩形成場. 日本地質学会, 2006年9月17日, 高知.
7. 西山忠男・尾上真也: 熊本県上天草市樋の島の肥後変成岩類から見出されたザク口石仮像を含む単斜輝岩. 日本地質学会, 2005年9月20日, 京都.
8. 高田里美・西山忠男: 熊本県球磨郡五木村における黒瀬川帯の角閃岩類とグラニユライト. 日本地質学会, 2005年9月20日, 京都.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西山 忠男 (NISHIYAMA TADAO)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号: 10156127

(2) 研究分担者

磯部 博志 (ISOBE HIROSHI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号: 80311869

横瀬 久芳 (YOKOSE HISAYOSHI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号: 50230644

池田 剛 (IKEDA TAKESHI)

九州大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号: 40243852

可児 智美 (KANI TOMOMI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号: 60332863

(3) 連携研究者

なし