Bulletin of the Mizunami Fossil Museum, no. 43 (2017), p. 71–82, 9 figs.
© 2017, Mizunami Fossil Museum

新潟県見附油田周辺における海緑石と有孔虫化石

加藤　進 *・井上洋子 **

* ㈱地球科学総合研究所　〒 112-0012　東京都文京区大塚 1-5-21 茗渓ビル
** 元石油資源開発㈱技術研究所

Glauconite and foraminifera in and around the Mitsuke oil filed, Niigata Prefecture, central Japan

Susumu Kato* and Yoko Inoue**

* JGI, Inc. Meikei Building, 1-5-21, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-0012, Japan
** former JAPEX Research Center

Abstract

Three stratigraphic horizons with abundant glauconite (horizons A, B and C in ascending order) are identified in and around the Mitsuke oil field, Niigata Prefecture, central Japan, as follows: horizon A: top of the Nanatani Formation (Green Tuff) and basal part of the Teradomari Formation, Horizon B: basal part of the Shiiya Formation, horizon C: basal part of the Nishiyama Formation.

Benthonic foraminiferal assemblages from these horizons indicate an upper to middle bathyal environment. The formation of glauconite in horizon A, which is correlated with horizon 3 of Watanabe (2000), may be related to both topographic highs and a hiatus in deposition.

Glauconite in horizon B occurs with mixed fauna of benthonic foraminifera and occurs near an unconformity inferred from partly absence of the upper part of benthonic foraminiferal zone BF 2. Glauconite in horizon C is widespread in the region of the Mitsuke field. The absence of some planktonic foraminiferal markers and changes in the dip of bedding in two wells indicate the presence of an unconformity. The lithology of the underlying Shiiya Formation was possibly controlled by submarine topography. Horizons B and C are assigned to the basin inversion stage and were closely related to the initiation and development of local anticlinal structures.

Key words: glauconite, foraminifera, bathyal, Mitsuke oil field, hiatus, unconformity

はじめに

見附油田は，1958（昭和 33）年に石油資源開発㈱によって発見された平原下にある七谷層火山岩類を主要油層とする油田であり，2014（平成 26）年度末の原油累計生産量が約 300 万 kl の国内では有数の油田のひとつである．本油田では，試掘井掘削当時から有孔虫化石調査が行なわれており，底生有孔虫化石帯の基底に海緑石が豊富に産することが知られている（関谷・広岡，1960）．また，青柳（1965）は北見附 SK-1 など周辺の坑井から産する海緑石について，主としてＸ線回折分析による研究結果を報告している．

海緑石は世界各地の先カンブリア時代から現世に至る時代の堆積物および堆積岩から報告されており，堆積物中の緑色粒状物質を指す形態的な意味と，鉄またはカリウムに富む雲母鉱物としての鉱物学的な意味がある（三木，1986）．Odin and Pullagar（1988）は前者に対して glaucony を，後者に対して glauconitic minerals を提唱している．海緑石の生成環境・形成要因に関して極めて多くの考え方が提出されているが，海緑石は地層の対比や堆積環境を示す粘土鉱物の一例としても取り上げられている（吉村，2001）．また，不整合面直上の海進時堆積物中に海緑石が多産することがしばしば観察されている（三木，1986）．さらに，シーケンス層序学ではコンデンスセクション（condensed section）を認定する上で海緑石の存在はひとつの指標となっている（荒戸，1993）．これらのことを踏まえて，本稿では見附油田周辺の坑井（図 1）において，海緑石がどのような地質状況に認められるかを主に有孔虫化石調査結果に基づいて検討し，海緑石密集層の地質学的意義について検討する．

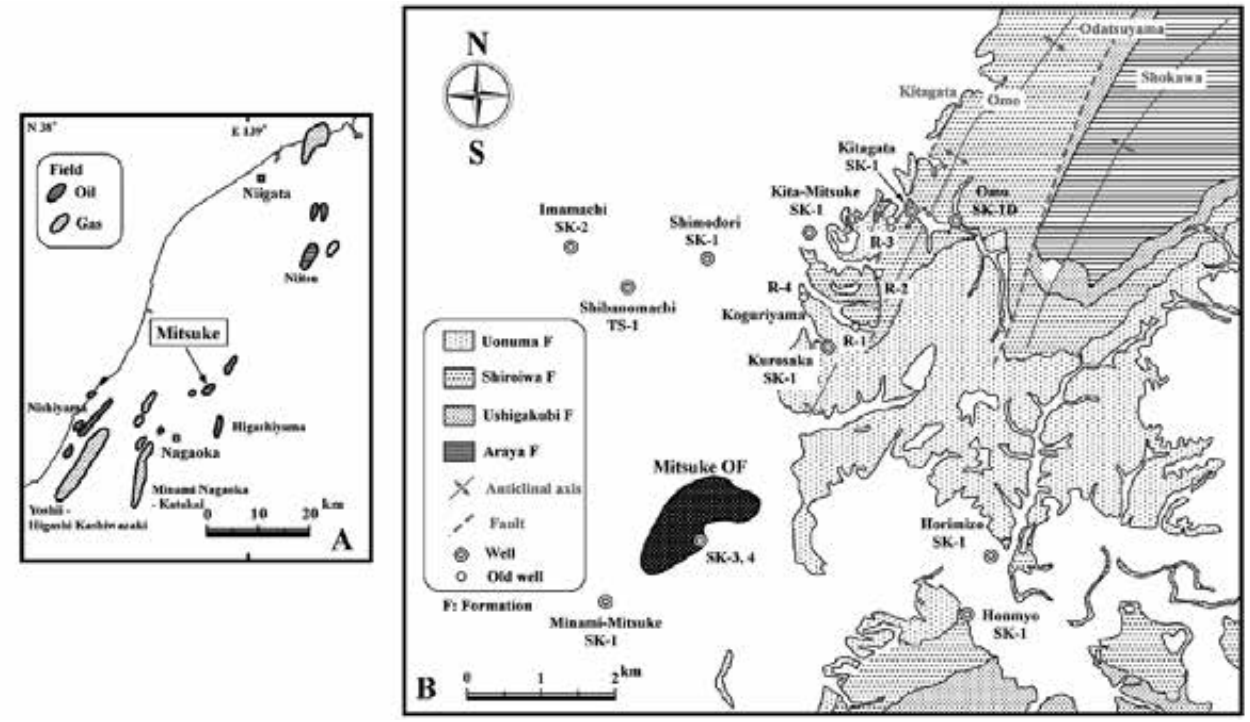


図 1. 位置図　A：新潟地域の油・ガス田，B：見附油田，坑井および簡略化した地質図（小林ほか（2002）を基に作成）.

Fig. 1. Location maps showing A: distribution of oil and gas fields in Niigata Prefecture, and B: the Mitsuke oil field, locations of wells and simplified geologic map modified from Kobayashi *et al*. (2002).

