

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05640

研究課題名(和文)放射年代及び定量的熱史解析に基づくプルアパート堆積盆の時空分布と発達過程の研究

研究課題名(英文) Research on the spatiotemporal distribution and development processes of pull-apart basins based on the radiometric dating and quantitative analysis of thermal history

研究代表者

伊藤 康人 (Itoh, Yasuto)

大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20285315

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：一般に、島弧を横断する横ずれ断層の近傍には、巨大なプルアパート堆積盆が形成される。その発達プロセスを理解することは、プレート収束境界の物質循環メカニズムの実態を解明するため、極めて重要である。本研究では、白亜紀に西南日本・中央構造線近傍の狭長な凹地を埋積した海成堆積物を対象に、熱史の詳細解析を行った。中央構造線に沿って露出する砂岩からアパタイト粒子を分離してウランの自発核分裂による飛跡(フィッシュトラック; FT)密度を決定し、放射年代を算出した。さらにFT長解析で被熱パターンを推定した。その結果、西南日本では中新世の背弧拡大によって火山フロントが移動して、熱史が多様になったことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プルアパート堆積盆は、ファンデルタ相海成堆積物によって埋積される。それは、有機物に富む泥質岩と流体を貯留し得る孔隙に富む砂質岩の膨大な互層から成っており、石油や天然ガス等地下資源を胚胎するポテンシャルが高い。また、横ずれ断層の末端がプロパゲートすることによって堆積中心が移動し、多様な古環境変遷の原因となる。しかし詳細な堆積年代を決定することが難しい層相が多く定量的研究が困難と考えられてきた。本研究では、碎屑性アパタイト粒子のフィッシュトラック長解析に基づいて、定量的な熱史復元に成功すると同時に、西南日本最大の活断層である中央構造線の運動ヒストリーを解明し、危険度評価に貢献することができた。

研究成果の概要(英文)：Generally, gigantic pull-apart basins develop adjacent to arc-bisecting lateral faults. Understanding of their development processes has great importance to unravel the mechanism of material recycling working on convergent margins of the Earth's plates. In the present study, a detailed analysis of thermal history was performed on the Cretaceous marine sediments, which had buried elongate depression near the Median Tectonic Line in southwestern Japan arc. Apatite grains were separated from sandstones cropping out along the Median Tectonic Line, then their radiometric ages were calculated based on the density of fission tracks (FTs) generated by spontaneous nuclear fission of uranium. Moreover, thermal effects were assessed by means of analysis of FT length in crystals. As a result, it has been clarified that a backarc opening event during the Miocene provoked migration of volcanic front on southwest Japan, which resulted in a large diversity of thermal history of the island arc.

研究分野：地球科学

キーワード：地質学 テクトニクス 熱史 背弧拡大 プレート運動 収束境界 西南日本 プルアパート堆積盆

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究課題名とした「放射年代及び定量的熱史解析に基づくプリアパート堆積盆の時空分布と発達過程の研究」は、研究開始時点では先例が少なく、未開拓な領域であった。プリアパートとは、海洋プレートの斜め収束境界に形成される狭長で大容積の堆積盆地であり、その形成メカニズムは **Fitch (1972)** や **Aydin and Nur (1982)** などによって議論されたが、そこを埋積するファンデルタ相堆積物は一般に年代決定に有効な化石に乏しく、年代層序学に基づく構造運動の時空変遷とそれに制御される物質循環プロセスを定量的に解析することが困難である。日本列島は、過去1億年に亘って大規模な海洋プレートの斜め沈み込み運動の影響下において、その地史及び古環境を解明するために不可欠と考えられるプリアパート形成のメカニズムに関しては、検討すべき点が多々残されていた。

(2) 数少ない先行研究として、**Noda and Toshimitsu (2009)** は西南日本最大の構造境界である中央構造線に沿って分布する白亜系・和泉層群の埋積プロセスを記述し、堆積盆の形成過程を論じた。また **Tamaki et al. (2010)** は、千島弧と東北日本弧の会合部に形成された古第三紀のプリアパート堆積盆(これは島弧の斜め衝突帯であり海陸プレート境界とは力学条件が若干異なる)について、古地磁気学と数値モデリングの手法を用いて、定量的な研究を行った。これらの成果として、地質構造発達に関する理解は進んだが、雄大な沈降・隆起・削剥サイクルで生じる物質循環プロセスを理解するためには、熱年代学的アプローチが必要とされていた。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、砕屑岩類に含まれる特定鉱物(ジルコン・アパタイト)の物理的特性の詳細分析に基づいて、激しい構造運動で特徴づけられるプレート収束境界における多様性の高い堆積盆を精密に対比し、その時空分布を解明することを目的とした。さらに、大規模な横ずれ断層近傍におけるプリアパート堆積盆の埋没から削剥にいたる進化プロセスを、熱史解析に基づいて定量的に評価し、地球表層の地質学的時間オーダーでの物質循環メカニズムに関して、包括的かつ普遍的モデルを構築することを目指した。

