

<Short Note>

제주도 서귀포층에서 산출된 백상아리 이빨

이용남[‡] · 이항재 · 황재하
한국지질자원연구원 국토지질연구본부

요 약

제주도 서귀포층에서 척추동물 화석을 처음으로 기재한다. 발견된 화석은 백상아리(*Carcharodon carcharias*)의 이빨이며 최소한 41만년 전에 제주도 연해에 백상아리가 서식했음을 지시한다. 이 화석이 포함된 퇴적층이 쌓이던 시기의 제주도 연안의 해수 온도는 약 14~23°C 정도로 따뜻했음을 알 수 있다.

주요어: 제주도, 서귀포층, 백상아리, 이빨

Yuong-Nam Lee, Hang-Jae Lee and Jae-Ha Hwang, 2014, Great white shark tooth from the Seogwipo Formation, Jeju Island. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 5, p. 643-647

ABSTRACT: A vertebrate fossil is described for the first time from the Seogwipo Formation, Jeju Island. It is an isolated tooth of a great white shark (*Carcharodon carcharias*), indicating that great white sharks lived in the nearshore of Jeju Island more than 410,000 years ago. This discovery suggests that the sea surface temperature (SST) was warm (14~23°C) when the shark tooth bearing unit was deposited in Jeju Island.

Key words: Jeju Island, Seogwipo Formation, great white shark, tooth

(Yuong-Nam Lee, Hang-Jae Lee and Jae-Ha Hwang, Geological Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Republic of Korea)

1. 서 론

천연기념물 제195호(제주 서귀포층 패류화석 산지)로 지정되어 있는 서귀포층은 제주도 서귀포시 천지연 폭포입구에서 서쪽으로 남성리 해안절벽을 따라 약 1.5 km, 약 40 m 두께로 노출되어 있다. 1923년 이 지역에서 연체동물 화석이 발견된 후(Yokoyama, 1923), 1931년 일본인 학자 Haraguchi에 의해 서귀포층으로 명명되었다(Haraguchi, 1931). 그 후 한국인 학자들에 의해 서귀포층을 대상으로 다양한 고생물학 연구가 진행되어왔다. 이 층에서 연구된 화석들은 유공충(Kim, 1972; Li *et al.*, 1999; Kang, 2003), 연체동물(Yoon, 1988), 개형충(Paik and Lee, 1986; Lee, 1990), 생흔화석(Kim and Heo, 1995), 그리고 초미화석(You *et al.*, 1987; Yi *et al.*, 1998) 등 무척추동물 화석들이다.

서귀포층의 지질시대는 위의 학자들이 연구한 저서성 유공충과 연체동물 화석에 의해 후기 플라이오세에서 후기 플라이스토세로, 초미화석에 의해서는 Nannofossil Zone NN19에 대비되어 후기 플라이오세에서 전기 플라이스토세로, 부유성 유공충에 의해서는 late N22 Zone에 대비되어 중기 플라이스토세보다 오래된 것으로 해석되었다. 고지자기 연구결과는 3건이 모두 일치하지 않지만(Min *et al.*, 1986, Yun *et al.*, 1987; Kim and Lee, 2000) 서귀포층을 피복하고 있는 조면안산암의 K-Ar연대는 41만년으로 보고되었다(Lee *et al.*, 1988). 따라서 서귀포층의 형성연대는 위의 모든 연구 결과를 포함하면 후기 플라이오세부터 중기 플라이스토세(3.59 Ma~0.41 Ma)까지의 시기이다.

서귀포층에서 척추동물 화석의 발견은 1931년 Haraguchi에 의해 처음 문헌에 언급되었다. 그는 서귀포층에서 처음으로 상어이빨의 존재를 확인하고

[‡] Corresponding author: +82-42-868-3284, E-mail: ylee@kigam.re.kr

*Carcharodon megalodon*으로 분류하였다(Haraguchi, 1931, p. 6). 문헌상에 이 화석에 대한 기재와 사진, 수장에 대한 내용이 없기 때문에 현재 이 표본을 확인하기는 불가능하다. 김봉균은 서귀포층에서 고래 골격의 발견을 언급하였으나 이 표본의 소재 역시 불명확하다(Kim, 1972, p. 192). 따라서 서귀포층에서 상어이빨 화석과 고래 골격의 존재는 인지되었지만 지금까지 척추동물 화석에 대한 공식적인 기재는 이루어진 적이 없다.

