

平成21年 5月23日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17253005
 研究課題名（和文）ユーラシア大陸極東域における微小大陸衝突・集合時の変動テクトニクス
 研究課題名（英文）Evolution tectonics during micro-continent collision in the Far Eastern Eurasian Continent
 研究代表者
 小山内 康人（OSANAI YASUHITO）
 九州大学・大学院比較社会文化研究院・教授
 研究者番号：80183771

研究成果の概要：

本研究では、ユーラシア大陸極東域（韓国，中国雲南省，ミャンマー，タイ，ラオス，ベトナム）における古生代末～中生代初期に起こった微小大陸衝突帯の正確な分布を明らかにし，そこでの変成・火成作用を含む深部地質現象を解析した．各地で見出された大陸衝突境界から超高温変成岩類，超高压変成岩類を発見し，精密な岩石学的解析と年代測定を実施して，ベトナム縦貫造山帯の提唱など，アジアにおける衝突型造山帯に実体を明らかにした．4年間の公表論文数は31件である．

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
2006年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2007年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2008年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
年度			
総計	24,400,000	7,320,000	31,720,000

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：極東ユーラシア，大陸衝突帯，超高温変成岩，超高压変成岩，衝突型造山運動，年代測定，ペルム紀／トリアス紀，国際交流

1. 研究開始当初の背景

東アジアにおける微小大陸衝突帯および衝突型造山帯の研究は，政治的・地勢的条件等も相まって，古典的な研究手法に基づく場合が多く，地質学的・年代学的情報との関連性の欠如などから，多くの未解決な問題が残されていた．特に衝突帯深部現象の解析には変成作用と変動テクトニクスの研究が重要であるが，統一的な視点による最新の分析手法を駆使した解析が行われた地域が少なく，

ユーラシア大陸成長の核とも考えられる東アジア地域における衝突帯深部現象に関する地質学的情報は決定的に不足していた．

本研究による，東アジアの広範な地域における微小大陸衝突帯の正確な年代決定，変成履歴解析，火成作用の解析および変動テクトニクスの解明は，ユーラシア大陸極東地域の大陸地殻形成の解明のみならず，日本海拡大前の日本列島のテクトニクスやゴンドワナ超大陸分裂過程における広域テクトニクス

の研究においても重要なデータを提供するものと考えられ、ロディニアおよび Gondwana 超大陸以降の全地球テクトニクスの解明にも大きく貢献することが期待された。

2. 研究の目的

地球の進化を考察するうえで、過去に存在した超大陸の形成・進化過程を理解することは地球科学における重要な課題の一つである。現在の地球上における最大の面積を占めるユーラシア大陸は、古生代末～中生代初期以降のスーパーコールドプルームの発生に伴い微小大陸（地塊）が衝突・集合し形成された“現在の超大陸”ともみなされる。

ユーラシア大陸極東部のアジア地域は大陸形成の核となる場でもあり、大陸成長および進化のメカニズムを解析する上で微小大陸衝突帯の正確な地域分布を明らかにすることは最も基本的な地質学的情報となり、各国の研究者からその重要性・詳細な研究の必要性が唱えられ諸説が提唱されている。例えば、新生代のインド亜大陸の衝突に伴い形成されたヒマラヤ衝突帯や中生代・トリアス紀初期の南・北中国地塊の衝突による大別山地域など、比較的詳細な研究が行われている地域も存在する。一方、申請者らの研究によって明らかにされたベトナム中部のコンツム地域のように、かつては太古代の大陸基盤と考えられてきた地域が、トリアス紀初期に起こったインドシナ・南中国地塊の衝突境界と見なされるようになり、超高压・超高温変成岩類の発見により衝突帯深部現象が新たに解析されるようになった地域すら存在する。上述のヒマラヤ衝突帯においても、近年コークス石を含む超高压変成岩類が知られるようになり、地域分布に加えて衝突帯深部での地質現象が一層明らかになりつつある。

