

佐渡島, 中新統鶴子層から得られた放散虫化石と堆積年代

川谷文子^{1,*}・指田勝男¹・上松佐知子¹・甲能直樹^{1,2}

Ayako Kawatani, Katsuo Sashida, Sachiko Agematsu and Naoki Kohno (2019) Radiolarian fossils from the Miocene Tsurushi Formation distributed in Sado Island, Niigata Prefecture, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 70 (1/2), p.91-99, 4 figs, 1 table, 1 plate.

Abstract: The Middle Miocene Tsurushi Formation distributed in Sado Island is composed of the lower basalt and upper mudstone. This formation is important to elucidate the geohistory of Sado Island and the expansion process of Japan Sea.

We tried to clarify the geologic age of the Tsurushi Formation by using biostratigraphical data on microfossils from this formation. We identified radiolarian fossils from three sites (Sites 1 to 3) of the Tsurushi Formation and correlated the radiolarian assemblages with the previously proposed radiolarian zones. At the Site 1, we discriminated *Eucyrtidium inflatum*. *E. inflatum* indicate the *E. inflatum* Zone, which corresponds to 15.3-11.7 Ma. At the Site 2, *E. inflatum*, *Lychnocanoma kamtschatica* and *Lychnocanoma magnacornuta* were identified. On the basis of the occurrences of these species, the formation of the Site 2 can be correlated with the *E. inflatum* Zone (15.3-11.7 Ma) to the *L. magnacornuta* Zone (11.7-9.1 Ma). *L. kamtschatica* has been reported only from the high latitudes of the North Pacific. The occurrence of this species from the Tsurushi Formation is its first occurrence from the Japan Sea region. At the Site 3, relatively a lot of specimens of *Cyrtocapsella tetrapera* and *Cyrtocapsella japonica* are identified, which indicate the Subzone a of the *E. inflatum* Zone or older zones.

Keywords: Miocene, radiolaria, Japan Sea, Tsurushi Formation

要 旨

新潟県佐渡島に分布する鶴子層は、主に下部の玄武岩と上部の泥岩からなる中期中新世の地層である。鶴子層は、堆積したときに大規模な日本海の拡大がおきたことから佐渡島の地史や日本海の発達史を解明する手掛かりを持つと考えられる。本研究では、鶴子層の詳細な年代を検討するため、佐渡島南部に分布する露頭より泥岩試料と炭酸塩ノジュール試料を採取し、放散虫化石の抽出を行った。

鶴子層の分布する3地点の試料より得られた放散虫化石に基づいて生層序学的検討を行った。その結果、鶴子層の年代は、地点1は*Eucyrtidium inflatum*が産出することから*E. inflatum* Zoneに相当する15.3-11.7 Maであると考えられる。地点2からは、*E. inflatum*, *Lychnocanoma magnacornuta*及び*Lychnocanoma kamtschatica*が産出した。これら3種の産出により、地点2の鶴子層は*E. inflatum* Zone (15.3-11.7 Ma) から*L. magnacornuta* Zone (11.7-9.1 Ma) に相当すると考えられる。*L. kamtschatica*はこれま

で北太平洋高緯度地域からしか報告がなかったが、今回この種の生息域が日本海に及んでいたことが初めて示された。地点3の年代は、*Cyrtocapsella tetrapera*と*Cyrtocapsella japonica*が比較的多く産出している点から、*E. inflatum* ZoneのSubzone aかそれよりも古いと考えられる。

1. はじめに

新潟県の北西に位置する佐渡島は日本海最大の島であり、北部の大佐渡地域と南部の小佐渡地域に分けられる。大佐渡地域と小佐渡地域の間には国中平野が広がっている(第1図)。

