

제주 김녕사구의 형성기와 고정기에 관한 연구

박 경* · 박지훈**

A Study on Dune-building Periods and Soil-forming Periods of Gimnyeong Sanddune Area

PARK, Kyeong* · PARK, Ji-Hoon**

요 약 : 본 연구는 제주시 구좌읍에 위치한 김녕사구의 층상해석 특히 사구 퇴적층을 구성하고 있는 풍성기원의 사층과 그 속에 끼어있는 흑색사질부식층과의 교호관계에 주목하여 해안사구의 형성기와 고정기를 고찰하였다. 연구 결과, 노두 관찰의 결과 3매의 사층과 사층에 끼어있는 매몰고토양층인 흑색사질부식층이 2매 인정되며, 흑색사질부식층은 다시 2개의 아층으로 세분된다. 그리고 2매의 흑색사질부식층은 굴곡이 있지만 밴드(Band) 형태로 연속된 층서를 나타낸다. 김녕사구 퇴적층의 형성시기와 형성환경을 보면, 하부사층의 퇴적은 6,200yrBP경에 종료되었다. 그리고 하부 흑색사질부식층은 약 6,200yrBP~1,400yrBP의 어느 시기, 중부사층은 약 1,400yrBP경 전후, 층상학적으로는 하부 흑색사질부식층 형성기와 상부 흑색사질부식층 형성기 사이의 어느 시기에 형성되었다. 김녕사구에서 상부와 하부의 흑색사질부식층이 형성될 당시에 주위의 구릉 또는 산지 하부에서는 상록성 삼림이 우점했으며, 지금과 유사한 난대성 기후였다. 또한 김녕사구는 적어도 약 6,200yrBP 이후~현재에 이르기까지 사구 발달 과정에 있어서 최소 3회의 사구 형성기(6,200yrBP 이전, 1,400yrBP경 전후, 상부 흑색사질부식층(O_{2b})~최근의 어느 시기)와 2회의 사구 고정기(약 6,200yrBP~1,400yrBP의 어느 시기, 중부사층 형성기~상부사층 형성기의 어느 시기)가 존재하였다. 이러한 연구는 제주도, 더 나아가 한반도 서해안 일대의 홀로세 동안의 고해수면을 비롯한 해수면 변동곡선의 복원에 도움이 될 것으로 판단된다.

주요어 : 해안사구, 흑색사질부식층, 해수면 변동, 김녕사구, 고해수면기, 홀로세

Abstract : This study aims to determine the time line between the unstable dune-building periods and stable soil-forming periods by the investigation of relationship between unaltered sand layer and dark humus-rich layer. Research findings are as follows: firstly, three layers of sands and two layers of humus rich layers can be recognized. Humus-rich layers form continuous band shape. Secondly, bottom sand layer was deposited some time before 6,200yrBP. Bottom humus-rich layer had been formed between 6,200yrBP and 1,400yrBP, and middle sand layer had been formed around 1,400yrBP sometime between the formation of bottom and upper humus-rich layer. Both humus-rich layers had been formed when evergreen trees dominated the surrounding hills. Also, there were at least three dune building periods and two stable or dune-fixing periods, which represented the Holocene high stand. This study can be useful to reconstruct the sea-level change curve during the Holocene.

Key Words : coastal sand dunes, humus-rich layer, sea level change, Gimnyeong sanddune, high stand, Holocene

* 성신여자대학교 사회과학대학 지리학과 조교수 및 한국지리연구소 소장(Assistant Professor, Dept. of Geography, Sungshin Women's University), kpark97@sungshin.ac.kr

** 교신저자, 공주대학교 사범대학 지리교육과 부교수(Associate Professor, Dept. of Geography Education, Kongju National University), pollenpjh@kongju.ac.kr

I. 서론

1. 연구목적

해안사구는 해수면의 변화에 민감하게 반응하며, 세계적으로 많은 홀로세의 사구들이 모래의 이동이 활발한 형성기와 사구의 안정에 따른 토양형성기로 중단되는 단계별 사구 활동이 이루어지면서 발달한 것으로 알려져 있다(Muckersie, C.과 M. J. Sheperd, 1995; Klijn, J. A., 1990). 일본에서의 연구에서는 기온의 하강과 더불어 해수면이 낮아지고 이로 인하여 해안선이 후퇴하게 되면, 바람에 의해 모래가 날려 사구가 형성된다고 보고되었다(阪口, 1983; 海津, 1994). 전진하는 사구에 의해 매몰된 식생으로부터 도출된 연대는 언제 사구지대가 활동적이었는지를 알려주는 지표가 되지만, 해안선으로부터 멀리 떨어진 거리에 있는 사구의 경우는 유기물 퇴적물과 사구의 형성기 사이에 시간적 간격이 있을 수도 있다(Muckersie, C.과 M. J. Sheperd, 1995).

풍성사 기원의 해안사구는 단순히 광물질로만 구성되어 있는 것은 아니다. 일반적으로 기온이 상승하여 해수면이 상승하게 되면, 사구형성의 모체가 되는 모래의 공급은 감소하거나 중지되고 사구 표면에는 식물들이 무성하게 자라게 되는데 이들이 추후 흑색의 부식질 형태로 바뀌어 사구 퇴적층 속에 흑색사질부식층(black humus sand)을 남기기 때문이다. 이와 같이 사구 속에 끼어있거나 사구 위를 덮고 있는 고토양인 부식층은 과거 사구를 식생이 덮어 사구가 고정되어 있었다는 것을 지시한다(町田 외, 1988).

본 연구의 주 목표는 우리나라 제주도 북부해안의 김녕사구에서 사구 퇴적층을 구성하고 있는 풍성기원의 사층과 그 속에 끼어있는 흑색사질부식층과의 교호관계에 주목하여 해안사구의 형성기와 고정기를 간략하게 논하고자 하는데 있다. 이를 위하여 김녕사구의 흑색사질부식층에 주목하여 사구 퇴적층의 층상해석을 행하였다. 그리고 김녕사구의 사층에 대한 OSL 분석 결과치(박경·손일, 2007)를 바탕으로 흑색사질부식층의 형성개시 및 종료시기를 정하였으며, 흑색사질

부식층의 화분분석 결과(박지훈·박경, 2009)를 바탕으로 매몰부식층이 형성될 당시의 삼림 및 기후 환경에 대하여 추정하였다.

본 연구는 우리나라에서 최초로 사구 퇴적층을 구성하고 있는 사층과 흑색사질부식층과의 교호관계에 주목하여 해안사구의 형성과정 특히 사구의 형성기와 고정기를 논했다는 점에서 그 의의가 있다.