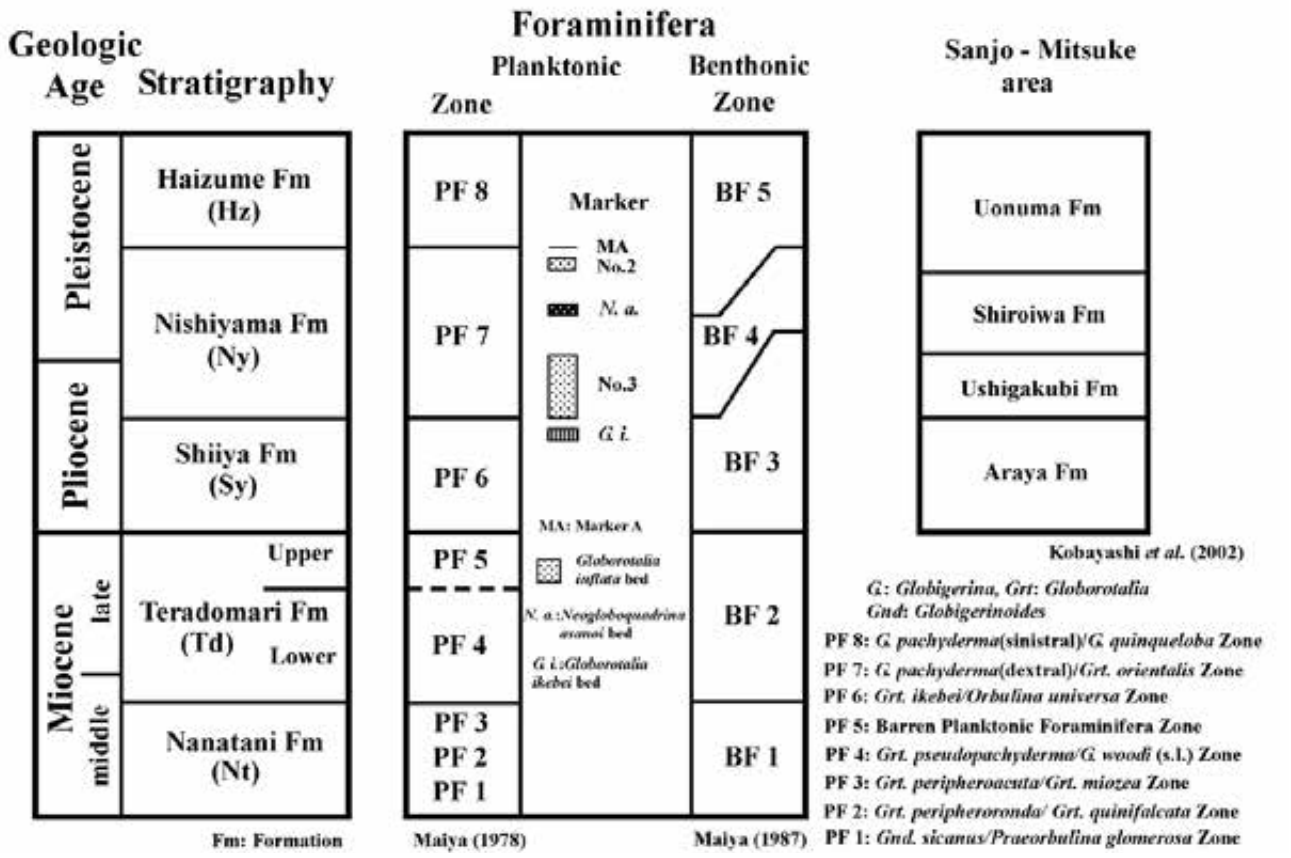


図 2. 坑井標準層序と有孔虫化石および三条－見附地域の地表層序.

Fig. 2. Standard subsurface stratigraphy showing planktonic and benthonic foraminiferal zones and markers, and surface stratigraphy in the Sanjo-Mitsuke area.

地質概説

石油開発業界で使用されている新潟地域の標準層序（坑井層序）は年代層序であり，層序区分の単位は「階」を用いるべきである（工藤ほか，2011）が，本稿では従来の慣例に従い「層」を用いることにする（図 2）．また，浮遊性有孔虫化石帯（米谷，1978）に加え，椎谷層上部～西山層では浮遊性有孔虫化石が比較的産出しており，対比マーカーとしても利用されている．その中で，No. 3 *Globorotalia inflata* bed は最も広範囲で確認されている（新保，1971）．本論で用いる底生有孔虫化石帯は，米谷（1987）に従う．すなわち，下位から BF 1：*Hopkinsina* / *Sigmoilopsis schlumbergeri* Assemblage-zone, BF 2：*Spirosigmoilinella compressa* Concurrent-range-zone, BF 3：*Martinottiella communis* / *Miliammina echigoensis* Concurrent-range-zone, BF 4: *Uvigerina akitaensis* Assemblage-zone, BF 5: *Cribroelphidium yabei* Assemblage-zone に区分される．さらに，BF 2 は下部の *Dorothia* sp. – *Cribrostomoides renzi* subzone と上部の *Spirosigmoilinella compressa* – *Martinottiella communis* subzone に細分される．また，BF 3 / BF 4 と BF 4 / BF 5 の境界は時間面に斜交しており（図 2），BF 1 / BF 2 境界も時間面に斜交している可能性がある．

見附油田の坑井層序は関谷・広岡（1960）や片平（1973）などで報告されており，小栗山凝灰岩（関谷・広岡，1960）あるいは見附凝灰岩層（鯨岡，1962）と呼ばれた石英の斑晶を特徴的に有する流紋岩類（鯨岡，1960）から主になる七谷層，暗灰色～黒色泥岩から主になる寺泊層，灰色～暗灰色泥岩，凝灰質砂岩およびシルト岩の互層からなる椎谷層，灰色泥岩，灰色泥岩と凝灰質砂岩の互層からなる西山層などに区分されている（図 3）．本油田には七谷層上部の泥岩が発達しておらず，椎谷層や西山層の層厚も薄い（片平，1970：図 4）．

見附油田の北東に位置する下田（しただ）丘陵（本稿では三条―見附地域とする）には，下位から荒谷（あらや）層，牛ヶ首（うしがくび）層，白岩（しろいわ）層，魚沼（うおぬま）層が分布しており，これらの地層は標準層序の椎谷層～灰爪層に対比されている（小林ほか，2002; 図 2）． 荒谷層は暗灰色～黒色の塊状泥岩を主体とし，砂岩の薄層を挟み，鯨岡（1962）の荒谷相に相当している．

坑井における海緑石の産状

見附油田

見附油田における海緑石の産状を見附 SK-3 および SK-4 の有孔虫化石調査結果（スピーシスチャート：species chart）に基づいて図 3 に示す．海緑石が多産する濃集層は 3 つの層準に認められ（関谷・広岡，1960），本稿ではこれらを下位から A, B, C とする．層準 A は凝灰岩（以下，グリーンタフ）の最上部～直上に位置しており，底生有孔虫化石帯の BF 2 の最下部に相当する *Martinottiella communis* - *Dorothia* sp. 群集からなる．層準 B は椎谷層の基底に相当しており，BF 3 の最下部に認められる *Islandiella japonica*, *Globocassidulina subglobosa*, *Melonis pompilioides*, *Melonis pacificum*, *Uvigerina* sp. などの石灰質有孔虫化石を多産し，*Cribrostomoides* cf. *subglobosum*, *Martinottiella communis*, *Spirosigmoilinella compressa* などの砂質有孔虫化石を僅かに産する群集（mixed fauna）からなる（図 3）．層準 C は西山層の最下部に相当しており，BF 4 に対比される *Uvigerina yabei* - *Epistominella pulchella* 群集で主に特徴づけられている．

