中新世底生有孔虫群集による大韓民国南東部浦項地域の古環境復元

Paleoenvironment reconstructed by the Miocene benthic foraminiferal assemblages in the Pohang area, Southeast Korea

Abstract

秋元和實* 嬉野みひろ**
杉浦麻紀** 入月俊明***
山路 敦**** 鄭 圭積****
李 年揆*****

Kazumi Akimoto*, Mihiro Ureshino**,
Maki Sugiura**, Toshiaki Irizuki***,
Atsushi Yamaji****, Kyu Kui Jung*****,
and Yeon Gyu Lee*****

1997年6月9日受付.
1999年2月18日受理.

- * 熊本大学理学部地球科学科.
Department of Earth Sciences, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto 860-8555, Japan
- ** 名古屋自由学院短期大学.
Nagoya Jiyu Gakuin Junior College, Aichi 481-8504, Japan
- *** 愛知教育大学地学教室.
Department of Earth Science, Aichi University of Education, Aichi 448-8542, Japan
- **** 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻.
Division of Earth and Planetary Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan
- ***** 国立水産振興院東海水産研究所赤潮環境室.
Red Tide and Environments Laboratory, East Sea Fishers Research Institute, NFRDI, Kangreung 210-860, Republic of Korea
- ***** 大韓民国立麗水水産大学.
Department of Oceanography Yosun National Fisheries University, Kuk-Dong, Yosun, 550-749, Republic of Korea

The paleoenvironment during the Miocene time in the Pohang basin is reconstructed on the basis of benthic foraminiferal assemblages. Q-mode principal components analysis of Miocene benthic foraminiferal assemblages reveals five important paleoenvironmental factors, namely CaCO_3 contents, the deep and surface water masses and effects of coastal and cold water mass. Distributional patterns of fossil benthic foraminiferal species in the Pohang basin are deduced by integrating the result of this analysis, and assessing both the distribution of modern counterparts and water properties in the Northwest Pacific Ocean.

In the northern area of the Pohang basin, the Heunghae Formation was deposited in the lower middle bathyal zone (800 to 2000 m water depth). In the central area of the basin, the paleodepth of the middle part of the Cheongogosa Formation and the Hagjeon Formation is estimated to be between the upper bathyal zone and the lower middle bathyal zone ranging from 200 to 800 m in water depth. The lower part of the Duho Formation was deposited in the lower middle bathyal zone. In the southern area of this basin, the Hagjeon Formation was deposited in the upper bathyal zone to upper middle bathyal zone. The paleodepth of the several horizons of this formation became as deep as the lower middle bathyal zone.

The influence of the cold water mass is recognized in benthic foraminiferal assemblages in the middle to upper part of the Cheongogosa Formation, the Hagjeon and Duho Formations in the central area of this basin. This cold water mass flowed in this basin during the Zone N8 to N9.

Key words : Miocene, paleoenvironment, benthic foraminifers, Pohang area, Korea

はじめに

大韓民国南東部、浦項 (Pohang)、蔚山 (Ulsan)、魚日 (Eoil)、寧海 (Yeonghae) 地域には中新統が広く分布する (第1図)。なかでも、浦項地域の中新統からは多様な動植物化石が産出し、日本国ならびに大韓民国の研究者によって、多くの層位学的ならびに古生物学的研究が行われてきた (糸魚川, 1987; Yoon, 1992 など)。浦項地域の中新統下部に産する熱帯-亜熱帯性軟体動物群集は、我国の日本海沿岸に分布する前期中新世末期から中期中新世初期の群集と類似し、日本海沿岸で広く認められる熱帯-亜熱帯性海洋環境 (Tsuchi, 1986) に対応した群集と考えられている (IGCP-114 National working group of Japan, 1981)。したがって、浦項地域の中新統の詳細な年代と産出化石による古環境復元

は、約 16 Ma 前に発生した日本海拡大とその後の古環境変化を考察する上で重要である。

しかしながら、浦項地域に分布する中新統の年代は、分類群の違いから4つの見解 (①前期中新世-後期中新世, ②前期中新世-中期中新世, ③中期中新世, ④中期中新世-後期中新世) に大別される。近年公表された浮遊性微化石年代も、Lee (1992) は珪藻化石から中期中新世初期に限定するのに対し、Lee (1986) は珪藻化石層序に、You et al. (1986) はナノ化石層序によって中期中新世~後期中新世としている。さらに、この中新統の放射年代ならびに磁気層序年代も未報告のため、未だ詳細な年代は確定していない。

浦項地域の中新世における古環境は、異なる分類群の化石に基づいて推定されているため、各論文で結論が大きく異なる。Kim (1965) は、浦項地域中部に分布する中新統最下部

第1図. 位置図.

から最上部まで系統的に試料を採集し(第2図), 底生有孔虫群集に基づいて古環境の推定を試みている。しかしながら, 化石群集の深度分布を推定する基礎になる日本海および大平洋の深海に生息する底生有孔虫の資料が不足していたため, 古水深を言及していない。また, 暖流系浮遊性有孔虫の存在に基づいて, 暖流の影響を認めている。Jung (1993) は, 浦項地域南部から中部に分布する中新統中部(Hagjuen層)から産した底生有孔虫群集に(第2図), 日本周辺における現世種の分布資料を適用して, 堆積深度を中部漸深海帯上部(水深1,500 m以浅)と見積もっている。さらに, 寒流種と暖流種の分布から, Hagjuen層堆積時には暖流と寒流の境界が存在し, 同層上部の下半部は暖流の影響が比較的強いが, それ以外の層準では寒流が流入していたと結論づけている。一方, これまでの散点的に産出する古生物学的研究成果を層位学的に整理すると, 3つの異なる古海流の影響下(①暖流・寒流が等しく混合: 下部~中部の下部, ②寒流が卓越: 中部の上部, ③暖流が卓越: 上部)で中新統は堆積したと予想される。いずれの化石においても, 寒流と暖流の境界が浦項地域の中新世に存在していたことは認めているが, 寒流と暖流の影響の見積もりは分類群で異なる。また, Jung (1993) は浦項地域中南部に分布する中新統中部について古環境を解析したが, 他の分類群で古環境が復元された浦項地域北部の中新統ならびに中南部に分布する中新統下部と上部では未検討である。さらに, 浦項地域中南部に分布する中新統中部および最上部には底生有孔虫化石が産出しない層準もあり(Kim, 1965), 古環境の解釈が異なる原因にもなっている。

小論では, 浦項地域の中新統から産した浮遊性有孔虫化石, 石灰質ナノプランクトン化石, 珪藻化石に基づいて年代を検討する。つぎに, Kim (1965) および Jung (1993) で解析していない層準から得られた底生有孔虫化石群集と両者の

第2図. 試料採集地点位置図 (Lee, 1992 に加筆).

研究結果を基に, 未検討の層準の古環境を復元する。さらに, Kim (1965) および Jung (1993) の資料を基に, 浦項地域全域の中新世古環境を推定する。

現地では, 山路と李とが岩相層序の検討を, 秋元, 入月, 鄭が試料採集を担当した。秋元, 嬉野, 杉浦が底生有孔虫の分析を行い, 秋元, 鄭が有孔虫群集による古環境の解析を, 入月が貝形虫によるそれを分担した。なお, 共著者の李は大

韓民国南東部に分布する中新統の岩相層序, 珪藻化石層序, 軟体動物化石群集を解析した Lee (1992) の著者であり, 鄭は底生有孔虫化石群集を解析した Jung (1993) の著者である。

分 析 試 料

浦項地域の岩相層序は, Lee (1992) により報告されている (第2, 3 図)。本研究では, 同論文の岩相層序区分に従い分析試料を採集したので, 地質の概要を述べるに留める。浦項地域に分布する中新統は, Cheongogsa 層 (泉谷寺層), Hagjeon 層 (鶴田層), Duho 層 (斗湖層) および Heunghae 層 (興海層) の4層に区分される (第3 図)。下位の白亜系と盆地西縁で南北方向に延びる高角正断層 (梁山断層の派生断層?) で接するが, 一部不整合で壘重する。本地域の中新統は, おおむね東側上位の同斜構造である。Cheongogsa 層は, 最下部に位置し, 層厚は最大約 800 m である。亜角礫-角礫岩および亜円礫-円礫岩からなり, 砂岩層を挟む。Hagjeon 層は, その上位に整合で重なり, 最大層厚は 400 m, リグナイトを伴う細粒から中粒砂岩層とシルト岩の互層からなる。最上位には Duho 層が分布する。この地層は, 層厚が 400 m を超えるシルト岩であり, 下位とは整合である。最大層厚 130 m, 砂岩を伴うシルト岩からなる Heunghae 層は, Hagjeon 層と Duho 層の同時異相としている。

Kim (1965) および Jung (1993) によると, Hagjeon 層の多くの試料には有孔虫化石が産出しない。両論文の採集地点は土地開発による露頭の改修が進み, 試料を再び採集することが困難であった。さらに, 両論文とも北部地域の Heunghae 層において浮遊性および底生有孔虫化石層序を検討していない。そこで, Lee (1992) に基づき, Hagjeon 層と同時異相である Heunghae 層の分布地域を選択した (第2 図)。採集地点は, ①慶州郡神光面虎里里ならびに②延日邑鶴田里の Cheongogsa 層 (第4, 5 図), ③迎日郡松羅面の光川中流に分布する Heunghae 層 (第6 図), ④浦項市北東部汝南川下流部と迎日郡興海邑東部に分布する Duho 層である (第7 図)。以下, 試料を採集した地域の各地層の特徴について記載する。