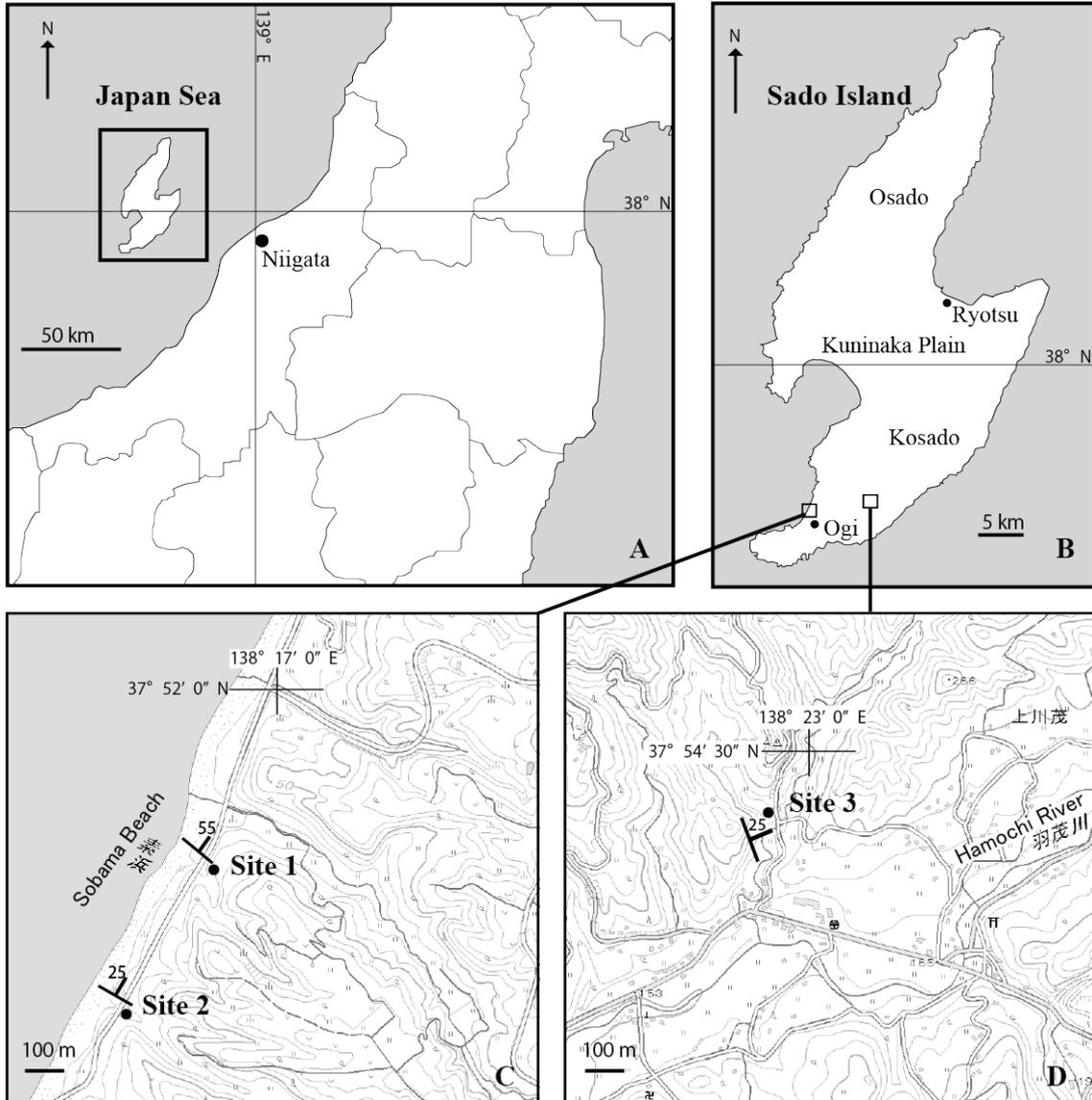
佐渡島では、中生界と白亜紀の花崗岩からなるわずかな基盤の上を、漸新世から中新世前期のグリーンタフ層が不整合に覆い、新第三紀後期以降の海成層がさらにその上を不整合で覆っている(島津ほか, 1977)。

新生界のうち、主に玄武岩とシルト岩からなる中部中新統鶴子層は、その堆積ときに日本海の拡大がおきたとされており(小林, 2001)、佐渡島の地史や日本海の発達

¹ 筑波大学大学院生命環境科学研究科 (Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan)

² 国立科学博物館 (National Museum of Nature and Science, 4-1-1, Amakubo, Tsukuba, Ibaraki, 305-0005, Japan)

* Corresponding author: A. Kawatani, Email: kawatani@geol.tsukuba.ac.jp



第1図 調査地域の位置図。地形図は国土地理院の地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/#16/37.862158/138.294353/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0>, <https://maps.gsi.go.jp/#16/37.904395/138.385892/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0> (2018年12月27日)) を使用。

A, 佐渡島の位置. B, 佐渡島における試料採取地点. C, 地点1と地点2の位置. D, 地点3の位置.

Fig. 1 Map of the study area. Topographic map is from the GIS map (<https://maps.gsi.go.jp/#16/37.862158/138.294353/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0>, <https://maps.gsi.go.jp/#16/37.904395/138.385892/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0> (December 27, 2018)) of the Geospatial Information Authority of Japan.

A, Location map of Sado Island. B, Location map of samples. C, Location map of Site 1 and Site 2. D, Location map of Site 3.

史を解明する際に重要な地層であると考えられる。

これまで鶴子層について、放散虫化石や有孔虫化石の年代(渡辺, 1987)や堆積環境の研究(渡辺, 1983, 1987)などが行われてきたが、特に放散虫化石については船山(1988)の化石帯区分が提案される以前のデータであること、鶴子層とその上位の野田山層との境界の再検討が必要である(柳沢, 2012a)ことなどの課題が存在する。本研究では、鶴子層分布域の3地点の露頭より得られた放散

虫化石を最新知見に基づき検討し、鶴子層の年代推定を行った。

2. 地質概説

佐渡島の一部地域でわずかに露出している中古生界の基盤岩のうち、大佐渡地域の暗灰色泥岩からは後期三疊紀を示す放散虫化石の産出が報告されている(板坂ほか, 1994)。その暗灰色泥岩は付加体を覆う堆積物の可能性