本研究では、2004年度まで研究代表者を中心に実施してきたベトナム地域における研究を飛躍的に発展させ、ユーラシア大陸極東域（東アジア）全域における古生代末～中生代初期に起こった微小大陸衝突帯の正確な地域分布を明らかにし、そこでの変成・火成作用を含む深部地質現象を正確に解析することを主要な研究目的とする。インドシナ地塊、南・北中国地塊、およびシベリア地塊などの東アジアにおける各微小地塊衝突境界では、これまで各国研究者による個別の研究が行われてきたが、同一の研究手法での対比・検討は行われていない。広域的な調査に基づき大陸成長初期に関わる変動テクトニクスモデルを構築するために、以下の研究を実施する。

(1)インドシナ地塊、南中国地塊、北中国地塊およびシベリア地塊の各境界地域に焦点を当て、インドシナ半島・中国南西部（チュオンソン縫合帯、レッドリバー剪断帯）・韓半島（イムジンガン帯、オクチョン帯）・北中国-

モンゴル周辺地域などのペルム紀末～トリアス紀初期衝突変動帯について、現地地質調査を実施し、同一の視点と手法により岩石試料採取と地質構造の精密な解析を行う。

(2)国内における最新の分析システムを利用して、Sm-Nd, Rb-Sr, U-Pb-Th, Ar-Ar等マルチアイソトープによる同位体測定と精密年代測定を行い、対象岩石を特定する。さらにREE, 白金族元素を含む岩石化学組成測定とあわせて、各種変成岩類・深成岩類の原岩・起源マントル物質を特定する。

(3)変成作用の解析から地殻-マントル間の温度構造の変遷と熱フラックスの解析を実施し、東アジアにおける微小大陸衝突帯深部における地質現象と変動テクトニクスを考察する。

3. 研究の方法

(1)調査対象地域

ユーラシア大陸極東域（東アジア）の微小大陸衝突帯について、以下の地域を対象に調査・研究を行う（図1参照）。

- ①インドシナ-南中国地塊境界地域（ベトナム, ラオス：平成17・20年度調査）
- ②インドシナ-シブマス地塊境界地域（タイ・ミャンマー・ラオス：平成17年度調査）
- ③西ビルマ-シブマス-インドシナ-南中国地塊集合部地域（北東ヒマラヤシンタクシ地域：ミャンマー, インド, 中国：平成17・18年・19年度調査）
- ④シンタン-ツァムドシマオ-ソンパンガンジー地塊集合部地域（中国チベット：平成18年度調査）
- ⑤ソンパンガンジー-南中国地塊境界地域（中国, モンゴル：平成18・19年度調査）
- ⑥北中国-南中国地塊境界地域（中国, 韓国：平成19・20年度調査）

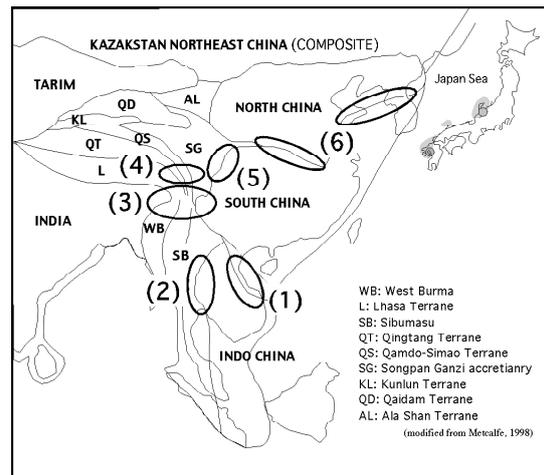


図1：ユーラシア大陸極東域の衝突帯分布

(2)調査方法

各年度における重点的調査地域について、

各1ヶ月間の地質調査を実施する。調査班は日本側研究者(複数名)および関連する海外研究協力者とし、同時行動による集中的かつ精密な野外調査を実施する。調査地域までは各国拠点空港まで空路を利用し、その後は国内線空路、鉄道、自動車を利用する。各調査地域内では陸路を4輪駆動車で移動し、地表地質踏査は徒歩で行う。精密調査に対応する地形図が入手困難な場合は、衛星画像およびGPSシステムを利用して調査地点を確認する。各調査地点では、地質学的・岩石学的・構造地質学的調査を実施し、調査隊共通試料のみを採取する。採取試料は、日本国内への発送が可能な拠点都市までは鉄道および陸路貨物輸送とし、日本にはすべて船便で輸送する。