慶州郡神光面虎里里の曲江川上流のダム湖右岸の道路沿いの Cheongogsa 層は, 層厚 10-50 cm の円礫岩層を挟在する礫質細粒砂岩であり, 貝化石の破片を伴う (試料 CH1-1 および-2, 第3 図)。延日邑鶴田里では, 層厚 50-100 cm の円礫岩層を挟在する砂岩シルト岩互層からなり, 貝化石の破片を多く含む (第5 図)。礫岩層の側方変化が著しいこと, 貝化石が粉々に破壊されている点から, 強い水流により他所から運ばれてきた堆積物と考えられる。2 層準から砂質シルト岩 (試料 CH2-1, -2) を採取した。

松羅面光川里を東西に流れる光川河岸および河床には, Cheongogsa 層および Heunghae 層が連続して露出する (第6 図)。中里橋西方 500 m の地点に基盤の中生界と Cheongogsa 層との不整合がある。Cheongogsa 層および Heunghae 層は東傾斜であり, 下流に向かって上位の層準が現われる。Cheongogsa 層は, 層厚約 320 m, 塊状ないし弱

Age	Formation		Lithofacies		Thickness	
MIOCENE	Heunghae Fm.	Duho Fm.		siltstone, daitomaceous siltstone		400 m
		Hagjeon Fm.	siltstone, very fine- to fine grained sandstone	very fine- to medium grained sandstone, mudstone	130 m	400 m
	Cheongogsa Fm.		Conglomerata, granular sandstone		800 m	

第3 図. 浦項地域における岩相層序 (Lee, 1992)。

い層理が認められる円磨度の高い巨礫岩からなる。基底部付近には植物片が多量に含まれる灰白色シルト質中粒砂岩を, 中部にはカキの密集層を挟む。

Heunghae 層は, 岩相から上下に2分される。下部は層厚 10 ないし 20 cm の極粗粒砂岩層あるいは小礫ないし中礫岩層を頻繁に挟む砂岩優勢砂岩シルト岩互層, 上部は多数の細粒砂岩の薄層が介在する砂質シルト岩である。層厚は約 30 m である。Heunghae 層は Duho 層に岩相が類似するが, より砂質である。同層から 16 試料 (試料 HE 1-1~HE 4) を採集した (第5 図)。

迎日郡興海邑東部の龍汗里の海岸およびその南西方向の道路沿いにおいて, Duho 層は連続して露出し, 層厚は約 250 m に達する。このルートから 18 個の試料を採取した (試料 DU 3-1~DU 13, 第7 図)。中部の葉理が発達した板状珪藻質シルト岩を除いて, 岩相変化に乏しい暗灰色シルト岩からなる。これらのシルト岩は風化すると淡灰褐色からオリーブ色となり, 2-5 cm 角に細片しやすい。最上部では厚さ 1 m の石灰質団塊を挟在する (試料 DU 3-5)。中部には貝化石, 植物化石などが豊富に産する層準がある (試料 DU 7-1, -2)。下部は極細粒砂岩の薄層を挟在する暗灰色砂質シルト岩で, 最下部から得られた 3 試料 (試料 DU 11~DU 13) にはウニの刺を多産する。

分 析 方 法

有孔虫化石の抽出法として, 硫酸ナトリウム-ナフサ法 (尾田, 1978) を用い, 十分に泥化しない試料についてボロン法 (安田ほか, 1985) を併用した。泥化後, 250 メッシュ (目開き 0.063 mm) の篩上で水洗した。残渣を乾燥した後, 有孔虫の群集組成を定量的に解析するために, 残渣の分割には分割器を使用した。分割試料を目開き 115 メッシュの篩にて分離し, 底生有孔虫殻の直径が 0.125 mm 以上の個体を 200 以上含まれる分割試料から双眼実体顕微鏡下で全有孔虫個体を摘出した。浮遊性有孔虫と底生有孔虫とに区分し, それぞれ個体数を数えた後, 浮遊性有孔虫数, 底生有孔虫数,

第4図. 試料CH1 (Cheongogsa 層) の位置と柱状図.

全有孔虫に対する浮遊性種の割合および全底生有孔虫に対する膠着質種の割合を算出した。さらに底生有孔虫については分類・同定し、種ごとに個体数を数えた。

浮遊性微化石年代

浦項地域の中新統の浮遊性微化石年代に関して中期～後期中新世 (Lee, 1986; You et al., 1986) と中期中新世初期 (Lee, 1992) の2つの見解がある。この問題を解決するために、今回得られた各微化石の層位分布ならびに同一あるいは近接地域からの報告 (Yamanoi, 1992; Lee, 1992) を示した (第8図)。Yamanoi (1992) の石灰質ナノ化石は岡田尚武氏によって、Lee (1992) の珪藻化石は柳沢幸夫氏によって同定されている。小論も両氏に同定を依頼し、分類上の問題を回避した。

Cheongogsa 層最上部 (試料CH2-2) から、石灰質ナノ化石 *Cyclicargolithus* cf. *floridanus* (Roth and Hay) が産出する。この種の最終産出はCN5b帯基底を定義することから、本層の年代はCN5b帯より下位である。Yamanoi (1992) は、同地点より約270m下位の層準からCN3-4帯の示準種である *Sphenolithus heteromorphus* Deflandre を報告している。したがって、Cheongogsa 層はCN3帯からCN5a帯

第5図. 試料CH2 (Cheongogsa 層) の位置と柱状図.

に位置する。

光川において、Cheongogsa 層に整合に重なる Heunghae 層の基底 (試料HE 1-1～HE 1-3) から、珪藻化石 *Actinocyclus ingens* Ratray が得られた。Lee (1992) によれば、Heunghae 層基底および同層と同時異層の Hagjeon 層に *A. ingens* および *Denticulopsis lauta* (Bailey) は共産するが、*Denticulopsis katayamae* Maruyama は認められない。したがって、Heunghae 層基底ならびに Hagjeon 層は、*D. lauta* 帯 (Akiba, 1986) に対比される。

日本列島の中新統における各微化石の基準面の層位的関係を整理した尾田 (1986) によると、*Actinocyclus ingens* の初産出はCN3帯基底に、*Denticulopsis lauta* のそれはCN4帯基底に対比される。Cheongogsa 層と Heunghae 層ならびに Hagjeon 層との層位学的関係を考慮すれば、Cheongogsa 層の年代はCN3帯、Heunghae 層および Hagjeon 層はCN4帯と判断される。この結果は、Yamanoi (1992) は Cheongogsa 層の年代をCN3帯である可能性が高いとした結論を支持する。

Duho 層最下部 (試料DU11) から産出した浮遊性有孔虫は、*Globigerina praebulloides* Blow, *Globigerina pseudociperoensis* Blow, *Globigerinita glutinata* (Egger), *Globorotalia quinifalcata* Saito and Maiya である。さらに、

第6図. Heunghae 層の試料採集地点と柱状図.

Globorotalia praescitula Blow に類似した *Grt. quinifalcata* の変異型も認められた。米谷 (1978) によれば, *Grt. quinifalcata* の生存期間は Blow (1969) の N8 帯から N10 帯であり, 多産帯は N8-9 帯に対比されている。浦項盆地の中期中新世浮遊性有孔虫群集は, 日本列島の群集と異なり, N9 基底を定義する *Orbulina sutularia* Brönnimann, N10 帯基底に初出現する *Globorotalia peripheroacuta* Blow and Banner を伴わない。そこで, *Grt. quinifalcata* の多産出から, Duho 層基底の年代を N8-9 帯とした。

Duho 層中・上部 (試料 DU 10-2~DU 8 および DU 6-1~DU 3-1) ならびに浦項市北東部汝南川下流部に沿う道路ぎわに露出する Duho 層上部の暗灰色シルト岩 (試料 DU 1, DU

2) から, 緑藻類の休眠細胞である *Tasmanites* 属が多産する。Heunghae 層上部の試料 HE 2 には *Tasmanites* 属の初産出が認められる。この試料 HE 2 は, Lee (1992) の試料 88051804 とほぼ同じ層準であり, ここからは *Actinocyclus ingens* および *Denticulopsis lauta* を産する。Akiba (1986) によると, *D. lauta* 帯および *D. katayamae* 帯にかけて *D. lauta* は生存する。尾田 (1986) は, *D. lauta* 帯および *D. katayamae* 帯を浮遊性有孔虫 N8-9 帯に対比している。これらのことから, Heunghae 層上部と Duho 層とを対比した Lee (1992) の見解は支持される。

以上のことから, Cheongogsa 層の年代は前期中新世末期, Heunghae 層, Hagjeon 層および Duho 層のそれは中期

第7図. Duho層の試料採集地点と柱状図.

中新世初期と結論される(第8図).

これに対して, Lee (1986) は, 浦項地域に分布する中新統の最下位から *Actinocyclus ingens*, *Denticulopsis lauta*, *Denticulopsis hustedii* (Simonsen and Kanaya), *Denticulopsis hyalina* (Schrader) Simonsen が産出し, 中部に *Coscinodiscus yabei* Kanaya の初産出, 最上部に *Denticulopsis dimorpha* (Schrader) Akiba and Yanagisawa のそれを認めている. 珪藻化石層序に基づいて, この中新統を *D. lauta*-*D. hustedii* 帯に対比し, その地質時代を中期中新世～後期中新世初期としている. しかしながら, 小論では Lee (1986) と同一地域から試料を採集したが, *A. ingens* および *D. lauta* 以外の種の産出は認められなかった.

You et al. (1986) は, 浦項地域中北部に分布する中新統下部をナノ化石 *Discoaster druggii* Bramlette and Wilcoxon の産出で, 中・上部を *Reticlofenestra pseudoumbilicata* (Gartner) Cartner のそれで特徴づけられる化石帯とした. さらに, 化石帯が設定できなかった最下部を中期中新世初期とし, それぞれの化石帯を中期中新世中期, 中期中新世後期～後期中新世と結論づけている. しかしながら, 同論文の産出表を検討すると, *Sphenolithus heteromorphus* が小論の Cheongogsa 層, Hagjeon 層, Duho 層および Heunghae 層のほぼ全ての試料から産出する. この種の生存期間により

CN 3-4 帯が定義されているので, 浦項地域の中新統の年代は中期中新世初期～後期中新世ではなく, 前期中新世末期～中期中新世初期に限定される. したがって, 小論の各微化石の産状と矛盾せず, 小論の結論は支持される. また, Heunghae 層ならびに Hagjeon 層を *Denticulopsis lauta* 帯に対比した Lee (1992) の結果とも一致する.