2. 기존연구 고찰

일본에서는 이미 1940년대 후반부터 흑색사질부식층을 하나의 수단으로 하여 사구의 형성에 관한 연구가 심도있게 진행되어 왔다(川田, 1947; 小笠原, 1951; 市瀬, 1962; 豊島·赤木, 1965; 遠藤, 1969). 일본에서의 연구주제는 크게 흑색사질부식층의 형성시기를 밝히는 연구(豊島·赤木, 1965; 遠藤, 1969)와 흑색사질부식층의 원인을 구명하는 연구(藤, 1975; 竹部·成瀬, 1998)로 구분된다. 연구 결과, 일본에서 縄文時代 중기부터 弥生時代 말에 걸쳐서(약 3,500~1,800yrBP), 일본 각지의 해안사구에서 사구가 고정되어 약 30cm 두께의 흑색사질부식층이 형성된 것으로 밝혀졌다. 그리고 홀로세의 사구 중에서 이 흑색사질부식층 보다 오래된 사구를 구(舊)사구, 젊은 사구를 신(新)사구라고 부르지만, 사구의 짧은 변화양상의 주기는 이것 이상으로 몇 번이 인정되기도 하였다(遠藤, 1969; 町田 외, 1988). 일본에서 해안사구의 매몰고토양인 흑색사질부식층에 관한 주요 연구 성과는 다음과 같다.

山形県の 庄内사구에서는 10~수십cm 두께의 갈색~흑색을 띠는 흑색사질부식층이 많이 관찰되었다(松本, 1991; 成田·松本, 2000). 角田清美(1975)는 사구의 형태와 분포에 주목하였는데, 庄内사구는 5개의 사구열로 구성되어 있으며, 각각의 사구열은 시간의 차이를 두고 형성되었다고 주장하였다. 특히 角田清美(1975)는 고고유물이 포함된 3매의 흑색사질부식층의 형성시기를 각각 4,000년 이전, 3,500년~1,500년(또는 1,000년) 이전, 16세기로 추정하였다.

福井현의 三里浜사구에서도 구사구 퇴적물과 신사구 퇴적물과의 경계부에 약 30~50cm 두께의 흑색사질부식층이 2매 있는 것으로 조사되었다. 연대측정과

화분분석에 의하면, 흑색사질부식층은 각각 약 1,800~2,300yrBP와 약 3,400yrBP경에 형성되었으며, 쑥속(*Artemisia*) 화분이 약 50% 정도로 가장 높게 출현하며, 그 외 오리나무속(*Alnus*) 등도 검출되었다(三浦, 1992). 三浦(1992)에 의하면, 三里浜사구의 형성 과정은 다음과 같다. 三里浜사구 지역은 홀로세의 縄文海進의 최성기(Post-glacial Optimum)를 지나면서 해수면이 점차 낮아지기 시작하여 평야부에서는 중부니층 위에 상부사층이 퇴적되었으며, 이 상부사층은 주로 조립사로 구성되어 있는데 해안부에서 구사구의 사층을 만들게 되었다. 그리고 구사구가 형성된 후 사구형성이 중단되고(縄文後期-弥生期) 구흑색사질부식층이 형성되었다. 이어서 다시 사구형성이 시작되어 구사구 위에 새로운 사구가 중첩되어 현재의 三里浜사구를 형성하였다.

鳥取사구에서도 시대가 다른 3매의 흑색사질부식층이 발견되었으며 흑색사질부식층에 많은 토기 및 석기가 출토되어 사구의 퇴적구조가 밝혀졌다(岡田昭明 외, 1999; 小玉芳敬 외, 2001). 그 외에도 喜界島の 天宮사구와 島根県の 太平山사구에서도 흑색사질부식층의 탄소연대를 바탕으로 사구의 형성기와 고정기에 대해서 논의되었다(角田, 1977·1978). 그리고 加賀평야의 内灘사구에서도 구사구를 덮고 있는 흑색사질부식층이 바다 쪽으로 해발 -2m 층위의 토탄층으로 점이적으로 분포하는데 이 토탄층의 연대가 $2,110 \pm 80$ yrBP인 점으로부터 弥生時代に 加賀平野의 해수면이 -2m였던 것으로 밝혀졌다(藤井, 1992).

사구 내의 유기물층 또는 적황색의 풍화층의 존재에 대해서는 아일랜드의 북동부 해안의 사구(Orford *et al.*, 2003)를 비롯하여, 세계 각지의 사구에서 보고되고 있다.

우선 호주에서 방사성탄소연대측정법과 아미노산법 등의 연대측정법을 이용하여 해안지역의 해수면 변동과 관련하여 연구한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

호주 노스퀸즈랜드주의 Cape Bedford와 Cape Flattery에서 연구된 결과를 보면 거의 8m 두께에 이를 정도로 붉게 산화된 B층이 나타나는 포드졸 현상에 기인한 규사로 이루어진 사구층이 광범위하게 나타나

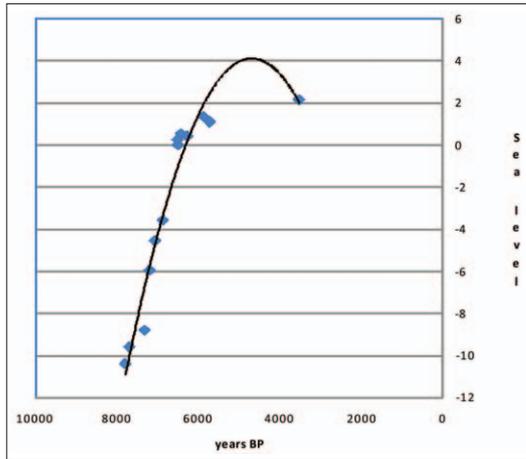
고 있으며, 이들 사구의 붉은 색을 띤 층에 대한 방사성연대측정의 결과는 약 7,500년 전에 형성된 것으로 추정하고 있다(Pye, 1983). 이러한 연구 결과는 해수면 변동을 연구한 다른 연구 결과들과 비교할 필요가 있다.

우선 호주 지역에서 관련된 해수면 상승은 9,400~9,000yrBP사이에 -15 내지 -11m의 높이에 다다르게 되었고, 8,500yrBP까지는 -5m에 이르게 되었다. 약 8,300~8,000년 사이에는 현재의 평균해수면에서 약 3.5m 정도 낮은 수준에 이르게 되었다. 이후 홀로세의 해진은 현재의 해수면에 이르기까지 상승하였는데 이때는 약 7,900~7,700yrBP이며 해수면은 이후로 지속적으로 상승하여 약 7,400yrBP경에는 현재보다 약 1.5m 높은 곳에 위치하게 된다(Sloss *et al.*, 2007). 이러한 고(高)해수면기는 약 2,000년 전까지 지속되다가 이후 현재의 수준으로 후퇴하게 된다. 물론 그 사이에 약간의 해수면의 진동은 있었지만 홀로세 후기의 고해수면기의 기록에 큰 영향을 준 것은 아닌 것으로 보인다.

