西三河平野ボーリング試料に含まれる更新統の珪質岩礫から 産出した中・古生代放散虫化石：礫の供給源の推定

伊藤 剛^{*1, a}・阿部 朋弥^{*1}・宮川 歩夢^{*1}

西三河平野南西部の油ヶ淵低地で採取したボーリング試料中の更新統下部の礫層に含まれるチャート礫及び珪質泥岩礫から放散虫化石を抽出した。チャートの中亜角礫からペルム紀放散虫を、中亜角礫～亜円礫から三疊紀放散虫を、中角礫からジュラ紀放散虫を得た。これらの礫の供給源は、調査地域南方の渥美半島に露出するジュラ紀付加体秩父テレーンである可能性が最も高い。そして、重力異常(ブーゲー異常)に基づく渥美半島と西三河平野南西部の間に大きな基盤の隆起帯が無いと推定されることから、礫層の堆積時(約100～80万年前)には渥美半島から西三河平野南西部に礫を供給しうる水系が存在していたことが示唆される。

キーワード：更新世, 西三河平野, 放散虫, 礫, 後背地, ボーリング試料

I. はじめに

堆積物中に含まれる礫や砂などの碎屑物は、後背地の情報を保持している。チャートや珪質泥岩などの珪質岩・泥質岩礫はしばしば放散虫を産出する。その放散虫年代に基づき、礫の供給源となった地質体を探る研究例は古生界から新生界まで幅広く行われている(小嶋, 1986; 竹村ほか, 1996; 梅田, 1997; Ishida, 1999; Ishida *et al.*, 2003; 伊藤ほか, 2012, 2016; 柏木, 2012; Ito *et al.*, 2014, 2015, 2017a, b, c; 歌川ほか, 2017; Inose *et al.*, 2018 など)。

愛知県中央部に位置する西三河平野(岡崎平野)は、周辺を山地や丘陵に囲まれ、南方は三河湾に面する。本平野は矢作川や境川が運搬した土砂により形成された堆積平野であり(町田ほか, 1962)、これらの河川の沖積低地と碧海面などの更新世段丘からなる。地下や周辺に存在する基盤岩や新第三系と併せて、その地形発達史が議論されている(町田ほか, 1962; 森山・船木, 1989; 森山, 1996; 牧野内, 2001 など)。

阿部ほか(2019a)は愛知県中央部の西三河平野南西部の油ヶ淵低地で長さ80mのボーリング試料を採取した。この試料中の更新統下部に相当すると考えられる礫

層中のチャート礫や珪質泥岩礫を検討したところ、放散虫化石が得られた。礫の岩種や形状と周辺の地質体の岩相などを考慮すると、この含放散虫礫は渥美半島に露出する秩父テレーンに由来すると考えられる。現在の地形の起伏からは礫は供給され難く、礫層堆積時には現在とは異なる地形であったことが示唆される。実際に重力異常(ブーゲー異常)のデータを加えて検討を行ったところ、渥美半島と西三河平野南西部の間に大きな基盤の隆起帯が無いと推定される。

本論では、新たに得られた放散虫化石の産出を報告するとともに、その放散虫の年代などに基づいて礫の供給源を推定する。その上で、重力異常の知見などを踏まえて礫層堆積時の西三河平野の古地形について議論する。

II. 地形・地質概説

西三河平野(岡崎平野)は、愛知県中央部に位置する堆積平野である(町田ほか, 1962)。北方から西方の尾張丘陵、西方の知多半島、東方の三河山地に囲まれ、南方には三河湾を臨む。三河湾や幡豆山地を挟んでさらに南方には渥美半島が存在する(図1)。

西三河平野の地下では基盤岩の領家テレーンの上に中新統-鮮新統や更新統が累重し、これらを沖積層が覆う

2020 年 1 月 22 日受付。2020 年 6 月 24 日受理。

*1 産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門 〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第 7。

*a Corresponding author : ito-t@aist.go.jp

図1 位置図

(A) 西三河平野とその周辺部の簡略地質図. 地質調査総合センター (2015) に基づく. (B) GS-HKN-1 コアの掘削位置と地形面区分. 阿部ほか (2019a) に基づく.

Fig. 1 Index map of the study area

(A) Simplified geologic map around the Nishimikawa Plain, based on Geological Survey of Japan, AIST (2015).
(B) Drilling site of GS-HKN-1 core and geomorphological classification map, based on Abe *et al.* (2019a).

(牧野内ほか, 2011). 領家テレーンは変成岩や花崗岩を主体とし, その延長部が東方の三河山地などに広く露出する(牧本ほか, 2004 など). 中新統-鮮新統を主体とする地層は東海層群(石田・横山, 1969)と呼ばれ, 淡水成の礫・砂・泥層を主体とし, 火山灰層や垂炭層などが挟在する(牧野内, 2001 など). 尾張丘陵や知多半島では, 東海層群が露出している(Nakayama, 1994 など). 更新統については, 町田ほか(1962)が三好層, 拳母層, 碧海層に区分した. 一方, 森山(1994)は油ヶ淵低地の地下にある, 東海層群を覆う基底礫層とその層序的上位のシルト層主体の更新統中部を油ヶ淵層と命名した.

III. ボーリング試料の概要

オールコアボーリング試料(GS-HKN-1)は, 愛知県碧南市縄手町の畑地(緯度: 34°53'27.4"N, 137°1'27.8"E, 孔口標高: 1.38 m, そのほかの情報は阿部ほか(2019a)に詳述)で, 深度80 mまで掘削された. ボーリング試料の採取地点の地形面区分は, 油ヶ淵南東方の油ヶ淵低地にあたる(阿部ほか, 2019a).