があるとされ、大佐渡地域の基盤岩は秋吉帯の一部とみなされている(田沢, 2000)。また、小佐渡地域の黒色泥岩から前期ジュラ紀の放散虫化石が報告され(鈴木・桑原, 2003)、小佐渡地域の基盤岩は足尾帯のジュラ紀付加体に対比されている(小林, 2001)。

佐渡島における新第三系の層序は、歌代(1950)、島津ほか(1973)、島津・外山(1982)などにより層序学的研究が進められ、小木団体研究グループ(1986)により小佐渡地域の新第三系は下位から相川層、三瀬層、経塚山層、下戸層、鶴子層、野田山層、山田川層に区分された。

相川層は、下部は砂岩や礫岩、細粒凝灰岩などに富み、上部は凝灰岩、変質安山岩溶岩などからなる浅海～陸成層である(島津ほか, 1973)。三瀬層と経塚山層はそれぞれ、粗面岩質安山岩溶岩や輝石角閃石安山岩溶岩などからなる陸成層と、石英安山岩や安山岩の火砕岩類を主体とし、火山円礫岩、礫岩、砂岩、炭層を挟む陸成層である(竹内ほか, 2011)。下戸層は歌代(1950)により記載された大部分が砂岩、シルト岩、礫岩などの碎屑岩類からなる海成層である。経塚山層以下を不整合に覆う海進初期の堆積物で(柳沢, 2012a)、軟体動物化石、棘皮動物化石、海生哺乳類化石などが産出している。下戸層の上位の鶴子層は、小佐渡地域と大佐渡地域に分布する珪質頁岩を主体とする海成層である。鶴子層は渡辺(1932)により定義され、その後歌代(1950)により再定義された。鶴子層の上位の地層は従来中山層とされていたが、小木団体研究グループ(1986)はこの地層を岩質の特徴から二つに区分し、下位の珪藻質泥岩層を野田山層、上位の無層理塊状泥岩層を山田川層と定義した。

鶴子層の模式地は佐和田町(現佐渡市)鶴子周辺とされている(渡辺, 1932)。鶴子層は珪質頁岩を主体とし、一部が玄武岩により構成されている(小林, 2001)。鶴子層の最下部には海緑石が濃集した暗緑色の砂岩層が発達しており、上部では、珪質頁岩と同時異相である小木玄武岩層を挟む(柳沢, 2012b)。鶴子層は放散虫化石及び珪藻化石により中期中新世の年代が提案されている(柳沢, 2012a)。渡辺(1987)は*Cyrtocapsella tetrapera*の産出から、鶴子層を中世古・菅野(1973)の*C. tetrapera* Zoneに相当するとした。また、鶴子層下部より産出した浮遊性有孔虫をBlow(1969)の浮遊性有孔虫化石帯のN10-N11に対比し、鶴子層の年代を約15-13 Maとした。さらに、渡辺(1987)は、鶴子層上部より米谷(1978)による日本海側浮遊性有孔虫化石帯のPF3帯とPF4帯下部に位置づけられる浮遊性有孔虫化石が産出していることから、鶴子層上部を約12.3-11.5 Maと推定した。

鶴子層の層理の発達した泥岩からは深海生軟体動物、ニシン科魚類、海亀、鳥類などの化石が発見されている(小野・上野, 1985)。また、炭酸塩ノジュールからは海棲哺乳類化石が見つかっており(廣田ほか, 1987)、それと同一のノジュールから、中世古・菅野(1973)の

Cyrtocapsella tetrapera Zoneに対比される放散虫化石群集が産出している(竹村・廣田, 1983)。

3. 調査地域の地質と分析用試料

鶴子層分布域の3地点の露頭について調査を行い、放散虫化石検討のために試料採取を行った(第1図)。試料は、小佐渡地域西部の素浜沿いの露頭(地点1)、地点1から浜沿いに1 kmほど南西に移動した場所に位置する露頭(地点2)、小佐渡地域の東部に位置する川茂の露頭(地点3)から採取した。とくに地点2周辺の鶴子層からは数多くの海生哺乳類化石が発見されている(佐渡海生哺乳動物化石研究グループ, 1987; 高橋ほか, 1989)。

地点1の露頭における層厚は約22 mで、走向傾斜はN50° W55° Nである。地点1の柱状図を第2図に示す。岩相は灰色シルト岩層が卓越し、10-20 cmほどの厚さの黒色頁岩層がまれに挟在する。灰色シルト岩中には直径1.5 mの灰色炭酸塩ノジュールが含まれる。地点1の露頭から泥岩6試料、炭酸塩ノジュール1試料を採取した。