사구는 아니지만 조개류를 이용하여 해수면을 분석한 연구의 결과도 약 7,400yrBP에 현재 해수면보다 약 1.35m 높은 곳에서 생물서식의 흔적을 발견한 연구도 있다(Lewis *et al.*, 2008). 이 연구의 결과를 보면 해수면은 7,400년 전에 가장 높은 곳에 다다르고 이후 약간의 진동을 보이지만 현재보다 높은 해수면을 유지하다가 약 2,000년전 이후 현재의 해수면 수준까지 지속적으로 낮아졌음을 보고하고 있다.

하지만 중국 연안에서 이루어진 해수면 수준과 관련된 연구에서는 홀로세 동안의 고해면기가 있다는 증거도 없을 뿐더러, 해수면의 승강도 지역적으로 큰 차이를 보이고 있음을 강조하고 있는데, 이는 지역에 따른 지각변동과 퇴적물 유입의 관계가 매우 다르게 나타나기 때문이라는 것이다(Zong, 2004). 싱가포르 지역에서 조개, 목재, 토탄 및 산호초를 이용하여 복원한 해수면 곡선은 <그림 1>에 표시한 바와 같이 나타나고 있는데, 약 6,500yrBP부터 약 300년전까지도 현재보다 해수면의 수준이 상당히 높은 것으로 나타나고 있다(Hesp *et al.*, 1998).

한편, 우리나라 제주도 지역의 해안사구 연구에서도 한태홍(1993)을 비롯하여 많은 선행연구에서 사구의



〈그림 1〉 Hesp et al.(1998)에서 인용한 싱가포르의 해수면 변화곡선
(굵은 선은 필자가 추가한 단순화한 추세선)

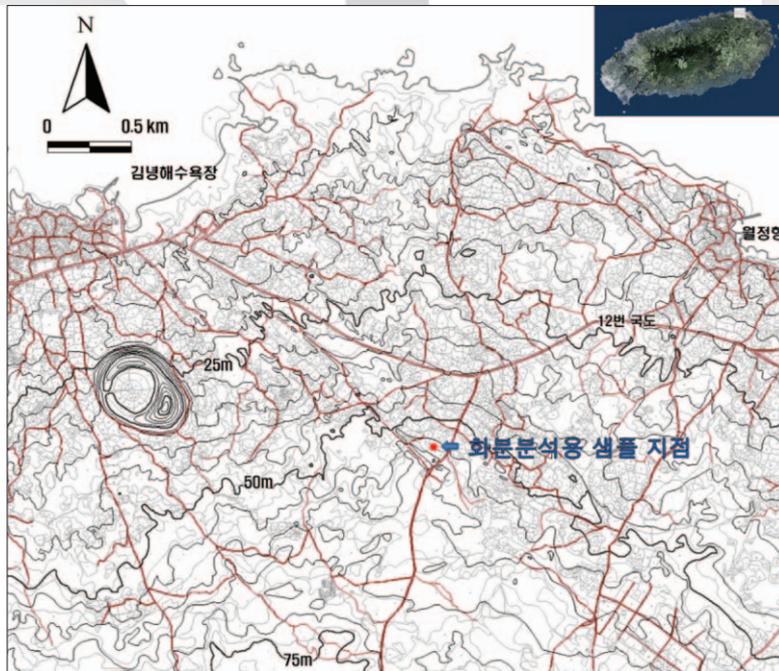
사층 속에 끼어있는 흑색사질부식층에 대해 보고하고 있다. 그 중에서 김녕사구는 최근 조사 결과, 단순히 풍성사로만 이루어진 것이 아니라 매물고토양인 흑색사

질부식층 2매가 밴드 형태로 연속된 층서를 보이면서 풍성사층에 끼어있는 것으로 확인되었다(박경 외, 2004; 박경·손일, 2007; 한국동굴연구소, 2007; 박지훈·박경, 2009).

특히 박경·손일(2007)은 김녕사구의 하단부가 OSL 연대측정 결과, 약 6.6~6.18ka의 연대를 나타내므로 이 사구의 형성과정이 후빙기의 범세계적인 온난화 과정과 깊은 관계가 있을 것으로 추정하였다. 그리고 박지훈·박경(2009)은 김녕사구의 매물고토양인 흑색사질부식층을 대상으로 화분분석을 실시하여, 후빙기 중기 이후 이 층이 형성될 당시의 삼림환경 및 기후환경을 복원하였다. 그러나 풍성기원의 해안사구인 김녕사구의 형성과정 및 조사지역 일대의 해수면 변동을 수준 높게 복원하기 위해 필요한 김녕사구의 형성기와 고정기에 대해 논의한 연구는 아직 없다.

3. 연구지역

연구대상 지역은 제주시 구좌읍 김녕리에 위치한 사



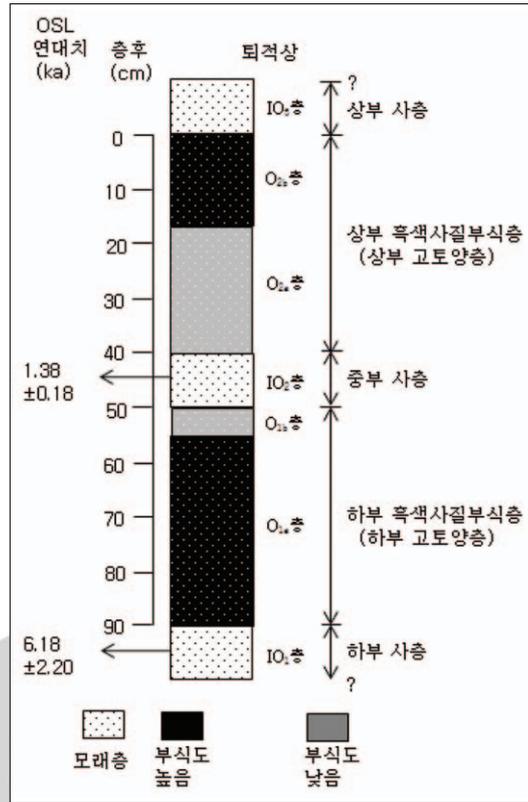
〈그림 2〉 연구지역의 위치와 화분분석용 샘플 지점
(박지훈·박경(2009)을 수정 가필)