Lee (1992) の岩相層位学的関係と上記の微化石層序の結果に基づき, Kim (1965), Jung (1993) の採集位置ならびに層準を編集し, 第9図に示した. 延日邑鶴田里東方ならびに迎日郡興海邑東部に分布する Duho 層の対比は, 浦項市街で掘削された坑井 (YP-1) の浮遊性有孔虫化石層序の資料 (Yoo, 1969) を参考に, *Globorotalia scitula* (Brady) グループの最終産出層準に基づいて行った.

Jung (1993) は, Hagjeon 層の石灰質有孔虫群集から *Haplophragmoides* 属で構成される膠着質有孔虫群集に変化する層準 (N8-9 帯) を, Foraminiferal Sharp Line (多井, 1963) に対比している. 米谷・井上 (1981) によれば, Foraminiferal Sharp Line は浮遊性有孔虫化石帯 N9-10 の境界付近に対比される. Hagjeon 層および Duho 層が N8-9 帯に対比されたことから, Hagjeon 層に産する膠着質有孔虫群集の年代は本州日本海側のそれよりも古いと解釈される.

第8図. 浮遊性微化石の層位的分布と年代.

第9図. 試料採集地点の層位的関係.

底生有孔虫群集

浦項地域の中新統から得られた底生有孔虫化石の産出状況を第1表に示した。Heunghae層から底生有孔虫化石が得られたことから、Kim (1965) および Jung (1993) において底生有孔虫化石が未産出であった層準についても古環境の復元が可能になった。

底生有孔虫による古環境の復元は、主に水塊に支配されて分布する現生群集を基にしている。このため、現生種と同一であっても中新世では分布が異なる可能性もあり、化石種では現生種の資料を直接適用できる保障が無い(長谷川ほか, 1989)。そこで、Qモード主成分分析を行い、古環境因子を特定した。

本研究では、浦項地域全域の中新世古環境を復元するため、Kim (1965) および共著者の Jung (1993) の結果も用いた。著者は115メッシュ以上の個体を、Kim (1965) は120メッシュのそれを用いており、個体の大きさはほぼ同じである。Jung (1993) は200メッシュ以上の個体を用いているの

で、同著の著者である鄭と篩の孔径による群集組成の差異の有無を検討したが、解析に影響を与える有意な違いはなかった。

今回対象とした試料は底生有孔虫の産出個体の総数が100以上の55試料である。各報告で総個体数が異なるため、百分率に換算し標準化した。一試料でも3%以上産出した167タクサを用いて、Qモード主成分分析(SPSS社製プログラム)をした。第6主成分まで解釈することで全分散の62.3%を説明している。寄与率を第2表、主成分負荷量を第3表に、第4表にはいずれかの主成分評点が|1.0|以上を有した29タクサを示した。

1. 第1主成分

Haplophragmoides spp. (12.31), *Ammonia beccarii pohangensis* Kim (1.70), *Uvigerina proboscidea* Schwager (1.43), *Martinottiella communis* (d'Orbigny) (1.24) が、第1主成分負荷量の高い評点を有する。第10図の縦軸に各タクサの第1主成分負荷量の評点、横軸にタクサごとの百分率の累積を示した。*H.* spp. が突出して高い評点であり、産出頻度

も極端に高い。他の評点の高い種も、高い産出頻度である。各タクサの評点と百分率の累積はおおむね正の相関関係にあり、第1主成分は各タクサの産出頻度を反映している。

2. 第2主成分

Ammonia beccarii pohangensis (8.48), *Uvigerina proboscidea* (6.61) が高い正の第2主成分評点を有し、高い負の評点は唯一 *Haplophragmoides* spp. (-2.71) に認められる。

現生の *Ammonia beccarii* (Linné) は湾奥から沿岸部にかけて (小杉ほか, 1991), *Uvigerina proboscidea* は中層水以深に分布し、溶存酸素極小帯に多産する (Akimoto, 1990)。

Haplophragmoides 属は、湾奥から水深 4,000 m にかけて生息しているが、種により深度分布は異なる (小杉ほか, 1991; 秋元ほか, 1996 など)。したがって、この主成分は水深に関連していない。

これまで、底生有孔虫群集において石灰質種に対して膠着質種が相対的に多くなる原因として、底層水における低い酸素濃度、有機酸の増加による底層水の pH の低下が考えられている (Gradstein and Berggren, 1981)。Alve and Murray (1995) は、堆積中あるいは続成過程における石灰質有孔虫殻の溶解により、中層水の多様な石灰質有孔虫群集から *Haplophragmoides* 属からなる膠着質有孔虫群集への変化を明らかにしている。

Duho 層では、石灰質有孔虫群集から *Haplophragmoides* 属で構成される膠着質有孔虫群集への急変が、試料 DU 11 と試料 DU 10-2 の間に認められる。この層準を挟んで主成分因子負荷量が正から負になり、岩相も砂質シルト岩から珪藻質シルト岩に変わる。底生有孔虫群集が変化する層準を境に、珪藻化石の個体数が急増することから、当時海底に多量の珪藻が沈積し、有機物に富む底質であったと判断される。DU 10-2 の地点からは、深海性二枚貝 *Propeamussium tateiwa* Kanehara が報告されている (Yoon, 1976)。さらに、同層最上部 (試料 DU3-4) には *Haplophragmoides* cf. *renzi* Asano が優勢な群集が見いだされた。この群集の産出地点からは、Lee (1992) により沖合いの環境を示す *Portlandia-Nuculana* 群集が報告されている。群集の主要種は *Nuculana pennula* (Yokoyama) および *Portlandia* cf. *gratiosa* (Yokoyama) であり、*Lucinoma* sp., *Chonchocela bisecta* (Conrad) および *Macoma incongrua* (V. Martens) を随伴する。Duho 層からは *Calyptogena*, *Lucinoma* および *Chonchocela* 属もよく産出する (Yoon, 1976)。前述の *Portlandia* 属を含め、これらは化学合成群集を構成する軟体動物群でもある (堀越, 1989; 間島ほか, 1996)。これら化学合成群集によって生成される硫化水素は pH を大きく変動させ、炭酸カルシウムの沈着に影響する (増澤, 1996)。有機物の多い堆積物中でも、炭酸と硫化水素により間隙水の pH が 6.9 から 8.3 の範囲で変化する (Ben-Yaakov, 1973)。このことから、底生有孔虫化石の殻の化学成分に注目した。

膠着質有孔虫は、粒子を有機物で結着するタイプと、炭酸カルシウムを用いるタイプに二分される (Bender, 1995)。今回多産し、負の評点を有する *Haplophragmoides* 属は前者に属する。正の高い評点を示す *Ammonia* 属および *Uvigerina*

第10図. 第1主成分評点と底生有孔虫タクサの産出頻度の総計との関係。

属の殻は、放射状ガラス質の複層構造である (Loeblich and Tappan, 1988)。負の因子負荷量には有機物で粒子を結着する膠着質有孔虫が、正の因子負荷量にはガラス質有孔虫がそれぞれ関与している。Greiner (1969, 1970, 1974) は、膠着質有孔虫、磁器質有孔虫およびガラス質有孔虫の分布と海水中的炭酸カルシウム濃度との関係を明らかにした。それらによれば、膠着質有孔虫が炭酸カルシウム濃度が低い環境に多産し、磁器質有孔虫は海水中に飽和あるいは過飽和の炭酸カルシウムが含まれていることを必要とし、ガラス質有孔虫は中程度の炭酸カルシウム濃度において優勢である。このことから、この主成分は海水の炭酸カルシウム濃度の違いを反映していると推察される。

3. 第3主成分

Heunghae 層では正の第3主成分因子負荷量が高い試料と、負のそれが高い試料が交互に出現する。同層は砂岩層あるいは小～中礫岩層を頻繁に挟む砂岩シルト岩互層である。Choe and Chough (1988) は、同層に重力流が卓越している。さらに、正の高い第3主成分因子負荷量が認められた試料 UB-2 周辺に分布する Hagjeon 層には、スランプ性堆積層が発達する (Jung and Kim, 1994)。

Uvigerina proboscidea (7.29) は正の評点が高く、*Ammonia beccarii pohangensis* (-8.36) は負の評点が高い。*U. proboscidea* は、外洋の泥底に生息する (Akimoto, 1990)。*A. beccarii* は内湾の砂底あるいは泥底に分布する (小杉ほか, 1991)。井上 (1986) によれば、*A. beccarii* ならびに *Ammonia japonica* (Hada) を主とする現生群集の分布は駿河湾湾奥から西部に限られ、これらは外洋水の影響の少ない内湾性沿岸水に付随する群集と推定されている。さらに、*A. beccarii* の優勢な群集の分布海域は、*A. japonica* を主体とする群集よりも沿岸に近い。したがって、正の主成分が外洋域を負の主成分が沿岸域を表わし、地理的違いを反映すると考えられる。堆積学的特徴を考慮すると、*A. beccarii pohangensis* の遺骸がより深い場所に運搬されたと考えられる。負の第3主成分因子負荷量の値が高い試料には、底生有孔虫の遺骸が沿岸域から運搬され再堆積した試料も含まれる。

第1表. 底生有孔虫化石產出表.