2012년 8월 태풍 덴빈과 볼라벤의 영향으로 남성리 해안절벽이 많이 붕괴되어 새로운 노두들이 노출됨에 따라 한국지질자원연구원은 2012년 12월 문화재청의 허락을 받아 지질박물관 전시용으로 사용할 서귀포층 연체동물 화석을 채취하기 위한 야외조사를 실시하였다. 이 과정에서 생물교란 역질사암 층준(Unit X, Yoon and Chough, 2006; Sohn and Yoon, 2010)에 박혀있는 상어이빨 화석 한 점을 발견하여 채집하였다(KIGAM VP 201201, 그림 1). 따라서 본 논문의 목적은 서귀포층에서 발견된 상어이빨 화석에 대한 고생물학적 기재와 이 화석이 갖는 고생태학적 의미를 제시하는 것이다.

2. 기재

수집된 이빨은 이빨뿌리(root)가 없이 치관(crown)만 보존되어 있다(표본번호 KIGAM VP 201201, 그림 2). 전체적인 치관의 형태는 삼각형이며 입안바깥쪽으로(labiolingually) 납작하다. 교두(cusp)는 폭이 넓고 소교두(cusplet)는 발달하지 않는다. 보존된

치관의 높이는 31.3 mm이고 최대 폭은 29.5 mm이다. 치관은 비대칭이며 대칭선을 중심으로 7° 기울어져 있다. 입 안쪽면(lingual side)은 치관의 대칭선을 향해 약간 볼록하지만 입 바깥쪽면(labial side)은 편평하며 치관의 대칭선 부분은 약간 오목하다. 이 부분에는 수직능선(longitudinal ridges)들이 약하게 발달한다. 수직능선은 이빨뿌리와 접촉하는 치관의 기저부에서 강하게 발달하기 때문에 본 표본의 치관 기저부는 보존되지 않았음을 지시한다. 치관의 앞뒷날(mesial and distal edges)에는 미세한 톱니돌기(serrations)들이 발달한다. 옆에서 보았을 때 뒷날은 앞날에 비해 기저부에서 더 오목한 곡률을 보인다. 보존된 톱니돌기의 수는 앞날과 뒷날이 각각 22개와 15개이며 각 톱니돌기의 크기와 간격은 불규칙하다. 1 cm당 톱니돌기의 개수는 앞뒷날 중간 부분에서 앞날은 10개, 뒷날은 8개이다.

현대상어류(modern sharks)는 Subdivision Selachimorpha에 속하는 연골어류이지만 그 상위분류인 Subclass Elasmobranchii의 멸종된 종들에 대해서도 일반적으로 “상어” 그룹이라 불려왔다. 이러한 광범위한 의미에서 가장 오래된 “상어” 종인 *Doliodon problematicus*는 캐나다 전기 데본기 지층에서 발견되었다(Miller *et al.*, 2003). 그 후 고생대 후기와 중생대에 다양한 고대상어류가 진화하였지만 모두 멸종하였고 신생대에는 Superorder Galeomorphi와 Squalomorphi만이 진화하였다(Benton, 2005). 이들 그룹 중 소교두가 없고, 치관이 굽어져있지 않으며, 톱니돌기가 발달하고 넓적한 삼각형의 치관을 가진 이빨은 *Carcharodon* 속(屬)의 특징이다. *Carcharodon* 속



Fig. 1. The Seogwipo Formation at Namseong-ri coastal cliffs, Jeju Island (photos taken on December 13th, 2012). (a) Outcrop, (b) KIGAM VP 201201 *in situ* when it was found.