구로서 기존의 연구에서 연대측정과 화학적 분석 및 항공사진을 이용한 질감분석(texture analysis), 화분분석을 이용한 고환경복원 등의 연구가 이루어진 지역이다(박경 · 손일 · 장은미, 2004; 장은미 · 박경, 2006; 박경 · 손일, 2007; 박지훈 · 박경, 2009). 또한 이 지역은 사구 하부에 위치한 용천동굴과 당치물동굴의 탄산염 퇴적물의 발견으로 인하여 형성연대를 비롯한 종합적인 조사가 제주특별자치도 주관으로 이루어진 지역이기도 하다(한국동굴연구소, 2007). <그림 2>의 연구 지역 위치도에서 보는 바와 같이 점성이 작은 용암이 흘러내려서 형성된 제주도 북서면의 해안지역은 경사가 완만하여 겨울철 북서계절풍의 영향으로 인해 내륙 깊숙이 사구가 발달할 수 있는 지형적 조건을 갖추고 있다. 조사지역을 포함한 사구의 대부분은 당근을 비롯한 발작물의 경작지로 이용되고 있으며 수m를 넘는 비교적 두터운 퇴적층 노두의 바로 하단에까지 경작지로 이용되고 있다. 이 지역 사구 퇴적물의 중간에는 2개의 어두운 색의 매몰유기물층이 연속된 층서를 보이면서 출현하고 있으며, 사구의 하단부는 OSL 연대측정의 결과 6.6~6.18ka 정도의 연대를 보이는 것으로 후빙기의 범세계적인 온난화 과정을 보여주는 것으로 해석되었다(박경, 2007; 박경 · 손일, 2007).

II. 분석결과

김녕사구에 대한 자세한 층상해석은 박지훈 · 박경 (2009)의 화분분석용 시료 채취를 행한 노두(표고 약 55m)를 중심으로 행해졌다(그림 2).

그 결과 김녕사구에는 3개의 모래층[IO_1 층(하부사층), IO_2 층(중부사층), IO_3 층(상부사층)]과 모래층에 끼여있는 매몰고토양층인 흑색사질부식층이 2매[O_1 층(하부부식층), O_2 층(상부부식층)] 인정되었다. O_1 층과 O_2 층은 다시 부식의 정도에 따라 각각 O_{1a} 층, O_{1b} 층, O_{2a} 층, O_{2b} 층으로 세분된다. 그리고 O_1 층과 O_2 층은 밴드(Band) 형태로 연속된 층서를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다(그림 3).



(그림 3) 김녕사구의 사구 퇴적층 (박지훈 · 박경(2009)을 수정 가필)

과거 IO_1 층과 IO_2 층을 대상으로 OSL 연대측정이 행해진 결과, 그 연대치는 각각 $6.18 \pm 2.20ka$ 와 $1.38 \pm 0.18ka$ 인 것으로 밝혀졌다(박경 · 손일, 2007). 그리고 O_1 층과 O_2 층에서 화분분석을 실시한 결과, 두 층이 형성되었던 당시는 모두 난온대 기후하에 상록활엽수림이 조사지역 일대의 구릉을 덮고 있었던 것으로 분석되었다(박지훈 · 박경, 2009).

III. 고찰

일반적으로 해안사구의 퇴적층은 층리의 식별이 곤란하지만, 사구사층 속에 적색 또는 어두운 색으로 이루어진 매몰고토양층 형태로 흑색사질부식층이 끼여 있는 경우가 있다. 특히 투수성이 좋은 비교적 조립질

의 모래로 이루어져서 분해능이 좋은 해안사구(예: 山形県の庄内사구)의 경우에는 형성과정에 있어서 특정 시기의 사구 지표면을 의미하는 흑색사질부식토의 층위가 마치 스탬프(stamp)를 누른 것처럼 기록되어 있기도 한다(松本, 1991).

따라서 사구의 층상해석 특히 사구 퇴적층을 구성하고 있는 사층과 사구형성이 일시적으로 멈추거나 늦추어진 시기에 형성되는 흑색사질부식층과의 교호관계에 주목하면, 과거 비사가 활발했던 사구형성 시기(이하 사구 형성기)와 상대적으로 비사가 주춤하여 사구의 표면이 식생으로 덮여 있었기 때문에 토양층으로서 흑색사질부식층이 형성될 수 있었던 이른바 사구형성이 정체되었거나 거의 없었던 시기(이하 사구 고정기)가 수회 반복되었던 단계별로 사구의 발달 과정을 복원할 수 있다(Munyikwa 외, 2008; 成田·松本, 2000; Muckersie, C.과 M. J. Sheperd, 1995).

그런데 사구의 성장에 있어서 사구의 형성과 고정을 반복시켜온 주요 조건으로는 모래의 공급에 영향을 주는 해수면 변동과 모래의 이동 및 부식의 집적을 좌우하는 기후변화가 필수적이다. 따라서 흑색사질부식층은 일찍부터 사구의 성장과정 그리고 당시의 기후변동 및 해수면 수위의 변동을 밝힐 수 있는 중요한 지표로써 이용되어 왔다.

한국의 서해안 안면도의 운여지역에서 발견된 사구 내의 적색을 띠는 고토양층의 OSL을 이용하여 측정된 연대를 해수면의 상승과 관련시킨 연구가 있다 (Munyikwa 외, 2008). 이들은 Flemming 등(1998)이

제시한 해수면 변동곡선에 기초하여 현재로부터 약 8천년전의 해수면이 현재보다 약 16m 이상 낮았다는 점과, 서해안의 경사가 매우 완만한 점을 고려하여 지금보다 해수면이 낮은 시기에는 현재 위치에 사구가 발달할 수 없다는 가정 하에 운여해안에서 발견되는 적색을 띤 고토양의 연대를 최소한 8,000년전 이후의 8~5ka 사이의 홀로세 기온최적기(Holocene Climatic Optimum)의 시기로 해석하였다.

또한 일본과 중국의 선행연구(成瀬 외, 1997)에 의하면, 흑색사질부식층은 한랭기가 아닌 온난기에 형성되는 것으로 알려져 있다. 즉 일반적으로 바람의 풍속이 떨어지는 것으로 알려진 온난기의 환경 하에서 식물의 성장과 천이가 이루어지고 이때 낙엽으로 떨어진 부식질에 의해 토양의 유기물 함량이 증가하는 것이다. 일반적으로 해수면의 변화는 기후변동과 일치된다고 간주된다(海津, 1994). 따라서 한랭했던 시기에 해수면의 저하(해퇴)가 일어나서 넓은 간석지가 바람에 노출되면 해안의 모래가 바람에 의해 육지 쪽으로 운반되어 풍성사구가 형성된다. 반면에 온난기에는 해수면이 상승(해진)하므로 모래의 공급이 정지되거나 감소하면서 식물이 번성함으로써 흑색사질부식층이 형성되는 것으로 밝혀졌다. 이와 같이 온난기에 흑색사질부식층이 형성된다는 사실은 지금까지 일본과 중국 각지의 사례 연구에서 확인되어 왔다(甲元, 2008).