全長80 mのボーリング試料について, 阿部ほか(2019a)は, 上位に向かって粒径が小さくなる堆積物を一つの層相ユニットとして12のユニットに区分した(図2-A). 放散虫を抽出するため, ユニット1の最下部にあたる79.0~80.0 mの礫層を主体とする層準から

礫を採取した。阿部ほか (2019a) の層相の観察と微化石分析によるとボーリング試料は、海退期～低海面期に堆積したと考えられる河成のチャネル堆積物や氾濫原堆積物と、海進期～高海面期に堆積したと考えられる海成の内湾堆積物や干潟堆積物の繰り返しから主に構成される。礫を採取したユニット 1 の最下部は河川チャネル堆積物とされている。

ユニット 1 の最下部の層準は、東海層群の上位に位置し礫に富むといった特徴から、挙母層 (牧野内ほか, 2011) の下部あるいは油ヶ淵層の基底礫層 (森山, 1994; 森山ほか, 1997) の一部に対比される。礫の採取区間については、礫径や円磨度、基質との量比といった特徴に基づいて区間 A (79.60~79.80 m)、区間 B (79.31~79.34 m)、区間 C (79.00~79.25 m) の 3 つに細分した (図 2-B)。

礫を採取した層準そのものの年代について直接には明らかではない。しかし、下位に位置する東海層群で得られているフィッシュントラック年代で最も若いものは、約 100 万年前を示す (Nakayama *et al.*, 1995; 牧野内, 2001 など)。また、松山-プリュヌス古地磁気極性境界 (約 77 万年前, Suganuma *et al.*, 2015) がユニット 5 とユニット 6 の間に認められている (阿部ほか, 2019b)。したがって礫層の堆積年代は、この間となるおよそ 100~80 万年前の年代幅に収まると推定される。

IV. 手 法

下記の手法により、ボーリング試料に含まれる礫の中から処理する岩石を選定した。まず、チャートや珪質泥岩の礫を取り出した後、ルーペを用いて礫の表面を観察した。見掛け上変成をあまり受けていない礫や放散虫殻の痕跡とみられる粒状物質が観察される礫などの、放散虫を含む可能性が高いものを選定した。選定した礫については、色調や形態、サイズなどの特徴を記載した。

表面積を増やす目的でそれぞれの礫をハンマーで砕いた。これらを約 5% のフッ化水素酸水溶液に浸し、24 時間後に目開き 0.054 mm の篩を用いて溶液中の残渣を回収した。残渣を乾燥させた後、実体顕微鏡を用いて放散

図 2 GS-HKN-1 コアの柱状図

(A) 全体柱状図。阿部ほか (2019a) に基づく。(B) 半割コア (79~80 m) の写真及び CT スキャン画像。

Fig. 2 Geological columns of GS-HKN-1 core

(A) Whole geological column, based on Abe *et al.* (2019a). (B) Photo and CT image of core (79 to 80 m).

虫化石を拾い出し、試料台に乗せた。放散虫化石を乗せた試料台を金で蒸着し、産業技術総合研究所地質調査総合センターの電子顕微鏡 (JSM-6610LV, JEOL GmbH) により観察及び撮影を行った。なお、本論文で示した放散虫化石を含む試料台は、地質調査総合センター地質標本館に保管されている。

V. 得られた放散虫化石とその年代

1. 区間 A (79.60~79.80 m)

区間 A (Interval A) は 79.60~79.80 m の区間の礫層である。角礫や亜角礫が多く、淘汰は悪い。礫種としてはチャートなどの珪質岩に富み、砂岩や変成岩の礫を伴う。わずかに火山岩礫が含まれる。この区間から得られた計 7 試料を処理し、便宜的に a から g の記号を付した。このうち、試料 b を除く 6 試料から放散虫を見出した。1 試料 (試料 a) からはペルム紀の放散虫が、3 試料 (試料 d, e, g) からは三畳紀の放散虫が得られた。

試料 a は、灰色チャートの亜角礫で、3 辺の長さはおおよそ 4 cm, 2 cm, 2 cm である。 *Follicucullus porrectus* Rudenko (図 3-1~6) 及び *F. sp. aff. F. scholasticus* Ormiston and Babcock (図 3-7), *F. dilatatus* Rudenko (図 3-8) が得られた。Zhang *et al.* (2014) の示した産出レンジに基づくと、*F. porrectus* と *F. dilatatus* はペルム紀の中期グアデルピアン世キャピタニアン期の最後期の時代を示す *F. porrectus* 区間帯と *F. charveti* 区間帯上部から産出する。

試料 c は、暗灰色珪質泥岩の亜角礫で、3 辺の長さはおおよそ 2 cm, 2 cm, 1.5 cm である。この試料からは球状放散虫のみが発見されたが、年代は不明である。

試料 d は、暗褐色チャートの亜角礫で、3 辺の長さはおおよそ 3 cm, 2 cm, 1.5 cm である。本試料からは、*Pseudostylosphaera japonica* Nakaseko and Nishimura

(図 3-17, 18, 20, 21) や *Ps. longispinosa* Kozur and Mostler (図 3-19, 24), *Triassocampe deweveri* Nakaseko and Nishimura (図 3-12, 14) などが得られた。Sugiyama (1997) の産出レンジでは、*Ps. japonica* は TR2B~TR5A (中期三畳紀アニシアン期~後期三畳紀カーニアン期) から、*T. deweveri* は TR2C~TR4A (中期三畳紀アニシアン期~ラディニアン期) から産出する。これらの共産関係から、本試料の年代は中期三畳紀のアニシアン期~ラディニアン期期であると考えられる。