에는 현재 4종이 알려져 있는데 이들은 이미 멸종한 *Carcharodon (Cosmopolitodus) hastalis* (Agassiz, 1843), *C. hubbelli* (Ehret et al., 2012), *C. megalodon* (Agassiz, 1843), 그리고 현생 종인 *C. carcharias* (Linnaeus, 1758) 이다.

C. carcharias (백상아리)는 후기 마이오세에 태평양에서 기원하여 오늘날까지 생존하는 것으로 알려져 있다(Ehret et al., 2012). *C. carcharias*의 이빨은 입안 바깥쪽으로 납작한 삼각형의 치관과 상당히 높은 뿌리를 갖고 있고 뿌리와 치관은 좁은 반흔(Scar)으로 구분되는 형태를 보인다. 또한 톱니돌기들은 크기와 간격이 불규칙하며 치관의 입 안쪽면은 약간 볼록하지만 입 바깥쪽면은 편평하다(Cappetta, 1987). 비록 뿌리 부분은 보존되지 않았지만 KIGAM VP 201201 치관의 특징들은 *C. carcharias* 치관의 특징

들과 잘 일치한다. *C. hubbelli*는 *C. carcharias*의 직계 조상으로 페루의 후기 마이오세층에서 발견되었는데 이빨의 톱니돌기는 *C. carcharias*보다 덜 발달해 있으며 더 원시적인 *Carcharodon (Cosmopolitodus) hastalis* (Agassiz, 1843)는 톱니돌기가 발달하지 않는다(Ehret et al., 2009). 서귀포층은 마이오세층보다 젊은 층이기 때문에 KIGAM VP 201201가 *C. hubbelli*일 가능성은 없으며 톱니돌기가 발달하지 않은 *C. (Cosmopolitodus) hastalis*와도 쉽게 구별된다. 현재 *C. megalodon*의 분류는 계통발생학적 해석에 따라 *Carcharodon*의 한 종으로 보는 견해와 Otodontidae에 속한 *Carcharocles megalodon*으로 분류하는 견해로 양분되어 있다(Pimiento et al., 2010). *C. megalodon*은 후기 올리고세부터 후기 플라이오세까지 생존하였으며(Gottfried and Fordyce, 2001; Yabe et al., 2003) 화석으로 남은 가장 큰 이빨

