

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24540496

研究課題名(和文) 遠洋深海底での顕生代初期における生物多様性の爆発的増大に関する研究

研究課題名(英文) On the study of explosive biodiversification event on pelagic deep-sea bottoms in the Early Phanerozoic Eon

研究代表者

角和 善隆 (Kakuwa, Yoshitaka)

明治大学・研究・知財戦略機構・教授

研究者番号：70124667

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：オルドビス紀中期の生物多様性の爆発的増大が、遠洋・深海においても起きていたかを検討するために、時代の明らかな世界の放散虫チャートの生痕化石を調査した。その結果、カンブリア紀後期ではパンタラッサ海堆積物であるオーストラリア、ラクラン褶曲帯では生痕化石は確認できたが、テチス海堆積物のカザフスタンでは見られなかった。一方、オルドビス紀中期ではイアペタス海堆積物を含め、調査した5地域全てで明確な生痕化石が確認できた。

カンブリア紀後期で地域差があったのは、堆積環境の相違による。カザフスタンの赤色系チャートでは酸素は十分あったが、食料が不足していたため底生生物は遠洋・深海に進出できなかったのだろう。

研究成果の概要(英文)：Explosive increase in biodiversification is confirmed in the shallow epicontinental settings in the Middle Ordovician age. Trace fossils in well-dated radiolarian cherts are examined to clarify if the event also had occurred on pelagic deep ocean bottoms. Tiny trace fossils are confirmed in the upper Cambrian cherts of the Lachlan Fold Belt, the deposits of Panthalassan Ocean in Australia, while no trace fossils are found in the cherts of Kazakhstan, the deposits of Tethyan Ocean. In the Middle Ordovician cherts, trace fossils have been commonly found in all five examined areas including the deposits of Iapetan Ocean.

The cause of the difference in the regions found in the upper Cambrian rocks is ascribed to the depositional environment. Red chert in Kazakhstan had been deposited under well-oxygenated environment, but poverty of foods prevented migration of benthic animals into the pelagic realm. The Great Ordovician Biodiversification Event is also confirmed in pelagic ocean bottom.

研究分野：地質学

キーワード：生痕化石 放散虫チャート オルドビス紀

## 1. 研究開始当初の背景

地球上に生命が発生して以来、何度かの生命の大躍進があった。例えば顕生代の始まりとなる広義のカンブリア紀における爆発的な生命の多様性の増大事件 (Cambrian Explosion) は重要な出来事である。その中で特にカンブリア紀後期からオルドビス紀中期にかけては、狭義には Great Ordovician Biodiversity Event とよばれていて (GOBE; Webby, 2004) その後の古生代全体にわたる「世界」を作り出す結果となった。しかし、この出来事についての研究は、ほとんどが浅海に生息する生物の体化石と生痕化石に基づいている。深海底については、せいぜい混濁流が届く大陸縁辺部に堆積したタービダイト砂岩、泥岩にみられる生痕化石に基づいているに過ぎなかった。すなわち、それら粗粒砕屑物の届かない遠洋域の、炭酸塩岩の堆積しない炭酸塩補償深度より深い、地球表層部総面積の 50% 以上を占める遠洋深海底 (abyssal ocean bottom) については全く研究が行われていなかった。

## 2. 研究の目的

遠洋深海に堆積した地質時代の堆積物は放散虫層状チャートがその代表としてあげられる。海洋プレート上に堆積したのち、沈み込み或いはのし上げた結果大陸に付加された層状チャートの研究は、他の堆積岩に比較して非常に少なく、特に生痕化石については角和によるペルム紀からジュラ紀にわたる層状チャートと、それに伴う珪質岩に関する一連の研究 (Kakuwa, 1996; Kakuwa; 2004) 以外なかった。そこで、カンブリア紀後期からオルドビス紀中期にかけての生物多様性の増大事件が、同時期に遠洋深海底に生息した底生生物にも見られるのかを、層状チャートの生痕化石を検討することで検証することを目的とした。