(3) 試料解析

各地域の精密地質調査で得られた岩石試料の岩石記載を徹底的に行い、顕微鏡下での鉱物反応組織の解析とマイクロプローブを用いた鉱物化学分析により、各種衝突帯深部岩石の形成条件を明らかにする。これには九州大学・千葉大学・山口大学設置のEPMAを使用する。

記載岩石学的解析により選定した最適試料を用いて、蛍光X線分析(九州大学・山口大学設置)・プラズマ発光分析(九州大学・新潟大学設置)等による全岩化学分析を行い、変成岩の原岩および深成岩類のマグマ特性等を明らかにする。

また、選別した最適試料を用いて、K-Ar, Ar-Ar 同位体分析, Sm-Nd, Rb-Sr 同位体分析, U-Pb SHRIMP 年代測定等のマルチアイソトープによる年代測定を行い、EMP 化学年代測定を併用して各種変成岩・深成岩の形成年代を明らかにする。これらの同位体測定は、九州大学・新潟大学の質量分析装置および国立極地研究所の二次イオン質量分析装置・電子線マイクロプローブを使用する。

(4) 変動テクトニクスの解析

各種岩石の形成条件および変成履歴と地質構造解析結果を統合して、各調査対象地域の大陸衝突帯深部現象と変動テクトニクスを解析する。また、広範な地域の地球物理学的観測データと対応させ、調査地域の地下構造の精密な解析を行い、東アジアにおける衝突帯深部現象および変動テクトニクスについてモデル化を検討する。

(5) 成果の公表および国際協力

研究成果は、研究初年度から予察的成果を含めて国内・国際学会で発表し、国内誌・国際誌に公表する。調査対象地域のうち発展途上国では、主に若手研究者を対象に本研究内容と最新の地球科学について講演し、研究成果の普及に努める。また、複数国において国

際シンポジウム・ワークショップを開催し、研究成果の普及と国際研究交流を推進する。

4. 研究成果

(1) 調査実施地域

ユーラシア大陸極東域(東アジア)の微小大陸衝突帯のうち、以下の地域について調査・研究を実施した(図1参照)。

①インドシナ-南中国地塊境界地域(ベトナム, ラオス, 中国:平成17・18・19・20年度調査),

②西ビルマ-シブマス-インドシナ-南中国地塊集合部地域(北東ヒマラヤシンタクシ地域:ミャンマー, 中国:平成17・18年度調査)

③インドシナ-シブマス地塊境界地域(タイ・ラオス:平成17・18・19年度調査)

④北中国-南中国地塊境界地域(韓国:平成20年度調査)

なお、当初予定の下記の地域については、政治情勢等の悪化により調査が困難と考えられたため、現地調査を断念した。

⑤ソンパンガンジー-南中国地塊境界地域(中国, モンゴル)

⑥シンタン-ツァムドシマオ-ソンパンガンジー地塊集合部地域(中国チベット)

全調査予定地域のうち、中央アジアの2地域については調査を実施できなかったが、東南アジアを中心とした微小大陸衝突境界の実体をほぼ完全に掌握できたことは多大な成果と考えられる。

(2) 変成岩岩石学的成果

調査実施地域における高度変成岩類は、原生代-太古代の変成岩類と考えられてきたが、本研究による精密年代測定結果から、すべて古生代末以降の変成作用により形成されたことが明らかになった。また、これまで報告の無かった衝突型変成作用による地殻深部-マントル由来の特殊な変成岩類を多数発見した。