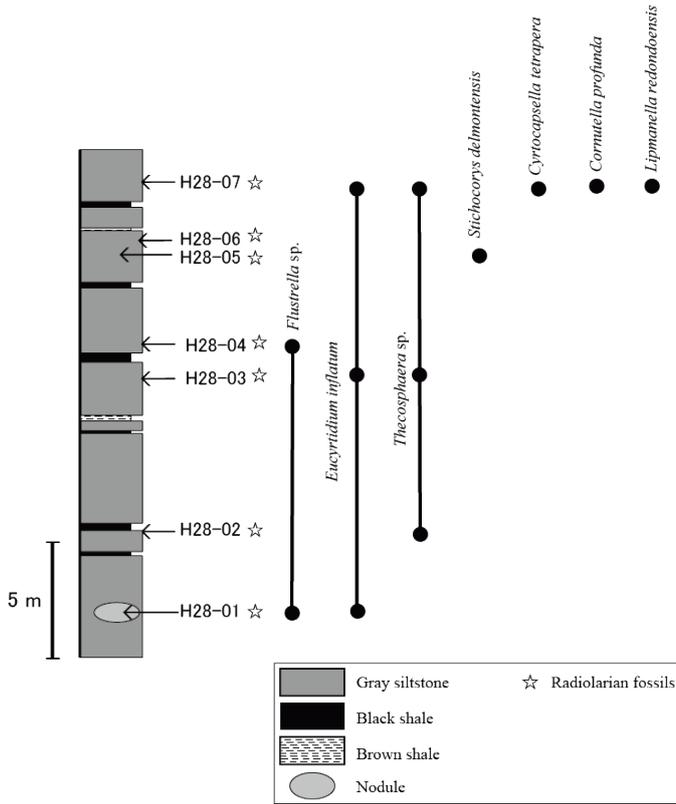
地点2の露頭における層厚は約14 mで、走向傾斜はN60° W25° Nである。地点2の柱状図を第3図に示す。岩相は灰色シルト岩層が卓越し、20-30 cmの厚さの黒色シルト岩層が最下部にみられる。厚さ30 cmの青灰色凝灰岩層や、灰色シルト岩と黒色頁岩が頻りに繰り返す厚さが2.5 mの互層もみられた。最下部より10 m上位の暗灰色シルト岩中に直径20 cmの炭酸塩ノジュールが含まれる。地点2より泥岩9試料、炭酸塩ノジュール1試料を採取した。

地点3の露頭における層厚は約24 mで、走向傾斜はN20° W25° Nである。地点3の柱状図を第4図に示す。岩相は灰色から褐色、黒色のシルト岩が卓越し、上部の一層準に厚さ1.4 mの黒色頁岩層がみられる。下部の灰色シルト岩層の間に2-3cmの青灰色粘土岩層が観察できる。露頭の一部が厚さ2.5 m程観察できず、その上位に、4.5 mの褐色シルト岩層、魚類化石を含む1.4 mの黒色頁岩層、1.5 mの暗灰色シルト岩層、1.5 mの灰色シルト岩層の順で堆積している。最下部より5 m程上位の灰色シルト岩中に直径30 cmほどの炭酸塩ノジュールが含まれる。地点3からは泥岩12試料、炭酸塩ノジュール1試料を採取した。

走向傾斜から、3地点の相対的な上下関係は、地点2が最も下位で、地点1はそれよりも上位、地点3は最も上位と思われる。

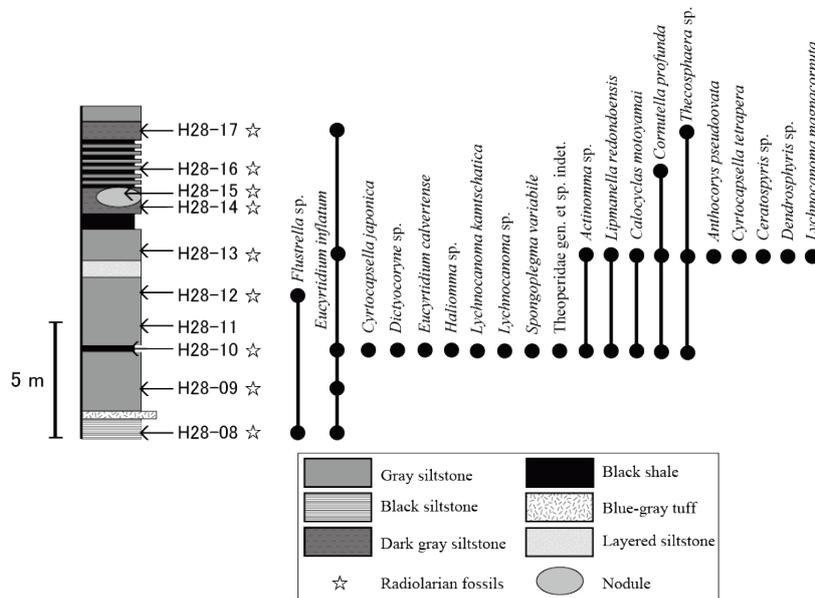
4. 岩石の処理方法

岩石中から放散虫化石を抽出するため、硫酸ナトリウム法(鈴木, 2012)とフッ化水素酸溶液を用いた酸処理(鈴木, 2012)を行った。頁岩、シルト岩の試料は硫酸ナトリウム法により処理を行い、残渣を得た。ノジュール



第2図 地点1の柱状図と主な放散虫化石レンジ。

Fig. 2 Columnar section and stratigraphic occurrence of radiolarian fossils of the Tsurushi Formation at Site 1.