## 3. 研究の方法

カンブリア紀後期からオルドビス紀中期にわたる放散虫層状チャートが、連続的に露出することが論文により明らかにされている世界の各地域において、生痕化石の有無を含めたチャートの野外における産状を観察し、試料を採取した。採取した岩石試料は室内において切断し、研磨をおこない、研磨面そして更にフッ酸で腐食した面を肉眼及び実体顕微鏡で詳細に観察をして生痕化石の有無について認定を行った。

## 4. 研究成果

検討した結果を地域ごとに報告し、最後にまとめの議論を行う。

### (1) オーストラリア、ラクラン褶曲帯

オーストラリア南東部に分布するラクラン褶曲帯には、カンブリア紀後期 (或いは中期) からオルドビス紀中期にかけて堆積した放散虫層状チャートが大きく 2 地域に分布

する。この中で、カンブリア紀中期 (?) ないし後期からオルドビス紀初期のハウカチャートの灰色層状チャートには微小で単純な短いトンネル状生痕化石が確認できていた。またオルドビス紀中期のナルーマチャートの暗灰色層状チャートにおいて多様な形態を呈する生痕化石が多量に見出されたことは既に公表し (Kakuwa & Webb, 2004; 2007)、そのラクラン褶曲帯のチャートに生痕化石が一般的に見られることは Percival (2012) も支持した。今回は、このカンブリア紀後期からオルドビス紀中期の間で、生痕化石がどのように発達していくか、を明らかにすることを目的として調査した。

### ハウカチャート

以前検討したハウカチャートの分布域で、より詳細に野外調査をした結果、新たな露頭が見つかった。そこではカンブリア紀末からオルドビス紀初期にかけては陸源物質の影響をより強く受けた珪質泥岩に、そしてさらに砂質葉理やチャンネル礫岩などを伴う泥岩に変化していた。その上位は砂質葉理を伴う黒色泥岩に覆われる。これは放散虫層状チャートが堆積していた遠洋域から陸域に近接して、陸源物質の影響が強くなったことを意味する。そして、その珪質泥岩には微細な平行葉理が良く発達し、無酸素環境で生痕化石は見られないことが分かった。すなわち、ハウカチャートの堆積した場では、カンブリア紀中～後期には微小ながら生痕化石が見られたが、最後期からオルドビス紀初期には、無酸素環境が発達し、底生生物はいなかった。

### ナルーマチャート

カンブリア紀後期からオルドビス紀中期にかけて灰色から黒色の層状チャートが発達し、後期には灰色珪質泥岩になる。

カンブリア紀後期からオルドビス紀初期にかけては黒色放散虫チャートがあり、ハウカチャートとは異なり陸源物質の影響は少ない。すなわち、カンブリア紀後期から継続して遠洋域に存在していた。そして岩相は異なるが、ハウカチャートの珪質泥岩と同様にチャートには微細葉理が発達し、生痕化石は見られない。その後、オルドビス紀中期にかけての暗灰色から灰色チャートには様々な多様な形態を呈する、大きい生痕化石が露頭において、顕著に発達するようになる。

以上をまとめると、カンブリア紀 (中) 後期には小型の底生生物がわずかに見られるだけだったが、カンブリア紀 / オルドビス紀境界前後の期間に酸素レベルが低下し、底生生物は生息できなくなった。その後、オルドビス紀初期からオルドビス紀中期に底生生物が遠洋深海に次第に本格的に進出した。すなわち、カンブリア紀後期からオルドビス紀中期にかけて順調に徐々に底生生物が侵入していったのではない。

これらの結果が、ラクラン褶曲帯での「地域的」な出来事なのか、あるいはより広域に見られるのかを他の地域で確認した。

## (2) オーストラリア、ニューイングランド褶曲帯

ラクラン褶曲帯の北、主に砂岩・泥岩・礫岩からなるシドニー堆積盆を挟んだ更に北のポートマッコリー周辺には、ラクラン褶曲帯より新しく発達した、デボン紀後期にまでいたる放散虫層状チャートを産するニューイングランド褶曲帯が分布する。そこでニューイングランド褶曲帯で最も古いオールドビス紀中～後期の灰色層状チャート(Och et al., 2007)をポートマッコリーにおいて検討した。