[illegible]

Formation	Sample no.	Species	Choeogopu										Heunghae										Daho																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
			CH1-1	CH1-2	CH2-1	CH2-2	HE1-1	HE1-2	HE1-3	HE1-4	HE1-5	HE1-6	HE1-7	HE1-8	HE1-9	HE1-10	HE1-11	HE1-12	HE1-13	HE2	HE3	HE4	DU1	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3	DU3-4	DU3-5	DU4	DU5	DU6-1	DU6-2	DU7-1	DU7-2	DU8	DU9	DU10-1	DU10-2	DU11	DU13	DU14	DU3-1	DU3-2	DU3-3

第2表. Qモード主成分分析結果.

Factor	Eigenvalue	Percent of variables	Cumulative percent
1	10.98263	20.0	20.0
2	9.49406	17.3	37.2
3	5.67251	10.3	47.5
4	3.17332	5.8	53.3
5	2.70751	4.9	58.2
6	2.26059	4.1	62.3

4. 第4主成分

正の高い第4主成分因子負荷量は Cheongogsa 層の試料 HJ-1, HJ-3 (Jung, 1993) および Hagjeon 層の試料 96 (Kim, 1965), 試料 UB-2, WS-7 および HJ-8 (Jung, 1993) に, 負のそれは Cheongogsa 最上部の試料 CH2-1, -2, および Duho 層の試料 DU 13 に認められる.

第4主成分の正の評点が高い種は, *Bolivina koreanica* Kim (5.02), *Valvulineria asanoi* Kim (4.98), *Oridorsalis umbonatus* (Reuss) (4.57) であり, 負のそれは, *Uvigerina proboscidea* (-4.52) である.

Oridorsalis umbonatus は, 西南日本沖北西太平洋では水深 500-2000 m に分布する (Inoue, 1989; Akimoto, 1990; Akimoto and Torii, 1996) が, 日本海では対馬海流表層水にのみ少産する (Nomura, 1992). *Valvulineria sadonica* Asano は, 貧酸素で特徴づけられる日本海中間水に生息し, 多産帯は上部漸深海帯に深にある (秋元・長谷川, 1989). 中期中新世後期から前期鮮新世にかけて, 同種は中部漸深海帯上部に深に分布する (長谷川ほか, 1989). さらに, 中期中新世初期の *Valvulineria* 属の分布は中部漸深海帯上部に深である. 化石種 *Bolivina koreanica* が比較的高い頻度で産する Cheongogsa 層の試料 HJ-3 (Jung, 1993) に近接した地点から産出した軟体動物化石群集は, *Acesta* sp., *Lucinoma acutilineatum* (Conrad), *Thyasira biscta* (Conrad), *Saxidomus* cf. *nuttalli* Conrad から構成される (Yoon, 1976). *Lucinoma* 属は水深 200 m 以浅に分布し (小笠原・増田, 1989), 現生種 *Lucinoma spectabilis* (Yokoyama) は水深 300 m 付近に生息する (橋本ほか, 1995). このことから, *B. koreanica* は中層水に分布していた種と推定される.

現世における *Uvigerina proboscidea* は, 黒潮海域の溶存酸素極少帯に多産する (Akimoto, 1990 など).

したがって, 正の第4主成分は中層水を, 負のそれは深層水最上部の溶存酸素極少帯を表わす.

5. 第5主成分

Heunghae 層の試料 HE 2 ならびに Hagjeon 層の試料 WS-3, WS-4, WS-5, WS-8 (Jung, 1993) に正の高い第5主成分因子負荷量が, Cheongogsa 層の試料 HJ-2 および Hagjeon 層の試料 HJ-8, HJ-9 (Jung, 1993) に負のそれが分布する.

Martinottiella communis (7.17), *Ammonia japonica* (5.15) は第5主成分の正の評点が高く, *Uvigerina segundoensis* Cushman and Galliher (-4.68), *Stainforthia exilis tenuata* (Cushman) (-3.72), *Bolivina substriatula* Asano (-3.65) は負の評点が高い. *M. communis* は, 日本

第3表. 各試料の第6主成分までの Qモード因子負荷量.

Sample no.	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
CH1-2	0.11146	0.65582	-0.29591	-0.10437	0.03649	0.00821
CH2-1	0.08695	0.52974	0.48478	-0.35499	-0.34615	0.06265
CH2-2	0.09783	0.54453	0.56656	-0.36437	-0.17459	-0.06928
HE1-1	0.13363	0.68644	-0.65061	0.04430	0.05420	0.05774
HE1-2	0.13513	0.83220	-0.00753	-0.13288	-0.02839	-0.12969
HE1-3	0.12576	0.71617	-0.60347	0.01012	0.06680	-0.04666
HE1-4	0.15553	0.89655	-0.06761	-0.11097	-0.00805	-0.13249
HE1-5	0.10976	0.72469	-0.00934	-0.05436	0.03978	-0.25302
HE1-6	0.08480	0.60986	0.33029	-0.09723	-0.00438	-0.32077
HE1-7	0.15445	0.77254	-0.43998	-0.07275	0.12849	0.11367
HE1-8	0.11019	0.61063	0.58770	-0.27302	-0.11511	-0.13920
HE1-9	0.14597	0.74728	-0.50355	-0.03787	0.02647	0.05108
HE1-10	0.12947	0.78625	0.06217	-0.14160	0.10225	-0.16318
HE1-11	0.12982	0.70398	-0.56320	0.01006	0.15011	0.00799
HE2	0.10420	0.09713	0.18057	-0.12834	0.54667	0.73631
DU13	0.06485	0.38274	0.45590	-0.35558	-0.37530	0.16745
DU11	-0.00576	0.07066	0.14515	-0.16017	-0.21638	0.12246
DU10-2	0.03774	-0.06030	-0.01860	-0.04126	0.05678	-0.19353
DU10-1	0.17672	-0.10841	-0.03052	-0.05684	0.06275	-0.21797
UB-2	0.00690	0.06134	0.15924	0.44894	0.09940	-0.04008
UB-6	0.96043	-0.21252	-0.01436	-0.05687	0.00082	-0.07908
ST-3	0.00109	0.06522	0.16412	0.36889	0.21861	-0.12310
ST-4	-0.00657	0.02999	0.09122	0.13339	0.11944	-0.01658
ST-5	0.30840	0.41855	0.57944	-0.22483	0.17001	0.29865
ST-6	0.28048	0.03565	0.17153	0.17897	0.00412	0.12268
WS-2	0.35520	0.34991	0.53922	-0.14145	0.04154	0.14132
WS-3	0.17948	0.31547	0.46420	0.26815	0.44224	-0.01619
WS-4	0.03355	0.22850	0.36821	0.30719	0.43796	-0.27648
WS-5	0.00461	0.03821	0.18006	0.21202	0.39501	-0.24742
WS-6	0.10538	0.51074	0.63892	0.20067	0.16236	-0.08544
WS-7	0.06862	0.25366	0.40637	0.42438	0.21332	-0.08306
WS-8	0.25882	0.02084	0.13591	-0.11277	0.54990	0.71517
GL-1	0.88880	-0.16292	0.04497	-0.09547	0.23317	0.25684
HJ-1	0.06073	0.34659	0.26142	0.45409	-0.14664	-0.04248
HJ-2	0.11037	0.30761	0.25952	0.18044	-0.45877	0.23206
HJ-3	0.10169	0.36174	0.30245	0.49335	-0.10976	0.03083
HJ-8	0.09973	0.13651	0.13447	0.58395	-0.39998	0.23785
HJ-9	0.00721	0.08243	0.18316	-0.00305	-0.47889	0.28319
35	0.06004	0.06151	-0.10046	0.21668	-0.25405	0.19819
30	0.89326	-0.21748	-0.02743	-0.05992	-0.00926	-0.09645
89	0.95230	-0.20764	-0.02041	-0.02050	-0.03287	-0.05902
28	0.95544	-0.21982	-0.02772	-0.05209	-0.02393	-0.11386
27	0.26927	0.24721	-0.36973	0.19145	-0.18227	0.18099
26	0.37997	0.04750	-0.08040	0.33019	-0.31388	0.20776
92	0.85634	-0.17022	0.04178	0.13413	-0.02531	-0.09674
24	0.70768	-0.15103	-0.07595	0.01286	-0.09912	0.01154
94	0.93976	-0.21465	-0.02084	-0.05700	-0.01211	-0.09276
95	0.95663	-0.21189	-0.01917	-0.05011	-0.02576	-0.09926
96	0.08543	0.24188	0.17805	0.67470	-0.14632	0.04411
21	0.13550	0.37169	-0.33888	0.36976	-0.14943	0.19900
17	0.16116	0.64772	-0.65383	0.05345	0.05153	0.07452
15	0.89221	-0.00003	-0.16400	0.10604	-0.05586	0.04824
I-8	0.02272	0.07961	0.11502	-0.14230	-0.14511	0.06054
57	0.95812	-0.21089	-0.01860	-0.04947	-0.02580	-0.09908
14	0.95787	-0.21458	-0.01974	-0.05035	-0.01938	-0.10498

周辺の北西太平洋では水深 1,100-2,000 m に分布する (Inoue, 1989). *A. japonica* は, 水深 100 m における最高水温が 17°C 以上の房総半島以南の黒潮流域, 津軽半島以南の対馬暖流域に分布する (長谷川, 1993). 一方, *U. segundoensis* に類似した形態の *U. peregrina bradyana* Cushman が, 東北日本沖太平洋の水深 150-750 m に分布している (野村, 1986). 長谷川ほか (1989) によれば, 本種は中期中新世以降, 東北日本の上部漸深海帯に深の地層から産する. *S. exilis tenuata* は東北日本沖太平洋の中層水から深層水 (水深 400-3500 m) ならびに駿河湾では中層水 (水深 300-1,200 m) に分布する (Inoue, 1989). 井上 (1986) は, 駿河湾におけるこの種の生息と寒流系中層水を関連づけている. 正の評点を有する種は日本周辺北西太平洋で広く分布す

第4表. 高い主成分評点を有する底生有孔虫の第6主成分までの評点.