試料 e は、明灰色チャートの亜角礫で、3 辺の長さはおおよそ 2 cm, 1.5 cm, 1 cm である。本試料からは、*Ps. japonica* (図 3-25, 26, 27) などが得られた。前述の通り、*Ps. japonica* の産出レンジは TR2B~TR5A である。

試料 f は、暗褐色チャートの亜角礫で、3 辺の長さはおおよそ 1 cm, 1 cm, 1 cm である。球状放散虫に加え、スプメラリア目からラテンティフィストラリア目のものと思われるメッシュ状のアーム (図 3-31) がみられる。このようなアームを持つスプメラリアは中生代から新生代に (O'Dogherty *et al.*, 2009a, b など)、ラテンティフィストラリアは古生代に産出する (Caridroit *et al.*, 2017 など)。そのため、本試料の年代は不明である。

試料 g は、灰色チャートの亜角礫で、3 辺の長さはおおよそ 1 cm, 1 cm, 0.5 cm である。*Capnuchosphaera schenki* Blome (図 3-34, 35, 36) や *C. silviesensis* Blome (図 3-38), *Trialatus* sp. (図 3-40), *Yeharaia* sp. (図 3-41), *Poulpus* sp. (図 3-42, 43) などが得られた。Sugiyama (1997) の示した産出レンジに基づくと、*C. silviesensis* は TR5A~TR6A (後期三畳紀カーニアン期) から産出する。O'Dogherty *et al.* (2009b) によれば、*Trialatus* 属、*Yeharaia* 属、*Poulpus* 属の産出レンジはそれぞれ、後期三畳紀カーニアン期~後期三畳紀ノーリアン期前期、中期三畳紀アニシアン期後期~後期三畳紀カーニ

図 3 放散虫の電子顕微鏡写真
白色のスケールバーは、51b を除き全て 100µm を示す。

Fig. 3 Scanning-electron-microscope images of representative radiolarians

White scale bars indicate 100 µm, except for 51b. (1~6) *Follicucullus porrectus* Rudenko. (7) *Follicucullus* sp. aff. *F. scholasticus* Ormiston and Babcock. (8) *Follicucullus dilatatus* Rudenko. (9~11, 29, 30, 44, 47, 48, 50, 51) Spherical radiolarian. (12, 14) *Triassocampe deweveri* Nakaseko and Nishimura. (13, 15, 49) *Triassocampe?* sp. (16) *Pseudostylosphaera* sp. (17, 18, 20, 21, 25~27) *Pseudostylosphaera japonica* (Nakaseko and Nishimura). (19, 24) *Pseudostylosphaera longispinosa* Kozur and Mostler. (22, 23) Twisted spine. (28) *Pseudostylosphaera* sp. cf. *P. longispinosa* Kozur and Mostler. (31) Arm of spumellarians or latentifistularians. (32, 33) *Annulotriassocampe* sp. (34~36) *Capnuchosphaera schenki* Blome. (37) *Capnuchosphaera silviesensis* Blome. (38) *Eptingium* sp. (39) *Capnuchosphaera* sp. cf. *C. schenki* Blome. (40) *Trialatus* sp. (41) *Yeharaia* sp. (42, 43) *Poulpus* sp. (45) *Palaeosaturnalis* sp. cf. *P. liassicus* Kozur and Mostler. (46) Grooved spine. (52) Nassellaria gen. et sp. indet. (53) *Capnuchosphaera crassa* Yeh. (54) *Capnuchosphaera?* sp.

ン期, 中期三畳紀アニシアン期後期～後期三畳紀ノーリアン期前期である。これらの共産関係から, 試料 g の年代は後期三畳紀カーニアン期であると考えられる。

2. 区間 B (79.31～79.34 m)

区間 B (Interval B) は 79.31～79.34 m の区間の砂層の直上に位置する基質支持の礫層である。チャート礫のみがみられる。この区間からは, h の記号を付した 1 試料のみを処理し, 放散虫を得た。

試料 h は, 3 辺の長さがおおよそ 3 cm, 2.5 cm, 2.5 cm の暗灰色チャートの角礫で, *Palaeosaturnalis* sp. cf. *P. liassicus* Kozur and Mostler (図 3-45) が得られた。Carter *et al.* (1998) によれば, *Palaeosaturnalis liassicus* の産出レンジは *Pantanellium browni* 帯～*Parahsuum simplum* 帯 (前期ジュラ紀ヘッタンギアン期～シネムリアン期) であり, 試料 h はこの年代を示す可能性がある。

3. 区間 C (79.00～79.25 m)

区間 C (Interval C) は 79.31～79.34 m の基質支持の礫層である。淘汰はやや不良である。区間 A に比べると小さい粒径の礫が多い。礫種としてはチャート礫が多く, わずかに砂岩礫や変成岩礫が含まれる。この区間からは計 9 試料の礫を採取し, i から q の記号を付した。このうち, 3 つの試料 i, n, o から放散虫化石が得られた。層準 A の礫から得られた放散虫に比べると保存が悪く, 再結晶化しているものが多い (図 3-51b)。

試料 i は, 3 辺の長さがおおよそ 3 cm, 2 cm, 2 cm の赤色チャートの亜角礫で, 球状放散虫のほか, *Triassocampe*? sp. (図 3-49) が得られた。保存が不良であるため詳細な年代は不明だが, *Triassocampe* 属や近縁属は三畳紀から産出するため (O'Dogherty *et al.*, 2009b), 本試料の年代は三畳紀である可能性が高い。

試料 n は, 3 辺の長さがおおよそ 3.5 cm, 2 cm, 2 cm の暗灰色チャートの円礫で, 球状放散虫が得られたが, 年代は不明である。

試料 o は, 3 辺の長さがおおよそ 3 cm, 2 cm, 2 cm の明褐色チャートの亜角礫で, *C. crassa* Yeh (図 3-53) が得られた。同種は後期三畳紀のカーニアン期からノーリアン期前期に産出する (Tekin, 1999)。