여기서 한발 더 나아가 일본에서는 이와 같은 흑색사질부식층을 이용하여 사구의 형성과 고정이 전국적으로 비슷한 시기에 있었다는 것이 확인되었다(遠藤,

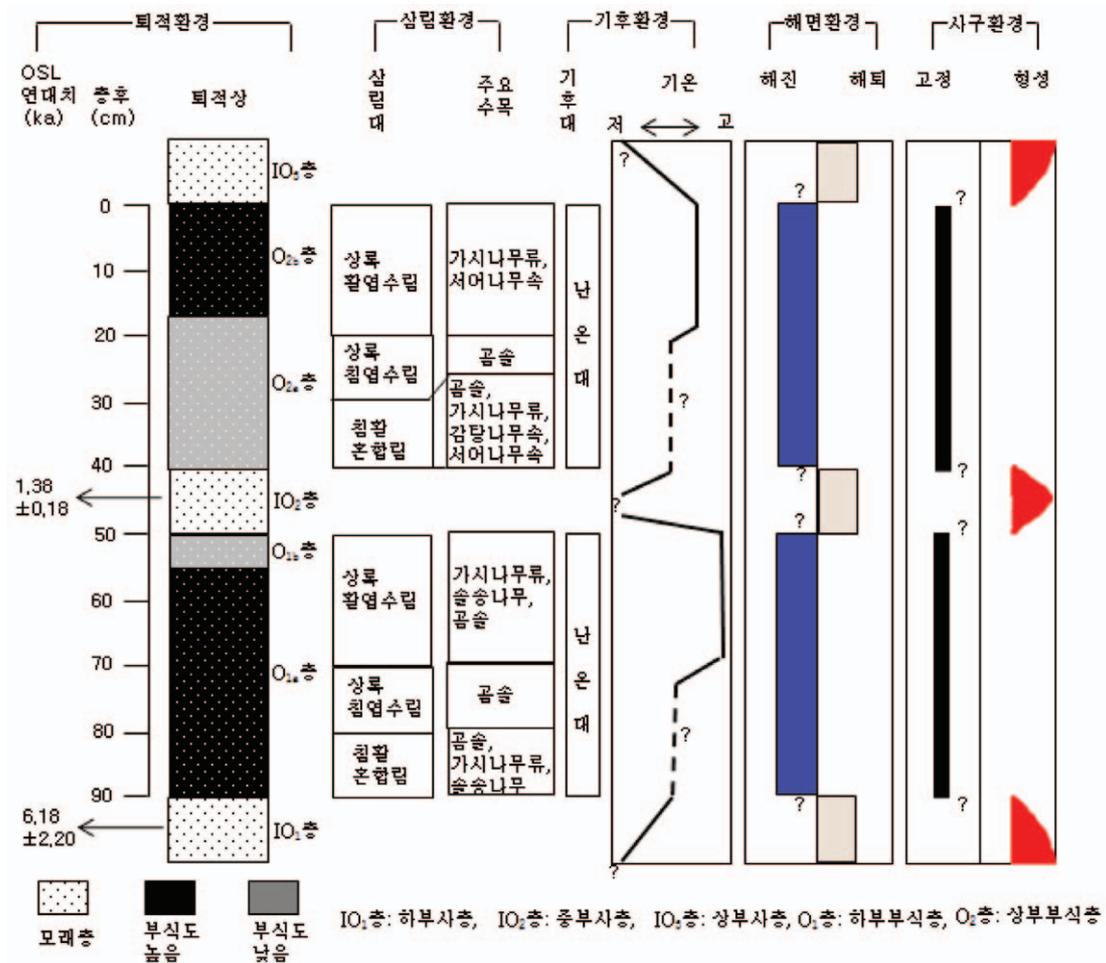


〈그림 4〉 백령도 고사구(그림 左)와 천리포 고사구(그림 右)에서 발견된 적황색 밴드 상 퇴적층

1969). 또한, 매몰고토양층인 흑색사질부식층의 형성기 즉, 사구의 고정기에 당시의 사구 지표면에서 인간 활동이 자주 반복되고 그 흔적으로서 고고학적 유물·유구가 잔존했을 가능성이 높았을 것이라는 가정 하에 사구 층위의 정밀조사를 통하여 흑색사질부식층에 포함된 고고흔적을 검토하여 사구형성 활동이 활발하지 않았던 사구의 고정기 또는 안정기를 복원하였다(甲元, 2008). 한국에서도 강원도 고성군 죽암면 문암리와 양양군의 지경리와 쌍호 주변 사구에서 발견된 오산리, 그리고 동해시 송정동 등의 유적이 해안사구 지대에 속하는 곳에서 발견되었다. 당시의 문명이 석호와 바다에

서 구할 수 있는 식량자원에 의존하는 생활이 주로 이루어진 까닭으로 선사시대의 마을이 해안가 사구지대에서 집중되었을 것으로 판단되기 때문이다(강원문화재연구소, 2008). 하지만 한국 동해안 지역에서의 고고학 유물 발굴은 해수면 변화와 같은 환경변화와 관련된 연구가 본격적으로 시행되지는 않았기 때문에 사구의 고정기 또는 이동기와 관련된 정보를 이끌어 내는 것이 쉽지 않은 편이다. 이들 가운데 양양군의 지경리 유적의 경우 황갈색 사층과 흑갈색 사층 등이 발견된 것으로 보고되었다(백흥기, 1997).

한편, 해안사구인 김녕사구에서 흑색사질부식층이



〈그림 5〉 김녕사구의 후빙기 중기 이후 사구의 형성기와 고정기
(OSL 연대치는 박경·손일(2007)을 참조, 삼림환경과 기후환경은 박지훈·박경(2009)을 참조)

사구사층 속에 밴드(band) 형태로 끼어있다는 것을 전술했던 선행연구의 결과에 기초하여 검토하면, 김녕사구의 성장과정에 있어서 홀로세 중기 이후 해수면 (미) 변동에 대응하여 모래 활동이 활발했던 사구의 형성기와 이에 비해 사구 활동이 침체되거나 정지되었던 사구의 상대적 안정기가 수회 반복되었을 가능성이 높다는 것을 의미한다.