Species	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
Agglutinated foraminifers						
<i>Bathysiphon</i> spp.	1.00908	-0.42488	-0.09433	-0.31843	0.35881	0.68282
<i>Haplophragmoides compressum</i> LeRoy	0.15555	-0.38907	-0.08314	0.04321	0.77439	-1.19098
<i>H. cf. compressum</i> LeRoy	-0.06892	-0.40285	-0.20330	-0.37238	0.24497	-0.98119
<i>H. renzi</i> Asano	0.53432	-0.55378	-0.13160	-0.34871	0.58030	-2.02678
<i>H. cf. trullissatum</i> (Brady)	0.00605	-0.41967	-0.20397	-0.38400	0.23365	-1.00640
<i>H. spp.</i>	12.30750	-2.70893	-0.23895	-0.63546	-0.33137	-1.27274
<i>Martinottiella communis</i> (d'Orbigny)	1.24226	0.79225	1.81875	-1.33882	7.16780	9.48336
Calcareous foraminifers						
<i>Ammonia beccarii pohangensis</i> Kim	1.70431	8.47879	-8.35791	0.68491	0.72161	0.94148
<i>A. japonica</i> (Hada)	0.06501	0.56111	2.25298	2.76969	5.15192	-2.79811
<i>A. takanabensis</i> (Ishizaki)	-0.12953	-0.11264	0.45904	0.63834	0.99668	0.18748
<i>Bolivina koreanica</i> Kim	0.78860	0.66675	1.86615	5.02149	-0.18623	0.40210
<i>B. substriatula</i> Asano	0.06557	0.53494	1.11205	3.60674	-3.64586	2.04100
<i>B. spp.</i>	-0.08808	0.23315	1.36259	3.76498	2.31166	-1.22824
<i>Cibicides mallowi</i> Matsunaga	0.34377	2.91164	1.38764	0.27715	0.60248	-2.19490
<i>Elphidium etigoense</i> Husezima and Maruhasi	0.23990	2.80983	-1.12734	-1.10324	0.74868	-2.55470
<i>Epistominella pulchella</i> Husezima and Maruhasi	-0.13927	0.01857	0.74435	1.62255	1.31925	-0.76386
<i>Gyroidina hangukensis</i> Kim	0.28602	-0.00003	-0.50176	1.20340	-1.84063	1.35357
<i>G. orbicularis</i> d'Orbigny	0.35744	0.17868	1.22036	1.13900	-0.30076	1.26181
<i>Heterolepa subpraecinctus</i> (Asano)	-0.00383	0.22081	0.84278	1.46731	0.37848	0.02348
<i>Islandiella helenae</i> Feyling-Hanssen and Buzas	0.19650	2.21303	1.37442	-0.85756	0.30630	-2.10370
<i>Nonion kidoharaensis</i> Fukuta	-0.10736	0.17200	0.45112	-0.67556	-1.27691	0.46466
<i>Nonionellina labradorica</i> (Dawson)	-0.10598	-0.01337	0.57882	0.19078	0.16045	0.41351
<i>Oridorsalis umbonatus</i> (Reuss)	0.35644	2.64351	2.73966	4.57353	0.71873	-2.38622
<i>Robulus lucida</i> (Cushman)	-0.07198	0.20732	0.97954	0.76000	1.09900	-0.40566
<i>Stainforthia exilis tenuata</i> (Cushman)	0.21434	0.27068	0.60602	2.17264	-3.71598	2.35707
<i>S. ishikiensis</i> (Asano)	-0.17358	-0.10629	0.35867	-1.13889	-1.34551	0.81209
<i>Stilostomella ketienziensis</i> (Ishizaki)	0.12172	0.55836	0.01743	0.38538	1.05122	0.15637
<i>Uvigerina cf. hooi</i> (Rankin)	0.23789	0.22089	-0.65540	2.05487	-1.89412	1.59816
<i>U. proboscidea</i> Schwager	1.42781	6.60764	7.29148	-4.51584	-1.89919	-0.09216
<i>U. segundoensis</i> Cushman and Galliher	-0.02738	0.93948	1.92689	-1.95405	-4.68430	2.39940
<i>U. segundoensis</i> Cushman and Galliher var.	-0.17836	-0.17150	0.18552	0.27432	0.83555	-0.57675
<i>U. yeonillensis</i> Kim	0.78292	-0.19635	-0.98462	0.78563	-1.48755	1.17054
<i>Valvulineria asanoi</i> Kim	0.68253	0.92324	0.09373	4.97782	-2.29124	2.18902

るのに対し、負の評点の高い種は親潮系-深層水に優勢である。したがって、第5主成分は寒流系中層水塊の影響の程度を表わしていると考えられる。

6. 第6主成分

第6主成分において、*Martinottiella communis* (9.48) が高い正の評点を、*Ammonia japonica* (-2.80), *Elphidium etigoense* Husezima and Maruhasi (-2.56) が高い負の評点を有する。西南日本沖太平洋において、*M. communis* は中層水に分布する (Akimoto, 1990)。*A. japonica* は、駿河湾では大河川が流れ込む湾奥から西部河口域に多く、淡水の流入による塩分の低下した環境に生息している (井上, 1986)。*A. japonica* および *Elphidium* 属は表層水に生息する (小杉ほか, 1991)。正の主成分は中層水に、負のそれは表層水にそれぞれ関係し、水深の差異を反映していると結論した。

以上まとめると、第1主成分は底生有孔虫種 (タクサ) の産出頻度、第2主成分は海水の炭酸カルシウム濃度、第3主成分は沿岸水の影響の程度、第4主成分は中層水と深層水 (溶存酸素極小帯) との水塊の差異、第5主成分は寒流系中層水の影響、第6主成分は表層水と中層水との水塊の差異に関係する。

古堆積環境

1. 浦項地域の中新世底生有孔虫群集の深度分布

各因子評点の高い12タクサをそれぞれの古海洋環境に関係づけた。前期中新世末期から中期中新世初期にかけて、浦項地域周辺の表層水には *Ammonia beccarii pohangensis*, *Ammonia japonica* および *Elphidium etigoense* が、中層水

には *Bolivina koreanica*, *Valvulineria asanoi*, *Oridorsalis umbonatus* および *Martinottiella communis* が、深層水の溶存酸素極小帯には *Uvigerina proboscidea* がそれぞれ分布していたと解釈される。*A. beccarii pohangensis* は沿岸水の影響下に、*Uvigerina segundoensis*, *Stainforthia exilis tenuata* および *Bolivina substriatula* は寒流系中層水に多産した。これら多産種には、現在西南日本沖北西太平洋に生息する種も含まれている。化石種の分布様式も、現世における近縁種と類似する。このことから、当時の浦項盆地における海洋環境は、現在の西南日本沖北西太平洋の状況に類似していたと想定される。この海域の塩分極小帯の上限と下限は、水深400 mと1,200 m付近にあり、溶存酸素極小帯は水深約800 m~2,000 mの間にある (Akimoto, 1990)。浅海帯と上部漸深海帯の境界は温度躍層の上限に、上部漸深海帯と中部漸深海帯上部との境界は塩分極小帯の上限に、中部漸深海帯下部は溶存酸素極小帯とおおむね一致する (秋元・長谷川, 1989; Akimoto and Torii, 1996)。したがって、表層水種 *Ammonia beccarii pohangensis*, *Ammonia japonica* および *Elphidium etigoense* は浅海帯を、中層水種 *Bolivina koreanica*, *Bolivina substriatula*, *Martinottiella communis*, *Oridorsalis umbonatus*, *Stainforthia exilis tenuata*, *Uvigerina segundoensis* および *Valvulineria asanoi* は上部漸深海帯から中部漸深海帯上部を、深層水種 *Uvigerina proboscidea* は中部漸深海帯下部をそれぞれ特徴づける。

2. 古水深の変遷

浦項地域に分布する中新統の古堆積深度の変遷を、前述の底生有孔虫化石群集の深度帯に基づき復元した (第11図)。

第 11 図. 浦項盆地の古環境.

この深度帯を浦項市南部 PY-1 坑井の底生有孔虫群集 (Yoo, 1969) にも適用し、堆積深度を解釈した。

a. Cheongogsa 層

Jung (1993) は、浦項地域中部に分布する Cheongogsa 層中部から上部 (試料 HJ-1~3) に *Bolivina substriatula-Uvigerina proboscidea* 群集を認め、後者の多産から古水深を中部漸深海帯上部としている。今回行った主成分分析によれば、試料 HJ-1 および HJ-3 には溶存酸素極小帯以浅の中層水の特徴づける正の第 4 因子負荷量が、試料 HJ-2 には寒流系中層水に関係する負の第 5 因子負荷量が認められる。このことから、堆積深度は上部漸深海帯から中部漸深海帯上部と見積もられ、Jung (1993) の結論が裏づけられた。

この地域の同層最上部 (試料 CH 2-1) は、溶存酸素極少帯に関係する負の第 4 因子負荷量が高いことから、中部漸深海帯下部で堆積したと判断される。Akimoto (1990) は中部漸深海帯下部の水深を 1,000 m から 2,000 m の間としているので、Jung (1993) はこの層準の古深度の推定値 1,500 m はこれに含まれる。

浦項地域北部と南部に分布する Cheongogsa 層からは底生有孔虫化石を産出しない。北部に分布する本層中部にはカ

キの密集層が挟在する (第 6 図) ことから、この層準における堆積深度は潮間帯と推定される。Huh and Paik (1992) は、光川北方に分布する Cheongogsa 層最上部から *Acanthocythereis mutsuensis* Ishizaki を主体とする貝形虫群集を報告し、堆積相からはデルタ低置相と考えている。現在、*A. mutsuensis* は青森湾および黄海において水深 50 m ~ 80 m に多産することから、中・下部浅海帯と推定される。南部に分布する本層の堆積深度は、軟体動物群集から浅海帯であった (Lee, 1992)。

