

# 화암동굴의 환경보전에 관한 연구

A Study on the Environmental Conservation of Hwaam - Cave

권동희<sup>6)</sup> · 유영준<sup>7)</sup>

## 국문 초록

동굴의 환경파괴는 환경의 변화에서 오는 경우와 동굴 개발에 따른 인위적인 파괴 등에 의한 것이라고 하겠다. 동굴이 개발되면 그 당시부터 동굴의 파괴, 오손 및 오염은 시작된다. 물론 동굴이 개발되어 관광객의 출입이 많은 동굴에서는 개발 이전의 동굴환경이 그대로 보존되고 있을리 만무하다. 그러나 이런 피해를 최소한으로 하고, 좋은 환경을 지속적으로 보완하기 위해서는 많은 노력이 필요하다.

화암동굴에 대한 환경보전을 위해 지질구조, 통로시설, 일반시설, 전기 및 조명, 생태환경, 운영관리 분야 등에서 안전진단을 한 결과 여러 분야에서 동굴 개발 이후 미흡한 점이 지적되어 이에 대한 보완이 시급하다고 지적되었다.

동굴의 환경은 그 원칙이 암흑세계여야 한다. 더구나 항상 어둡고 동굴 내의 온도와 습도가 크게 변하지 않는 원래의 동굴환경이 있어야 특수한 지하생물, 즉 동굴생물도 서식하게 되고 동굴 내의 이차생성물도 정상적으로 성장할 수 있는 것이다.

따라서 동굴의 환경보전은 가능하면 동굴 속의 이차생성물을 계속적으로 성장시켜 이른바 지하궁전 또는 지하복마전의 화려하고 무시무시한 동굴환경을 이루게 되는 것이다.

이와 같은 원리로 화암동굴 벽면의 종유벽(유석, 황금종유벽)과 대석주, 대석순, 그리고 벽면과 바닥의 석순 등이 이루어졌으므로 동굴환경의 유지는 절대적으로 필요한 것이다.

## 1. 서론

동굴의 환경은 매우 특이하다. 항상 암흑의 세계이고 또한 동굴 속이므로 외부로부터 대기의 영향을 받지 않고 있기 때문에 항상 비슷

\* 동국대학교 지리교육학과 교수

\* 한국생활환경연구원 연구실장

한 기온을 유지하고 있다. 그리고 동굴은 비교적 다습한 환경을 지니고 있는데, 이는 지표수가 땅속으로 스며들어가 땅 속에서 지하수류를 이루어 형성된 공간이 바로 동굴이기 때문이며, 따라서 동굴 속에서는 항상 습도가 높게 나타나고 있다. 이상과 같은 恒暗·恒溫·恒濕의 동굴환경이 외부와는 색다른 환경을 이루고 있기 때문에, 이 동굴 속에는 특수한 생태환경이 조성되고 있어 동굴생물을 비롯하여 동굴속 미지형지물 등 등의 2차 생성물들이 특이한 존재로 형성 또는 서식되고 있다. 그러므로 이 동굴의 특수한 환경은 잘 보전·유지되어야만 동굴의 특수 생태도 영원히 보존될 것이다.

그런데, 그 동안의 동굴에 관한 연구들을 살펴보면 동굴의 자연지리적 특성 및 이에 따른 개발논리(서무송, 1975; 임덕순, 1975; 홍시환外, 1990; 홍현철·김병우, 1990; 남궁준·김승태, 1992; 정창희, 1993; 홍시환, 1993a; 정창희外, 1994; 권동희·홍충렬, 1995; 홍충렬·변대준, 1995)에 관한 연구와 동굴 내부에 미친 생태 변화에 국한된 연구(김병우, 1991; 이호준, 1991; 김추윤, 1993; 남궁준, 1993)가 대부분이었다.

화암동굴의 경우에는 금광개발 이전에 이미 동굴이 형성되어 있었다고는 하지만, 금광 개발로 인하여 이미 동굴의 환경파괴가 시작되었다고 볼 수 있다. 즉, 금을 채굴하기 위한 폭음과 진동으로 인하여 낙반이 많이 이루어졌으며, 이로 인하여 화암동굴은 더더욱 넓은 광장의 동굴을 이루게 되었다.