VI. 議 論

1. 礫の供給源の推定

日本のベルム系チャートや三畳系チャートは, 秩父テレーンなどのジュラ紀付加体に含まれる (松岡ほか, 1998; 中江, 2000 など)。ベルム系チャートは秋吉テレーンなどのベルム紀付加体にも含まれるものの, その

分布は中国地方や新潟などであり, 西三河平野の近傍には露出していない。また, 秋吉テレーンのチャートから産出する放散虫の年代は, *F. porrectus* 区間帯 (ベルム紀中期最後期のキャピタニアン世後期) のものは限られており (Uchiyama *et al.*, 1986), それよりも古いものがほとんどである (Ishiga *et al.*, 1986; 佐野ほか, 1987; 五島, 1988; 柳瀬・磯崎, 1993; 河合・竹内, 2001; Ito and Matsuoka, 2015, 2016 など)。したがって, 本研究で得られた含放散虫礫がジュラ紀付加体から供給されたことは疑いない。そして, 西三河平野南部の矢作川下流域の現河床は亜円礫の細礫を含む花崗岩起源の粗砂を主体とする (春山・大矢, 1986 など) のに対して, 本研究で検討した含放散虫礫は, 主に中礫からなり且つ亜角礫が多いことを踏まえると, 矢作川上流域から長距離を運ばれてきたことは考えにくく, ある程度近傍のジュラ紀付加体が供給源であると考えられる。最も近い位置に露出するジュラ紀付加体は, 北方の尾張丘陵に分布する美濃テレーンあるいは南方の渥美半島に露出する秩父テレーンであり, これらの地質体が供給源として想定される。

次に, 美濃テレーンと秩父テレーンのどちらに由来するかについて議論する。検討した中では三畳紀を含むチャート礫が最も多い。しかしながら, 三畳紀のチャートはジュラ紀付加体中では最も一般的にみられるため, 多くの地質体からもたらさる。供給源の推定の手がかりとして, ここでは特にベルム紀放散虫の産出に着目する。例えば西南日本内帯の丹波-美濃-足尾テレーンでは, 構造的上位に位置する比較的古い付加体 (付加時期が中期ジュラ紀の前半かそれ以前) にはベルム系チャートが多いのに対し, 構造的下位に位置するより若い付加体 (付加時期が中期ジュラ紀の後半かそれ以降) ではほとんどみられないという特徴をもつ (中江, 2000)。つまり, ジュラ紀付加体の中で三畳系チャートは一般的に含まれるのに対してベルム系チャートを含む地質体は限られており, 礫の供給源の推定に活用しうる。

牧本ほか (2004) によれば, 尾張丘陵に分布する美濃テレーンから放散虫は見つかっていない。また牧本ほか (2004) は, 同地域的美濃テレーンを上麻生ユニットや金山ユニットに対比している。上麻生ユニットや金山ユニットは, 上述のジュラ紀付加体の中では構造的下位に位置するより若い付加体にあたり, ベルム系チャートについてはわずかな報告例があるのみである (伊藤ほか, 2016 など)。そのため, 少なくともベルム系チャート礫が尾張丘陵の美濃テレーンから供給された可能性は低い。より構造的上位にベルム系チャートを含む付加体が露出

していたが、既に削剥などで失われた可能性はあるものの、それを示唆する証拠はこれまでのところ存在しない。

一方、渥美半島には秩父テレーンの高山ユニットや多摩ユニットが分布している(中島ほか, 2008, 2010)。これらのユニットのチャートからは比較的豊富なペルム紀放散虫が産出しており(図 1), *F. porrectus* やその近縁種も報告されている(堀, 2004a, b, 2005)。

知多半島に分布する東海層群の礫層にはチャート礫が含まれており(坂本ほか, 1986; Nakayama, 1994 など), そこから二次的にチャート礫がもたらされた可能性も想定される。しかし、これらのチャートは主に細円礫であり、中亜角礫や中角礫を主体とする本研究の試料とは形状が異なる。したがって、東海層群の礫層からの二次的に供給された可能性は低い。

礫の起源については以下のようにまとめられる。礫の岩種と得られた放散虫年代により、その起源については、ジュラ紀付加体であることは間違いない。ジュラ紀付加体のチャート礫を供給しうる地質体としては、1) 調査地域西方の知多半島に分布する中新統-鮮新統東海層群中の礫層、2) 調査地域北方の尾張丘陵に露出する美濃テレーン、3) 調査地域南方の渥美半島に露出する秩父テレーンが考えられる。しかし東海層群に含まれるチャートは主に細円礫であり、中亜角礫などを多く含む本試料とは形状が異なる。尾張丘陵の美濃テレーンからは放散虫の産出は未報告で、またペルム系チャートをほとんど含まない地質体(上麻生ユニットや金山ユニット)に対比されている。一方、渥美半島の秩父テレーンからはペルム紀放散虫が数多く報告されている。したがって、少なくとも区間 A のペルム系チャート礫は、渥美半島の秩父テレーンあるいはその相当層からもたらされた可能性が最も高い。なお、その他の含放散虫礫(三疊系チャート礫など)の起源については限定するのが困難である。区間 A の堆積時にはほぼ渥美半島の秩父テレーンのみから礫が供給されていた可能性、そして尾張丘陵の美濃テレーンと合わせて両方から礫が供給されていた可能性がある。