古水深の比較から、少なくとも Cheongogsa 層中部堆積時には、浦項地域南・北部で浅く、中部で中部漸深海帯下部に達する凹地が推定される。第 11 図に表示した HJ ルートの北側にも、ほぼ本層中部 (露頭周辺は露出不良であり、層位的位置が正確に求められないため、第 11 図に表示していない) に対比される試料 CH 1 (第 4 図) が得られた。ここからは、*Ammonia beccarii pohangensis*, *Siphonodosaria oinomikadoi* (Ishizaki), *Stilostomella ketienziensis* (Ishizaki), *Uvigerina proboscidea* が優勢な群集を産する (第 1 表)。表層水種 *A. beccarii pohangensis* と深層水種 *U. proboscidea* が共産することから、中部地域では本層中部が堆積

第12図. 浦項盆地における炭酸塩補償深度 (CCD) の変化

する時には深層水の影響を受ける状況にあったことを示唆する。

b. Heunghae 層

浦項地域北部の Cheonggosa 層と Heunghae 層との境界 (試料 HE 1-1) の群集には、溶存酸素極小帯を特徴づける *Uvigerina proboscidea* が多く、沿岸性浅海種 *Ammonia beccarii pohangensis* を伴う。したがって、Heunghae 層基底部は、浅海帯から堆積物とともに浅海性種が流入する中部漸深海帯下部に堆積した。これより上位の層準においても、頻度は変動するものの、種構成は変わらない。このことから、Heunghae 層は中部漸深海帯下部で堆積した。Cheonggosa 層最上部の貝形虫群集には浅海性種 (*Acanthocythereis mutsuensis*) が多産する (Huh and Paik, 1992) ことから、Cheonggosa 層中部から Heunghae 層基底部にかけての急激な沈降が考えられ、古水深の変化は 800 m 以上と推定される。

c. Hagjeon 層

第4主成分因子負荷量の分布から、本層は上部漸深海帯から中部漸深海帯上部で堆積したことが示唆される。Jung

(1993) によると、浦項地域中部に分布する Hagjeon 層において、石灰質底生有孔虫群集は *Stainforthia exilis tenuata*, *Uvigerina segundoensis* が卓越する。それらの現世における深度分布から、中部漸深海帯上部で堆積したと結論づけている。Kim (1965) によれば、南部地域の石灰質種から構成される底生有孔虫群集は、*Bolivina koreanica*, *Oridorsalis umbonatus*, *Valvulineria asanoi* が優勢である。同論文では、これらの種の深度分布は解明されていなかったが、今回の解析により上部漸深海帯から中部漸深海帯上部を特徴づける種であることが判明した。したがって、本層は上部漸深海帯から中部漸深海帯上部までの水深で堆積したと判断される。

PY-1 坑井における Hagjeon 層上部 (掘削深度 310 m 以下) の群集は、*Bolivina koreanica*, *Stainforthia exilis tenuata*, *Valvulineria asanoi* が多産する (Yoo, 1969)。これらは、Kim (1965) および Jung (1993) の Hagjeon 層の群集の種構成と共通であり、堆積深度は上部漸深海帯から中部漸深海帯上部と見積もれる。これは、Hagjeon 層の古水深に地域差はなかったことに矛盾しない。Yoo (1969) は、PY-1 坑井の群集に *Ammonia beccarii* ならびに 100 m 以深を特徴

づける種を随伴することから、100 m より浅い古水深を想定し、深海種 *Stainforthia exilis tenuata* は遠洋性堆積物より巻き上げられて混入したと解釈している。しかしながら、Hagjeon 層の岩相は砂岩シルト岩互層であり、群集には浅海種と関係する負の第3主成分因子負荷量が比較的高いことから、浅海種は流入したと判断する方が合理的である。また、Jung (1993) は、浦項地域南部の Hagjeon 層の堆積深度より中部のそれが深いと報告しているが、前述したように古水深に地域差は認められなかった。

d. Duho 層

深層水最上部の溶存酸素極少帯に関係する負の高い第4主成分因子負荷量が、Duho 層最下部の試料 DU 13 に認められ、その堆積深度は中部漸深海帯下部と推定される。下部に産出する群集が *Uvigerina* spp., *Valvulineria asanoi* によって構成されることから、堆積深度は上部漸深海帯から中部漸深海帯上部と判断され、最下部に比べ若干浅くなる。その上位の試料では *Fursenkoina complanata*, *Fursenkoina ishikiensis*, *Uvigerina proboscidea* が多産する。*F. ishikiensis* は上部漸深海帯に深に、*U. proboscidea* は中部漸深海帯下部に多産する(長谷川ほか, 1989)ことから、古水深が再び深くなり中部漸深海帯下部に達したと判断した。

一方、調査地域の南側に位置する PY-1 坑井の群集は、掘削深度 310 m より上位では *Ammonia japonica* ならびに *Elphidium etigoense* が優勢であり(Yoo, 1969)、この地点における Duho 層が浅海帯で堆積したことを示唆する。PY-1 坑井では Hagjeon 層上部から Duho 層にかけての古水深は、上方浅海化している。これに対し、調査地域の Duho 層は、上方に向い古水深が増している。したがって、Hagjeon 層の古水深には極端な地域差が存在しなかったが、Duho 層の古水深には浅海帯から中部漸深海帯下部程の地域差が認められた。

Jung (1993) は Hagjeon 層の最も深い古水深を中部漸深海帯下部としたが、Cheongogsa 層、Heunghae 層、Duho 層にかけても中部漸深海帯下部を超える古水深を示すことも無かった。浦項地域の中新統における古水深が最深でも中部漸深海帯下部の下限である水深 2,000 m (Akimoto, 1990) を超えていないことは、日本海拡大に伴う大陸地殻の沈降量を 2,000 m 以内とした山路・佐藤 (1989) の推定を支持する。

3. 水塊の挙動

浦項地域の中新統の堆積時の寒流系水塊の南下を、第5主成分の因子負荷量の分布から推定した(第11図)。寒流系中層水の影響が、浦項盆地北部に分布する Heunghae 層および中部に堆積した Cheongogsa 層、Hagjeon 層および Duho 層から産出した底生有孔虫化石群集に認められた。

Cheongogsa 層最上部の貝形虫群集は、*Acanthocythereis mutsuensis* を主体としている(Huh and Paik, 1992)。同論文は、同種が現在青森湾や黄海のように寒流の影響を受ける湾の 50 m から 80 m ぐらいに多産することから、中・下部浅海帯の冷温な海域を推定している。延日邑鶴田里に分布する Cheongogsa 層からも冷温帯の貝形虫群集が報告されている(Huh and Paik, 1993)。したがって、Cheongogsa 層の中

部から最上部が寒流系水塊の影響下で堆積したことが裏づけられた。これに対して、Cheongogsa 層下部から暖流系 *Vicarya-Anadara* 群集が産出し(Lee, 1992)、Cheongogsa 層中部(試料 CH 1)の底生有孔虫化石群集にも寒流の影響が認められない。Yamanoi (1992) は、Cheongogsa 層と Hagjeon 層境界付近に花粉化石 NP-2 帯と NP-3 帯の境界があり、気温の低下を報告している。したがって、Cheongogsa 層下部の暖流の流入後、同層中部堆積時に寒流系中層水塊の南下が始まったが、気候の低下はかなり遅れて同層最上部堆積以降に発生したと考えられる。さらに、Cheongogsa 層上部が CN 3-4 帯に、Heunghae 層基底が N 8 帯に対比されることから、この寒冷化の開始は N 8 帯と判断される。

Jung (1993) は、比較的強い暖流の影響を Hagjeon 層上部の下半部に認め、それ以外の Hagjeon 層は寒流の影響下で堆積したと結論づけている。今回、浦項地域南部の同層下部に寒流系中層水に関係する負の第5主成分因子負荷量が分布しないことは、Jung (1993) が指摘した寒流の影響がないことを裏づけている。

Duho 層最下部に産出した *Globorotalia quinifalcata* の生存期間は、N 8-10 帯である(米谷, 1978)。同論文によれば、本州の日本海側に分布する同時代の中中新統からは、暖流系浮遊性種である *Praeorbulina* 属、*Orbulina* 属、*Globorotalia peripheroronda* および *Globorotalia peripheroacuta* が随伴する。ところが、Hagjeon 層下部から Duho 層下部にかけて産出した浮遊性有孔虫化石群集は、これら暖流系浮遊性有孔虫種を共産せず、冷水系 *Globigerina praebulloides* を主とする単調な種構成である(Kim, 1965; Yoo, 1969)。これらのことから、中中新世初期における浦項地域は、寒流系水塊の影響を受けやすい状況にあったと推察される。これは、PY-1 坑井の底生有孔虫化石群集において、深度 310~350 m および 510~550 m に寒流系中層水種 *Stainforthia exilis tenuata* が多産することからも支持される。

4. 炭酸塩補償深度(CCD)の変動

Hagjeon 層および Duho 層の群集の変化を調べると、類似した石灰質有孔虫群集が産出し同一の深度に堆積した2試料の間に、粒子を有機物で結合した膠着質種だけで構成される群集が挟在する。盆地中部の3地域(試料 19~DU 09, HJ-1~20 および 92~98)の変化に着目し、古水深の変遷および低カルシウム濃度の時空分布の上に、全有孔虫に対する浮遊性有孔虫の割合(P/T ratio)、全底生有孔虫に対する膠着質有孔虫の割合(A/T ratio)、有機物で粒子を結合する膠着質有孔虫の割合(OCF/T ratio)を描いた(第12図)。