따라서 본 연구는 1993년에 관광동굴로 개발된 강원도 정선군 동면에 위치한 화암동굴이 관광지로 개장된 이후 발생하였거나 앞으로 나타날 수 있는 환경변화와 이에 대한 대책을 수립하는데 연구의 목적이 있다.

## 2. 동굴환경의 변화와 보존의 필요성

### 1) 동굴환경의 변화와 파괴

동굴의 환경파괴는 환경의 변화에서 오는 경우와 동굴 개발에 따른 인위적인 파괴 등에 의한 것이라고 하겠다. 물론 지진 또는 지각 운동에 의한 동굴파괴 또는 동굴환경의 변화도 있겠지만, 많은 관광객의 출입에 의한 동굴 기온의 상승, 동굴 수질의 변질을 초래할 수 있는 인위적인 폐기물 등에 의한 환경변화도 있을 수 있다. 동굴의 환경변화와 환경파괴는 동굴의 원칙적인 생태환경을 변화·변질시키게 되므로 동굴생물을 비롯한 동굴의 2차 생성물들의 성장이 멈추게 된다.

동굴의 경우 동굴 속의 이차생성물들은 동굴 상층부의 암층구조와 성분, 침하수의 침투량, 수질 성분, 침투상태, 지층의 바열과 동굴 내의 온도, 습도, 기류 등 수많은 물리·화학적 작용에 의하여 생성되는 것이므로 동굴을 하나의 자연학습의 현장으로만 이해하여서는 안 되고 오랜 세월을 거쳐 형성된 지구과학의 학습장으로서 그 가치가 매우 소중한다는 것을 인식하여야 한다. 그러므로 함부로 훼손해서는 안되며 부득이한 개발의 경우 원래의 환경을 유지할 수 있도록 강구하여야 한다.

특히 동굴생물들은 캄캄한 암흑세계의 환경에서 생활하고 있기 때문에 더듬이가 길어지고 눈이 퇴화된 동굴생물이 서식하게 되므로, 동굴환경의 파괴와 변화는 동굴 특수생물의 특수성을 잃게 하는 결과도 초래하게 된다.

### 2) 동굴 환경보전의 필요성

동굴은 미지의 세계이고, 암흑의 신비로운 지하세계이기 때문에 우리 인간에게는 매우 흥미로운 공간이라고 할 수 있다. 그러므로, 이러한 공간을 관광자원으로 활용하여 지역 주민의 소득을 올리고, 청

소년에게 탐험의 세계, 모험의 세계는 물론 자연학습의 현장으로 활용할 수 있다.

그러나 동굴이 개발되면 전술한 바와 같이 긍정적인 면이 있는 반면에 동굴의 파괴, 오손 및 오염과 같은 악영향을 가져오게 되므로 동굴을 개발할 당시부터 이런 악영향을 최소화하기 위해서는 환경보전과 환경보호에 지대한 관심을 가져야 한다.

동굴이 개발되면 그 당시부터 동굴의 파괴, 오손 및 오염은 시작된다. 물론 동굴이 개발되어 관광객의 출입이 많은 동굴에서는 개발 이전의 동굴환경이 그대로 보존되고 있을리 만무하다. 그러나 이런 피해를 최소한으로 하고, 좋은 환경을 지속적으로 보완하기 위해서는 많은 노력이 필요하다.

관광객의 출입으로 인해 동굴 내부의 기온은 상승하고 습기는 건조화 되어가는 한편 통로와 지형지물의 조명시설로 인해 동굴 내부가 밝아지고 특히 지나친 조명은 전등빛으로 인한 녹색공해를 유발시키기도 한다. 또한 동굴 내부의 기온이 오르게 되면 동굴 내부에서는 건화현상이 일어나 2차 생성물인 종유석, 석순, 석주 등에 이른 바 백색공해라는 껍질이 벗겨지는 등의 공해가 나타나게 된다.

요컨대 동굴의 환경은 원래의 동굴 내부의 환경을 그대로 유지하지 않는 경우에는 자연동굴 내의 2차 생성물이나 동굴생물에 직접적인 영향과 변화를 일으키게 되므로 동굴의 환경은 잘 보전되어야 한다.

### **3. 분야별 환경보전 진단**

#### **1) 지질구조 분야**

화암동굴을 이루고 있는 대석회암통의 석회암층은 층서면이 뚜렷한 피상석회암층이 많아 진동이나 기타 지층운동에 의한 부분적인

낙반현상이 일어날 것이 예상된다.