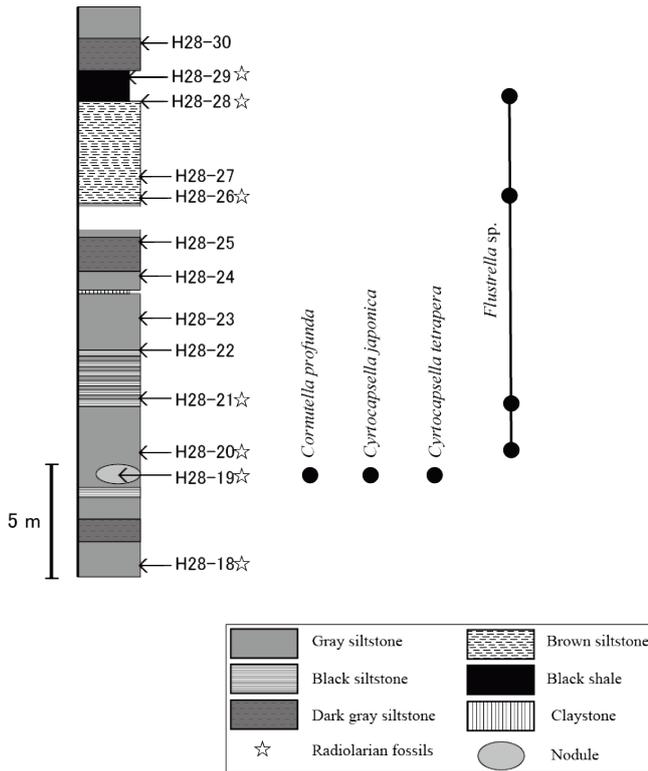
第3図 地点2の柱状図と主な放散虫化石レンジ。

Fig. 3 Columnar section and stratigraphic occurrence of radiolarian fossils of the Tsurushi Formation at Site 2.

ルはフッ化水素酸溶液により酸処理を行い残渣を得た。乾燥した残渣を実体顕微鏡で観察した。残渣中の放散虫化石を面相筆で拾い上げ、走査型電子顕微鏡で写真撮影を行い同定を行った。

5. 放散虫化石の産出状況

3地点の30試料を処理した結果、23試料から放散虫化石が得られた。その中で同定可能な状態の放散虫化石が産出した18試料における化石一覧を第1表に示す。各



第4図 地点3の柱状図と主な放散虫化石レンジ。

Fig. 4 Columnar section and stratigraphic occurrence of radiolarian fossils of the Tsurushi Formation at Site 3.

地点の柱状図とともに、産出化石の産出レンジを第2図～第4図に示す。

地点1の試料H28-01より*Eucyrtidium inflatum*, *Flustrella* sp., 試料H28-02より*Thecosphaera* sp., H28-03より*E. inflatum*, *Thecosphaera* sp., H28-04より*Flustrella* sp., H28-05より*Stichocorys delmontensis*, H28-07より*Cornutella profunda*, *C. tetrapera*, *E. inflatum*, *Lipmanella redondoensis*, *Thecosphaera* sp.などの放散虫化石が得られた。本露頭での下部からは保存良好な放散虫化石は得られず、属・種まで同定できないものが多かった。

地点2の試料H28-08より*E. inflatum*, *Flustrella* sp., H28-09より*E. inflatum*, H28-10より*Actinomma* sp., *Calocyclus motoyamai*, *C. profunda*, *Cyrtocapsella japonica*, *Dictyocoryne* sp., *Eucyrtidium calvertense*, *E. inflatum*, *Haliomma* sp., *L. redondoensis*, *Lychnocanoma kamschatica*, *Lychnocanoma* sp., *Spongoplegma variabile*, *Theoperidae* sp., *Thecosphaera* sp., H28-12より*Flustrella* sp., H28-13より*Actinomma* sp., *Anthocorys pseudoovata*, *C. motoyamai*, *Ceratospyrus* sp., *C. profunda*, *C. tetrapera*, *Dendrosphyrus* sp., *E. inflatum*, *L. redondoensis*, *Lychnocanoma magnacornuta*, *Thecosphaera* sp., H28-16より*C. profunda*, H28-17より*E. inflatum*, *Thecosphaera* sp.などの放散虫化石が得られた。試料H28-10の黒色頁岩からは、他の試料に比べ特に保存状態の良い放散虫化石が得られた。

地点3の試料H28-19の炭酸塩ノジュールからはフッ酸処理により*C. profunda*, *C. tetrapera*, *C. japonica*などの

比較的保存良好な放散虫化石が多産し、試料H28-20, H28-21, H28-26, H28-28から*Flustrella* sp.が得られた。

6. 放散虫化石帯と年代

日本の新第三紀放散虫化石層序の研究は1950年代にはじめられ、中世古ほか(1972a, 1972b), 中世古・菅野(1973)によって放散虫化石帯が設定された。その後も船山(1988), Motoyama (1996)などにより化石帯区分の再検討が行われてきた。近年の研究例としては, Kamikuri *et al.* (2004, 2007, 2017)による深海掘削コアを用いた生層序学的研究やKamikuri (2010)による新種の記載と新たな示準化石の検討などがあげられる。