그런데 이미 동일 지역에서 필자들을 포함한 여러 연구자들은 향후 제주도 북부해안의 홀로세 해수면 변화를 복원하기 위한 자료축적의 일환으로 사구 퇴적층의 각종 퇴적물분석(박경 외, 2004), 연대측정(박경·손일, 2007), 화분분석(박지훈·박경, 2009) 등을 행하여 김녕사구의 지형발달 및 김녕사구의 흑색사질부식층이 형성될 당시의 식생 및 기후환경의 복원을 시도하였다.

따라서 이 장에서는 사구 퇴적층의 층상 및 층서해석 특히 사층과 흑색사질부식층의 교호관계에 주목하여 제주 북부해안에 위치한 김녕사구의 형성기와 고정기에 관하여 고찰하기로 한다. 이를 위해 전술했던 김녕사구의 기존 연구 결과(특히 사층의 OSL 연대측정 결과와 흑색사질부식층의 화분분석 결과)와 매물고토양인 흑색사질부식층의 형성 당시의 자연환경 등을 바탕으로 하여 조사지역의 해안사구를 구성하고 있는 사층과 흑색사질부식층의 형성환경과 형성시기를 고찰하였다.

IO₁층은 김녕사구의 하부사층이다. 이 층은 약 6,200yrBP 이전의 상대적으로 해수면이 낮았던 어느 시기에 사구 전면에 발달한 해빈을 포함한 해안지역(모래의 공급원)의 분포역이 확대되는 환경 하에서 비사에 의해 형성되었으며, 약 6,200yrBP경에 그 형성이 종료된 것으로 추정된다.

O₁층은 김녕사구의 하부 흑색사질부식층으로서 약 40cm의 층후를 띤다. 이 층은 부식의 정도에 따라 약 35cm 층후의 O_{1a}층과 약 5cm 층후의 O_{1b}층으로 세분된다. O₁층은 6,200~1,400yrBP의 어느 시기에 형성된 것으로 추정된다. 그리고 이 층이 형성될 시기에 주위의 구릉 또는 산지의 하부를 덮고 있던 식생이 상록성의 침활혼합림 → 상록침엽수림 → 상록활엽수림으

로 변천했던 점으로 미루어 보아 O₁층은 주로 상록성 삼림이 우점하며, 기후적으로 지금과 거의 유사한 난대성 기후 하에서 형성된 것으로 생각된다.

이상과 같이 IO₁층의 OSL 연대치, O₁층의 바로 위와 아래에 분포하는 사층(IO₁층, IO₂층)과의 층상 및 층서관계, O₁층의 화분분석 결과, 매물고토양인 흑색사질부식층의 제4기학적 형성환경 등을 종합하면, O₁층은 IO₁층으로 이루어진 사구가 형성된 이후 홀로세의 최대 해진기인 홀로세의 기후 호진기(Post-glacial Optimum)에 들어서면서 해수면이 상승함에 따라 모래의 공급원이 되었던 해안평야의 축소에 따른 비사의 감소 내지 중단으로 인해 사구형성이 중단 또는 안정기에 접어들면서 형성된 것으로 추정된다.

한편, 한국에서 이루어진 홀로세의 해수면 변동에 관한 선행연구에 의하면, 약 6,000yrBP경이 기후 호진기로서 해수면의 극상기였던 것으로 알려져 있다(윤순옥, 1997; 조화룡, 1980; 조화룡 외, 1994; 황상일, 1998; 황상일 외, 1997·2003 등). 그런데 전술했듯이 O₁층 직상과 직하의 OSL 연대측정 결과에 의하면, O₁층의 형성시기가 약 6,200~1,400yrBP의 전체가 아닌 특정의 어느 시기에 형성되었을 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 추후 O₁층의 형성 개시시기와 종료시기를 직접 지시하는 좀 더 세밀한 연대측정 자료를 확보함으로써, 이 층의 형성시기에 대한 보다 심도 있는 논의가 다시 이루어질 필요가 있다. 특히 기반암이 석영이나 장석 입자를 거의 포함하지 않는 탄산염으로 이루어진 패각질 모래로 구성된 제주도 북부해안의 사구지역에서 정밀한 연대를 추출하는 것이 매우 어렵고, 방사성 탄소연대측정법에 의한 연대측정법도 오래된 탄소에 의한 오염과 같은 문제가 있을 수 있다는 점에서 새로운 방법론을 적용한 적절한 연대측정법이 이루어질 필요가 있다고 판단된다(박경·손일, 2007).

IO₂층은 김녕사구의 퇴적층 중에서 시기적으로 후빙기 후기에 형성된 중부사층이다. 이 층은 연대적으로는 약 1,400yrBP경 전후, 층상학적으로는 O_{1b}층(하부 흑색사질부식층) 형성기와 O_{2a}층(상부 흑색사질부식층) 형성기 사이의 상대적으로 해수면이 낮아진 어느

시기에 O_1 층과 마찬가지로 사구 전면에 발달한 해안평야의 분포역이 확대되는 환경 하에서 비사에 의해 형성되었다.

O_2 층은 김녕사구의 상부 흑색사질부식층으로서 O_2 층과 마찬가지로 약 40cm의 층후를 띤다. 이 층은 부식의 정도에 따라 약 23cm 층후의 O_{2a} 층과 약 17cm 층후의 O_{2b} 층으로 세분된다. O_2 층은 IO_2 층이 형성된 후, 후술할 IO_3 층(상부사층)이 형성되기 이전의 어느 시기에 형성되었다.

선행연구(윤순옥, 1997; 조화룡, 1980; 조화룡 외, 1994; 황상일, 1998; 황상일 외, 1997·2003 등)에 의하면, 후빙기의 기후 호전기 이후 해수면의 미변동이 있었으며, 김녕사구 일대의 해안평야에도 약 1,400yrBP경 이후 해수면 소규모 해진기에 따른 사구의 고정기가 도래하여 O_2 층이 형성되었던 것으로 추정된다. 그러나 O_2 층이 약 1,400yrBP~ IO_3 층 형성기 이전의 전시기에 형성되었는지 아니면 어느 특정 시기에 형성된 것인지에 대해서는 앞서 논의한 대로 현재 가지고 있는 연대측정치의 밀도가 너무 낮은 까닭에 현 단계로서는 명확하지 않다. 따라서 추후 O_2 층의 형성시기를 직접 지시하는 연대치를 확보하게 되면 재논의의 필요성이 있다. 실제 호주 남동부에 위치한 뉴캐슬 인근지역에서 조사한 바에 따르면 사구 속에서 유용한 광물을 채취한 후 모래를 다시 원지형면과 유사하게 복원하였을 때, 겨우 5년만에 두꺼운 A2층이 형성된 것으로 보고하고 있다(Prosser and Roseby, 1995). 수분 유통이 비교적 원활한 조립질의 모래로 구성된 사구는 토양발달도 상당히 빠른 시간에 이루어지는 것으로 알려져 있다.