2. 礫層堆積時の古地形

コア試料の掘削地点である西三河平野南西部と渥美半島の間には三河湾や三河山地、幡豆山地が存在している。現在の地形の起伏(図 4-A) から判断する限り、渥美半島に分布する秩父テレーンからの礫の供給は困難である。そこで、本節では重力図などの先行研究に基づき、渥美半島の秩父テレーンから礫が供給される可能性について論じる。その上で、当時の構造運動などについ

ても予察的に述べる。

本研究で得られた礫の供給源を渥美半島とした場合の供給経路の妥当性を検討するにあたり、当時の地形を復元することは困難であるため、現在の地下の基盤形状について議論する。調査地域において広域的な地下構造を検討するために重力異常(ブーゲー異常)を用いた。ブーゲー異常は地下の密度構造の不均質を表し、ブーゲー異常が高い場合は地下に高密度の岩体の分布を示し、逆にブーゲー異常が低い場合は地下に低密度の岩体が分布すると考えられる。調査地域周辺では、高密度な岩体としては主に領家テレーンを構成する変成岩や花崗岩が想定され、逆に低密度な岩体として中新世以降の堆積層が想定される。すなわち、本地域の高ブーゲー異常域は高密度の基盤岩が地表あるいは地下浅部に分布しているのを示しているのに対し、低ブーゲー異常域は低密度の堆積層が厚く存在することを示すと考えられる。ただし広域的なブーゲー異常には、沈み込むフィリピン海プレートなどの深部の密度分布の影響も反映されうる。これらの深部の密度分布の影響は広域的な重力異常(長波長な重力異常)として表れるため、それらの影響を除去し、比較的浅部の地質構造(短波長な重力異常)のみを抽出することを目的に、広域トレンド除去が行われる(駒澤, 2003 など)。

本研究でのブーゲー異常図の作成には地質調査総合センター(2013)による重力異常データを用いた(図 4-B)。広域トレンドを除去するために、2,000 m の上方接続残差図を作成した(図 4-C)。いずれもブーゲー密度を 2.68 g/cm^3 とし、処理および作図には Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel *et al.*, 2013) を用いた。

幡豆山地における高重力異常をのぞけば、渥美半島から西三河平野の掘削地点にかけて大きな重力異常の高まりは観察されない(図 4-B)。三河湾東域において、東北東-西南西方向に低重力異常の帯が存在するが、知多半島に見られるような大きな低重力異常ではないことから、基盤の凹みは大きくないと考えられる。このことから、渥美半島から幡豆山地の西方を通り、コア掘削地点を含む西三河平野南西部にかけて、渥美半島から西三河平野への礫の供給を阻害するような大きな基盤の起伏は無いと推定される。

ボーリング試料の概要に記したように、礫層の堆積年代は 100~80 万年前と推定される。したがって、区間 A の礫層の堆積時には、渥美半島周辺から西三河平野に礫を供給しうる水系が存在していたことが示唆される。ただし区間 C については亜円礫が多く、またペルム系

チャート礫も見つかっていないことから、区間Cの堆積時に渥美半島の秋父テレーンから碎屑物が供給されたとする根拠はない。また、本論で検討したボーリング試料の79m以浅の層準からは、チャート亜角礫は見つ

かていない。さらに、西三河平野南部に位置する矢作川下流域の現河床堆積物は亜円礫の細礫を含む粗砂を主体とし、礫種は主に花崗岩起源の長石類や石英類、雲母類で、チャートの割合は10~20%以下である(森山・

図 4 (A) 西三河平野周辺の標高図：陸域は国土地理院の基盤地図情報(数値標高モデル)5m/10mメッシュによる、海域は日本水路協会(2015)に基づく、(B)重力異常(ブーゲー異常)図：地質調査総合センター(2013)に基づく、(C)上方接続残差図：ブーゲー密度は 2.67 g/cm^3 (mgal)、2000m上方接続

Fig. 4 (A) Elevation map around Nishimikawa Plain : Land area is after 5m/10m grid digital elevation model (DEM) provided by Geospatial Information Authority of Japan, Sea area is based on Japan Hydrographic Association (2015), (B) Gravity anomaly (Bouguer anomaly) map : based on Geological Survey of Japan, AIST (2013), (C) Residual gravity anomaly map produced by upward continuation (2000 m) : The Bouguer anomalies computed for the reduction density of 2.67 g/cm^3 was used

浅井, 1980; 春山・大矢, 1986 など)。花崗岩などの細礫は矢作川流域に分布する領家テレーンに由来すると考えられ, また円摩度の高いチャートの細礫は矢作川中～上流域の美濃テレーンなどに由来しうる。このことから, 渥美半島の秩父テレーンからの碎屑物の供給は, 区間 C の堆積時には少なくとも限定的であり, それ以降はほぼ存在せず, 段丘構成層の供給源である矢作川中～上流域(町田ほか, 1962; 森山, 1996)からの土砂供給が卓越した可能性を示している。

西三河平野周辺の地形発達については, 様々な構造運動の影響が議論されている。例えば, 森山(1996)は西三河平野における NE-SW 方向の傾動運動を見出し, 西三河傾動地塊運動と命名した。知多半島を含む東海層群の隆起上昇については猿投-知多上昇帯と名付けられた(桑原, 1975; 細山, 1995 など)。渥美半島においても古くから渥美曲隆運動が知られる(黒田, 1958; 石川・太田, 1967 など)。本研究の掘削地点以外にも西三河平野周辺には珪質岩礫を含む礫層や砂礫層が分布しており, 例えば北方の東濃地方では, チャート礫や泥質岩礫などを含む砂礫層から成る鮮新統～更新統下部の土岐砂礫層が知られる(桑原, 1968; 森山・丹羽, 1985 など)。放散虫については古生物地理学的な検討も行われており(石賀, 1986; Wongsanan and Caridroit, 2006; Ito *et al.*, 2016), 研究の進展でより確実に礫の供給源を推定できる可能性がある。今後, より多くの地点のボーリング試料などに含まれる礫から放散虫を抽出して他の礫との量比などを検討することにより, 礫岩の三次元的分布とその起源についての情報が蓄積されると思われる。これらの蓄積に基づいて上述の構造運動と合わせて考えることにより, 西三河平野の地形発達史について三次元モデルの構築などを含めたより詳細な理解につながると期待される。