船山(1988)は能登地域の放散虫化石層序の研究により, *E. inflatum* Zone (Reynolds, 1980)の再定義とともに*Lychnocanoma nipponica magnacornuta* Zoneを提唱し, 北陸・東北日本をはじめとした北太平洋地域へ広く適用できる放散虫化石帯を確立した。船山(1988)による生層序区分の確立が, 日本海地域の放散虫化石研究に大きな影響を与えたと言える。彼による化石帯の基本的な枠組みは, その後もMotoyama (1996), Kamikuri *et al.* (2004, 2007, 2017)によって踏襲されている。本研究では, Kamikuri *et al.* (2007)とKamikuri (2010)による放散虫化石帯と年代値を用いて, それぞれの地点の鶴子層の放散虫化石帯と堆積年代を検討した。

地点1の鶴子層から産する放散虫化石の特徴として,

第1表 産出した放散虫化石リスト.
Table 1 List of radiolarian fossils.

Sample number	Site 1						Site 2						Site 3					
	H28-01	H28-02	H28-03	H28-04	H28-05	H28-07	H28-08	H28-09	H28-10	H28-12	H28-13	H28-16	H28-17	H28-19	H28-20	H28-21	H28-26	H28-28
<i>Actinomma</i> sp.									●		●							
<i>Anthocorys pseudoovata</i>											●							
<i>Calocyclus motoyamai</i>									●		●							
<i>Ceratospyrus</i> sp.											●							
<i>Cornutella profunda</i>						●			●		●	●		●				
<i>Cyrtocapsella japonica</i>									●					●				
<i>Cyrtocapsella tetrapera</i>						●					●			●				
<i>Dendrosphyrus</i> sp.											●							
<i>Dictyocoryne</i> sp.									●									
<i>Eucyrtidium calvertense</i>									●									
<i>Eucyrtidium inflatum</i>	●		●			●	●	●	●		●		●					
<i>Flustrella</i> sp.	●			●			●			●					●	●	●	●
<i>Haliomma</i> sp.									●									
<i>Lipmanella redondoensis</i>						●			●		●							
<i>Lychnocanoma kamtschatica</i>									●									
<i>Lychnocanoma magnacornuta</i>											●							
<i>Lychnocanoma</i> sp.									●									
<i>Spongoplegma variabile</i>									●									
<i>Stichocorys delmontensis</i>					●													
Theoperidae gen. et sp. indet.									●									
<i>Thecosphaera</i> sp.		●	●			●			●		●		●					

*E. inflatum*の産出を挙げることができる。また、*C. tetrapera*が共産している点も注目される。船山(1988)によって*E. inflatum*の初産出から*L. magnacornuta*の初産出までが*E. inflatum* Zoneと定義され、その年代はKamikuri *et al.* (2007)によって15.3–11.7 Maとされている。従って、*E. inflatum*が産出し*L. magnacornuta*が産出しないH28-01からH28-07にかけての層序区間は*E. inflatum* Zoneに相当し、その年代は15.3–11.7 Maと考えられる。

地点2の放散虫化石の特徴として、他の地点では見られない*L. kamtschatica*と*L. magnacornuta*が産出している。また*E. inflatum*が産出している点にも注目し、年代の検討を行った。*E. inflatum*が産出し*L. magnacornuta*が産出しないことから、下部のサンプルH28-08からH28-10までが*E. inflatum* Zoneに相当すると考えられる。特に、サンプルH28-10からは、*E. inflatum* Zoneの最上部付近の11.7–1.0 Maを示す*L. kamtschatica* (Kamikuri, 2010)が産出している。よって、サンプルH28-10は*E. inflatum* Zone中の11.7–13.0 Maに相当すると考えられる。また、サン

プルH28-13から*L. magnacornuta*が産出していることから、サンプルH28-13は*L. magnacornuta*の産出で定義づけられる*L. magnacornuta* Zoneに対比され、11.7–9.1 Maに相当すると考えられる。サンプルH28-14からH28-17については明確に化石帯を示す種が産出していないため、化石帯の特定はできない。

地点3の1試料(H28-19)から、*C. tetrapera*と*C. japonica*が多産した。船山(1988)によると、*E. inflatum* Zoneのうち、*C. tetrapera*の急減層準以下がSubzone aと定義されている。従って、この試料は*E. inflatum* ZoneのSubzone aかそれよりも古い年代に相当すると考えられる。

放散虫化石による年代検討により、地点2の年代が他の2地点に比べて最も新しいことが明らかとなったが、この結果は走向傾斜に基づいた3地点の相対的な上下関係と異なる。小木団体研究グループ(1986)における小佐渡地域の地質構造と比較した結果、少なくとも本研究における3地点の走向傾斜に関して矛盾はないと考えられる。佐渡島の小佐渡地域において、西側の小木半島側で