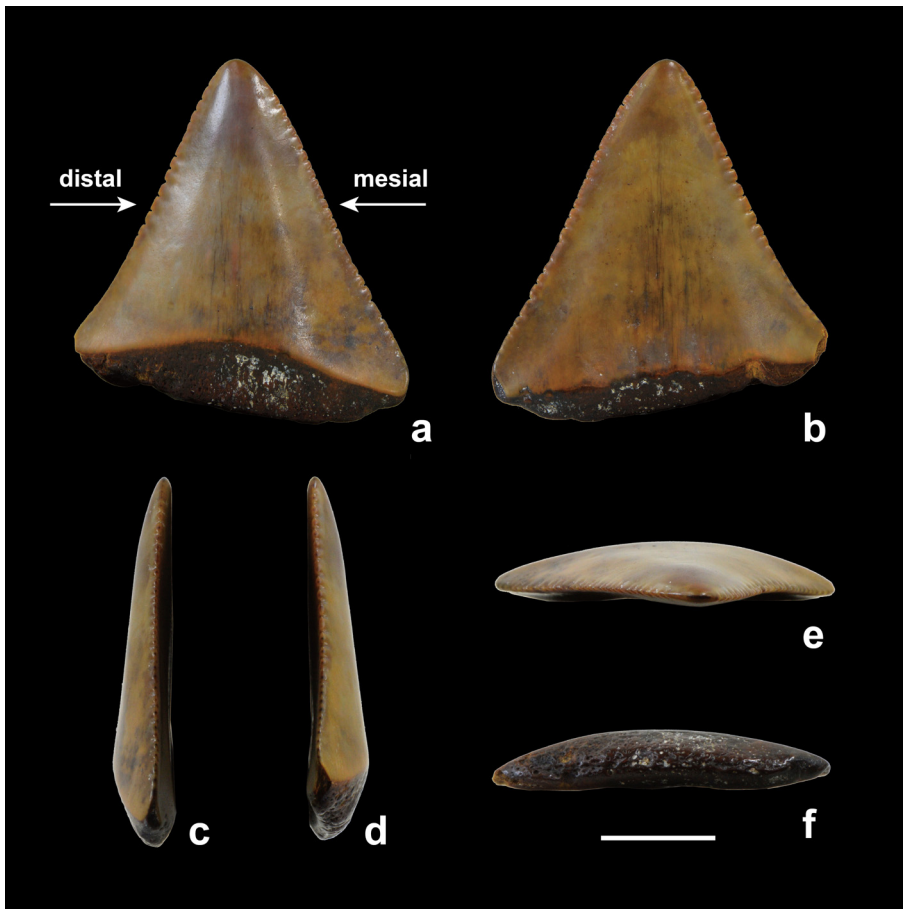


Fig. 2. *Carcharodon carcharias* (KIGAM VP 201201). (a) in lingual view, (b) in labial view, (c) in mesial view, (d) in distal view, (e) in apical view, (f) in basal view. Scale bar equals 10 mm.

(사선 길이 약 180 mm)은 그 어떤 상어의 이빨보다도 크다(Renz, 2002). *C. megalodon*의 이빨은 *C. carcharias*처럼 삼각형의 치관을 갖고 있지만 보통 커다란 크기와 입안바깥쪽으로 매우 두꺼운 치관의 형태로 쉽게 구별되며 뿌리와 치관 사이에 넓은 V자 형태의 chevron (에나멜이 없는 반흔)이 독특하게 존재한다. 또한 *C. megalodon*의 톱니돌기들은 매우 미세하며 규칙적으로 배열되어있어 *C. carcharias*의 것과 구별된다(Nyberg *et al.*, 2006). 따라서 서귀포층에서 발견된 KIGAM VP 201201은 *C. carcharias*로 분류한다. KIGAM VP 201201은 분리된 이빨이기 때문에 정확한 위치는 알 수 없지만 비대칭의 치관을 가진 것으로보아 anterior tooth 보다는 lateral tooth일 가능성이 높다. 또한 일반적으로 상악치의 치관은 하악치의 치관에 비해 덜 휘어지고, 더 납작하기 때문에 KIGAM VP 201201은 상악치로 판단된다(Applegate and Espinosa-Arrubarrena, 1996).

3. 토 의

상어의 이빨은 지속적으로 생성되고 빠진다. 보통 한 개체가 평생 동안 수천 개의 이빨갈이를 한다. 상어이빨의 치관은 법랑질로 싸여있기 때문에 화석화가 용이한 반면 연골어류인 상어의 몸뼈는 화석으로 남겨지는 경우가 드물다. 상어 이빨은 해양 퇴적층에서 화석으로 매우 흔히 발견되기 때문에 화석기록은 주로 이빨 화석에 의존한다.

KIGAM VP 201201의 기저부면은 법랑질(enamel)로 덮인 다른 부분과 달리 상아질(dentine)이 드러나 있다. 매끈하게 마감된 상아질의 형태로 보아 오랜 기간 바닷물 속에서 침식작용을 받았음을 알 수 있다. KIGAM VP 201201이 발견된 Unit X는 폭풍 쇄류에 의해 쌓인 골편뱅크(skeletal bank) 퇴적층으로 폭풍 후 조류나 해파에 의한 재동작용을 받은 것으로 해석되었다(Yoon and Chough, 2006). 따라서 KIGAM VP 201201은 제주 연해에 서식한 백상아리에서 분리된 이빨이 해저바닥에 있다가 폭풍에 의해 골편뱅크로 이동하여 재동되는 과정에서 다른 패류화석들과 함께 퇴적된 것으로 판단된다.

