

안정성 동위원소 분석을 통한 떼까마귀 월동 개체군의 번식지 추정

최 창 용 · 남 현 영*

동아시아-대양주 철새이동경로 파트너십 사무국 · *국립공원연구원 철새연구센터

Breeding Range Estimation of Wintering Rooks in Korea by Stable Isotope Analysis

CHOI, Chang-Yong · Hyun-Young NAM*

East Asian-Australasian Flyway Partnership Secretariat

*Migratory Birds Center, Korea National Park Service

ABSTRACT

Understanding the breeding range of migratory birds is important for ecological studies, conservation, disease surveillance as well as environmental researches on climate change. To overcome several limitation of classic extrinsic markers and tracking devices in the breeding range estimation of wintering Rooks (*Corvus frugilegus*) in Korea, we collected wing feathers of young rooks at Ulsan city and analyzed stable hydrogen and oxygen isotopes from 2008 to 2010. According to the overlapped layers of known breeding ranges, standardized isotopes from feather analyses, and reported isotopes in precipitation, the Amur River Basin between northern Heilongjiang Province in China and southern Amur Oblast in Russia was identified as a main breeding range of the rooks wintering in Korea, particularly in Ulsan city. We suggest that this result indicates the high effectiveness of stable isotopes as general geographic markers in migration studies. To clearly understand the migration strategy of rooks in north-east Asia, the identified breeding range of rooks may need to be confirmed or supplemented by further researches using markers and tracking devices in near future.

Key words : Amur River, breeding range, *Corvus frugilegus*, feather, stable isotope

서 론

월동 조류의 번식지를 파악하는 것은 철새의 이동생태 연구, 철새와 서식지의 보전에 중요할 뿐만 아니라(Pérez and Hobson, 2007), 질병의 매개체로서의 역할, 기후변화의 영향 등을 파악하고 예측하는데 유용한 정보를 제공한다(Pérez *et al.*, 2008). 떼까마귀(Rook, *Corvus frugilegus*)는 주로 큰 무리를 이루어 도래하는 겨울철새로서(이우신 등, 2000), 국내에 약 50,000여 개체가 월동하는 것으로 알려져 있다(국립생물자원관, 2010). 특히 울산광역시와 태화강변에 조성된 대나무 숲은 대규모의 집단을 수

용할 수 있는 안정적인 공간을 제공함으로써, 국내 최대 규모인 30,000~40,000개체의 떼까마귀가 이 지역을 매년 잠자리로 이용하고 있다(국립생물자원관, 2010). 그러나 현재 울산광역시를 비롯한 주요 월동지에 도래하는 떼까마귀 개체군의 번식지에 대한 정보는 알려져 있지 않은 상태이다. 또한 이동 경로 파악을 위해 기본적으로 적용되는 가락지 부착조사는 광범위한 면적의 번식지에서 극히 제한적으로 실시될 뿐만 아니라 재관찰/재포획 가능성이 낮다는 단점이 있으며, 인공위성 추적장치를 이용하는 추적 방법은 떼까마귀의 적은 체중과 장치의 높은 운영비용을 감안할 때 그 효율성이 높지 않은 것으로 판단된다. 따라서 국내에서 월동하는 떼까마귀 개체군의 번식지를 파악하기 위해 조류의 외부에 부착물을 부착하여 이동경로를 추적하는 기존 방법을 활용하기에는 많은 제약이 따르므로 이를 대체할 수 있는 방법이 필요한 실정이다.