は複雑な褶曲構造が存在し、東側の小佐渡山塊では断層と単調な向斜背斜構造が存在することが知られている(小木団体研究グループ, 1986)。特に地点1と地点2が位置する素浜周辺には複数の褶曲構造が分布しており(小木団体研究グループ, 1986)、今回の結果に至った原因としてそれらの褶曲が関係している可能性が考えられる。しかし、現段階では証拠が不十分であるため、走向傾斜に基づいた3地点の相対的な上下関係に矛盾が生じた原因の断定はせず、さらなる情報収集と詳細な地質学的・生層序学的検討を今後の課題としたい。

7. まとめ

鶴子層の堆積年代の検討を行った。3地点で柱状図を作成し、放散虫の層序分布を検討した。地点1で見られる地層の堆積年代は、*E. inflatum* Zoneに相当し、15.3–11.7 Maに相当すると考えられる。地点2で見られる地層の堆積年代は、少なくとも*E. inflatum* Zoneから*L. magnacornuta* Zoneに相当すると考えられる。地点3で見られる地層の堆積年代は、*E. inflatum* ZoneのSubzone aかそれよりも古い年代に相当すると考えられる。

本研究で推定された3地点でみられる地層の堆積年代は、先行研究で推定されている鶴子層の年代と整合的である。しかし、走向傾斜に基づいた3地点の地層の相対的な上下関係とは異なり、地点2の地層の堆積年代が最も新しい可能性があることがわかった。このような結果に至った原因について、今後さらなる検討が必要である。また、本研究ではこれまで高緯度の北太平洋地域でしか見られなかった*L. kamtschatica*が得られ、その生息地域がより広域なものであったことを示すことができた。これまで鶴子層では未発見であった放散虫化石を用いて、近年の層序学的研究のもと年代検討を行ったことで、従来の鶴子層についての層序学的情報を更新することができた。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、佐渡島ジオパーク推進委員会室長斎藤辰弥氏、推進指導員相田満久氏、学芸員市橋弥生氏からご協力をいただいた。佐渡市立佐渡博物館の滝川邦彦氏には、佐渡博物館に所蔵されている化石標本の観察をさせていただいた。査読者の山形大学本山功博士、熊本大学秋元和實博士からは、懇切丁寧なご教示をいただいた。以上の方々に深く感謝申し上げる。

文 献

Blow, W. H. (1969) Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *Proc. First International Conference on Planktonic Microfossils*, **1**, 199–422.
船山政昭 (1988) 能登半島珠洲地域の第三系の新第三系の岩相お

よび放散虫化石層序. 東北大地質古生物研報, no. 91, 15–41.
廣田清治・小林巖雄・笹川一郎・堀川秀夫・亀井節夫(1987) 佐渡島で発見されたアロデスミス(哺乳綱食肉目)の頭骨化石について. 佐渡博研報, no. 9, 197–209.
板坂孝司・松岡 篤・田沢純一 (1994) 新潟県佐渡島北東部鷲崎地域の先第三系より三畳紀後期放散虫化石の発見. 地質雑, **100**, 368–370.
Kamikuri, S. (2010) New late Neogene radiolarian species from the middle to high latitudes of the North Pacific. *Revue de Micropaléontologie*, **53**, 85–106.
Kamikuri, S., Nishi, H., Motoyama, I. and Saito, S. (2004) Middle Miocene to Pleistocene radiolarian biostratigraphy in the Northwest Pacific Ocean, ODP Leg 186. *The Island Arc*, **13**, 191–226.
Kamikuri, S., Nishi, H. and Motoyama, I. (2007) Effects of late Neogene climatic cooling on North Pacific radiolarian assemblages and oceanographic conditions. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **249**, 370–392.
Kamikuri, S., Itaki, T., Motoyama, I. and Matsuzaki, K. (2017) Radiolarian biostratigraphy from middle Miocene to late Pliocene in the Japan Sea. *Paleontol. Res*, **21**, 230–254.
小林巖雄 (2001) 新潟の新生界-佐渡島編. 新潟応用地質研究会誌, **57**, 9–21.
米谷盛寿郎 (1978) 東北日本油田地域における上部新生界の浮遊性有孔虫層序. 池辺展生教授記念論文集, 35–60.
Motoyama, I. (1996) Late Neogene radiolarian biostratigraphy in the subarctic Northwest Pacific. *Micropaleontology*, **42**, 221–262.
中世古幸次郎・菅野耕三 (1973) 日本新第三紀の化石放散虫分帯. 地質学論集, no. 8, 23–33.
中世古幸次郎・菅野耕三・家田享一 (1972a) 新潟堆積盆地の化石放散虫層序に関する2, 3の問題. 石油技誌, **37**, 55–70.
中世古幸次郎・小泉 格・菅野耕三・米谷盛寿郎 (1972b) 富山県灘浦地方の新第三系の微化石層序. 地質雑, **78**, 253–264.
小木団体研究グループ (1986) 小佐渡山塊南部の新生界. 地球科学, **40**, 417–436.
小野慶一・上野輝彌 (1985) 佐渡島の第三紀脊椎動物化石. 国立科博専報, **18**, 65–73.
Reynolds, R. A. (1980) Radiolarians from the Western North Pacific, Leg 57, Deep Sea Drilling Project. *In Scientific Party, Init. Repts. DSDP*, **56-57**, 735–767.
佐渡海棲哺乳動物化石研究グループ (1987) 佐渡島, 中新統鶴子層産クジラ化石について. 佐渡博研報, no. 9, 211–217.