周辺坑井

見附油田の南西に位置する南見附 SK-1 では，グリーンタフ最上部～直上の泥岩に海緑石が連続的に産出しており，層準 A に相当している（図 4）．しかしながら，BF 3 最下部の mixed fauna は確認されているが，海緑石はやや下位の深度 1,460 m（寺泊層上部）に産出するのみである．また，西山層最下部の層準 C にも海緑石は認められない．

東山背斜の北方沈降部に位置する本明 SK-1 では，層準 A の凝灰岩の直上にも海緑石が認められるが，むしろ層準 C の西山層下部に比較的連続的に産出している（図 4）．また，寺泊層上部にも海緑石が産出している．

本明 SK-1 の北々東約 1 km に位置する堀溝 SK-1 では，海緑石は寺泊層上部に僅かに産出しているのみである（図 4）．

見附油田の北東約 2 km に位置する黒坂 SK-1 では，深度 592 m に認められる東傾斜の衝上断層による椎谷層以上の地層の繰り返しが認められ，海緑石は層準 C に相当する椎谷層最上部～西山層下部に多産している（図 5）．グリーンタフの最上部や寺泊層にも海緑石は産出しているが，椎谷層の基底には産出しておらず，BF 3 最下部の mixed fauna も確認されていない．

しかしながら，さらに北東約 2 km の大面背斜西翼に位置する北潟 SK-1 では，BF 3 最下部の mixed fauna が確認されており，層準 B の海緑石も産出している（図 5）．また，地表の北潟断層の延長が深度 305 m に認められ，この断層により北潟 SK-1 では西山層以上の地層が繰り返している．断層の上盤，下盤の両方において，西山層下部には層準 C に相当する海緑石が多産している．

大面背斜の東翼に位置する大面 SK-1D においても，層準 C に相当する西山層下部で海緑石が連続的に多産しており，椎谷層基底付近には BF 3 最下部の mixed fauna や層準 B に相当する海緑石の産出が確認されている（図 5）．また，寺泊層にも海緑石は産出している．

見附油田の北方延長の背斜系列（小栗山背斜）上に位置する北見附 SK-1 では，海緑石は見附油田と同様に A, B, C の 3 つの層準に産出している（図 6）．しかしながら，その西南西約 1.5 km に位置する下鳥 SK-1 では，海緑石は西山層基底付近の層準 C にのみ産出している．

竹内（1962）は 1951（昭和 26）年～ 1954（昭和 29）年に掘削された小栗山の試掘 4 坑井（R-1 ～ R-4）について，コア比重の深度分布とともに海緑石の産出を図示している．層準 C に相当する西山層基底付近にはすべての坑井で海緑石が産出している．また，層準 A に相当する七谷層 / 寺泊層境界には R-3 を除く 3 坑井で海緑石が産出している．一方，層準 B に相当する椎谷層基底付近には R-3 のみで海緑石が産出している．

上述したことを整理すると，層準 A の海緑石は見附油田の

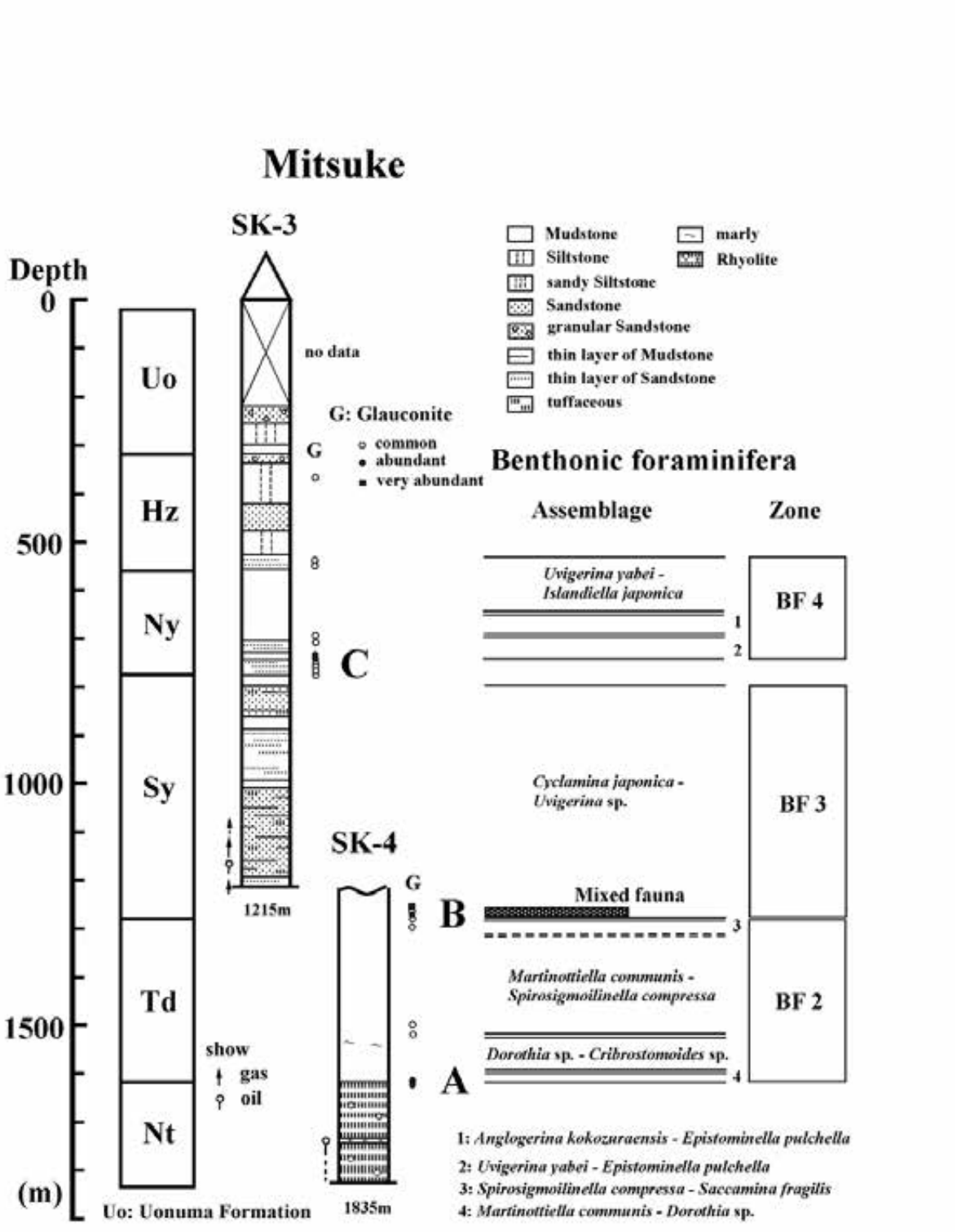


図 3. 見附油田における坑井層序，岩相，底生有孔虫化石帯および海緑石の産状.

Fig. 3. Well stratigraphy, lithology, benthonic foraminiferal zones, and occurrence of glauconite in the Mitsuke oil field.