①インドシナ-南中国地塊境界地域:ベトナム中部・コンツム地塊からダイヤモンドを含む超高压変成岩を東南アジアから初めて発見し、SHRIMP II による微小領域年代測定結果とあわせて、石炭紀末からトリアス紀初期にかけての超高压/超高温変成作用のリンクを含め、時計回りの変成プロセスの解析に成功した。ベトナム北部・ソンマ縫合帯においては、低温・超高压エクロジャイトを東南アジアから初めて発見し、SHRIMP II および CHIME 法による微小領域年代測定結果とあわせて、石炭紀末からトリアス紀初期にかけての変成履歴解析を行った。ベトナム北部・ソンホン剪断帯地域からは、コランダム-石英共生を含む超高温

グラニュライトやモアッサナイト (SiC 鉱物) を含む超高温変成岩を発見し、衝突型造山帯の極深部現象を明らかにした。一方、本地塊境界の北部となる中国雲南省・ツァンシャン地域では衝突型造山帯浅部に由来する、時計回りの変成履歴をしめす角閃岩相高温部の変成岩類を見出した。この変成岩類からは、トリアス紀の年代値を得たものの、大多数の年代測定結果はインド亜大陸の衝突に伴うアジアにおける最終的な大規模変動現象 (マイロナイト化) を反映して、第三紀に至る若い年代値を示すことが明らかになった。本地殻境界地域から得られた変成履歴の一例を図2に示す。

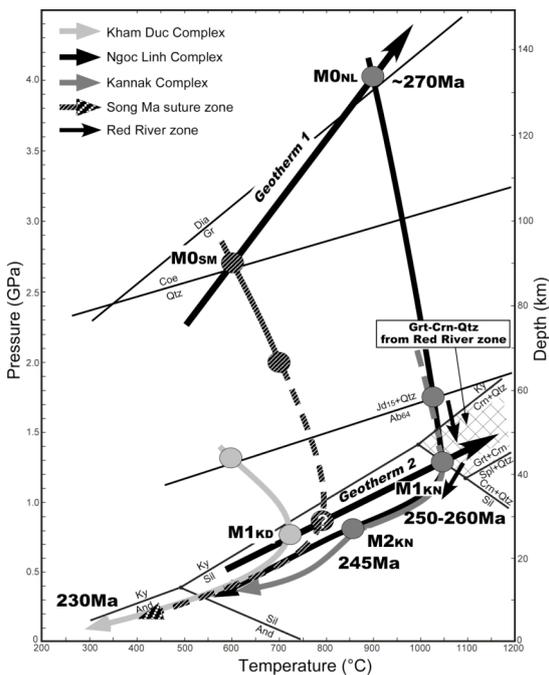


図2 インドシナ-南中国衝突境界でみられる変成履歴 (Osanai et al., 2008)

②西ビルマ-シブマス-インドシナ-南中国地塊集合部地域：中国雲南省・三江地域およびミャンマー北部地域の変成岩類について解析した。三江地域およびミャンマー北部の東部地域では、大陸衝突型造山帯の下盤側大陸 (インドシナ地塊) 浅部に由来する角閃岩相の変成作用が明らかになり、反時計回りの変成履歴が解明された。一方、ミャンマー北部の西部地域では西ビルマ-インドシナ衝突境界で形成されたヒスイ輝石を含む高温型変成岩の存在が示された。これらの変成岩類については、マルチアイソトープによる年代測定を継続中である。

③インドシナ-シブマス地塊境界地域：タイ南部・チャンタブリおよびフアヒン地域および北部・チェンマイ地域、ならびにラオス中-南部地域の変成岩類について解析し、緑色片岩相-角閃岩相高温部の変成作用が

明らかになった。従って、これらの地域では、衝突帯深部岩石が露出していないことを確認した。また、マルチアイソトープによる年代測定の結果、これらの変成作用は白亜紀に進行したことが明らかになり、インドシナ-シブマス地塊における衝突型造山運動について再検討する必要性が示された。

④北中国-南中国地塊境界地域：韓国北部・イムジンガン地域において地質調査を韓国諸大学研究者と共同で実施し、グラニュライト相変成岩類およびエクロジャイト相変成岩類について精密な解析を実施した。また、日本国内の肥後変成岩類および背振変成岩類について再検討し、日本海拡大前の本地塊境界関連変成岩として明確な意義付を行った。