- 島津光夫・外山哲英 (1982) 佐渡島の新第三紀火山岩類. 地質雑, **88**, 381-400.
- 島津光夫・金井克明・外山哲英・市橋紘一・皆川 潤・高浜信行 (1973) 佐渡島の地質構造発達と火成活動. 地質学論集, no. 9, 147-157.
- 島津光夫・外山哲英・皆川 潤・高浜信行・若林茂敬・斉藤良二郎・金井克明・市橋紘一・佐々木 正・歌代 勤・高野武男・長谷川 正・小林忠夫 (1977) 佐渡地質説明書, 日本油田・ガス田図11. 地質調査所, 112p.
- 鈴木紀毅 (2012) 篩を使った微化石処理と検鏡準備(放散虫, 有孔虫, 貝形虫, コノドント). 谷村好洋・辻彰洋編, 微化石—顕微鏡で見るプランクトン化石の世界, 東海大学出版会, 泰野, 345-360.
- 鈴木寿志・桑原希世子 (2003) 佐渡島小佐渡地域から産したペルム紀放散虫. 地質雑, **109**, 489-492.
- 高橋啓一・野村正弘・小林巖雄 (1989) 佐渡島小木町堂釜産の鯨類(ツチクジラ属)頭骨化石の1標本. 地球科学, **43**, 102-105.
- 竹村厚司・廣田清治 (1983) 佐渡, 鶴子層の脊椎動物化石を含むドロマイトノジュールの放散虫化石. 大阪微化石研究会誌, no. 10, 29-38.
- 竹内圭史・尾崎正紀・小松原 琢 (2011) 新潟沿岸域20万分の1地質図及び説明書. 海陸シームレス地質情報集, 「新潟沿岸域」, 数値地質図S-2, 地質調査総合センター.
- 田沢純一 (2000) 中・古生界の地体区分と形成史. 新潟県地質図改訂委員会編「新潟県地質図説明書」, 新潟県, 30.
- 歌代 勤 (1950) 佐渡ヶ島(大佐渡)南西部・澤根一相川地域の層序について. 地質雑, **56**, 302-303.
- 渡辺其久男 (1983) 東北裏日本油田地域の年代層序の現状. 石油技誌, **48**, 88-92.
- 渡辺其久男 (1987) 佐渡島の有孔虫および放散虫化石について. 佐渡博研報, no. 9, 127-156.
- 渡辺久吉 (1932) 第四章. 日本地質産誌, **1**, 92-152.
- 柳沢幸夫 (2012a) 佐渡島羽茂地域の後期中新世海生珪藻化石. 地質調査総合センター研究資料集, no. 568, 1-19.
- 柳沢幸夫 (2012b) 佐渡島小木半島の中新世玄武岩層の年代—珪藻年代層序による再検討—. 地質調査総合センター研究資料集, no. 569, 1-19.

(受 付 : 2017年12月19日 ; 受 理 : 2019年1月18日)

(→ p. 99)

図版 1 鶴子層より産出した放散虫化石の走査型電子顕微鏡写真.

Plate 1 SEM photomicrographs of radiolarian fossils from the Tsurushi Formation.

Scale bar = 100 μm

1. *Spongoplegma variabile* Nakaseko (H28-10)
2. *Thecosphaera* sp. (H28-10)
3. *Thecosphaera* sp. (H28-02)
4. *Haliomma* sp. (H28-01)
5. *Lipmanella redondoensis* Campbell and Clark (H28-07)
6. *Lipmanella redondoensis* Campbell and Clark (H28-13)
7. *Lipmanella redondoensis* Campbell and Clark (H28-10)
8. *Lipmanella redondoensis* Campbell and Clark (H28-10)
9. *Lychnocanoma magnacornuta* Sakai (H28-13)
10. *Lychnocanoma kamtschatica* Kamikuri (H28-10)
11. *Calocyclus motoyamai* Kamikuri (H28-10)
12. *Eucyrtidium inflatum* Kling (H28-13)
13. *Eucyrtidium inflatum* Kling (H28-10)
14. *Eucyrtidium calvertense* Martin (H28-10)
15. *Cyrtocapsella tetrapera* Haeckel (H28-07)
16. *Cyrtocapsella japonica* Nakaseko (H28-13)
17. *Dictyocoryne* sp. (H28-10)
18. Theoperidae gen. et sp. indet. (H28-10)
19. *Dendrosphyris* sp. (H28-13)
20. *Cornutella profunda* Ehrenberg (H28-10)
21. *Cornutella profunda* Ehrenberg (H28-10)