현생 백상아리는 아열대지역 모든 대양에서 해수면의 온도가 ~14-23°C 인 얇은 바다(<100 m)에 주로 서식한다(Curtis *et al.*, 2014). 서귀포층에서 백상아리

이빨화석이 발견된 것은 서귀포층 상부가 퇴적되는 동안 온난한 기후였다는 이전의 연구 결과(Park *et al.*, 1994; Yi *et al.*, 1998; Kang, 2003)와도 잘 일치한다. 끝으로, Haraguchi가 1931년 기록한 *C. megalodon*은 서귀포층의 시대를 한정하는데 도움을 줄 수도 있다. 그의 분류가 정확했다면 서귀포층의 시대는 후기 플라이오세로 한정될 것이며 만약 서귀포층의 시대가 플라이스토세로 한정된다면 그 표본은 *C. carcharias*를 *C. megalodon*로 잘못 분류하였을 가능성이 있다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 주요사업인 “지질과학 콘텐츠 연구를 통한 지질자원 지식확산과 교육 콘텐츠 개발” 과제의 일환으로 수행되었다. 심사를 해주신 양승영 교수님, 허민 교수님, 익명의 심사위원, 그리고 이동찬 편집위원께 감사드린다. 끝으로 천연기념물 제195호 “제주 서귀포층 패류화석 산지”의 연구를 허락해준 문화재청 담당자에게 감사한다.

REFERENCES

- Agassiz, L., 1843, Recherches sur les Poissons fossiles, Tome 3. Imprimerie de Petitpierre, Neuchatel, 390 p.
- Applegate, S.P. and Espinosa-Arrubarrena, L., 1996, The fossil history of *Carcharodon* and its possible ancestor, *Cretolamna*: a study in tooth identification. In: Klimley, A.P. and Ainley, D.G. (eds.), Great white sharks: the biology of *Carcharodon carcharias*. Academic Press, San Diego, California, 19-47.
- Benton, M.J., 2005, Vertebrate Paleontology (3rd Edition). Blackwell Publishing, Oxford, UK, 455 p.
- Cappetta, H., 1987, Chondrichthyes 2. Mesozoic and Cenozoic elasmobranchii. In Handbook of Paleichthyology, Vol. 3B. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, Germany, 193 p.
- Curtis, T.H., McCandless, C.T., Carlson, J.K., Skomal, G.B., Kohler, N.E., Natanson, L.J., Burgess, G.H., Hoey, J.J. and Pratt, Jr, H.L., 2014, Seasonal distribution and historic trends in abundance of white sharks, *Carcharodon carcharias*, in the western North Atlantic Ocean. PLoS ONE, 6, e99240.
- Uhret, D.J., Hubbell, G. and MacFadden, B.J., 2009, Exceptional preservation of the white shark *Carcharodon* (Lamniformes, Lamnidae) from the Early Pliocene of Peru. Journal of Vertebrate Paleontology, 29, 1-13.
- Uhret, D.J., MacFadden, B.J., Jones, D.S., Devries, T.J., Forster, D.A. and Salas-Gismondi, R., 2012, Origin of