その結果、露出があまり良くなく、風化や再結晶が進んでいるなど悪条件だったが、一部の灰色チャートに明瞭な黒色有機物が詰まった生痕化石が発達することを確認した。その形態の多様性についてはあまり高くはなかった。これは検討できた露頭が1箇所でも、しかも風化変質が強かったためであろう。

以上、オーストラリアに分布するラクラン褶曲帯とニューイングランド褶曲帯の層状チャートは同じ時代のパンタラッサ海に堆積したものであるが、全く異なる地質体に属している。このように異なった地質体にも関わらず、オールドビス紀中期には両者において生痕化石が同様に発達することが確認した。

このオーストラリアに関する成果はKakuwa (2016)として投稿し、査読中である。

## (3) スコットランド、サウザンアップランドのクロウフォード層群

この地域での野外調査は、本科学研究費受託以前に私費により行った。しかし、その試料の分析については本科研費を用いて行ったので、報告に含める。

サウザンアップランドにはオールドビス紀中期からシルル紀中期にかけて順次大陸に付加していった、イアペタス海の放散虫層状チャートが分布する。ただし、その露頭は一般に露出が悪く、変形も強かった。検討したのは主にクロウフォード層群のオールドビス紀中期から後期の赤色珪質頁岩、チャート、その上位に続く灰色チャート、灰色～黒色珪質泥岩である。

最下部の赤色珪質頁岩には生痕らしいものは確認出来なかった。上位の赤色放散虫チャートには、明確な形態を呈する生痕化石は見出せなかった。しかし、放散虫殻がレンズ状に濃集しているものは、底生生物が作ったトンネルの可能性もある。これは放散虫殻が堆積する際に水流などのよる物理的濃集の可能性を否定できないので生痕化石として断定することは保留とする。放散虫殻の分布は不均一であり、これは生物擾乱構造である可能性が高い。補足する証拠として、微細葉理は発達しないことが挙げられる。以上のように、赤色チャートでは明確に生痕化石と断定できるものはないが、底生生物の活動を窺わせる構造は見られる。上位の灰色チャートでも、赤色チャートと同様で、レンズ状の放散虫殻の濃集や、不均一な分布、葉理の欠如

などは見られるが、確実な形態を示すものは見出せていない。

層状チャートの間に挟まれる、やや厚い珪質粘土岩には明確な生痕化石が5種類ほど見出され、その中にはナルーマチャートでも見られた *Compagnatichnus*、*Teichichnus* と考えられるものが確認できた。すなわち当時のパンタラッサ海と異なる別の大洋、イアペタス海においても底生生物の活動はオールドビス紀中期から後期にかけて確認できた。

上記の結果は、Kakuwa & Floyd (2016)として投稿し、現在査読中である。

## (4) カナダ、ニューファウンドランド、エクスピロット帯

サンダースコープ累層とストロングアイランド累層

サウザンアップランドと同様に、イアペタス海の堆積物が分布する。オールドビス紀初期から後期にかけてのサンダースコープ累層、ストロングアイランドチャート(SIチャート)、ショールアーム累層(SA累層)の放散虫チャート、珪質泥岩には生痕化石があるとの報告がある(Dec et al., 1992; Bruchert, et al., 1994; O'Brien, 2012)。

オールドビス紀初期フロイアのサンダースコープ累層の赤色・緑灰色珪質泥岩には野外で小さな生痕化石が確認できた。その特徴から *Chondrites* の可能性がある。

オールドビス紀中期のダニアンからダーウイリアンのSIチャートは、下部は赤色チャート、珪質泥岩からなり、中・上部は灰色、緑灰色のチャート、珪質泥岩からなる。混濁流起原の砂岩層を挟み、あるいは砂質葉理を伴うことがあるという点で、典型的な遠洋性チャートとは異なる。

生痕化石は下部から上部までほとんど満遍なく発達する。下部の赤色チャート、珪質泥岩では生痕化石の大きさは小さい。中部から上部の緑灰色のチャート、珪質泥岩には主に黒色有機物からなるトンネルが主で、上部にはペレット集合体も見出された。

ショールアーム累層(SA累層)