(3) 火成岩岩石学的成果

上記の変成岩類調査地域において、関連する深成岩類の調査・解析を実施した。インドシナ-南中国地塊衝突境界では、超高温変成作用と密接に関連するペルム紀末-トリアス紀初期に活動した含ザクロ石-斜方輝石-トナール岩の存在を明らかに、変成岩類の部分溶融過程とマグマ作用について解析した。また、インドシナ-シブマス地塊衝突境界では、新・旧2期の花崗岩活動が明らかとなり、変成作用との関連および年代学的検討を継続中である。

(4) 変動テクトニクスの解析成果

本研究では、ユーラシア大陸極東地域における微小大陸衝突境界での衝突型造山プロセスについて検討した。特にアジア大陸極東部でおこったペルム紀末-トリアス紀初期 (約 250 Ma) の衝突型造山運動について、詳細な解析を実施した。

①インドシナ-南中国地塊衝突境界では、ベトナム中部のコンツム地塊から中国雲南省・ツァンシャン地域にいたる一連の衝突型造山帯の存在を明らかにし、「ベトナム縦貫造山帯」を提唱した。従来から知られていた、コンツム地塊、チュオンソン変成岩、ソン・マ縫合帯、ソンホン剪断帯などのベトナム各地の変成岩類は、すべて一連の大陸衝突型造山運動で形成されたことになり、本造山帯の北限は、従来から知られていた紅河-アライオシャン剪断帯として認識され、造山帯そのものは、北方に向かって収斂しながら中国雲南省に至ることをしめした。

ベトナム縦貫造山帯内部に分布する、緑色片岩相から超高温グラニュライト相、超高温エクロジャイト相にいたる極めて多様な変成岩類は、インドシナ地塊が南中国地塊に沈み込む過程で形成された。その際、時計回りの昇温期変成過程で超高温条件を獲得するには、イーメイシャン玄武岩やソング玄武岩

類に代表されるような、マントル由来の火成活動が直接の熱源として認識できる。本造山帯形成後の大規模変形運動による剪断・褶曲で、マントル上部-地殻浅部の様々な変成岩類が地表に露出した結果、ベトナム各地の変成岩ユニットが識別される。ベトナム縦貫造山帯の分布を図3に示す。

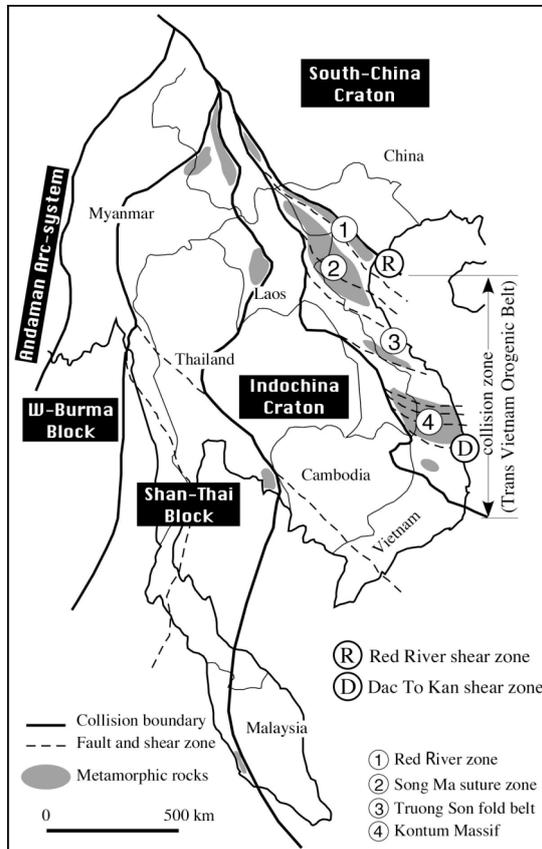


図3 ベトナム縦貫造山帯の位置図 (Osanai et al., 2008)