謝辞 西三河平野やその周辺の地形や地質に関しては, 産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門の中島 礼博士, 尾崎正紀博士, 佐藤善輝博士, 佐藤智之博士に議論していただいた。また, 同部門の清家弘治博士と横井久美氏には, ボーリング試料の CT 画像を撮影していただいた。担当編集の北村晃寿教授(静岡大学大学院理学研究科地球科学専攻)ならびに査読者の菅森義晃博士(鳥取大学地域学部地域環境学科)及び須貝俊彦教授(東京大学大学院新領域創成科学研究科)には, 原稿を精読いただくとともに建設的なコメントをいただき, 本論文の内容は大きく改善された。

引用文献

- 阿部朋弥・中島 礼・納谷友規(2019a) 西三河平野南西部, 油ヶ淵低地におけるボーリング調査. 地質調査総合センター速報, 79, 71-86.
- 阿部朋弥・中島 礼・納谷友規・水野清秀(2019b) 西三河平野南西部地下に分布する更新統の層序の再検討. 日本第四紀学会講演要旨集, 49, 28.
- Caridroit, M., Danelian, T., O'Dogherty, L., Cuvelier, J., Aitchison, J.C., Pouille, L., Noble, P., Dumitrica, P., Suzuki, N., Kuwahara, K., Maletz, Y. and Feng, Q.L. (2017) An illustrated catalogue and revised classification of Paleozoic radiolarian genera. *Geodiversitas*, 39, 363-417.
- Carter, E.S., Whalen, P.A. and Guex, J. (1998) Biochronology and paleontology of Lower Jurassic (Hettangian and Sinemurian) radiolarians, Queen Charlotte Islands, British Columbia. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 496, 1-162.
- 地質調査総合センター(2013) 日本重力データベース DVD 版, 数値地質図 P-2. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 地質調査総合センター(2015) 20 万分の 1 日本シームレス地質図. 2015 年 5 月 29 日版, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, <https://gbank.gsj.jp/seamless/>.
- 五島 昇(1988) 帝釈地域のペルム紀珪質-泥質岩類の層序と粗粒碎屑岩類との構造的関係. 地質学雑誌, 94, 501-514.
- 春山成子・大矢雅彦(1986) 地形分類を基礎とした庄内川, 矢作川の河成平野の比較研究. 地理学評論, 59A, 571-588.
- 堀 常東(2004a) 愛知県田原市蔵王山に分布するチャートから産するペルム紀放散虫化石. 大坂微化石研究会誌特別号, no. 13, 1-11.
- 堀 常東(2004b) 5 万分の 1 地質図幅「豊橋」地域の秩父帯チャートから産するペルム紀放散虫化石. 地質調査研究報告, 55, 287-301.
- 堀 常東(2005) 渥美半島伊良湖岬地域の秩父帯から産する中・古生代放散虫化石. 地質調査研究報告, 56, 37-83.
- 細山光也(1995) 知多半島北部の東海層群一層序対比および猿投-知多上昇帯の実態一. 地球科学, 49, 89-108.
- Inose, H., Furuuchi, K., Ito, T., Sashida, K. and