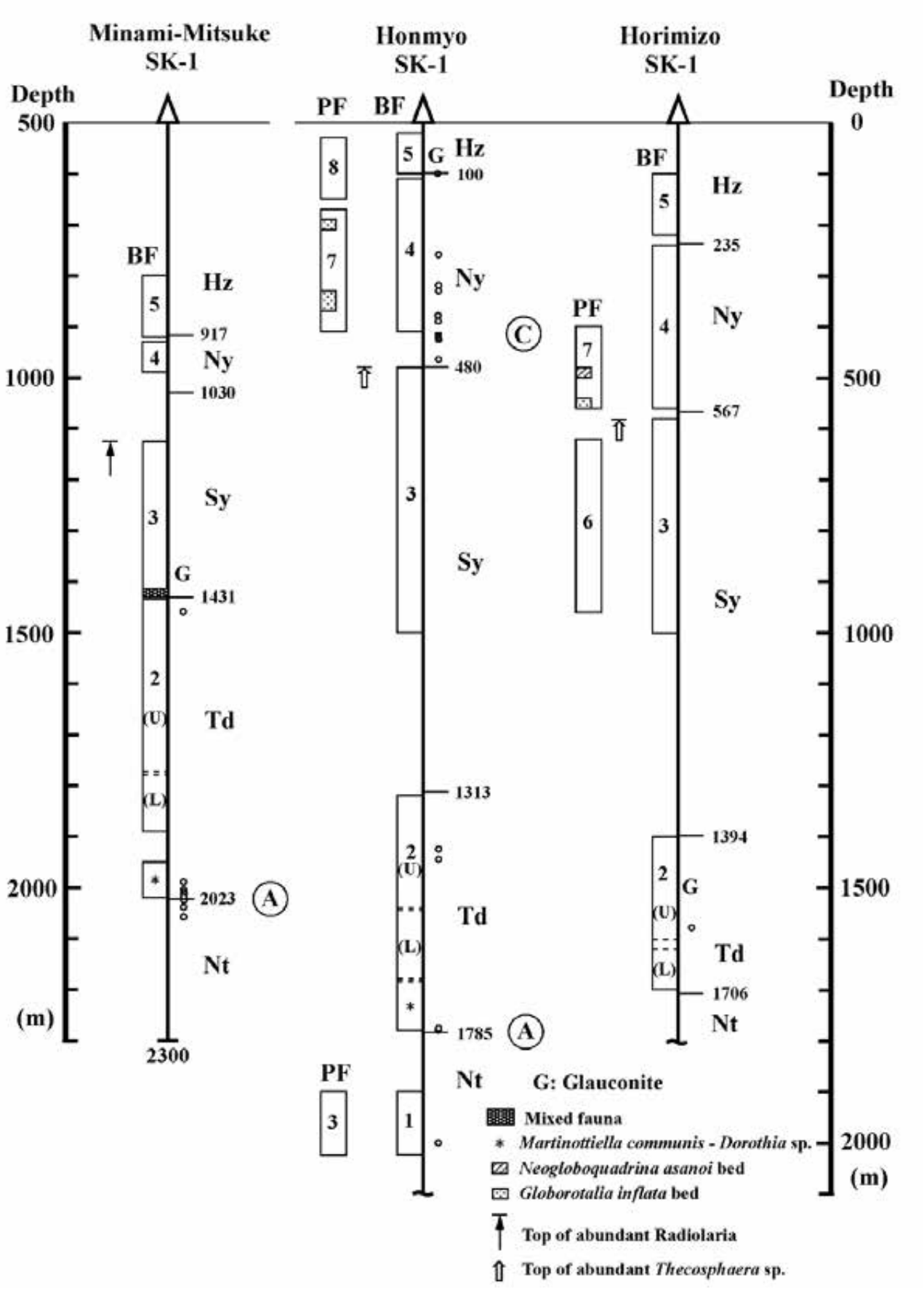


図 4. 南見附 SK-1，本明 SK-1，堀溝 SK-1 における海緑石の産状と有孔虫化石帯.

Fig. 4. Occurrence of glauconite and benthonic foraminiferal zones in the Minami-Mitsuke SK-1, Honmyo SK-1, and Horimizo SK-1 wells.

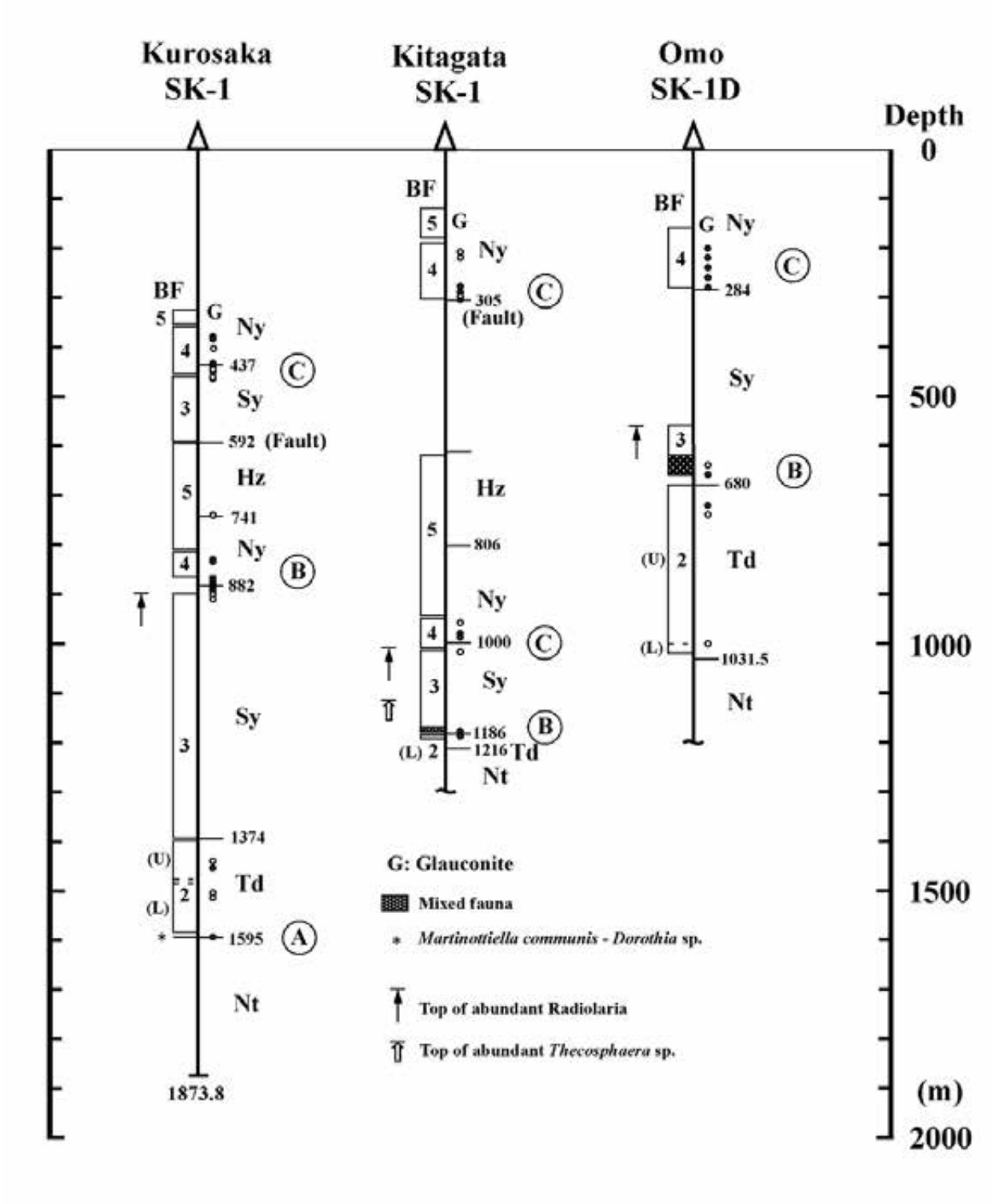


図 5. 黒坂 SK-1，北潟 SK-1，大面 SK-1D における海緑石の産状と有孔虫化石帯.