물론 동굴천정면은 그 동안 광산 개발이나 이의 충격 진동에 의한 피상석회암층이 낙반 붕괴되어 오늘의 화암동굴의 넓은 광장을 이루고 있다고 볼 수 있으나 동굴 천정의 지질구조는 현 상태로서는 커다란 붕괴현상은 일어나지 않을 것으로 본다.

다만 동굴벽면에 있어서는 지층 층서면의 경사각도 또는 여태까지의 진동 영향에 의한 균열상태가 계속 확대되고 있다고 볼 수 있다.

동굴 광장 정면에 우뚝 솟은 대석순과 대석주의 옆에 있는 마리아상 석순의 벽면 일대는 낙반의 균열 현상이 그대로 나타나고 있어 매우 위험스럽다.

지난 해 때의 균열현상보다 확실하지는 않지만 보다 뚜렷한 균열 현상이 나타나고 있음을 보아 이에 대한 대책이 요구된다.

또한 황금벽의 밑바닥 동굴벽면에도 이와 같은 균열현상이 일어나고 있음을 보게 된다.

이 밖에 동굴광장 입구의 우측 위의 커다란 낙반암괴는 관광객으로 하여금 불안감을 주게 하고 있는 원인이 되기도 하므로 이의 F.R.P.에 의한 피복작업도 필요하다고 본다. 만일 지진과 진동이 있을 때를 대비하여 이 암괴 밑을 받치는 공사도 요구된다고 본다.

전체적으로 볼 때 지질구조의 진단 평가를 요약한다면 마리아상 부근과 황금벽 아랫쪽 벽면의 균열면에 대한 낙반 대책이 강구되어야 한다고 본다.

그 밖에 동굴 바닥의 낙반 암괴들의 안정대책은 물론 관광객들의 불안감을 조성시키지 않게 하는 대책이 강구되어야 하겠다.

## 2) 통로시설 분야

동굴의 입구가 되고 있는 옛 갱도였던 입구 통로 중간지역은 우기에는 비가 스며 밑으로 흘러내려 관광객에게 불편을 주고 있다.

따라서 빗물이 떨어지지 않도록 하는 대책이 요구된다.

그리고 동굴 광장에 들어서게 되는 광장 입구의 통로 바닥이 울퉁불퉁한 자갈 바닥으로 되어 있는데, 이는 관광객의 통행에 지장을 주고 있다.

가급적 앞으로 평탄한 통로로 개선하는 것이 좋다고 본다. 그리고 계단의 간격과 통로 자재도 수정을 요한다.

전반적으로 설치된지 얼마되지 않아 안전성은 높은 편이며, 난간(손잡이)의 재질도 부식에 강한 것이어서 큰 문제는 없다고 본다. 다만 몇 군데에서 발견된 통로시설과 바닥의 이음새 부근이 원만하지 못하여 관광객들의 통행시 발목을 빼는 경우가 발생할 소지도 있다.

### 3) 일반시설 분야

현재 동굴 내의 일반시설로는 휴식공간, 해설판, 그리고 암석원, 동굴관, 지하자원관 등의 시설, 이무기(이무기 연못), 박쥐 등이 있다.

대체로 이 화암동굴 내의 일반시설들은 앞으로 예산이 확보되는 한 개선이 요구된다.

암석원의 경우, 그 암석의 대별, 설명, 기타 암석 자체들을 알 수 있는 자료(설명표)가 필요하며, 가능하다면 이 암석원의 암석 명칭까지 포함한 전반적인 개선작업이 필요하다고 본다.

동굴관의 경우도 석회동굴인 화암굴에 대한 전반적인 교육자료를 제시하는 장소로서는 내용이 너무 미흡하기 때문에 시급한 수정이 요구된다.

또한 지하자원관의 경우도 동굴관에서 지적한 바와 같다.

원래 암석원이나 동굴관, 지하자원관은 이 동굴 내부에 설치되어 있음은 동굴관람시간이 너무도 짧기 때문에 동굴 내부에서 동굴에 관한 전반적인 관찰학습시간을 연장시키기 위한 조치였다고 하겠으므로 이들 자연학습, 관찰시설들의 설명문은 되도록 정확하고 상세

하게 정리·수정되어야 하겠다.