그리고 이 층이 형성될 당시에 주위를 덮고 있던 식생은 O_1 층이 형성될 시기와 마찬가지로 상록성의 침활 혼합림 → 상록침엽수림 → 상록활엽수림으로 변천했던 점으로 미루어 보아 주로 상록성 삼림이 우점하였으며, 기후적으로 난대성 기후였던 것으로 추정된다. 현재의 표층에서도 비교적 유기물이 풍부한 A층의 발달이 관찰되는 것으로 보아 난대성 수종이 우점하던 온난한 시기의 토양발달은 지금과 비교하여 비교적 빠르거나 유사한 정도로 발달하였을 것으로 판단된다.

IO_3 층은 김녕사구의 상부사층이다. 이 층은 O_{2b} 의 형성기~최근의 상대적으로 해수면이 낮았던 어느 시기에 IO_1 층 및 IO_3 층의 형성과 유사한 환경 하에서 형성되었던 것으로 생각된다.

이상과 같이 제주도 북동부해안에 위치한 김녕사구의 형성과정은 약 6,200yrBP경 이전에 해안평야의 축소로 인하여 IO_1 층(하부사층)이 형성되었고, 그 후 O_1 층(하부부식층)이 형성되었다. 이어서 후빙기 기후 호전기 이후 해수면의 미변동에 따른 해안평야의 상대적 확대와 축소로 인하여 O_1 층 직상으로 IO_2 층(중부사층), O_2 층(상부부식층), IO_3 층(상부사층)이 연이어 형성(또는 퇴적)된 것으로 추정된다.

그리고 이상의 것을 종합해 보면, 김녕사구는 적어도 약 6,200yrBP 이후부터 현재에 이르기까지 사구 발달 과정에 있어서 최소 3회의 사구 형성기(6,200yrBP 이전, 1,400yrBP경 전후, O_{2b} 의 형성기~최근의 어느 시기)와 2회의 사구 고정기(약 6,200yrBP~1,400yrBP의 어느 시기, IO_2 층 형성기~ IO_3 층 형성기의 어느 시기)가 존재했었던 것으로 추정된다.

IV. 결론

제주도 북쪽해안에 위치한 김녕사구의 층상해석 특히 사구 퇴적층을 구성하고 있는 풍성기원의 패각질 사층과 그 속에 끼어있는 흑색사질부식층과의 교호관계에 주목하여 해안사구의 형성기와 안정기를 고찰하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 김녕사구의 노두를 관찰한 결과 3매의 사층과 사층에 끼어있는 매물고토양층인 흑색사질부식층이 2매 인정되었다. 흑색사질부식층은 다시 2개의 아층으로 세분된다. 그리고 2매의 흑색사질부식층은 굴곡이 있지만 밴드(Band) 형태로 연속된 층서를 나타낸다.

2. 김녕사구 퇴적층의 형성시기와 형성환경을 보면, 하부사층의 퇴적은 6,200yrBP경에 종료되었다. 그리고 하부 흑색사질부식층은 약 6,200yrBP~1,400yrBP의 어느 시기, 중부사층은 약 1,400yrBP경 전후, 층상학적으로는 하부 흑색사질부식층 형성기와 상부 흑색

사질부식층 형성기 사이의 어느 시기에 형성되었다. 또, 상부 흑색사질부식층의 형성시기는 중부사층 형성기와 상부사층 형성기 사이의 어느 시기이고 상부사층의 형성시기는 상부 흑색사질부식층이 형성된 이후 최근의 어느 시기에 해당된다. 김녕사구에서 상부와 하부의 흑색사질부식층이 형성될 당시에 주위의 구릉 또는 산지 하부에서는 상록성 삼림이 우점했으며, 지금과 유사한 난대성 기후였다.

3. 김녕사구는 적어도 약 6,200yrBP 이후~현재에 이르기까지 사구 발달과정에 있어서 최소 3회의 사구 형성기(6,200yrBP 이전, 1,400yrBP경 전후, 상부 흑색사질부식층(O_{2b})~최근의 어느 시기)와 2회의 사구 고정기(약 6,200yrBP~1,400yrBP의 어느 시기, 중부사층 형성기~상부사층 형성기의 어느 시기)가 존재했었다.

금후 본 연구와 같은 사례연구가 제주도 지역의 사구 연구를 통하여 더 많이 축적되면, 제주도 김녕사구의 발달과정의 역사가 보다 수준 높게 복원될 수 있을 것이며, 또한 이를 바탕으로 제주도 더 나아가 한반도 서해안 일대의 홀로세 동안의 해수준 복원을 비롯한 해수면 변동곡선의 복원과 그 변화에 관한 연구도 심도 깊게 논의될 수 있을 것으로 생각된다. 이에 대해서는 추후의 과제로 남겨둔다.

참고문헌

강원문화재연구소, 2008, 동해 송정동 955-50번지 외 1필지 창고신축부지내 유적 시굴조사 약보고서.

무니크와 케네디·최광희·최정현·박 경·김종욱, 2005, “태안군 운여해안의 해안사구체에 대한 퇴적 및 루미네선스 연대측정”, 한국지형학회지, 12(1), 167-178.

박 경, 2007, “해안사구의 편년에 관한 연구”, 지리학연구, 41(2), 139-149.

박 경·손 일, 2007, “제주도 김녕·월정사구의 OSL 연대측정 결과와 그 의미”, 한국지형학회지, 14(2), 33-41.

박 경·손 일·장은미, 2004, “제주 김녕-월정사구의 발달과정에 관하여”, 한국지역지리학회지, 10(4), 851-864.

박지훈·박 경, 2009, “화분분석으로 본 제주도 김녕사구 일대의 후빙기 중기 이후 환경변화”, 한국지형학회지, 16(1), 1-13.

백흥기, 1997, “동해안 선사문화의 특성 -양양군 지경리 출토 토기를 중심으로-”, 한국선사고고학회 동아시아속의 신석기 문화의 위치, 42-53.

서종철, 2001, 서해안 신두리 해안사구의 지형변화와 퇴적물수지, 서울대학교 박사학위논문.

윤순옥, 1997, “화분분석을 중심으로 본 一山지역의 홀로세 환경변화와 고지리복원”, 대한지리학회지, 32(1), 15-30.