Fig. 5. Occurrence of glauconite and benthonic foraminiferal zones in the Kurosaka SK-1, Kitagata SK-1, and Omo SK-1D wells.

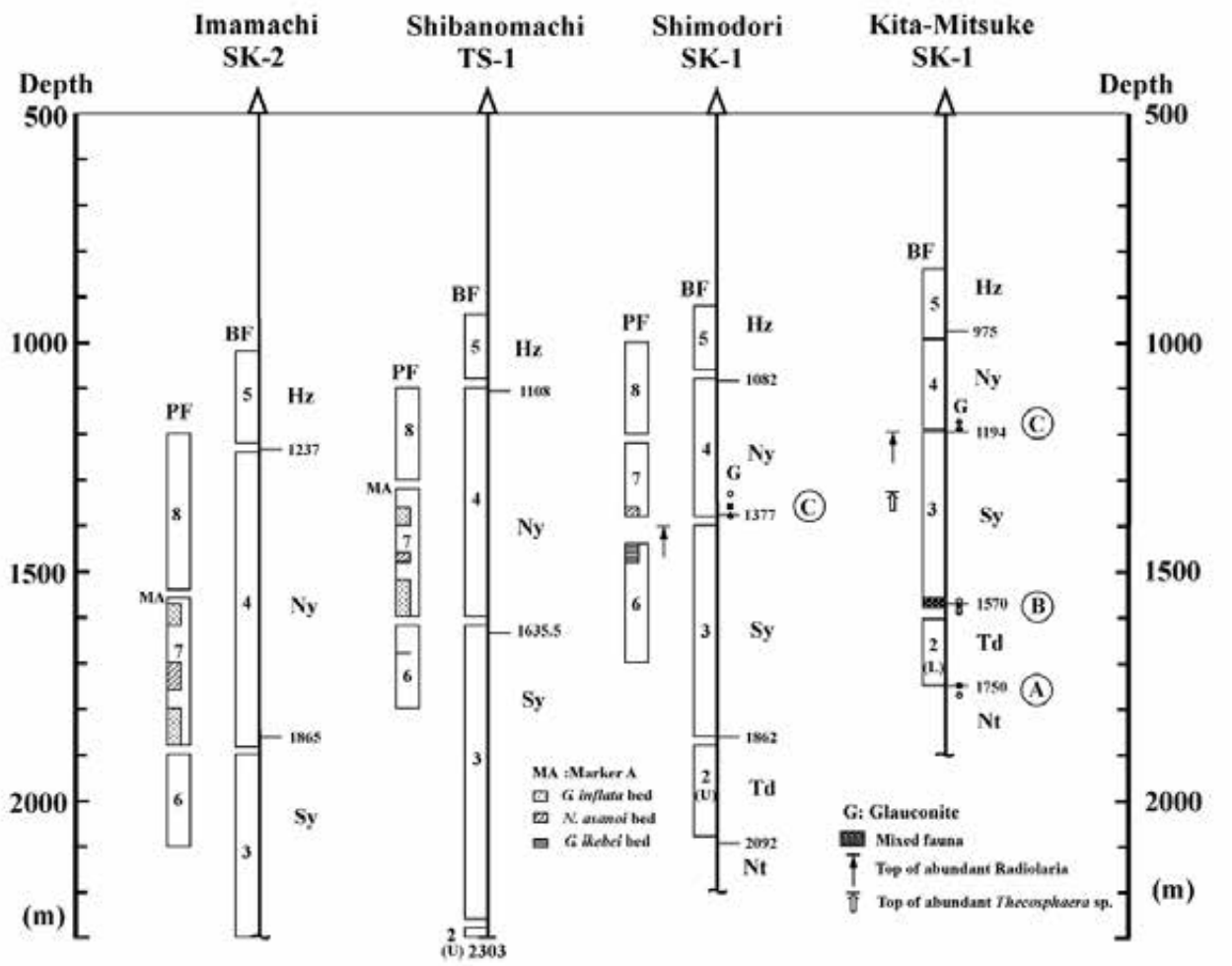


図 6. 北見附 SK-1，下鳥 SK-1，芝野町 TS-1，今町 SK-2 における海緑石の産状と有孔虫化石帯.

Fig. 6. Occurrence of glauconite, foraminiferal zones in the Kita-Mitsuke SK-1, Shimodori SK-1, Shibanomachi TS-1, and Imamachi SK-2 wells.

背斜系列上において南見附 SK-1 から北見附 SK-1 まで約 6 km にわたって産出しており，東山背斜の北方沈降部に位置する本明 SK-1 にも認められる（図 7）．層準 B の海緑石は見附油田とその北方の小栗山背斜北部（北見附 SK-1）やその上盤にある大面背斜に位置する北潟 SK-1 や大面 SK-1D に産出している（図 7）．層準 C の海緑石は層準 B の海緑石の分布に加え，本明 SK-1, 黒坂 SK-1, 小栗山 R-1 ～ R-4 そして小栗山背斜の西翼部に位置する下鳥 SK-1 にも産出している（図 7）．

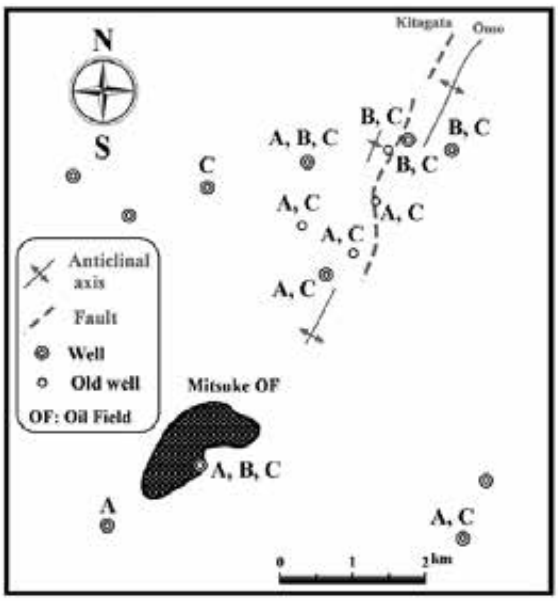


図 7. 海緑石濃集層（層準 A, B, C）の分布.

Fig. 7. Distribution of three stratigaraphic horizons (horizon A, B, and C) containing abundant glauconite.