オールドビス紀後期サンドビアン前半のただか 300 万年間の短期間で 80m 以上堆積し、すぐに黒色泥岩、そして砂岩層に覆われる灰色チャートを主体とした地層である。平均堆積速度は、通常の遠洋性放散虫層状チャートの 10 倍近い。岩質はチャートではあるが、数センチのチャートと数ミリの挟みの頁岩との規則正しい繰り返しを見せる遠洋性層状チャートと異なり、挟みの頁岩はまれで、チャートはメートル単位の厚さを示す。

このような堆積環境の相違を示すのか、SA累層の主部を構成する灰色チャートの生痕化石は、縦方向に長さ 5 cm 以上、太さ 1 cm 以上の巨大なものが普通に見られる。形態的多様度という意味では、必ずしもオーストラリアで見出されたものほどの様々なものは見られない。

SA 累層は主部において、微細葉理が発達する無酸素環境と、巨大生痕が発達する有酸素環境が頻繁に繰り返すのが特徴である。このような無酸素 / 有酸素環境の繰り返しがなぜ起きたのかは明らかでない。同時代の SI チャートでは最上部の一部を除き無酸素環境は殆ど確認できていない。砂層を伴う SI チャートはより深い堆積盆で、SA 累層のチャートは陸源物質が堆積しない構造的な高まりに堆積した可能性が高い。O'Brien (2012)も広範な地質調査と層序関係から、同様な結論を下している。そのような地形的な関係を認めれば、SA 累層おける無酸素環境 / 有酸素環境の繰り返しは、酸素極小帯の上下変動によるかもしれない。

#### (5) カザフスタン、ブルバイタル累層

Tolmacheva et al. (2001; 2004)は、カザフスタン南東部のバルハシ湖南端に位置するブルバイタル周辺に、カンブリア紀後期からオルドビス紀中期にわたる、放散虫層状チャートが露出することを、コノドント化石により示した。このチャートはパンタラッサ海、イアペタス海とともに当時の大洋として存在していた古テチス海の堆積物と考えられている。露頭は2箇所に分かれている。Loc. 89101 と Loc. 9076 である。

Loc. 89101

本露頭は見かけの下位にも塊状で石英脈の多い雑色チャートが露出するが、Tolmacheva et al.が化石を検討した約 35m を精査した。時代はカンブリア紀後期からオルドビス紀初期である。

最下部は、灰色・黒色・赤色などが混ざり合う、結晶質な数十センチの厚さのチャート、中部は赤色層状チャート、上部は灰白色を主とし赤色・黒色チャートを伴う層状チャートなどとなり、一部の結晶質のものを除き放散虫チャートである。どの色調でもほとんどのチャートは微細平行葉理が発達し、生痕化石は確認できなかった。

Loc. 9076

オルドビス紀初期から後期の放散虫層状チャートが露出する。見かけの下位には比較的乱れのない暗色系層状チャートや結晶質塊状チャートが見られ、層状チャート部を含めて 70m ほど観察したが、Tolmacheva et al. がコノドント化石を検討した部分、約 55m について特に詳細に検討した。

下半分、オルドビス紀初期は明灰色・暗灰色を主とし、黒色・赤色チャートを伴う。上半分のオルドビス紀中期は赤色チャートからなる。オルドビス紀初期のフロイアン、中期ダーピンは見かけの地層が中期のダーウイリアンに比べて薄く、それぞれ一部地層の欠如と繰り返しがあられるかもしれない。