その結果、低カルシウム濃度の層準と後2者の高い値の層準は良く一致し、逆に浮遊性有孔虫の割合は0を示す。また、Hagjeon 層および Duho 層は、上部漸深海帯から中部漸深海帯下部で堆積した。この深度帯は、現世において全有孔虫に対する浮遊性有孔虫の割合(P/T ratio)が最も高くなる場所であり、その値は80%に達する(Akimoto, 1990; Akimoto and Torii, 1996)。ところが、両層の有孔虫化石群

集から得られた値は60%以下と極端に低く、通常と異なる海洋環境が想定される。とくに、Hagjeon 層ならびに Duho 層は、寒流系中層水の影響下で堆積していた。

海底の石灰質有孔虫と海水中の浮遊性有孔虫を同時に減らす原因を、古水深の急激な上下動に求めると、極めて短時間のうちに深海帯（秋元・長谷川，1989）に達する急激な変動を想定しなければならない。第2主成分の正の高い評点を有する石灰質有孔虫は、海水に炭酸カルシウムが不飽和な環境で殻を形成するので、炭酸カルシウム濃度の変動に関係する海水の化学的特性を検討した。

底生有孔虫化石群集が現在の西南日本沖太平洋の群集と共通性が高いことから、黒潮流域で冷水中層水の存在する場所に注目した。この現象は駿河湾（井上，1986）から熊野灘（坂本，1985）にかけて報告されている。

井上（1986）は、駿河湾に分布する *Stainforthia exilis tenuata* が卓越する群集を親潮潜流に付随する群集ととらえ、駿河湾湾奥の中～深層水の湧昇に関連づけている。ここでは、珪藻ならびに放散虫殻が多産し、陸棚斜面における全有孔虫に対する浮遊性有孔虫の割合は50%以下である。

熊野灘では黒潮流路の内側に中層水の湧昇流が発生するため基礎生産力が高く、内側（湧昇域）におけるそれは沖合いの5倍に達する（関口・野沢，1985）。さらに、溶存酸素極小帯の上限の水深が、黒潮の流路の沖合いで水深800mに対して、湧昇域で浅く（水深600m）になっている（坂本，1985）。したがって、湧昇流により多量に供給される有機物と海水中の酸素の消費に相関が認められる。さらに、湧昇域における水深ごとの海水のpHは常に沖側より低い。このことから、有機物の酸化に伴う有機酸の生成が推定され、浮遊性有孔虫および石灰質底生有孔虫の殻への影響が予想される。

熊野海盆（水深2,000m）における全有孔虫に対する浮遊性有孔虫の割合は60%以下であり、湧昇流の無い種子島沖海域の同じ水深における値（90%以上）に比べ極端に低い。これに対応するように、熊野灘では有機物で粒子を結合する膠着質有孔虫の割合が水深700m付近で増え始め、1,500m付近で全底生有孔虫の20%を占め、種子島沖海域より浅い水深で割合が高くなる。とくに、動物プランクトンの濃密分布域である伊勢湾湾口（関口・野沢，1985）に南接する地点から得られている試料 GH82-3-9（水深1,310m）では、全底生有孔虫に対する膠着質種の占める割合が60%を超え（有機物で粒子を結合するタクサが87%を占める）、全有孔虫に対する浮遊性有孔虫の割合も24%以下である（秋元，1999）。通常の場合における両者の水深は3,500mにあり（Akimoto，1990）、この試料では2,500mも浅い。したがって、冷水系中層水の湧昇流による多量の有機物の供給によって、海水のpHの低下が説明でき、全有孔虫に対する浮遊性および石灰質底生有孔虫の割合の減少、炭酸塩補償深度（CCD）の上昇も解釈できる。また、第2主成分の章で言及した化学合成貝化石群集以外にも、Hagjeon 層および Duho 層の多数の地点から同様の群集が産出する（Yoon，1975）。冷湧水生物群集が生息する場所のひとつに富栄養海域があり（増澤，1996）、湧昇流に起因する有機物の供給で前述の群集の存在も矛盾な

く説明できる。

この解釈を第12図に適用して、膠着質有孔虫群集が出現した層準を CCD が上昇した時期とみなした。この層準を挟む上位および下位の試料に産した石灰質底生有孔虫群集から得られた深度帯の中で、最深の深度帯を選んだ。各層準から選んだ最も深い深度帯の下限を、その層準における CCD の上限と判断した。右図に各層準で見積もられた CCD の層位的変化を表わした。浦項盆地の CCD の上限は、Cheongogsa 層では下部漸深海帯に、Hagjeon 層で最も浅い中部漸深海帯下部に、Duho 層で再び深くなり、下部漸深海帯に位置したと結論される。

結 論

1. Cheongogsa 層の年代は前期中新世末期、Heunghae 層、Hagjeon 層および Duho 層のそれは中期中新世初期である。

2. 浦項地域から産出した中新世底生有孔虫群集は、北西太平洋に分布する現世種と同一種も多く、現世のそれと近似した分布様式である。群集を構成する代表種のうち、*Ammonia beccarii pohangensis*、*Ammonia japonica* および *Elphidium etigoense* は浅海帯を、*Bolivina koreanica*、*Bolivina substriatula*、*Martinottiella communis*、*Oridorsalis umbonatus*、*Stainforthia exilis tenuata*、*Uvigerina segundoensis* および *Valvulineria asanoi* は上部漸深海帯から中部漸深海帯上部を、*Uvigerina proboscidea* は中部漸深海帯下部をそれぞれ特徴づける。

3. 浦項地域の中部中新統の堆積深度は、最も深い水深でも中部漸深海帯下部であり、Jung（1993）による Hagjeon 層の最深の古水深とはほぼ一致した。また、Hagjeon 層の堆積深度に極端な地域差がなかったが、Duho 層堆積時には浅海帯から中部漸深海帯下部程の水深の差異が認められた。

4. Cheongogsa 層下部の暖流の流入後、同層中部堆積時（N8 帯）に寒流系中層水塊の南下が始まった。

5. 浦項盆地の CCD の上限は、Cheongogsa 層では下部漸深海帯に、Hagjeon 層で最も浅い中部漸深海帯下部に、Duho 層で再び深くなり、下部漸深海帯に位置した。

謝 辞

京都大学尾池和夫教授には、大韓民国における野外調査の機会を与えていただいた。京都大学岡田篤正教授、東洋大学渡辺満久助教授ならびに愛知県立大学鈴木康弘助教授には、野外調査に際し多大なご助力をいただいた。大韓民国釜山大学校尹 銑教授には、調査の実施にあたり多大な便宜をいただいた。大韓民国教員大学校慶 在福助教授には現地でご討論いただいた。北海道大学岡田尚武教授にはナノ化石、熊本大学尾田太良教授には浮遊性有孔虫化石、地質調査所柳沢幸夫博士には珪藻化石、斎藤報恩会自然史博物館竹内貞子博士ならびに山形大学山野井 徹教授には緑藻類の休眠細胞の同定をお願いした。東北大学斎藤常正教授には浦項地域の坑井における浮遊性有孔虫層序についてお教えいただいた。北海道大学長谷川四郎助教授には草稿を読んでいただいた。以上

のかたがたに深く感謝致します。匿名の査読者と鳥海光弘編集委員長ならびに編集委員会の方々にも心よりお礼申し上げます。

本研究は、秋元が前任校（名古屋自由学院短期大学）において指導学生であった嬉野・杉浦とのゼミ研究を基に作成された。前任校における数多の研究上の困難を開闢するために、同僚から多大な支援をいただいた。ここに記して、名古屋自由学院短期大学の教職員諸氏に深く感謝申し上げます。

文部省科学研究費補助金（課題番号 06804027：代表尾池和夫教授）により野外調査を行い、平成 8 年度日本私学振興財団学術研究振興資金（代表秋元和實）および同財団特別補助（代表川村科子）を室内研究経費の一部に充てた。