장은미·박 경, 2006, “Feature Extraction in an Areal Photography of Gimnyeong Sand Dune Area by Texture Filtering”, 대한지리학회지, 41(2), 139-149.

조화룡·황상일·윤순옥, 1994, “후빙기 후기 ‘가와지’ 곡의 환경변화”, 한국지형학회지, 1(1), 3-16.

한국동굴연구소, 2007, 김녕 부근 사구와 용천동굴·당처물동굴 내 탄산염 동굴생성물의 연관성 조사 보고서, 제주특별자치도, 240pp.

한태홍, 1993, 제주도 연안 해빈과 사구에 관한 연구, 경희대학교 대학원 박사논문.

황상일, 1998, “일산층적평야의 홀로세 퇴적환경변화와 해면변동”, 대한지리학회지, 33(2), 143-163.

황상일·김혜령·윤순옥, 2003, “김포평야의 최종빙기 이래 퇴적환경변화”, 지리학논구, 23, 446-461.

황상일·윤순옥·조화룡, 1997, “Holocene 중기에 있어서 도대천유역의 퇴적 환경 변화”, 대한지리학회지, 32(4), 403-420.

Anthony, E. J., 2009, Shore Processes and Their Paleoenvironmental Applications, Elsevier.

Hesp, P. A., Hung C. C., Hilton, M., Ming, C. L.,

- and Turner, I. M., 1998, "A First Tentative Holocene Sea-Level Curve for Singapore", *Journal of Coastal Research*, 14(1), 308-314.
- Klijn, J. A., 1990, "The younger dunes in the Netherlands: Chronology and causation", *Catena Supplement*, 18, 89-100.
- Lewis, S. E., Wust, R. A. J., Webster, J. M., and Shields G. A., 2008, Mid-late Holocene sea-level variability in eastern Australia, *Terra Nova* 2-, 74-81.
- Muckersie, C. and M. J. Sheperd, 1995, "Dune Phase as Time-transgressive Phenomena, Manawatu, New Zealand", *Quaternary International*, 26, 61-67.
- Munyikwa, K., Choi, J. H., Choi, K. H., Byun, J. M., Kim, J. W., and Park, K., 2008, "Coastal Dune Luminescence Chronologies Indicating a Mid-Holocene Highstand along the East Coast of the Yellow Sea", *Journal of Coastal Research*, 24(2B), 92-103.
- Orford, J. D., Murdy, J. M., and Wintle, A. G., 2003, "Prograded Holocene beach ridges with superimposed dunes in north-east Ireland: mechanisms and timescales of fine and coarse beach sediment decoupling and deposition", *Marine Geology*, 194, 47-64.
- Prosser I. P. and Roseby, S. J., 1995, "A Chronosequence of rapid leaching of mixed podzol soil material following sand mining", *Geoderma*, 64, 297-308.
- Pye, K., 1983, "Post-depositional reddening of late Quaternary coastal dune sands, north-eastern Australia, Geological Society of London", *Special Publications*, 11, 117-129.
- Sloss, C. R., Murray-Wallace C. V., and Jones, B. G., 2007, "Holocene sea-level change on the southeast coast of Australia: a review", *The Holocene*, 17, 999-1014.
- Zong, Y., 2004, "Mid-Holocene sea-level highstand along the Southeast Coast of China", *Quaternary International*, 117, 55-67.
- 市瀬由自, 1962, "平野の形成と海岸砂丘", 資源研彙報, 56-57, 51-61.
- 遠藤邦彦, 1969, "日本における沖積世の砂丘の形成について", 地理学評論, 42, 159-162.
- 小笠原義勝, 1951, "日本の風蝕地形に関する一考察", 資源研彙報, 19-21, 110-118.
- 小玉芳敬・岡田昭明・甲本賢司・山根純子・中村悟, 2001, "ボーリング試料分析に基づく新たな鳥取砂丘形成史の構築 -鳥取砂丘はなぜ形成されはじめたのか?-", 鳥取地学会誌, 5, 49-58.
- 岡田昭明・赤木三郎・蘇曉梅, 1999, "鳥取砂丘の地下構造, 鳥取地学会誌", 3, 31-42.
- 海津正倫, 1994, 沖積低地の古環境学", 古今書院, 270pp.
- 角田清美, 1975, "日本における砂丘の形成期と固定期について-庄内砂丘地の例を中心に-(要旨)", 日本第四紀学会講演要旨集, 4, 29-30.
- 角田清美, 1977, "喜界島, 水天宮砂丘地内のクロスナ層の14C年代 -日本の第四紀層の14C年代-", 地球科学, 31(3), 134-135.
- 角田清美, 1978, "島根県. 太平山砂丘地内のクロスナ層の14C年代 -日本の第四紀層の14C年代-", 地球科学, 32(1), 45-46.
- 甲元真之, 2008, "気候変動と考古学", 熊本大学文学部論叢, 97(歴史学篇), 1-52.
- 川田三郎, 1947, "日本に於る埋積砂丘", 資源研彙報, 10, 55-58.
- 阪口豊, 1983, "後氷期の海面変動-日本の場合-", 地学雑誌, 92(7), 448-454.
- 竹部嘉一・成瀬敏郎, 1998, "近世以降のシラス台地

- 開 発に伴う鹿児島県の海岸砂丘形成”, 第四紀研究, 37, 107-115.
- 曹華龍, 1980, “韓國東海岸における完新世の海水準變動”, 地理學評論, 53(5), 317-328.
- 豊島吉則・赤木三郎, 1965, “鳥取砂丘の形成について”, 鳥取大学芸学部研究報告, 16-1.
- 藤井昭二, 1992, “海底林と海水準変-富山湾周辺を中心に”,アーバンクボタ, 31, 60~65.
- 藤則雄, 1975, “北陸の海岸砂丘”, 第四紀研究, 14, 195-220.
- 町田貞外, 1988, 地形辞典, 二宮書店, 767pp.
- 松本秀明, 1991, “庄内砂丘におけるクロスナ層形成前後の砂丘砂の粒度(要旨)”, 季刊地理学, 43(1), 64.
- 三浦静, 1992, “福井平野と若狭地方の平野”,アーバンクボタ, 31, 56-59.
- 成田美芽子・松本秀明, 2000, “山形県庄内砂丘における埋没腐植土層の分布と形成年代について(要旨)”, 季刊地理学, 52(3), 226-227.
- 成瀬敏郎・小野有五・平川一臣・岡下松生・池谷元伺, 1997, “電子スピン共鳴(ESR)による東アジアの風成塵石英の産地同定-アイソトープステージ2の卓越復元への試み-”, 地理学評論, 70(1), 15-27.

최초투고일 09. 04. 28

최종접수일 09. 05. 22