オルドビス紀中期の赤色チャートを主体とする部分では、チャート角礫岩・砂岩が特徴的に複数層準(10層以上)発達する。これは砂粒、礫は円磨度が著しく低い様々な色か

らなるチャート、セメントも石英からなる。その近辺には特に珪質海綿骨針が目立つ。

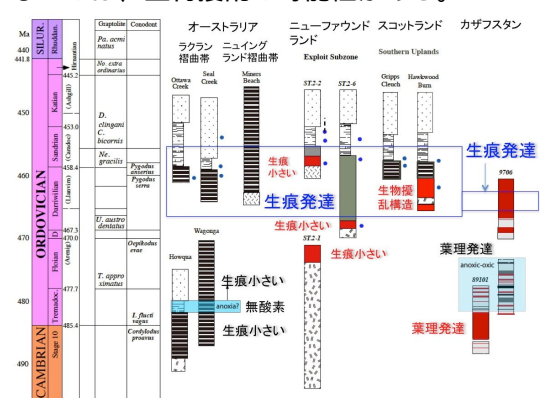
このような陸源ではない単一組成の粗粒砕屑物粒子層・葉理を伴う例は三畳紀の犬山・飛水峡など日本の美濃帯でも発見され、海山のような高まりから周囲に堆積していた放散虫チャート堆積場に、すでに堆積していたチャートを削って混濁流的なものが流れ下ったと推定されている(Kakuwa, 1987)。同様な地形的高まりについては、Tolmacheva et al. (2014)がパライト鉱床の成因や微化石の産状から推定している。

またこのチャート角礫岩の発達する層準には、knobby bedding plane と呼ばれる、層理面が顕著に凸凹した構造が発達する。Tolmacheva et al. (2004)は、これを生痕化石と考えた。

下部 20m 程度は、平行微細葉理が発達し、生痕化石は確認できなかった。上部のダーウイリアンに入り、knobby bedding plane やチャート角礫岩が発達する層準には、層理面の下底部に底生生物の這い跡らしい構造が見られるようになる(前図)。幅数 mm から 1cm で長さ 10cm 前後に達し、直線的なものやゆるく湾曲したものなどがある。

また、knobby bedding plane の中には、組成作用により形成された可能性のある構造が多く見られるが、一部に明確な管状構造を示すものがあった。その直径は 2-4mm 程度、長さは 2cm 以上ある、円筒状のものが縦、斜めあるいは水平方向に発達する。

このようなチャート角礫岩層、knobby bedding plane は最上部の赤色チャートにはほとんど見られなくなる。とともに、明確な生痕化石も確認できなくなった。これは最上部では露出が悪いことも含め、本質的でないこともあるだろう。生痕化石は確認できないが、下部のような微細平行葉理も見られないのは、生物擾乱の可能性もある。



#### (6) 議論

GOBE は遠洋深海にも起きたか？

パンタラッサ海・イアペタス海と、当時存在していたと考えられる異なった2大洋において、ほぼ同様にオルドビス紀初期には生痕化石は小型で形態の多様性も低かった。カザフスタンのように微細葉理が発達し、底生生物が確認できなかった地域もある。しかし、

オルドビス紀中期ダーウィリアンには生痕化石が3大洋に普遍的で形態の多様性も高いことを確認した。すなわち、浅海と同様にGOBEは遠洋深海においても、ほぼ同時期に起きていたことを示す(上図)。

ただし厳密には、古テチス海堆積物であるカザフスタンの露頭ではダーウィリアンの下部には生痕化石が確認できなかったが、ほかの2大洋ではそれ以前のダーピン、そしてオルドビス紀初期にも小型であっても生痕化石が確認できたのとは対照的である。そのような意味では、海洋により底生生物の侵入時期に時差があるのか、あるいは下記の赤色チャートの問題によるのかもかもしれない。

#### 赤色チャートの問題

ニューファウンドランドのSA累層では最下部は赤色チャート・珪質泥岩からなり、生痕化石は小型で単純、形態の多様性も低い。一方、同時代のSIチャートではより大型で明瞭な生痕化石が複数確認できている。これは堆積盆形成初期には環境が不安定であった可能性もあるが、赤色岩が底生生物の侵入に障害となったことも考えられる。同様にスコットランドでは赤色チャートに明確な生痕化石が確認できず、カザフスタンでは、すでに他の地域では生痕化石が確認されているにもかかわらず、微細葉理が発達する。

これらは赤色チャートが堆積する環境は底生生物にとって不都合な環境であったことを示唆する。Wetzel & Uchman (2012)は赤色層では生痕化石が見えにくいことと、実際に底生生物が生息しづらかったことの2点を挙げた。前者は、底生生物が掘削したトンネルは周囲より還元的になり、例えば灰色の地に黒色の生痕というように、色調の相違として認識しやすい。しかし、強い酸化的環境ではこの生痕部も酸化され、地との区別がつきにくくなる。