有孔虫化石と堆積環境

BF 1 に対比される底生有孔虫化石群集は本明 SK-1 でのみ確認されている（図 4）．この群集は *Hopkinsina shinboi*, *Melonis pompilioides*, *Pullenia bulloides*, *Cibicides* cf. *pseudoungerianus, Bulimina nipponica* などの深海性石灰質種を伴っており，長谷川ほか（1989）に基づけば，上部漸深海～中部漸深海の上部の堆積環境が推定される．

BF 2 に対比される底生有孔虫化石群集のうち，見附油田，南見附 SK-1 と本明 SK-1 には下部の *Dorothia* sp. – *Cribrostomoides renzi* subzone の下位に *Cribrostomoides* cf.

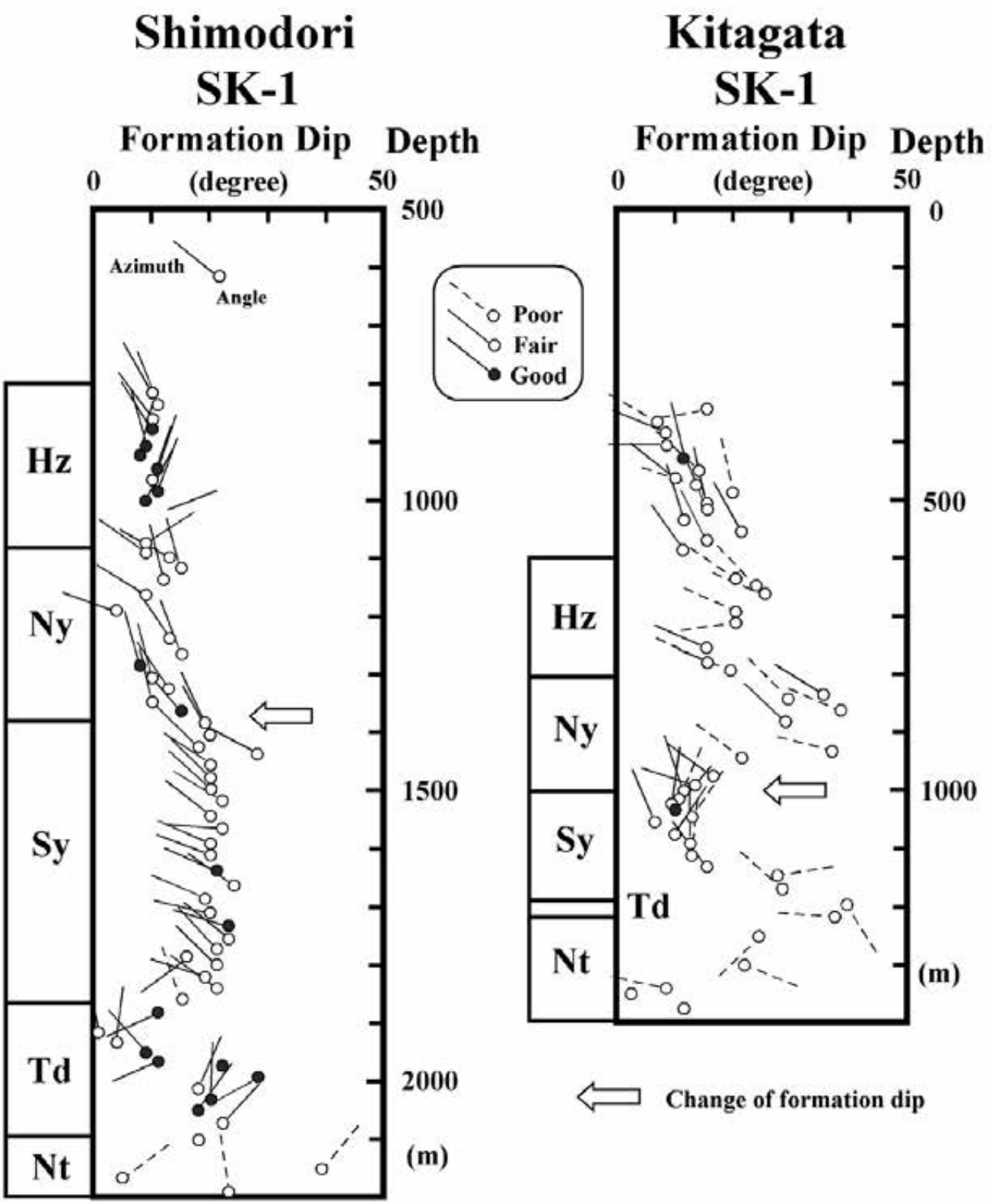


図 8. 下鳥 SK-1 および北潟 SK-1 における地層傾斜の深度変化.

Fig. 8. Stratigraphic changes in the dip of bedding in the Shimodori SK-1 and Kitagata SK-1 wells.