앞으로 이 화암동굴지역에 또 다른 동굴이 개발되는 경우에는 이들 암석원, 동굴관, 지하자원관 등은 동굴지역 밖의 주차장 부근에 따로 시설을 설비하는 것이 동굴환경 보전에도 도움이 될 것이다.

현재 특수시설로는 광부의 채광마네킹이 설치되고 있으나, 고정되어 있는 설비이므로 실감이 나지 않는 상태이다.

이 밖에 이무기, 박쥐 등의 모형시설도 있으나 음향장치까지 결합 시설로 개선함이 바람직하다.

앞으로 예산이 확보 되는대로 이들 자연관찰시설에 대한 지속적인 개선이 요구된다.

그리고 휴식공간은 튼튼하게 설비되어 있지만, 이 곳에 휴식할 수 있는 간단한 의자같은 시설이 필요하다고 본다.

#### 4) 전기 및 조명 분야

화암동굴의 조명 및 전기시설물에 대한 안전진단 및 정밀조사를 1994년에 실시한 것을 기준으로 살펴볼 때 시정된 것은 통로 조명의 조도가 개선되었다.

접지선의 미시공 발전실의 배전반 뚜껑 미설치 출구의 노출된 전선 등 동굴 측면으로 배관되어 있는 전선관의 위치 교정 등은 아직도 손도 대지 않은 상태이며, 특히 접지선은 속히 시공되어야 할 문제이다.

그리고 황금주 주변과 석순, 석주 주변의 투광기는 조도가 500LUX를 상회하는 밝기이며, 투사 위치를 자주 바꿔 주어 석순, 석주의 훼손을 막아야 한다.

관람객이 없을 시에는 통로등을 제외하고는 지형지물 투광기는 소등되는 장치가 필요하다고 사료되며 동굴 관리원은 화암동굴의 보존과 훼손 방지에 심혈을 기울여야 하겠다.

## 5) 생태환경 분야

생태환경 분야는 동굴환경의 전반에 걸친 환경요인을 가리키는데, 특히 기온과 습도는 동굴생태계에 가장 근본이 되는 환경이다.

화암동굴의 경우 광장동굴로 규모가 크기 때문에 기류의 이동이 적으며, 지하수의 유입도 활발하지 못하여 습도가 낮은 편이다. 따라서 이 습도가 낮다는 것은 동굴생물의 서식에 매우 불리한 환경이 되는 것이다. 그러나 대체로 기온의 편차가 적고 기류의 이동이 적어 다른 동굴에 비하여 그 생태환경은 나쁘다고만 볼 수는 없다.

동굴의 기온과 습도는 지속적으로 관찰하여 기록으로 남겨야 하므로 동굴내 주요 지점에 온도계와 습도계가 설치되어야 한다. 그러나 화암동굴에는 동굴 입구의 콘크리트 옹벽과 III지구의 대석순 앞의 두 지점에만 설치되어 있다. 또한 설치된 기구들의 측정치는 매일 오전과 오후에 조사하여 기록하여야 한다.

이번 조사의 결과 다음과 같은 내용의 보완이 필요하다고 본다

첫째, 동굴입구 부근의 녹지화가 시급하며 주변 생태계의 생물상이 다양하고 풍부할 수 있도록 특히 외래성 동굴생물의 유입이 활발해져 동굴내 생물상이 다양하게 되도록 하여야 한다.

둘째, 동굴생물의 서식환경은 종류에 따라 다양하지만 유기물의 퇴적지에 여러 종의 생물들이 번식하고 있으며, 활동 정도에 따라 그 분포가 다양하게 나타난다. 또한 동굴생물들은 이런 곳에서 개체군을 형성하며 군서하는 경향이 있다. 한편 집단서식지로는 퇴적유기물, 구아노 등의 유기물 집적장소나 외부로부터 유입된 유기물이나 폐기물 등이 이차적인 집단서식 장소가 되는 경우가 있으므로 적절한 동굴내 서식지 관리가 필요하다.

셋째, 외래성 생물의 동굴내 분포는 동굴내 생태적 먹이사슬에 영향을 주며 모든 동굴생물의 서식에 간접적인 물질 순환의 중요한 역



할을 담당하고 있으므로 이것들에 대한 관심을 가져야 한다.