後者は底層の酸素レベルという点では、赤色チャートは酸化的環境で底生生物にとって酸素が十分あり良い環境だが、黒色・灰色チャートは無酸素環境で底生生物は棲めない、という常識的考え方とは逆である。遠洋深海では、海洋表層からの栄養分の供給に頼っていて、黒色・灰色チャートが堆積する有機物の多い環境は、むしろ底生生物にとって都合の良い環境であり、赤色チャートが堆積する場が酸素レベルとは別に、有機物が酸化分解され、底生生物の生息にとって食料不足という点で良い条件ではなかったのだろう。

#### なぜほぼ同時期に起きたのか？

GOBEが浅海を中心に起きていたことについては様々な見解があり、明確な解答が必ずしも提示されていない。そこで遠洋深海底についてのみ特徴的な要素を考察する。

浅海と深海でほぼ同時期に起きているのは、もともと多くの生物が生息していた浅海において新たな競争相手が多発発生・進化して生態的地位の争奪が起き、一部のものが遠洋深海へ避難してきた、という「浅海での

GOBEの結果」ということが考えられる。もちろん、その際には遠洋深海底が底生生物にとって進出し、生活することが可能な環境になっていたのだろう。

では、その環境変動はなんだろうか。底生生物が生息可能な環境とは、一つは大型動物が生息可能なほど酸素レベルが高いこと、そして既に述べたように遠洋深海底は食料が制限因子となっているので、栄養分供給のシステムができたことであろう。酸素レベルの変動については、カンブリア紀初期やプレカンブリアの遠洋深海底堆積物についての研究が議論できるほど十分ではない。オーストラリアのハウカチャートの場合、一部はカンブリア紀中期にまで至る可能性があり、そのチャートは灰色系チャートである。カザフスタンでも最下部は灰色系であり、もともと酸素レベルは十分でなかった可能性はある。しかし、すでに見たように灰色系チャートには生痕化石が普通にあり、単純にチャートの色をもって酸素レベルが低かったとすることはできないし、それを原因に帰することは無理である。同じような灰色系チャートでも無酸素であったかどうかは、地球化学的検討が必要だろう。

一方で食料の問題はどうか？海洋では海洋表層で生産された有機物が酸化分解を受け急速に沈降したか、分解され残ったものが食料として深海底へ供給される。例えばGOBEの結果遠洋域表層での生物生産性が上昇すれば、酸化分解され残った有機物が供給されただろう。また遠洋域にも大型遊泳性動物が進出し、より急速に沈殿する糞粒を大量に供給して、それが酸化分解を免れて深海底に供給されたということも考えられる。

一方で暗色系チャート、特に通常黒色チャートの色調は有機物による。その意味では食料が不足していたとは考えにくい。ただし、有機物と言っても、底生生物にとって容易に利用できる有機物だったかどうかの問題がある。しかし、そのような有機物についての詳細な研究は行われていない。

底生生物の遠洋深海への侵入の時期という事実関係については明確となったが、今後はその原因を明らかにするため、無機化学組成(無酸素か否か)、有機化学組成(食べやすい有機物だったか)の検討が必要である。

#### <引用文献>

- Bruchert, V., Delano, J.W. and Kidd, W.S.F., 1994. Fe- and Mn-enrichment in Middle Ordovician hematitic argillites preceding black shale and flysch deposition: the Shoal Arm Formation, north-central Newfoundland. *Jour. of Geol.* 102, 197-214.
- Dec, T., Swinden, H.S. and Floyd, J.D., 1992. Sedimentological, geochemical and sediment-provenance constraints on stratigraphy and depositional setting of

the Strong Island Chert (Exploits Subzone, Nore Dame Bay). *Current Res., Newfoundland Depart. Mines, Energy, Geol. Surv. Branch, Rep. 92-1*, 85-96.

Kakuwa, Y., 1991. Lithology and petrography of Triassic-Jurassic bedded cherts of the Ashio, Mino and Tamba Belts in Southwest Japan. *Sci. Pap., Coll. Arts and Sci., Univ. Tokyo*, 41, 7-57.