많은 원소들은 자연 상태에서 중성자 수의 차이로 인해 둘 이상의 동위원소의 혼합으로 존재하며(Inger and Bearhop, 2008), 동위원소는 자연계에 안정적인 상태이자 생물체에 무해한 안정성 동위원소(stable isotope)와 불안정한 상태로 생물체에 유해한 방사성 동위원소(radio active isotope)로 구분된다. 깃털과 같은 비활성 조직에 축적된 안정성 동위원소는 조직의 형성 당시의 안정성 동위원소 상태를 지속적으로 유지한다(Hobson and Wassenaar, 1997; Hobson *et al.*, 1999; Bearhop *et al.*, 2003). 따라서 동물의 비활성 조직에 기록된 안정성 동위원소는 동물의 생태학적 연구의 중요한 화학적인 추적자로서 활용되고 있다(Gannes *et al.*, 1997; West *et al.*, 2006; Inger and Bearhop, 2008). 안정성 동위원소 중 산소, 질소, 수소, 탄소 등은 지역, 시기, 생태계 등에 따라 서로 다른 물리화학적 특성을 보인다(Clark *et al.*, 2006). 특히 산소와 수소의 안정성 동위원소 비율은 지역적 강수량에 차이를 보이므로, 해당 조직이 형성된 지리적 위치를 추적하는데 이용하는 사례가 늘어나고 있다(Hobson and Wassenaar 1997, Hobson *et al.*, 1999; Bowen *et al.*, 2005; Clark *et al.*, 2006; Pérez and Hobson 2007). 따라서 본 연구는 외부 표식 부착을 통한 이동경로 파악의 한계를 극복하기 위하여, 울산광역시에 집단으로 도래하여 월동하는 떼까마귀의 잠자리에서 수집한 깃털에서 안정성 동위원소를 분석하는 비침습적(non-invasive) 방법을 통해 월동 개체군의 번식지를 추정하는 것을 목적으로 한다.

재료 및 방법

연구에 필요한 떼까마귀의 깃털을 확보하기 위하여 2008년 1월과 2009년 1월, 떼까마귀가 주요 잠자리로 이용하는 울산광역시 남구 삼호동에 위치한 대나무숲을 조사하였다. 대나무숲 내부에서 월동 중 폐사한 떼까마귀 사체 또는 날개를 수집한 이후, 깃털의 특징을 통해 해당 개체의 연령을 파악하였다. 이후 번식지의 강수(precipitation)에 포함된 안정성 동위원소 비율을 고정한 깃털을 선택하기 위해(Hobson *et al.*, 1999), 모든 날개깃이 번식지에서 형성되는 1년생 겨울깃의 어린 새만 분석에 활용하였다. 수집된 사체와 깃털 시료는 분석 직전까지 -25°C 에 냉동 보관하였다.

2010년 11월, 안정성 동위원소를 분석할 부분으로 깃털의 상태가 양호하고, 오염이 덜한 첫째날개깃(primary wing feather)과 둘째날개깃(secondary wing feather)을 선택하였다. 선택된 깃털은 물과 70% 알코올로 외부 오염물질을 1차 제거한 이후, 각 깃털의 끝부분에서 안쪽 깃판(inner web)을 약 25mm^2 크기로 잘라 시료를 확보하였다. 각 시료는 0.25 M 수산화나트륨 용액에서 세척한 이후, 증류수로 다

시 2회 세척하였다. 세척된 깃털은 60℃에서 24시간 건조하였으며, 균질한 분석을 위해 깃털을 미세한 조각으로 세절하고, 이를 섞어서 시료를 준비하였다. 준비된 시료는 Iso-Analytical Limited (영국)의 실험실에서 EA-IRMS (Elemental Analyser - Isotope Ratio Mass Spectrometry)를 이용하여 안정성 동위원소를 분석하였다.

수소 분석을 위해 우선 깃털시료 1mg을 캡슐(silver capsule; 직경 5mm, 높이 8mm)에 넣어 깃털 케라틴의 치환성 수소(exchangeable hydrogen)가 실험실 대기 중의 습도와 평형 상태에 도달하도록 96시간 동안 대기하였다. 이후 시료와 표준시료(references)가 든 캡슐을 1,080℃ 화로에서 열분해하여 수소(H_2)를 방출시키고, 이 수소가스를 35℃에서 가스 크로마토그래피 컬럼에 통과시켰다. 이는 다시 IRMS에서 이온화되고 가속화되어 자기장 내에서 질량차에 따라 2H 와 3H 를 각각 분석하였다. 표준시료 물질로는 국제원자력기구(IAEA)의 표준 NBS-22 (mineral oil, $\delta^2H_{V-SMOW} = -118.5\%$)로 보정한 IA-R002 (mineral oil, $\delta^2H_{V-SMOW} = -111.2\%$)를 이용하였다.