(2) 一般にプリアパート堆積盆は、プレートの収束境界に沿って形成される。そこは活発な島弧火成活動の場であり、多くの火山灰が堆積物に挟在するとともに、砕屑性粒子には多くの火山源の鉱物が含まれている。その中で、微量元素としてウランを含むジルコン・アパタイト・スフェーンは、自発核分裂飛跡(フィッション・トラック)の密度を計測することによって数値年代測定が可能であると同時に、例えば **Green (1980)** が示したように、トラックの短縮・消滅プロセスのカイネティクスに基づいて熱史を再構築することができる。従来この手法は、石油や天然ガスの生成過程をエミュレートして資源探査に活用するために発達したが、近年構造地質学への応用が進み、定量的な堆積盆テクトニクス研究法として着目されている。



図1: アパタイト粒子中の自発核分裂飛跡(フィッション・トラック)。酸やアルカリでエッチングを施すことによって、光学顕微鏡での観察・計数が可能になる。

(3) 本研究で分析対象としたプリアパート堆積盆は、前述の **Noda and Toshimitsu (2009)** が着目した中央構造線沿いの後期白亜紀堆積盆である。そこに保存されたデルタ成～海成堆積岩類は、九州では大野川層群、四国～紀伊半島西部では和泉層群と呼ばれ、中央構造線東端がプロバゲートする過程で前進平衡的に形成されたので、東ほど堆積年代が若くなる傾向がある。それは白亜紀から古第三紀にかけての劇的な古環境変動の指標であるのみならず、新生代を通じたユーラシア東縁プレート運動を記録しており、広域的な地史を解明する上で非常に重要な地層群である。

3. 研究の方法

(1) 研究の実践においては、分析対象に掲げた和泉層群と大野川層群の分布域であまねく分析試料を採取した。四国西部の愛媛・松山地域と九州中部の大分・臼杵地域で、南北島弧横断測線をそれぞれ1～2本ずつ設定し、巨大なプリアパート堆積盆を埋積した後期白亜紀の砂岩試料及び凝灰岩試料を採取した。

(2) 複数の調査測線から得られた海成堆積岩試料について、ジルコン粒子及びアパタイト粒子を抽出して、熱年代学的解析を実施した。フィッション・トラック(FT)年代測定とトラック長解析は、オーストラリアの **Geotrack** 社に依頼した。FT年代は、分析対象鉱物に微量に含まれてい

るウランの自発核分裂飛跡の密度を計測することで算出される。その値は、鉱物が冷却して閉鎖系になった時点からの経過時間を表すが、堆積後の埋没及び被熱によってトラックが縮退・消滅して、年代データが期待値から乖離することがあり、そのずれ量は取りも直さず被熱ダメージの指標である。さらに三次元的なトラック長を測定することで、反応速度論に基づいて定量的に熱史を推定することが可能になる（たとえば **Green et al., 1989**）。

(3) 最後に、和泉・大野川堆積盆の沈降/埋積から隆起/削剥に至る地史を復元した。それと並行して大規模な横ずれ断層である中央構造線近傍での変形プロセスを詳細解析した。和泉層群については、紀伊半島地域で、文部科学省が「大都市における大震災軽減化特別プロジェクト(東京大学地震研究所)」や「中央構造線断層帯重点観測プロジェクト(京都大学防災研究所)」を実施し、貴重な人工地震探査データが集積しているため、その資料を閲覧・収集して分析し、総合的解釈を行った。