Kakuwa, Y., 1996. Permian-Triassic mass extinction event recorded in bedded chert sequence in southwest Japan. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 121, 35-51.

Kakuwa, Y., 2004. Trace fossils from the Triassic-Jurassic deep water, oceanic radiolarian chert successions of Japan. *Fossil and Strata* 51, 58-67.

Kakuwa, Y., 2016. Trace fossils of Cambrian to upper Ordovician radiolarian siliceous rocks: a view from Australia. In: Prof. J. Talent ed., "Earth and Life II". Elsevier. (submitted)

Kakuwa, Y. and Floyd, J.D., 2016. Trace fossils in Ordovician radiolarian chert successions in the Southern Uplands, Scotland. *Earth and Environ. Science Transac. the Royal Soc. of Edinburgh* (submitted)

O'Brien, B.H., Peri-Gondwanan back arc complex and Badger retroact foreland basins: Development of the Exploits orocline of central Newfoundland. *Field Trip Guidebook B2. Newfoundland and Labrador Develop. of Natural Res., Geol. Surv., Open File 002E/1706*, 108p.

Och, D.J., Leitch, E.C. and Caprarelli, G., 2007. Geological units of the Port Macquarie - Tacking Point, north-eastern Port Macquarie Block, Mid North Coast region of New South Wales. *Quarterly Notes*, No.126, 1-19.

Percival, I.G., 2012. Biotic characteristics of Ordovician deep-water cherts from Eastern Australia. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 367-368, 63-72.

Tolmacheva, T.J., Danelian, T., Popov, L.E., 2001. Evidence for 15 m.y. of continuous deep-sea biogenic siliceous sedimentation in early Paleozoic oceans. *Geology*, 29, 755-758.

Tolmacheva, T.J., Holmer, L., Popov, L., Gogin, I., 2004. Conodont biostratigraphy and faunal assemblages in radiolarian ribbon-banded cherts of the Burubaital Formation, West Balkhash Region, Kazakhstan. *Geol. Mag.*, 141, 699-715.

Tolmacheva, T. J., Ryazantsev, A.A., Degtyarev, K.E., Nikitina, O.I., 2014.

Hydrothermal barite deposits in upper Cambrian-Lower Ordovician siliceous successions of southern Kazakhstan. *Doklady Earth Sciences*, 458, 1077-1081.

Webby, B.D., 2004. Introduction. In: Webby, B.D., Droser, M.L. and Percival, I.G., eds., *The Great Ordovician Biodiversification Event*. Columbia Univ. Press, New York, pp. 1-37.

Wetzel, A. and Uchman, A., 2012. Hemipelagic and pelagic basin plains. In: *Trace Fossils as indicators of sedimentary environments*. In: Knaust, D. and Bromley, G. eds., *Develop. in Sedimentol.*, 64. Elsevier, 673-701.

## 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0件)

〔学会発表〕(計4件)

角和善隆, 遠洋性チャートに記録された底生生物の進化 - スコットランドのオルドビス系珪質岩。2015年4月26日、日本堆積学会、筑波大学(茨城県・つくば市)。

角和善隆, カナダ北東部、ニューファウンドランド島に分布するオルドビス系チャート・珪質岩に発達する生痕化石。2015年5月26日、日本惑星地球科学連合、幕張メッセ(千葉県・千葉市)。

角和善隆, 赤色チャートの生痕化石の問題。2016年3月15日、日本堆積学会、福岡大学(福岡県・福岡市)。

Yoshitaka Kakuwa, Olga, I. Nikitina, Tatiana J. Tolmacheva. Lithology of Cambrian to Ordovician radiolarian chert in Kazakhstan with special reference to trace fossils. 2016年5月23日、日本惑星地球科学連合、幕張メッセ(千葉県・千葉市)。

〔その他〕

ホームページ等

<http://researchmap.jp/read01H25YK/>

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

角和 善隆 (KAKUWA, Yoshitaka)  
明治大学・研究・知財戦略機構・教授  
研究者番号：70124667

### (2)研究分担者

( 0 )

研究者番号：