②北中国-南中国地塊衝突境界では、約250 Maに南中国地塊が北中国地塊に沈み込むことにより、前者の地殻深部で超高压変成岩を含む中国・大別山変成岩類および韓国・ギョンギ変成岩類が形成された。その際、この衝突境界ではマントル由来の火成活動がおこらなかったため、超高温変成作用は認められない。一方、北中国地塊の地殻内では高温型変成作用が進行し、北部大別山変成岩類およびイムジンガン変成岩類が形成された。これらの高温型変成岩類と肥後変成岩類は、原岩構成、変成過程、原岩年代、変成年代等ほぼすべての構成要素が類似することから、肥後変成岩類の起源を北中国-南中国地塊衝突境界に求めることが可能となった。

(5) 国際交流

2007年に福岡で第4回 Gondwana からアジア国際シンポジウムを開催し、国内約60

名、海外約50名の参加を得て、本研究成果を中心に活発な議論を行った。また、2008年にはソウルでの同第5回シンポジウムにも本研究グループの多数の参加を得て、大きく貢献した。

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31件)

① Nakano, N., Osanai, Y., Owada, M., Hayasaka, Y. and Tran Ngoc Nam, (2008) Permo-Triassic Barrovian metamorphism in the Kontum Massif, central Vietnam: constraints on continental collision tectonics in Southeast Asia. *Island Arc*, 18, 126-143. 査読有

② Osanai, Y., Nakano, N., Owada, M., Tran Ngoc Nam, Miyamoto, T., Nguyen Thi Minh, Nguyen Van Nam and Tran Van Tri, (2008) Collision zone metamorphism in Vietnam and adjacent South-eastern Asia: Proposition for Trans Vietnam Orogenic Belt. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, 103, 226-241. 査読有

③ Nakano, N., Osanai, Y., Minh, N.T., Miyamoto, T., Hayasaka, Y. and Owada, M., (2008) Discovery of high-pressure granulite-facies metamorphism in northern Vietnam: Constraints on the Permo-Triassic Indochinese continental collision tectonics. *Comptes Rendus Geoscience*, 340, 127-138. 査読有

④ Nakano, N., Osanai, Y. and Owada, M., (2007) Multiple breakdown and chemical equilibrium of silicic clinopyroxene under extreme metamorphic conditions in the Kontum Massif, central Vietnam. *Am. Mineral.*, 92, 1844-1855. 査読有

⑤ Owada, M., Osanai, Y., Nakano, N., Matsushita, T., T. N. Nam, Tsunogae, T., Toyoshima, T., Pham Binh and Kagami, H., (2007) Crustal anatexis and formation of two types of granitic magmas in the Kontum massif, Vietnam: Implications for magma processes in collision zones. *Gondwana Res.*, 12, 428-437. 査読有

⑥ Osanai, Y., Sajeev, K., Owada, M., Kehelpannala, K.V.W., Prame, W.K.B., Nakano, N. and Jayatileke, S., (2006) Metamorphic evolution of ultrahigh-temperature and high-pressure granulites from the Highland Complex, Sri Lanka. *Jour. Asian Earth Sci.*, 28, 20-37. 査読有

⑦ Osanai, Y., Owada, M., Kamei, A., Hamamoto, T., Kagami, H., Toyoshima, T., Nakano, N. and Tran Ngoc Nam, (2006) The Higo metamorphic complex in Kyushu, Japan as the fragment of Permo-Triassic metamorphic complexes in East Asia. *Gondwana Res.*, 9, 152-166. 査読有

⑧ Osanai, Y., Nakano, N., Owada, M., Pham Binh, Tran Ngoc Nam, Duong Duc Kiem and

Tran Van Tri, (2005) Recent progress in metamorphic process of the Kontum Massif, central Vietnam. Geology and Mineral Resources Vietnam, 9, 171-186. 査読有

〔学会発表〕(計55件)

①Osanai, Y., Nakano, N., Owada, M., Miyamoto, T. et al. (2008) Permo-Triassic collision zone metamorphism in Vietnam and South-east Asia. International Symposium on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008), 2008.11, Bangkok (Thailand).