산소 분석을 위한 표준 시료로는 IAEA-CH-6 (sucrose, $\delta^{18}O_{V-SMOW} = 36.4\%$)을 사용하였으며, 깃털 산소량 분석의 정밀도를 판단하기 위해 IAEA-CH-6, IAEA-C-3 (cellulose, $\delta^{18}O_{V-SMOW} = 32.2\%$), IAEA-601 (benzoic acid, $\delta^{18}O_{V-SMOW} = 23.3\%$)을 함께 분석하였다. 깃털시료 1mg을 캡슐에 넣어 표준시료와 함께 60℃에서 72시간 동안 건조하여 수분을 제거한 이후 바로 분석을 실시하였으며, 열에 취약한 IAEA-601은 가열 건조를 생략하고 바로 분석에 이용하였다. 깃털 시료와 표준 시료들은 윗부분이 10mm 환원제층(50% nickelized carbon)으로 덮히고 170mm 유리탄소 칩으로 충전된 유리탄소필름이 배열된 석영 반응 튜브 속에서 1,080℃로 분해되었다. 일산화탄소의 형태로 기화된 산소는 가스 크로마토그래피를 통과한 이후, 65℃에서 5A 분자체(molecular sieve 5A)를 거쳐 IRMS에서 ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O 를 각각 분석하였다.

떼까마귀에서 확인된 동위원소 값을 보정하여 번식 지역의 강수에 포함된 안정성 동위원소 값을 추정하기 위해, Hobson *et al.* (2004)에 제시된 깃털의 동위원소 값(feather sample δ^2H_f and $\delta^{18}O_f$)과 깃털성장기 강수의 비추세 추정값인 GSD (growing season detrended δ^2H_p) 및 GSO (growing season detrended $\delta^{18}O_p$)의 상관관계 수식을 이용하였다. 최종적으로 어린 떼까마귀의 날개깃이 형성된 번식지를 추정하기 위해 ArcGIS 9.2 프로그램(ESRI, USA)을 이용하여, 번식지의 강수 내 동위원소 추정값의 95% 신뢰한계 범위, IAEA에서 제공하는 동북아시아의 위도별 강수 내 동위원소 값 분포도(Bowen *et al.*, 2005; Clark *et al.*, 2006; Pérez *et al.*, 2008), 기존에 알려진 떼까마귀의 번식 분포도(이우신 등, 2000; MacKinnon and Phillipps, 2000; Brazil, 2009)를 함께 비교하였다.

결 과

1. 안정성 동위원소 분석 결과

1) 깃털 내의 수소 분석 결과

총 3점의 시료에서 떼까마귀 깃털시료의 비치환성(non-exchangeable) δ^2H_f 가 분석되었으며, 이를 통해 추정된 깃털성장기 강수의 수소(GSD: growing season detrended δ^2H_p)는 $-84.55 \pm 8.69\%$ (Table 1), 95% 신뢰한계는 -74.72% 와 -94.38% 사이에 해당하였다(Fig. 1).

Table 1. Analyzed $\delta^2\text{H}_f$ from collected feathers of Rooks (*Corvus frugilegus*) and estimated growing season detrended $\delta^2\text{H}_p$ in precipitation (GSD)

Sample ID	$\delta^2\text{H}_f$ (‰) (non-exchangeable)	Estimated GSD (‰)*
RU09	-127.92	-94.31
RU10	-111.85	-81.68
RU22	-106.74	-77.67
Mean \pm SD (standard deviation)		-84.55 \pm 8.69

*GSD was estimated based on $\delta^2\text{H}_f$ following Hobson *et al.* (2004)

2) 산소 분석 결과

총 20점의 시료에서 떼까마귀 깃털 내부의 $\delta^{18}\text{O}_f$ 가 분석되었다. 분석 결과, 깃털성장기 강수의 산소 (GSO: growing season detrended $\delta^{18}\text{O}_p$)는 -84.55 \pm 8.69‰로 추정되었으며(Table 2), 95% 신뢰한계 수준은 -11.70‰와 -12.74‰에 해당하였다(Fig. 2).