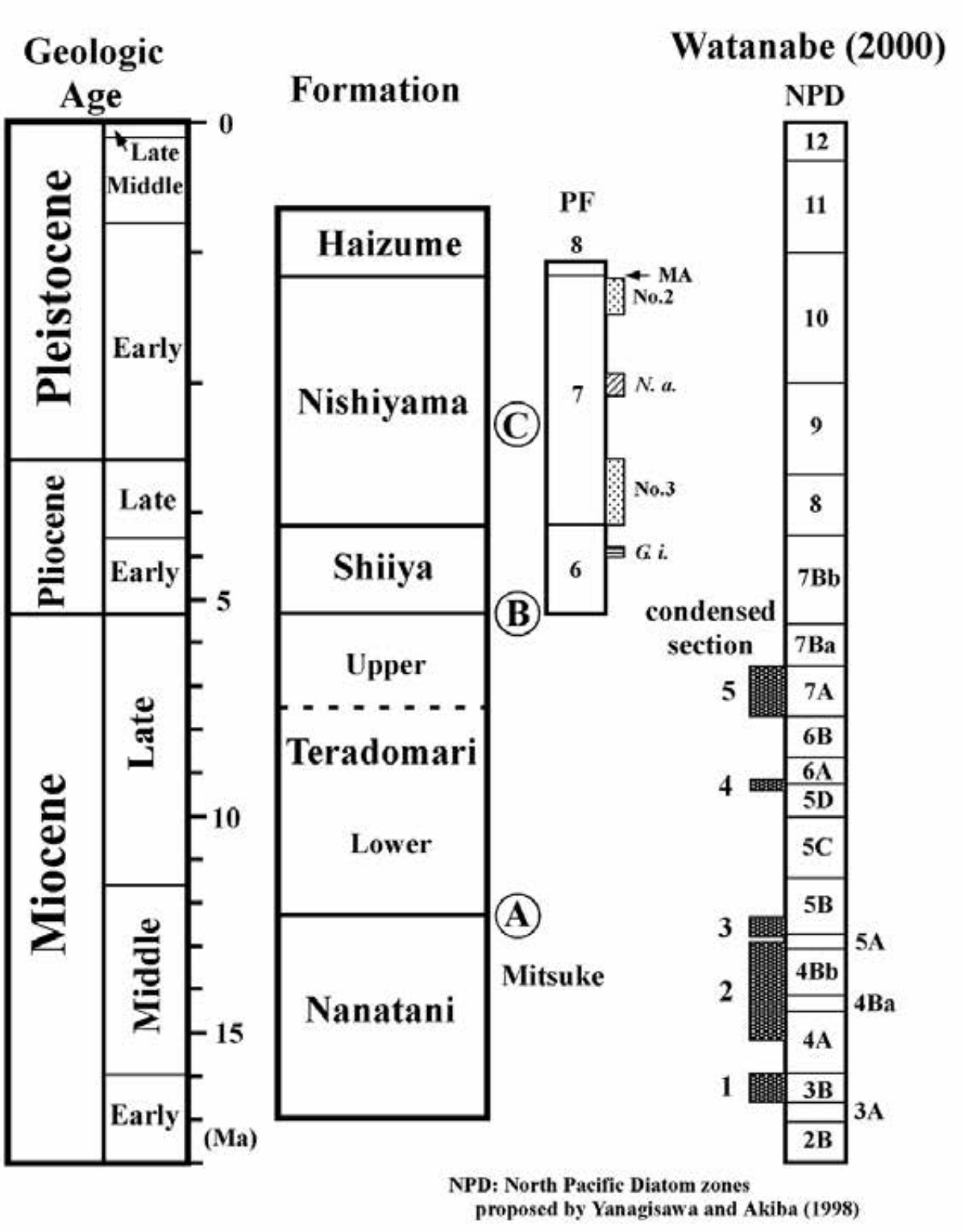


図 9. 海緑石濃集層の地質年代と渡辺（2000）によるコンデンスセクションとの対比.

Fig. 9. Geologic age of stratigraphic horizons containing abundant glauconite and correlation of them with condensed sections identified by Watanabe (2000).

subglobosum や *Martinottiella communis* が多産する群集を認定している（図 4）．いずれの群集も *Spirosigmoilinella compressa*, *Cribrostomoides* cf. *subglobosum*, *Cyclammina pusilla*, *Martinottiella communis*, *Dorothia* sp. などの砂質種から主に構成されており，嫌気的な中部漸深海の堆積環境が推定される（長谷川ほか，1989）．

BF 3 の底生有孔虫化石群集は個体数が比較的少ないが，*Martinottiella communis*, *Cyclammina japonica*, *Cribrostomoides* cf. *subglobosum, Saccammina fragilis*, *Goesella schencki* などの砂質種が主体であり，*Uvigerina yabei*, *Epistominella pulchella*, *Angulogerina kokozuraensis* などの石灰質種を僅かに伴う．また，*Thecosphaera japonica* や *Spongodiscus* spp. 等の放散虫化石が多産し，上部漸深海～中部漸深海の上部の堆積環境が推定される（長谷川ほか，1989）．最下部に認められる mixed fauna は *Islandiella japonica*, *Globocassidulina subglobosa*, *Melonis pompilioides*, *Melonis pacificum*, *Uvigerina* sp. などの石灰質有孔虫化石が多産あるいは随伴しており，*Spirosigmoilinella compressa* のような下位層からの誘導化石（derived fossil）が含まれており，やや好気性の堆積環境が推定される（長谷川ほか，1989）．

BF 4 に対比される底生有孔虫化石群集は *Uvigerina yabei*, *Islandiella japonica*, *Cassidulina norcrossi*, *Epistominella pulchella*, *Angulogerina kokozuraensis* などを主体とする石灰質種からなり，浮遊性有孔虫の *Globorotalia inflata* を伴い，上部漸深海～中部漸深海の最上部の堆積環境が推定される（長谷川ほか，1989）．

考察

層準 A の海緑石はグリーンタフの最上部～直上の泥岩に産出している．これらのグリーンタフは海底火山活動の産物であり，見附油田やその北東延長部では七谷層泥岩の発達は無く，寺泊層泥岩が直接グリーンタフを覆っており，グリーンタフは地形的な高まり（シンクロナスハイ）を形成していたと考えられている（片平, 1970）．見附油田におけるこのグリーンタフのフィッション・トラック年代は 13.6 ± 0.6 Ma であり（加藤ほか，2007），寺泊層下部の堆積年代（約 10 Ma）との間に明らかな時間間隙が推定される．

層準 B の海緑石は mixed fauna の産出と密接に関係している．Mixed fauna はより多くの石灰質種を伴うことで BF 3 の中で区別され，溶存酸素量が高い日本海固有水が形成され始めたことを示唆しているかもしれない．また，mixed fauna の下位には通常 BF 2 の上部（*Spirosigmoilinella compressa* – *Martinottiella communis* subzone）が存在するが，見附油田の北方延長の小栗山背斜に位置する北見附 SK-1 や北潟断層の上盤で掘削された北潟 SK-1 では BF 2 の下部（*Dorothia* sp. – *Cribrostomoides renzi* subzone）が直接接しており，寺泊層の層厚も非常に薄い．小栗山 R-3 でも同様な地質状況にあり（土田，1953），竹内（1962）はコア比重の深度分布において不連続を認め，無堆積の不整合を推定している．

層準 C の海緑石は見附油田周辺では最も広範に認められる．小栗山背斜の西翼部では椎谷層～西山層下部の層位トラップ（砂層のせん滅）を探鉱目的として，下鳥 SK-1 などの試掘井が掘削されている（図 1）．これらの坑井の有孔虫化石調査結果によれば，海緑石は下鳥 SK-1 には産出するが，椎谷層に砂岩・泥岩互層が発達する芝野町 TS-1 や今町 SK-2 では認められない（図 6）．これらの坑井における浮遊性有孔虫化石を見ると，PF 7 に認められる対比マーカーが芝野町 TS-1 や今町 SK-2 ではすべて確認されているが，下鳥 SK-1 では一部しか確認されていない．また，物理検層のディップメーターの解析結果によれば，下鳥 SK-1 では椎谷層 / 西山層境界付近で地層傾斜が変化しており，不整合が推定される（図 8）．地層傾斜の信頼性は低いものの，北潟 SK-1 でも深度 1,000m の椎谷層 / 西山層境界付近で地層傾斜が変化しており（図 8），椎谷層の層厚も薄い．したがって，層準 C の海緑石は不整合と西方からの地層のオンラップに関係していると考えられる．新保（1971）は見附油田の uplift に向かって，*Globorotalia inflata* が多産する No.3 *Globorotalia inflata* bed が追跡できなくなると指摘しているが，この不整合によって削剥されている可能性が高い．

椎谷層には，見附油田などに発達している砂岩・泥岩互層からなる椎谷相と主に泥岩からなる荒谷相が認められており（鯨岡，1962），椎谷相はトラフを充填するタービダイトと解釈されている（Takano, 2002）．荒谷相は三条－見附地域の地表だけでなく，下鳥 SK-1 から本明 SK-1 にかけての地下にも発達しており，大陸斜面を形成していたと推定される．

渡辺（2000）は日本海側に位置する堆積盆の縁辺部において珪藻化石を用いて新第三系泥質堆積物中に 5 つの層準で海緑石濃集層ないしはコンデンスセクションを認めている（図 9）．新潟地域では七谷層相当層に海緑石を多量に含む地層が形成されており（島田，1985; 小林，2000），東隣りの 1/5 万地質図幅「加茂」においても流紋岩質凝灰岩（グリーンタフに相当）の直上から海緑石砂岩が報告されている（工藤ほか，2011）．青柳（1965）によれば，海緑石の母材は凝灰質物質と考えられており，グリーンタフと時間間隙の存在は海緑石の生成には好条件である．層準 A の海緑石はこれに相当しており，渡辺（2000）の層準 3 に対比される．渡辺（2000）によれば，この層準の海緑石密集層は北蒲原地域胎内川の夏井ルートでも認めており，海進の過程で生成されたと推定されている．また，層準 4 の海緑石密集層は佐渡の中山峠地域で発達しており，その形成時期は相対的海水準の低い時期に相当し，submarine bank で形成されたと推定されている．