- Agematsu, S. (2018) Radiolarian fossils from conglomerate layers of the Upper Cretaceous Nakaminato Group exposed along the Pacific coast of Ibaraki Prefecture, central Japan : Staged denudation of the mid-Mesozoic accretionary complexes in the Kanto District. *Paleontological Research*, 22, 307-325.
- Ishida, K. (1999) Radiolarians as tracers for provenance of gravels in Lower Cretaceous molasse (Outer Zone of SW Japan). *Geodiversitas*, 21, 637-656.
- Ishida, K., Kozai, T., Park, S.O. and Mitsugi, T. (2003) Gravel bearing radiolarian as tracers for erosional events : a review of the status of recent research in SW Japan and Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 909-920.
- 石田志朗・横山卓雄 (1969) 近畿・東海地方の鮮新・更新統火山灰層序, 及び古地理・構造発達史を中心とした諸問題. *第四紀研究*, 8, 31-43.
- 石賀祐明 (1986) 日本の石炭紀新世—ペルム紀放射散虫化石層序—とくにペルム紀新世の *Follicucullus* 属放射散虫の分布と系統について. *大阪微化石研究会誌特別号*, no. 7, 1-8.
- Ishiga, H., Watase, H. and Naka, T. (1986) Permian radiolarians from Nishiki Group in Sangun-Chugoku Belt, Southwest Japan. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, 40, 124-136.
- 石川佳代・太田陽子 (1967) 渥美曲隆運動に関する若干の資料. *第四紀研究*, 6, 89-92.
- Ito, T. and Matsuoka, A. (2015). Imbricate structure of the Permian Yoshii Group in the Otakeyama area, Okayama Prefecture, southwest Japan. *Frontiers of Earth Science*, 9, 152-163.
- Ito, T. and Matsuoka, A. (2016) Ductilely deformed cherts within intrusive sandstones of the Yoshii Group of the Akiyoshi terrane in Southwest Japan : Consolidation time of Permian cherts. *News of Osaka Micropaleontologists (NOM), Special Volume*, no. 16, 95-104.
- 伊藤 剛・酒井佑輔・茨木洋介・吉野恒平・石田直人・梅津 暢・中田健太郎・松本明日香・日野原達哉・松本 健・松岡 篤 (2012) 新潟県糸魚川地域手取層群水上谷層の礫岩中の珪質岩礫から産出した放射散虫化石. *糸魚川市博物館研究報告*, no. 3, 13-25.
- Ito, T., Sakai, Y., Ibaraki, Y. and Matsuoka, A. (2014) Middle Jurassic radiolarians from siliceous mudstone clast within the Tetori Group in the Itoigawa area, Niigata Prefecture, central Japan. *Science Reports of Niigata University (Geology)*, 29, 1-11.
- Ito, T., Sakai, Y., Feng, Q.L. and Matsuoka, A. (2015) Jurassic radiolarians from chert clasts within conglomerates of the Itsuki Formation of the Itoshiro Subgroup (Tetori Group) in the Taniyamadani Valley, Fukui Prefecture, central Japan. *Science Reports of Niigata University (Geology)*, 30, 1-13.
- Ito, T., Feng, Q.L. and Matsuoka, A. (2016) Uneven distribution of *Pseudotormetus* De Wever et Caridroit (Radiolaria, Protozoa) : Provincialism of a Permian planktonic microorganism. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 90, 1598-1610.
- 伊藤 剛・北川祐介・松岡 篤 (2016) 岐阜県美濃テレーン上麻生ユニットの礫岩に含まれるチャート岩体から産出したペルム紀放射散虫化石. *地質学雑誌*, 122, 249-259.
- Ito, T., Kitagawa, Y. and Matsuoka, A. (2017a) An aberrant bi-apical *Follicucullus* (Albaillellaria) from the late Guadalupian (Middle Permian), with the possible oldest evidence on double malformation in radiolarians. *Journal of Micropalaeontology*, 36, 222-223.
- Ito, T., Kurihara, T., Hakoima, H., Ibaraki, Y. and Matsuoka, A. (2017b) Late Silurian radiolarians from a radiolarite pebble within a conglomerate, Kotaki, Itoigawa, Niigata Prefecture, central Japan. *Science Reports of Niigata University (Geology)*, no. 32, 1-14.
- Ito, T., Sakai, Y., Feng, Q.L. and Matsuoka, A. (2017c) Review of microfossil-bearing clasts within Late Mesozoic strata in East Asia : staged denudation of mid-Mesozoic accretionary complexes. *Ofioliti*, 42, 39-54.
- 柏木健司 (2012) 富山県八尾地域の楡原層 (下部中新統) の堆積環境とチャート礫から産出した中・古生代放射散虫化石. *福井県立恐竜博物館紀要*, no. 11, 27-47.
- 河合政岐・竹内 誠 (2001) 飛騨外縁帯青海地域から産出するペルム紀放射散虫化石. *大阪微化石研究会誌特*

- 別号, no. 12, 23-32.
- 小嶋 智 (1986) 岐阜県大野郡丹生川村横尾付近に分布する礫岩より二疊紀放散虫化石の産出. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 7, 175-179.
- 駒澤正夫 (2003) 日本の重力探査事情—地下構造とのかかわり. 石油技術協会誌, 68, 21-30.
- 黒田啓介 (1958) 渥美半島の洪積統層準並びに地質構造. 地学しずはた, 16, 38-45.
- 桑原 徹 (1968) 濃尾盆地と傾動地塊運動. 第四紀研究, 7, 235-247.
- 桑原 徹 (1975) 濃尾傾動盆地の発生と地下の第四系. 地盤沈下の実態とその対策に関する調査研究, 愛知県地盤沈下研究会報告書.
- 町田 貞・太田陽子・田中真吾・白井哲之 (1962) 矢作川下流地域の地形発達史. 地理学評論, 35, 505-524.
- 牧本 博・山田直利・水野清秀・高田 亮・駒澤正夫・須藤定久 (2004) 豊橋及び伊良湖岬 (20 万分の 1 地質図幅). 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 牧野内 猛 (2001) 東海層群の層序と東海湖堆積盆地の時代的変遷. 豊橋市自然史博研報, no. 11, 33-39.
- 牧野内 猛・加藤麻衣・大石康雄・塚本将康・武邑圭司・大島 武・杉浦 武 (2011) 愛知県安城市の地下地質. 地質学雑誌, 117, 79-94.
- 松岡 篤・山北 聡・榊原正幸・久田健一郎 (1998) 付加体地質の観点に立った秩父累帯のユニット区分と四国西部の地質. 地質学雑誌, 104, 634-653.
- 森山昭雄 (1994) 西三河平野, 碧海層の堆積構造と海水準変動. 地理学評論, 67A, 723-744.
- 森山昭雄 (1996) 西三河平野の活断層と傾動運動. 地理学報告, 82, 1-11.
- 森山昭雄・浅井道広 (1980) 矢作川河床堆積物と給源岩石の造岩鉱物との粒度組成関係. 地理学評論, 53, 557-593.
- 森山昭雄・船木伸彦 (1989) 愛知県岡崎周辺の山地地形と地形発達. 地理学報告, 68, 41-49.
- 森山昭雄・丹羽正則 (1985) 土岐面・藤岡面の対比と土岐面形成に関連する諸問題. 地理学評論, 58, 275-294.
- 森山昭雄・橋爪 厚・石原 秀 (1997) 化石ケイソウ群集による碧海層の堆積環境の変遷と油ヶ渕断層による変位. 愛知教育大学研究報告 (自然科学編), 46, 61-69.
- 中江 訓 (2000) 西南日本内帯ジュラ紀付加複合体の広域対比. 地質学論集, no. 55, 73-98.
- 中島 礼・堀 常東・宮崎一博・西岡芳晴 (2008) 豊橋及び田原地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 113p, 産総研地質調査総合センター.
- 中島 礼・堀 常東・宮崎一博・西岡芳晴 (2010) 伊良湖岬地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 69p, 産総研地質調査総合センター.
- Nakayama, K. (1994) Stratigraphy and paleogeography of the Upper Cenozoic Tokai Group around the East Coast of Ise Bay, central Japan. Journal of Geosciences, Osaka City University, 37, 77-143.
- Nakayama, K., Yoshikawa, S. and Ito, T. (1995) Magnetostratigraphy of the Late Cenozoic Tokai Group in central Japan and its sedimentologic implications. Journal of Southeastern Asian Earth Sciences, 12, 95-104.
- 日本水路協会 (2015) 海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ M7002 ver.2.3 遠州灘. CD 版.
- O'Dogherty, L., Carter, E.S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Bandini, A.N., Baumgartner, P.O. and Matsuoka, A. (2009a) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 2 : Jurassic-Cretaceous. Geodiversitas, 31, 271-356.
- O'Dogherty, L., Carter, E.S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Hungerbühler, A., Bandini, A.N. and Takemura, A. (2009b) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 1 : Triassic. Geodiversitas, 31, 213-270.
- 坂本 亨・高田康秀・桑原 徹・糸魚川淳二 (1986) 名古屋南部地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 55p, 地質調査所.
- 佐野弘好・飯島康夫・服部弘通 (1987) 中国山地中央部秋吉帯古生界の層序. 地質学雑誌, 93, 865-880.
- Suganuma, K., Okada, M., Horie, K., Kaiden, H., Takehara, M., Senda, R., Kimura, J., Kawamura, K., Haneda, Y., Kazaoka, O. and Head, M. (2015) Age of Matuyama-Brunhes boundary constrained by U-Pb zircon dating of a widespread tephra. Geology, 43, 491-494.
- Sugiyama, K. (1997) Triassic and Lower Jurassic radiolarian biostratigraphy in the siliceous claystone and bedded chert units of the southeastern Mino terrane, central Japan. Bulletin of Mizunami Fossil Museum, 24, 79-193.