- the white shark *Carcharodon* (Lamniformes: Lamnidae) based on recalibration of the Upper Neogene Pisco Formation of Peru. *Palaeontology*, 55, 1139-1153.
- Gottfried, M.D. and Fordyce, R.E., 2001, An associated specimen of *Carcharodon angustidens* (Chondrichthyes, Lamnidae) from the Late Oligocene of New Zealand, with comments on *Carcharodon* interrelationships. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 21, 730-739.
- Haraguchi, K., 1931, Saishu volcano. *Bulletin of the Geological Survey of Chosen (Korea)*, 10, 1-12.
- Kang, S., 2003, Benthic foraminiferal biostratigraphy and paleoenvironments of the Seogwipo Formation, Jeju Island, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 19, 63-153.
- Kim, B.K., 1972, A stratigraphic and paleontologic study of the Seowipo Formation. The memoirs for professor Chi Moo Son's sixtieth birthday, 169-187 (in Korean with English abstract).
- Kim, I.-S. and Lee, D., 2000, Magnetostratigraphy and AMS of the Seogwipo Formation and Seogwipo trachyte of Jeju Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 36, 163-180 (In Korean with English abstract).
- Kim, J.Y. and Heo, W.H., 1995, Paleoenvironmental implications of sedimentary structures and trace fossils from the Seogwipo Formation, Jeju Island, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 16, 232-246 (in Korean with English abstract).
- Lee, D.Y., Yun, S.K., Kim, J.K. and Kim, Y.J., 1988, Quaternary geology of the Cheju Island. Report KR87-29, Korea Institute of Energy and Resources, 233-278 (In Korean with English abstract).
- Lee, E.H., 1990, Pleistocene ostracoda from the marine sedimentary strata of the Cheju Island, Korea. Unpublished Ph.D. Thesis, Korea University, 400 p.
- Li, B., Park, B.-K., Kim, D. and Woo, H.J., 1999, The geological age and paleoenvironment of the lower Seogwipo Formation, Cheju Island, Korea. *Geosciences Journal*, 3, 181-190.
- Linnaeus, C., 1758, *Systema naturæ per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus I. Editio decima, reformata*, 824 p.
- Miller, R.F., Cloutier, R. and Turner, S., 2003, The oldest articulated chondrichthyan from the Early Devonian period. *Nature*, 425, 501-504.
- Min, K.D., Won, J.K. and Hwang, S.Y., 1986, Paleomagnetic study on the volcanic and sedimentary rocks of Jeju Island. The journal of Korean Institute of Mining Geology, 19, 153-163 (in Korean with English abstract).
- Nyberg, K., Ciampaglio, C.N. and Wray, G.A., 2006, Tracing the ancestry of the great white shark, *Carcharodon carcharias*, using morphometric analyses of fossil teeth. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26, 806-814.
- Paik, K.H. and Lee, E.H., 1986, Ostracode fauna from the Seogwipo Formation, Cheju Island. The memoirs for professor Bong-Kyun Kim's retirement, 375-389.
- Park, B.-K., Lee, E.-H. and Lee, K.-S., 1994, Stable isotopic compositions of ostracods in the Seogwipo Formation, Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 30, 153-158 (in Korean with English abstract).
- Pimiento, C., Ehret, D.J., MacFadden, B.J. and Hubbell, G., 2010, Ancient nursery area for the extinct giant shark *Megalodon* from the Miocene of Panama. *PLoS ONE*, 5, e10552.
- Renz, M., 2002, *Megalodon: hunting the hunter*. Paleo Press (3rd Edition), Lehigh Acres, Florida, 170 p.
- Sohn, Y.K. and Yoon, S.-H., 2010, Shallow-marine records of pyroclastic surges and fallouts over water in Jeju Island, Korea, and their stratigraphic implications. *Geology*, 38, 763-766.
- Yabe, H., Goto, M. and Kaneko, N., 2003, *Carcharocles megalodon* (Lamniformes: Otodontidae): a review of the stratigraphic records. *Fossils*, 75, 7-15 (In Japanese with English abstract).
- Yi, S., Yun, H. and Yoon, S., 1998, Calcareous nannoplankton from the Seogwipo Formation of Cheju Island, Korea and its paleoceanographic implications. *Paleontological Research*, 2, 253-265.
- Yokoyama, M., 1923, On some fossil shells from the Island of Saishu in the strait of Tsushima. *Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo*, 44, 1-9.
- Yoon, S., 1988, The Seogwipo molluscan fauna of Jeju Island, Korea. Saito Ho-on Kai Special Publication (Professor T. Kotaka Commemorative volume), 539-545.
- Yoon, S.-H. and Chough, S.-K., 2006, Sedimentary facies and depositional environment of the Seogwipo Formation, Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 1-17 (In Korean with English abstract).
- You, H.S., Hoh, Y.K. and Kim, J.Y., 1987, Nannofossils from the Seogwipo Formation in Cheju Island, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 3, 108-121.
- Yun, S.K., Han, D.S. and Lee, D.Y., 1987, Quaternary geology in the southern part of Jeju Island. Report KR-86-2-(B)-2, Korean Institute of Energy and Resources, 64 p (in Korean).

투 고 일 : 2014년 7월 28일
 심사 일 : 2014년 7월 29일
 심사완료일 : 2014년 9월 11일