新潟地域に広く分布している新第三系および更新統は古日本海の海底に堆積した地層であり（小林，2000），新潟地域を含む北部フォッサ・マグナ地域の地質構造発達史は 4 つのテクトニックステージに分けられている（Takano, 2002）．そのうち，ステージ 3 は堆積盆のインバージョン時期であり，おおよそ椎谷層～灰爪層堆積期に相当している．したがって，層準 B と層準 C の海緑石の形成時期はステージ 3 に相当し，堆積盆の細分と局所的な背斜構造の萌芽と関係していると推定される．

緑色海成粘土鉱物と鉄の挙動に注目して Odin and Pullagar (1988) が提唱した海緑石相（glaucony facies）は，

大陸棚の縁から外縁にかけての地域に発達し，海緑石などの2:1 型緑色粘土鉱物によって特徴づけられる（吉村，2001）．底生有孔虫化石群集から推定される層準 A ～層準 C の海緑石濃集層の堆積環境は上部～中部漸深海であり，これと調和している．

海緑石化作用（glauconization）はカリウムに乏しいスメクタイトから始まり，徐々にカリウムに富む海緑石雲母に向かって進化するので，海緑石の進化ステージ（熟成度）は埋没前の無堆積の期間を反映している（例えば，Amorosi, 1995）．青柳（1965）によれば，北見附 SK-1 の層準 B および層準 C の海緑石はモンモリロナイト－イライト混合層状とモンモリロナイト状からなり，海緑石化作用はあまり進行していないので，無堆積の時間は短かったと推定される．

まとめ

新潟県見附油田およびその周辺では次の 3 つの層準（層準 A: グリーンタフ（七谷層）最上部～直上（寺泊層）の泥岩，層準 B: 椎谷層基底付近，層準 C: 西山層基底付近）に海緑石濃集層が認められた．底生有孔虫化石から推定されるこれらの海緑石濃集層準の堆積環境は上部～中部漸深海である．

層準 A の海緑石の生成は火山岩類が作る地形的な高まりと時間間隙の存在が関係していると考えられ，層準 A は渡辺（2000）の層準 3 に対比される．層準 B 付近では石灰質有孔虫化石と砂質有孔虫化石から構成される mixed fauna が認められた．層準 B の下位の下位では底生有孔虫化石帯 BF 2 の上部（*Spirosigmoilinella compressa – Martinottiella communis* subzone）が少なくとも一部の坑井で欠如していることから，不整合の存在が推定される．層準 C の海緑石は見附油田周辺では最も広範囲に認められた．一部の坑井での浮遊性有孔虫化石マーカーの欠如や地層傾斜の変化から，層準 C 付近に不整合の存在が推定される．

層準 B と層準 C の堆積時期は堆積盆のインバージョン期に相当しており，これらの層準での海緑石の形成は局所的な背斜構造の萌芽・形成と密接に関係していると考えられる．

謝辞

資料の公表を許可された石油資源開発㈱に深謝する．坑井の有孔虫化石調査は同社元社員であり，“化石屋”として長年勤務された新保久弥氏，故渡辺其久男氏，山田昌道氏などによって行われたものである．これらの先輩に心からお礼申し上げる．また，原稿は匿名の査読者によって改善された．ここに感謝の意を示す．

引用文献

Amorosi, A. 1995. Glaucony and sequence stratigraphy: A conceptual framework of distribution in siliciclastic sequences. Jour. Sedimentary Research B65: 419–425.

青柳宏一．1965. 新潟油田地域新第三系堆積岩中の海緑石について．石技誌 30: 166–175.

荒戸裕之．1993. シーケンス層序学と石油の探鉱（その 1：概観）．石油の開発と備蓄 '93・12: 97–114.

長谷川四郎・秋元和實・北里　洋・的場保望．1989. 底生有孔虫にもとづく日本の後期新生代古水深指標．地質学論集 32: 241–253.

片平忠実．1970. 新潟県長岡平野とその周辺地域の地質構造発達史．石技誌 35: 59–66.

片平忠実．1973. 見附油田．日本の石油鉱業と技術（石油技術協会 40 周年記念）: 50–51.

加藤　進・檀原　徹・松井良一・小田　浩．2007. 新潟地域の地下に分布するグリーンタフのフィッション・トラック年代．地質調査研究報告 58: 371–388.

小林巖雄．2000. 新潟地域の新生界層序と古日本海．石技誌 65: 305–313.

小林巖雄・立石雅昭・小松原　琢．2002. 三条地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅）．産総研地質調査総合センター : 98p.

鯨岡　明．1960. 見附油田について．石油学会誌 3: 996–1003.

鯨岡　明．1962. 荒谷相の意味するもの（新潟盆地における油田および構造性ガス田の生成条件に対する一考察）．石技誌 27: 519–556.

工藤　崇・内野隆之・小松原　琢・高橋　浩・柳沢幸夫．2011. 加茂地域の地質（5 万分の 1 地質図幅）．産総研地質調査総合センター : 162p.

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化石層序．日本の新生代地質（池辺展生教授記念論文集）: 35–60.

米谷盛寿郎．1987. 裏日本油田地域における底生有孔虫化石帯区分の現状と問題点．石技誌 52: 351.

三木　孝．1986. 地質学的にみた海緑石－九州炭田第三系の例－．鉱物学雑誌 17（特別号）: 1–8.

Odin, G. S., and P. D. Pullagar, 1988. Geological significance of the glaucony facies. Green Marine Clays: 295–332.

関谷英一・広岡悦郎．1960. 見附地域の天然ガスについて．石油学会誌 3: 229–234.

島田昱郎．1985. 中新世海緑石の層準とその石油地質学的意義．田口一雄教授退官記念論文集 : 149–160.

新保久弥．1971. 新潟油田第三系の微化石層序総合対比．石油資源開発㈱技研所報　特別号 : 1–11.

Takano, O. 2002. Changes in depositional systems and sequences in respose to basin evolution in a rifted and inverted basin: An example from the Neogene Niigata-Shin'etsu basin, northern Fossa Magna, central Japan. Sedimentary Geol. 152: 79–97.

竹内慶彦．1962: 新潟県中部における油田の生成に関する研究－特に大面・見附油田について－．石技誌 27: 587–613.

土田定次郎．1953. 最近の有孔虫調査．石技誌 18: 192–196.

渡辺真人．2000. 日本の新第三系泥質堆積物中の海緑石密集層・コンデンスセクションの生成タイミング．日本地質学会学術大会講演要旨 107: 250.

Yanagisawa, Y., and F. Akiba, 1998. Refined Neogene

diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected biohorizons. Jour. Geol. Soc. Japan 104: 395–414.
吉村尚久編．2001. 粘土鉱物と変質作用（地学双書 32）．地学団体研究会 : 293p.

2016 年 11 月 13 日　原稿受理