- 竹村静夫・梅田真樹・八尾 昭・鈴木茂之 (1996) 中-上部ペルム系舞鶴層群中の珪質岩礫から産するペルム紀中-新世放散虫化石. 地質学雑誌, 102, 820-823.
- Tekin, U.K. (1999) Biostratigraphy and systematics of late Middle to Late Triassic radiolarians from the Taurus Mountains and Ankara region, Turkey. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, Sonderband*, 5, 1-296.
- Uchiyama, T., Sano, H. and Kanmera, K. (1986) Depositional and tectonic setting of cherts around the Akiyoshi Limestone Group, Southwest Japan. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series D, Geology*, 26, 51-68.
- 梅田美由紀 (1997) 美濃帯南条山中生界を覆う後期漸新世礫岩層中の正珪岩礫の特徴とチャート礫より得られた放散虫化石. 地球科学, 51, 199-211.
- 歌川史哲・指田勝男・上松佐知子・高津翔平 (2017) 千倉層群白浜層 (上部鮮新統) 野島崎礫岩部層の珪質岩小礫から産する三畳紀・ジュラ紀放散虫化石. 地質学雑誌, 123, 969-976.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., Scharroo, R., Luis, J.F. and Wobbe, F. (2013) Generic Mapping Tools : Improved version released. *EOS Trans. AGU*, 94, 409-410.
- Wonganan, N. and Caridroit, M. (2006) Middle to Upper Permian radiolarian faunas from chert blocks in Pai area, northwestern Thailand. *Ecologicae Helvetiae*, 99, S133-S139.
- 柳瀬 晶・磯崎行雄 (1993) 九州北部企救半島のペルム紀付加体の岩相・層序および放散虫年代. 地質学雑誌, 99, 285-288.
- Zhang, L., Ito, T., Feng, Q.L., Caridroit, M. and Danelian, T. (2014) Phylogenetic model of Follicucullus-lineages (Albaillellaria, Radiolaria) based on high resolution biostratigraphy of the Permian Bancheng Formation, Guangxi, South China. *Journal of Micropalaeontology*, 33, 179-192.

Paleozoic and Mesozoic radiolarian fossils from siliceous rock pebbles of the Pleistocene in sediment core from Nishimikawa Plain, central Japan : Estimation of a source of the pebbles

Tsuyoshi Ito^{*1, a}, Tomoya Abe^{*1}, and Ayumu Miyakawa^{*1}

Radiolarian fossils were extracted from chert and siliceous mudstone cobbles of gravel layer of the Pleistocene in a sediment core sample collected from the Nishimikawa Plain, Aichi Prefecture, central Japan. Permian radiolarians were obtained from a sub-angular chert pebble, Triassic radiolarians from sub-angular to sub-rounded chert pebbles, and Jurassic radiolarians from an angular chert pebble. These pebbles were most likely derived from the Chichibu terrane, Jurassic accre-

tionary complex, in the Atsumi Peninsula located to the south of the sampling site. Gravity map data (Bouguer anomalies) indicate the absence of a large uplift zone of basements between the Atsumi Peninsula and the sampling site. This implies the presence of a water system that was able to supply pebbles from the Atsumi Peninsula were able to supply to the Nishimikawa Plain during the depositional term of gravel (ca. 0.8-1 Ma).

Keywords : Pleistocene, Nishimikawa Plain, radiolaria, gravel, hinterland, sediment core

*1 Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. Central7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan.

*a Corresponding author : ito-t@aist.go.jp