4. 研究成果

(1) 今回実施した放射年代及び定量的熱史解析に基づくプルアパート堆積盆の時空分布と発達過程の研究成果は、まず四国西部について **Itoh et al. (2017a)** が、紀伊半島について **Itoh et al. (2017b)** が報告を行った。これらの成果を踏まえて、**Itoh and Inaba (2019)** は中央構造線の西端、すなわち中部九州の別府湾周辺のテクトニクスの解明に成功した。図2が示すように、中部九州は無数の活断層が発達しており、別府湾は中央構造線トレースが右ステップして今まさにプルアパート堆積盆が成長しているエリアである。**Itoh and Inaba (2019)** は、まず重力異常データ解析に基づいて重要な活断層を特定するとともに三次元的なジオメトリーを描出した。さらに解像度を向上する再処理を施した反射法人工地震探査データの解釈を行って、別府湾南岸で大規模なインバージョン構造が形成されつつあることを明らかにした。これは都市防災の見地から極めて重要な成果であるが、さらに注目されるのは、中部九州では伸長場と短縮場が共存していることである。すなわち、別府市北西の完新世の単成火山は顕著で局在的な伸張テクトニクスを示唆しており、複雑な活断層の配置によって特異な構造変形が生じていることが明らかになった。

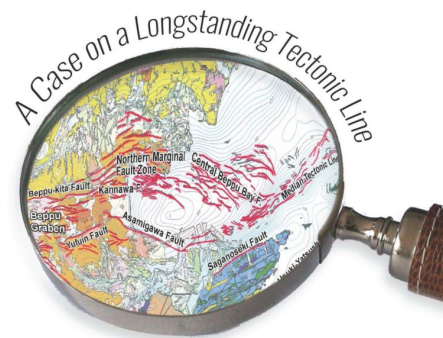


図2：別府湾とその周辺に分布する無数の活断層(赤線)。Itoh and Inaba (2019) の表紙より。

(2) 次に、本研究では、別府 - 島原地溝を取り巻くエリアの熱史を解明するため、白亜系・大野川層群のフィッション・トラック解析を実施した。別府南方の犬飼地域で得られた試料(年代は **Coniacian**)を、**Green and Duddy (2010)** の方法に基づいて処理した結果を図3と図4に示す。

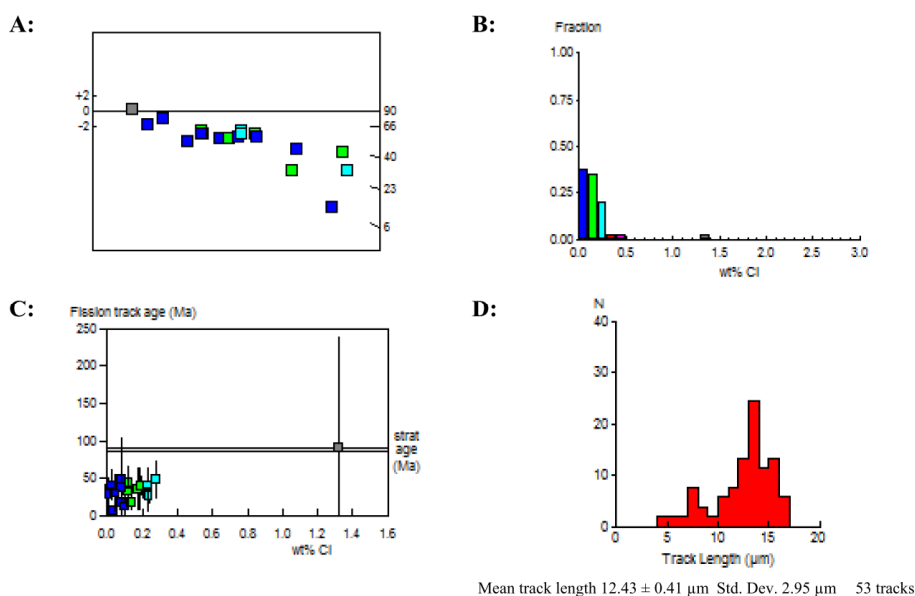


図3：アパタイトのフィッション・トラック分析結果。A.アパタイト粒子年代のラディアルプロット。B.アパタイト粒子の塩素濃度ヒストグラム。C.粒子年代と塩素含有量との相関。D.結晶内トラックの全長ヒストグラム。

一連の解析で明らかになったのは、大野川層群は新第三紀以降に注目すべき熱イベントを被っていないということである。これは、先述の四国～紀伊半島で和泉層群から得られた結果と大き