넷째, 동굴내 물이 고인 곳에 장님굴새우와 같은 수서생물이 서기 하며 곤충류의 생물들도 습윤한 지역에서 군서하는 경향이 있으므로 건조상태가 되면 이들 생물들도 이동하거나 사멸되므로 집단서식지가 매마르지 않도록 갈수기에는 수분공급을 해 주어야 한다.

다섯째, 동굴 내의 조명은 적당한 조도를 유지하도록 하여 이 조명으로 인한 녹색 공해가 발생하지 않도록 주의가 요구된다.

#### **6) 운영관리 분야**

화암동굴의 운영관리는 입구 부근에 관리원이 있을 뿐이고, 단체 입동객이 있는 경우에만 안내원이 동반하고 있어서 동굴 내부에서의 관리는 잘 안되고 있다.

따라서, 다음과 같은 보완이 필요하다.

첫째, 동굴 내부의 지형지물에 대한 설명표가 없다.

둘째, 동굴 내부에 안내 관리인이 배치되지 않고 있다.

셋째, 동굴 안내, 교육 등에 관한 교육시설, 방송시설 등이 부족하다.

넷째, 동굴 관리인들의 복장, 표식 등이 없어 운영관리에 지장이 있을 것으로 본다.

다섯째, 화암동굴에 대한 홍보자료가 미흡하다. 따라서 자연현장 학습자료로서의 책자 발간이 필요하다.

### **4. 동굴환경의 보전 대책**

동굴의 환경은 그 원칙이 암흑세계여야 한다. 더구나 항상 어둡고 동굴 내의 온도와 습도가 크게 변하지 않는 원래의 동굴환경이 있어야 특수한 지하생물, 즉 동굴생물도 서식하게 되고 동굴 내의 이차생성물도 정상적으로 성장할 수 있는 것이다.

석회동굴의 경우 지질구조면에서 살펴보면 석회암 지층이 동굴의 천정부 지반과 어우러져 있어야 하고, 동굴의 지표면에는 비가 내렸을 때에 그 지표 위의 물이 땅 속으로 스며들어야 하며, 이 투수작용 때에 석회암의 용해작용이 진행될 수 있는 석회암 성분과 조화가 이루어져야 한다.

더구나 이 때에 동굴 내부의 환경은 습도가 매우 높아 대체로 80% 이상의 다습한 환경을 유지해야 하고 또한 기온은 10~12℃ 내외를 유지해야 한다.

사실상 석회동굴의 일반적인 ‘일차생성물 또는 석회생성물, 동굴생성물’로 불리는 것들은 동굴속 천정면에서 투수 되어 침적된 물방울로 인하여 광물이 침적되는 것을 말한다.

또한 석회동굴 속의 생성물들은 거의가 순수한 탄산칼슘으로 이루어져 있기 때문에, 흔히 ‘칼슘 또는 석회’라고 부르기도 한다.

동굴생성물들을 광물학적으로 볼 때에 ‘방해석(칼싸이트)’으로 이루어져 있는 것이 보통인데, 때로는 ‘아라고나이트(산석)이나 인산염 광물’을 포함한 것도 발견되기도 한다.

석회암이 이산화탄소가 용해된 지하수류에 의하여 용해되거나 용식되어 ‘공동을 이루거나 지하동굴’이 생기는 것은 알려진 사실이다. 이것은 일차적으로 생성되었기에 ‘일차생성물’이라 하고, 이들 지하동굴의 천정이나 벽면에서 침적된 동굴생성물들은 석회암의 용해반응의 역반응 작용에 의하여 생성된 것으로 이를 ‘이차생성물’이라 한다.

동굴천정의 석회암 틈바구니나 동굴의 벽면, 바닥에 침출된 지하수 물방울들은 막장의 물줄기가 되어 동굴 내의 공기와 부딪힐 때 대기 중에 있는 이산화탄소의 분압과 물리·화학적 평형을 유지하기 위하여 이산화탄소가 발산하게 되는데, 이 때 지하수 물방울 중의 중탄산칼슘은 탄산칼슘의 결정체인 방해석이 되어 침적하게 된다.

따라서 동굴의 환경보전은 가능하면 동굴 속의 이차생성물을 계속적으로 성장시켜 이른바 지하궁전 또는 지하복마전의 화려하고 무시무시한 동굴환경을 이루게 되는 것이다.