②Osanai, Y., Nakano, N., Owada, M., T. N. Nam, Pham Binh, Miyamoto, T., Baba, S., et al. (2008) Trans Vietnam Orogenic Belt as an important continental collision boundary in Eastern Asia. 5th International Symposium on Gondwana to Asia, 2008.10, Seoul (South Korea).

③Osanai, Y., Shiraishi, T., Toyoshima, T., Owada, M., Baba, S., Hokada, T., Nakano, N. et al. (2008) Pan-African collision metamorphism in the Sor Rondane Mountains, Eastern Dronning Maud Land, East Antarctica. Gondwana 13, 2008.9, Dali (China).

④Osanai, Y., Nakano, N., Owada, M., Tran N. Nam, Binh, P., Miyamoto, T., Baba, S., Kawakami, T., Toyoshima, T., Nguyen T. Minh and Tran V. Tri, (2007) Lower crustal processes of Trans Vietnam Orogenic Belt and its northern extension: evidences for Permo-Triassic collision metamorphism in Eastern Asia. 4th International Symposium on Gondwana to Asia. 2007.11, Fukuoka (Japan).

⑤Osanai, Y., Owada, M. and Nakano, N., (2007) UHT/UHP collision zone metamorphism in Vietnam and adjacent southeastern Asia: Proportion of Trans Vietnam Orogenic Belt. AOGS 2007 4th Annual Meeting, 2007.8, Bangkok (Thailand)

⑥Osanai, Y., Nakano, N., Owada, M., Tran N. Nam, Binh, P., Miyamoto, T. and Nguyen T. Minh, (2006) Metamorphic evolution of the Permo-Triassic continental collision zones in Vietnam and adjacent southeastern Asia. 2006 Annual Convention of International association for Gondwana Research, 2006.12, Hong Kong (China).

⑦Osanai, Y., Nakano, N., Owada, M., Tran N. Nam, Binh, P., Miyamoto, T. and Nguyen T. Minh, (2006) Collision zone metamorphism under extreme P-T condition in Vietnam and adjacent SE-Asia. 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, 2006.7, Kobe (Japan).

⑧Osanai, Y., Nakano, N., Owada, M., Tran N.

Nam, Toyoshima, T., Tsunogae, T, Hokada, T., Kaiden, H., Kagami, H., Taguchi, S. and Binh, P., (2005) Permo-Triassic collision zone metamorphism in the Kontum Massif, central Vietnam. 3rd International Symposium on Gondwana to Asia, 2005.9, Beijing (China).

〔図書〕(計1件)

①Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y., Osanai, Y., Hiroi, Y. and Shiraishi, K., Geological Society of London, Geodynamic Evolution of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana Connection, (2008), 456p.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小山内 康人 (OSANAI YASUHIITO)
九州大学・比較社会文化研究院・教授
研究者番号：80183771

(2) 研究分担者

廣井 美邦 (HIROI YOSHIKUNI)
千葉大学・理学研究科・教授
研究者番号：40019427
大和田 正明 (OWADA MASA AKI)
山口大学・理工学研究科・教授
研究者番号：50213905
宮本 知治 (MIYAMOTO TOMOHARU)
九州大学・理学研究院・助教
研究者番号：30281190
中野 伸彦 (NAKANO NOBUHIKO)
九州大学・比較社会文化研究院・助教
研究者番号：20452790

(3) 連携研究者

有馬 眞 (ARIMA MAKOTO)
横浜国立大学・環境情報研究院・教授
研究者番号：10184293
豊島 剛志 (TOYOSHIMA TSUYOSHI)
新潟大学・自然科学研究科・准教授
研究者番号：10227655
金尾 政紀 (KANA O MASA KI)
国立極地研究所・研究系・助教
研究者番号：40233845
馬場 壮太郎 (BABA SOUTARO)
琉球大学・教育学部・教授
研究者番号：10347122

(4) 研究協力者

Tran Ngoc Nam
Hue University of Science・准教授
Punya Charsiri
Chulalongkorn University・准教授
Moon Sup Cho
Seoul National University・教授
Li Zilong
Zhejiang University・講師