く異なっている。地質構造や地史研究に基づいて、この食違いは背弧拡大が原因であると考えられた。西南日本は、中新世に日本海の背弧海盆が拡大して大陸から分離した島弧である。そのイベントは、九州付近をピボットとした時計回り回転運動によって生じたと考えられており(たとえば **Otofuji and Matsuda, 1987**)、その間に九州では大規模な地殻の屈曲構造が形成されたと考えられる(たとえば **Murata, 1987; Kano et al., 1990**)。このような構造形成は、島弧 - 海溝系のジオメトリー変化を意味しており、九州周辺では火山フロントが海溝側に前進した。その結果、大野川層群に対する被熱のダメージが低減したと解釈される。これは、従来未解明だったテクトニックイベントの偏在性の原因を解明した重要な研究成果であり、現在学術雑誌に投稿して印刷中となっている。

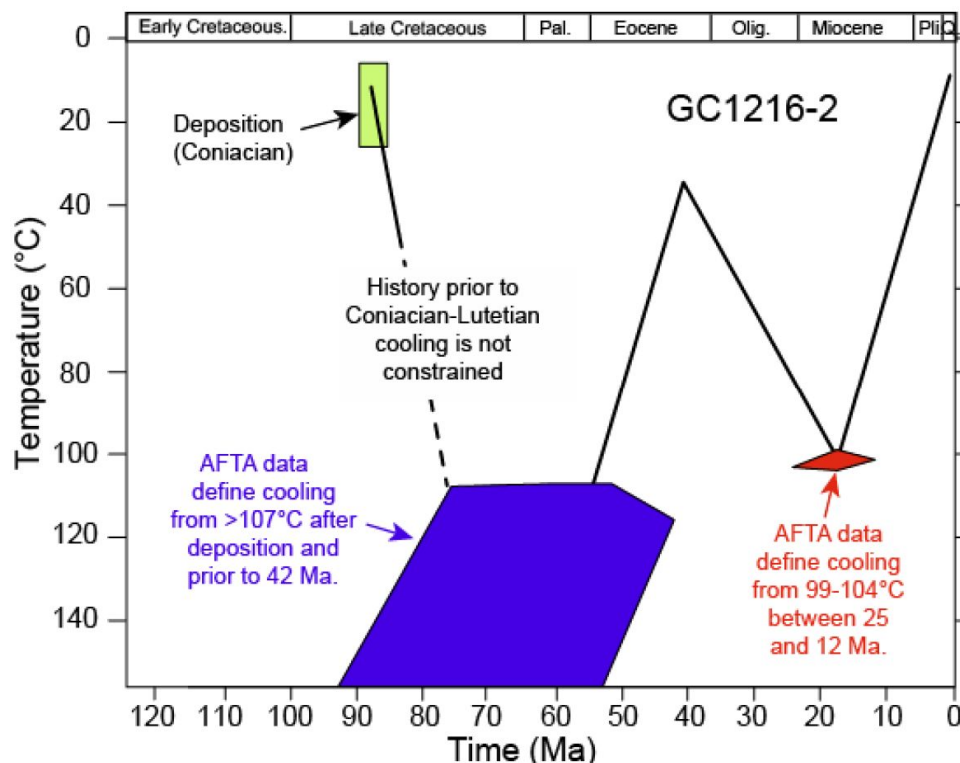


図4：大野川層群のアパタイト粒子フィッシュン・トラック分析で復元された熱史。

< 引用文献 >

- Aydin, A., & Nur, A. (1982).** Evolution of pull-apart basins and their scale independence. *Tectonics*, **1**, 91-105.
- Fitch, T. J. (1972).** Plate convergence, transcurrent faults, and internal deformation adjacent to southeast Asia and the western Pacific. *Journal of Geophysical Research*, **77**, 4432-4460.
- Green, P. F. (1980).** On the cause of the shortening of spontaneous fission tracks in certain minerals. *Nuclear Tracks*, **4**, 91-100.
- Green, P. F., & Duddy, I. R. (2010).** Synchronous exhumation events around the Arctic including examples from Barents Sea and Alaska North Slope. In: B. A. Vining, & S. C. Pickering (Eds.), *Petroleum Geology, from Mature Basins to New Frontiers. Proceedings of the 7th Petroleum Geology Conference*. London: The Geological Society, pp. 633-644. doi:10.1144/0070633.
- Green, P. F., Duddy, I. R., Laslett, G. M., Hegarty, K. A., Gleadow, A. J. W., & Lovering, J.F. (1989).** Thermal annealing of fission tracks in apatite 4 - Quantitative modelling techniques and extension to geologic timescales. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, **79**, 155-182.
- Itoh, Y., Green, P. F., Takashima, R., & Takemura, K. (2017a).** Fission track analysis and trace element compositions of apatite for thermo- and tephrochronology of a Cretaceous event sedimentary sequence on the east Asian convergent margin. In: B. Veress, & J. Szigethy (Eds.), *Horizons in Earth Science Research*. New York: Nova Science Publishers, Inc., pp. 197-224.
- Itoh, Y., Green, P. F., Takemura, K., & Iwata, T. (2017b).** Fission track thermochronology of Late Cretaceous sandstones of the Izumi Group adjacent to the Median Tectonic Line