文 献

- Akiba, F., 1986, Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. *In* Kagami, H., Karig, D.E., Coulbourn, W.T. and et al., *Initial Rep., DSDP*, 87, U.S. Govt. Print. Office, Washington, D.C., 393-481.
- Alve, E. and Murray, J.W., 1995, Experiments to determine the origin and paleoenvironmental significance of agglutinated foraminiferal assemblage. *In* Kaminski, M.A., Geroch, S. and Gasiński, M.A., eds., *Proceedings of the fourth international workshop on agglutinated foraminifera*, Grzybowski foundation special publ. no. 3, 1-11.
- Akimoto, K., 1990, Distribution of Recent benthic foraminiferal faunas in the Pacific off Southwest Japan and around Hachijojima Island. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser.*, 60, 139-223.
- 秋元和實, 1999, 遠州灘・熊野灘における現生底生有孔虫群集の分布と海洋環境. JAMSTEC 深海研究, no. 14, 389-410.
- 秋元和實・長谷川四郎, 1989, 日本近海における現生底生有孔虫群集の深度分布—古水深尺度の確立に向けて—. *地質学論集*, no. 32, 229-240.
- Akimoto, K. and Torii, M., 1996, Distribution of Recent benthic foraminiferal assemblages in the surface sediments of the Hyuganada area, off Kyushu and Shikoku, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 47, 41-59.
- 秋元和實・植松勝之・服部陸男・加藤千明, 1996, マリアナ海溝から発見された超深海性現世底生有孔虫群集. JAMSTEC 深海研究, no. 12, 271-281.
- Bender, H., 1995, Test structure and classification in agglutinated foraminifera. *In* Kaminski, M.A., Geroch, S. and Gasiński, M. A., eds., *Proceedings of the fourth international workshop on agglutinated foraminifera*, Grzybowski foundation special publ. no. 3, 27-70.
- Ben-Yaakov, S., 1973, pH buffering of pore water of recent anoxic marine sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 18, 86-94.
- Blow, W.H., 1969, Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *1st Int. Conf. Plankt. Microfossils, Geneva, Proc.* 1, 199-421.
- Choe, M.Y. and Chough, S.K., 1988, The Heunghae Formation, SE Korea; Miocene debris aprons in a back-arc intraslope basin. *Sedimentology*, 35, 239-255.
- Gradstein, F.M. and Berggren, W.A., 1981, Flysch-type agglutinated foraminifera and the Maestrichtian to Paleogene history of the Labrador and North Seas. *Mar. Micropaleontol.*, 6, 211-268.
- Greiner, G.O.G., 1969, Recent benthic foraminifera; environmental factors controlling their distribution. *Nature*, 223, 168-170.
- Greiner, G.O.G., 1970, Distribution of major benthic foraminiferal groups on the Gulf of Mexico continental shelf. *Micropaleontology*, 16, 83-101.
- Greiner, G.O.G., 1974, Environmental factors controlling the distribution of Recent benthic foraminifera. *Brevoria, Mus. Comp. Zool.*, 420, 1-35.
- 長谷川四郎, 1993, 底生有孔虫からみた日本の周辺海域の水温分布—新生代海洋構造の解明に向けて—. *化石*, no. 55, 17-33.
- 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*, no. 32, 240-253.
- 橋本 惇・藤倉克則・藤原義弘・谷島恵美・太田 秀・小島茂明・葉 信明, 1995, 遠州灘金洲ノ瀬におけるオオツキガイモドキとハオリムシ類を共優占種とする冷水湧出帯生物群集の観察. JAMSTEC 深海研究, no. 11, 211-217.
- 堀越増興, 1989, 巨大な深海性シロウリガイ類の特異な生態. *貝類*, 別巻 1, 59-74.
- Huh, M. and Paik, K.H., 1992, Miocene Ostracoda from the Pohang Basin, Korea. *Paleont. Soc. Korea, Spec. Publ.*, no. 1, 101-119.
- Huh, M. and Paik, K.H., 1993, A paleoenvironmental study on Ostracoda from the Miocene Chunbuk Conglomerate and Hakrim Formations in the Dounsang area, Pohang basin, Korea. *Jour. Korea Earth Sci. Soc.*, 14, 500-509.
- IGCP-114 National working group of Japan, 1981, Paleogeographic map of the Japanese Islands during 16-15 Ma, the Earliest Middle Miocene. *In* Tsuchi, R., ed., *Neogene of Japan—Its biostratigraphy and chronology—*, Kurofune Printing Co. Ltd., Shizuoka, 105-109.
- 井上洋子, 1986, 駿河湾堆積物中の有孔虫群集. *海洋科学*, nos. 18, 9, 101-119.
- Inoue, Y., 1989, North Pacific foraminifera as paleoenvironmental indicators. *Sci. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, Sec. B*, 10, 57-162.
- 糸魚川淳二, 1987, 西南日本および朝鮮半島の中新世前中期軟体動物化石群集. *島根大地質学研報*, no. 6, 29-38.
- Jung, K.K., 1993, Benthic foraminiferal assemblages and paleoenvironmental analysis of the Miocene in the Pohang basin, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 29, 464-476. (in Korean with English abstract)
- Jung, K.K. and Kim, J.-Y., 1994, Slump structures and depositional setting of the Hagjeon Formation in Yeonil area, Pohang basin. *Jour. Korean Earth Sci. Soc.*, 15, 304-316. (in Korean with English abstract)
- Kim, B.K., 1965, The stratigraphic and paleontologic studies on the Tertiary (Miocene) of the Pohang area, Korea. *Jour. Seoul Univ., Sci. Tech. Ser.*, 15, 32-121.
- 小杉正人・片岡久子・長谷川四郎, 1991, 内湾域における有孔虫の環境指標種群の設定とその古環境復元への適用. *化石*, no. 50, 109-115.
- Lee, Y.G., 1975, Neogene Diatoms of Pohang and Gampo areas, Kyeongsangbug-do, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 11, 187-214.
- Lee, Y.G., 1986, Micropaleontological study of Neogene strata of southeastern Korea and adjacent sea floor. *Jour. Paleont. Soc. Korea*, 2, 83-113.
- Lee, Y.G., 1992, Paleontological study of the Tertiary molluscan fauna in Korea. *Sci. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, Sec. B*, 13, 15-125.
- Loeblich, A.R., jr. and Tappan, H., 1988, *Foraminiferal genera and their classification*. Van Nostrand Reinhold Co. New York, 970 p.
- 間島隆一・館由紀子・柴崎琢自, 1996, 横浜市の上総層群から発見された現地性化学合成貝化石群集. *化石*, no. 61, 47-54.
- 米谷盛壽郎, 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. *日本の地質*, 35-60.
- 米谷盛壽郎・井上洋子, 1981, 新潟堆積盆地における中新統中下部の有孔虫化石群集と古地理の変遷. *化石*, no. 30, 73-78.
- 増澤敏行, 1996, 相模湾の“冷湧水”. *化石*, no. 60, 32-40.
- 野村律夫, 1986, 島根県中央部中新統の地質—その 2 底生有孔虫化

- 石群集について一. 地質雑, **92**, 461-475.
- Nomura, R., 1992, Miocene benthic foraminifera from the Bihoku Group: The geologic age of the Foram. Sharp Line in South-west Honshu and the relation to the opening of the Sea of Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **98**, 587-610.
- 尾田太良, 1978, 2. 試料処理と標本の作成, 1. 有孔虫・貝形虫. 高柳洋吉編「微化石研究マニュアル」, 朝倉書店, 34-46.
- 尾田太良, 1986, 新第三紀の微化石年代尺度の現状と問題点—中部および東北日本を中心として—. 北村 信教授記念地質学論文集, 297-312.
- 小笠原憲四郎・増田孝一郎, 1989, 東北地方新第三系貝類化石の古水深指標とその適用. 地質学論集, no. 32, 339-349.
- 坂本市太郎, 1985, 第14章 熊野灘Ⅲ化学. 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編「日本全国沿岸海洋誌」, 581-593.
- 関口秀夫・野沢 靖, 1985, 第14章 熊野灘Ⅳ生物. 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編「日本全国沿岸海洋誌」, 594-605.
- 多井義郎, 1963, 瀬戸内海・山陰新第三紀層有孔虫群の変遷と Foram. Sharp Line. 化石, no. 5, 1-7.
- Tsuchi, R., 1986, Mid-Neogene migration of Tethyan tropical mollusca and larger foraminifera into northern Japan. In McKenzie, K.G., ed., *Shallow Tethys* 2, 455-459.
- 山路 敦・佐藤比呂志, 1989, 中新世における東北本州弧の沈降運動とそのメカニズム. 地質学論集, no. 32, 339-349.
- Yamanoi, T., 1992, The playno-flora of early Middle Miocene sediments in the Pohang and Yangnam basins, Korea. In Ishizaki, K. and Saito, T., eds., *Centenary of Japanese Micropaleontology, contributed papers in honor of Prof. Yokichi Takayanagi*, Terra Sci. Publ. Company, Tokyo, 473-480.
- 安田尚登・高柳洋吉・長谷川四朗, 1985, NaTPB による硬質岩石分解放法—微化石研究のために—. 化石, no. 39, 17-19.
- Yoo, E.K., 1969, Tertiary foraminifera from the PY-1 Well, Pohang basin, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, **5**, 269-283.
- Yoon, S., 1975, Geology and paleontology of the Tertiary Pohang basin, Pohang district, Korea. Part 1. *Geology. Jour. Geol. Soc. Korea*, **11**, 187-214.
- Yoon, S., 1976, Geology and paleontology of the Tertiary Pohang basin, Pohang district, Korea. Part 2. Paleontology (Mollusca). *Geology. Jour. Geol. Soc. Korea*, **12**, 63-78.
- Yoon, S., 1992, Paleoenvironmental change of the Tertiary Yangnam and Pohang basins of the southern Korean Peninsula. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no. 37, 117-124.
- You, H.S., Koh, Y.K. and Kim, J.Y., 1986, A study on the nannoplankton from the Neogene formation, Pohang, Korea. *Jour. Paleont. Soc. Korea*, **2**, 137-154.

(要 旨)

秋元和實・嬉野みひろ・杉浦麻紀・入月俊明・山路 敦・鄭 圭積・李 年揆, 1999, 中新世底生有孔虫群集による大韓民国南東部浦項地域の古環境復元. 地質雑, **105**, 391-409. (Akimoto, K., Ureshino, M., Sugiura, M., Irizuki, T., Yamaji, A., Jung, K.K. and Lee, Y.G., 1999, Paleoenvironment reconstructed by the Miocene benthic foraminiferal assemblages in the Pohang area, Southeast Korea. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **105**, 391-409.)

大韓民国南東部浦項地域に分布する中新統の古環境を、底生有孔虫群集に基づき解析した。Qモード主成分分析の結果、第1主成分は各底生有孔虫種の産出頻度、第2主成分は海水の炭酸カルシウム濃度、第3主成分は沿岸水の影響の程度、第4主成分は中層水と深層水、第5主成分は寒流水塊の影響、第6主成分は中層水と表層水に関係している。

主成分分析の結果と現在の西南日本沖太平洋の海洋環境から、中新統の堆積環境を推定した。北部地域の Heunghae 層は中部漸深海帯下部で堆積した。中部地域の Cheongogsa 層中部の堆積深度は上部漸深海帯から中部漸深海帯上部であった。Cheongogsa 層最上部は中部漸深海帯下部に、Hagjeon 層は上部漸深海帯から中部漸深海帯上部で堆積した。Duho 層下部の古水深は上部漸深海帯から中部漸深海帯下部である。南部地域に分布する Hagjeon 層は上部漸深海帯から中部漸深海帯上部にて堆積し、中部漸深海帯下部まで深くなったこともあった。Cheongogsa 層中部 (N8 帯) 以降、寒流水塊の影響が認められた。