이와 같은 원리로 화암동굴 벽면의 종유벽(유석, 황금종유벽)과 대석주, 대석순, 그리고 벽면과 바닥의 석순 등이 이루어졌으므로 동굴환경의 유지는 절대적으로 필요한 것이다.

## 5. 요약 및 결론

동굴의 환경파괴는 환경의 변화에서 오는 경우와 동굴 개발에 따른 인위적인 파괴 등에 의한 것이라고 하겠다. 동굴이 개발되면 그 당시부터 동굴의 파괴, 오손 및 오염은 시작된다. 물론 동굴이 개발되어 관광객의 출입이 많은 동굴에서는 개발 이전의 동굴환경이 그대로 보존되고 있을리 만무하다. 그러나 이런 피해를 최소한으로 하고, 좋은 환경을 지속적으로 보완하기 위해서는 많은 노력이 필요하다.

화암동굴에 대한 환경보전을 위해 지질구조, 통로시설, 일반시설, 전기 및 조명, 생태환경, 운영관리 등의 분야에서 안전진단을 한 결과 각 분야에서 동굴 개발 이후 미흡한 점이 지적되어 이에 대한 보완이 시급하다고 지적되었다. 특히 화암동굴에 대한 홍보자료 발간은 자연환경 학습자료로서의 책자 발간으로도 활용할 수 있다는 점에 유의해야 한다.

동굴의 환경은 그 원칙이 암흑세계여야 한다. 더구나 항상 어둡고 동굴 내의 온도와 습도가 크게 변하지 않는 원래의 동굴환경이 있어야 특수한 지하생물, 즉 동굴생물도 서식하게 되고 동굴 내의 이차생성물도 정상적으로 성장할 수 있는 것이다.

따라서 동굴의 환경보전은 가능하면 동굴 속의 이차생성물을 계속적으로 성장시켜 이른바 지하궁전 또는 지하복마전의 화려하고 무시

무시한 동굴환경을 이루게 되는 것이다.

이와 같은 원리로 화암동굴 벽면의 종유벽(유석, 황금종유벽)과 대석주, 대석순, 그리고 벽면과 바닥의 석순 등이 이루어졌으므로 동굴 환경의 유지는 절대적으로 필요한 것이다.

## 참고문헌

변대준·변태근·이남연, 1994, “화암동굴의 안전진단에 관한 연구,” 「동굴」, 제 40 권 제 41호, pp. 58~72.

유영준·이영화, 1996, “천곡동굴 개발에 따른 환경보전,” 「동굴」, 제 45 권 제 46호, pp. 69~79.

정선균, 1996, 정선균 화암동굴의 환경보본 및 안전진단 연구보고서.

홍시환, 1978, 우리 나라의 자연동굴, 금화사.

홍시환, 1983, 한국의 석회동굴, 한국동굴학회.

홍시환, 1990, 한국 동굴 대관, 삼주출판사.

홍시환·홍충렬, 1995, “화암동굴의 환경파괴와 변화,” 「동굴」, 제 42 권 제 43호, pp. 12~31.

홍충렬, 1995, “화암동굴 지역의 지리환경 연구,” 「동굴」, 제 41 권 제 42 호, pp. 28~46.

홍현철·변대준, 1995, “화암동굴의 지형지물 특성에 관한 연구,” 「동굴」, 제 41 권 제 42호, pp. 8~26.

鹿島愛彦, 1971, 洞窟地質學入門.

洞窟團研 Group, 1971, 洞窟地學, 地學叢書.

山口大洞窟研究會, 1975, 石灰洞報告書.

- Murakami, Y. and K.Y. Paik, 1968, Result of the Speleological Survey in South Korea, 1966, XI, *Cave - dwelling myriapods from the Southern Part of Korea Bull. Natn. Sci. Mus.*, Tokyo, 11(4), pp. 795~844.
- Ueno, M, 1966, Result of the Speleological Survey in South Korea, 1966, II, *Gammarid Amphipoda found in Subterranean waters of South Korea Bull. Natn. Sci. Mus.*, Tokyo, 9(4), pp. 501~535.
- Yamaski, T., 1969, Result of the Speleological Survey in South Korea, 1966, XVII, *Cave - dwelling camel crickets from South Korea Bull. Natn. Sci. Mus.*, Tokyo, 12(3), pp. 615~621.