active fault system in southwest Japan. In: Y. Itoh (Ed.), Evolutionary Models of Convergent Margins - Origin of Their Diversity. Rijeka: InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/67962>.

Itoh, Y., & Inaba, M. (2019). Fault-controlled processes of basin evolution - a case on a longstanding tectonic line. NY: Nova Science Publishers, Inc., 96pp.

Kano, K., Kosaka, K., Murata, A., & Yanai, S. (1990). Intra-arc deformations with vertical rotation axes: the case of the pre-Middle Miocene terranes of Southwest Japan. Tectonophysics, 176, 333-354.

Murata, A. (1987). Conical folds in the Hitoyoshi bending, south Kyushu, formed by the clockwise rotation of the southwest Japan arc. Journal of Geological Society of Japan, 93, 91-105.

Noda, A., & Toshimitsu, S. (2009). Backward stacking of submarine channel-fan successions controlled by strike-slip faulting: The Izumi Group (Cretaceous), southwest Japan. Lithosphere, 1, 41-59.

Otofuji, Y., & Matsuda, T. (1987). Amount of clockwise rotation of Southwest Japan - fan shape opening of the southwestern part of the Japan Sea. Earth and Planetary Science Letters, 85, 289-301.

Tamaki, M., Kusumoto, S., & Itoh, Y. (2010). Formation and deformation processes of late Paleogene sedimentary basins in southern central Hokkaido, Japan: paleomagnetic and numerical modeling approach. Island Arc, 19, 243-258.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yasuto Itoh	4. 巻 -
2. 論文標題 Post-opening deformation history of the Japan Sea back-arc basin: tectonic processes on an active margin governed by the mode of plate convergence	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tectonics - Problems of Regional Setting	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.71953	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Yasuto Itoh, Tomotaka Iwata, Keiji Takemura	4. 巻 1
2. 論文標題 Three-dimensional architecture of the Median Tectonic Line in southwest Japan based on detailed reflection seismic and drilling surveys	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Evolutionary Models of Convergent Margins	6. 最初と最後の頁 55-75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.5772/67434	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Yasuto Itoh, Paul F. Green, Keiji Takemura, Tomotaka Iwata	4. 巻 1
2. 論文標題 Fission track thermochronology of late Cretaceous sandstones of the Izumi Group adjacent to the Median Tectonic Line active fault system in southwest Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Evolutionary Models of Convergent Margins	6. 最初と最後の頁 101-120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.5772/67962	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Yasuto Itoh, Tomotaka Iwata	4. 巻 1
2. 論文標題 Structural features along the Median Tectonic Line in southwest Japan: an example of multiphase deformation on an arc-bisecting fault	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Evolutionary Models of Convergent Margins	6. 最初と最後の頁 143-156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.5772/67669	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yasuto Itoh, Paul F. Green, Reishi Takashima, Keiji Takemura	4. 巻 1
2. 論文標題 Fission track analysis and trace element compositions of apatite for thermo- and tephrochronology of a Cretaceous event sedimentary sequence on the east Asian convergent margin	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Horizons in Earth Science Research	6. 最初と最後の頁 197-224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Yasuto Itoh, Mitsuru Inaba	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Nova Science Publishers, Inc.	5. 総ページ数 96
3. 書名 Fault-controlled processes of basin evolution - a case on a longstanding tectonic line	

1. 著者名 Yasuto Itoh, Keiji Takemura	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 119
3. 書名 Three-dimensional architecture and paleoenvironments of Osaka Bay: An integrated seismic study on the evolutionary processes of a tectonic basin	

1. 著者名 Yasuto Itoh, Osamu Takano, Reishi Takashima, Hiroshi Nishi, Takeyoshi Yoshida	4. 発行年 2017年
2. 出版社 InTech	5. 総ページ数 111
3. 書名 Dynamics of arc migration and amalgamation - architectural examples from the NW Pacific margin	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----