Table 2. Analyzed $\delta^{18}\text{O}_f$ from collected feathers of Rooks (*Corvus frugilegus*) and estimated growing season detrended $\delta^{18}\text{O}_p$ in precipitation (GSO)

Sample ID	$\delta^{18}\text{O}_f$ (‰)	Estimated GSO (‰)*
RU01	17.78	-8.80
RU02	11.21	-12.94
RU02-1	10.66	-13.28
RU03	10.66	-13.29
RU03-1	10.06	-13.66
RU04	10.81	-13.19
RU04-1	11.17	-12.96
RU05	14.60	-10.80
RU05-1	13.99	-11.19
RU06	12.53	-12.11
RU07	10.98	-13.08
RU08	13.10	-11.75
RU09	14.56	-10.82
RU10	10.03	-13.68
RU21	12.44	-12.17
RU22	12.23	-12.30
RU23	12.63	-12.04
RU24	12.03	-12.42
RU25	13.08	-11.76
RU25-1	12.47	-12.14
Mean \pm SD (standard deviation)		-12.22 \pm 1.18

*GSO was estimated based on $\delta^{18}\text{O}_f$ following Hobson *et al.* (2004)

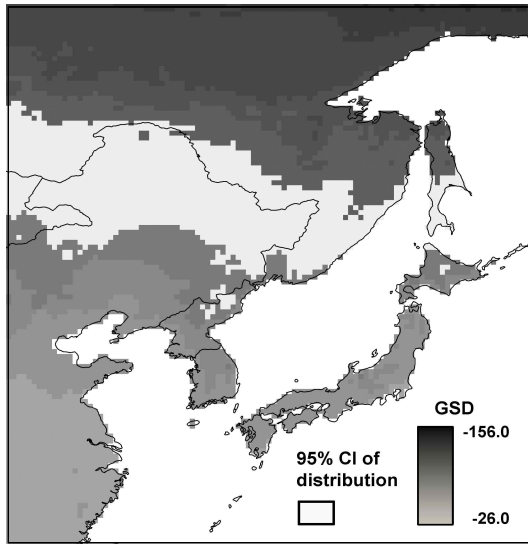


Fig. 1. Growing season detrended $\delta^2\text{H}$ (GSD) in precipitation (‰) and the estimated breeding distribution of Rooks (*Corvus frugilegus*) ranging from -74.72‰ to -94.38‰ (95% of confidence interval).

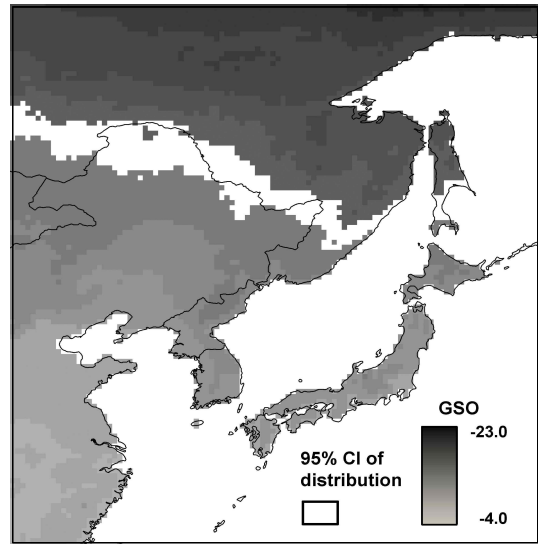


Fig. 2. Growing season detrended $\delta^{18}\text{O}$ (GSO) in precipitation (‰) and the estimated breeding distribution of Rooks (*Corvus frugilegus*) ranging from -11.70‰ to -12.74‰ (95% of confidence interval).

2. 떼까마귀의 번식지 추정

아시아의 강수에서 확인된 GSD와 GSO 분포, 떼까마귀 번식지의 강수에 포함된 것으로 산출된 GSD와 GSO의 95% 신뢰한계 분포, 기존에 알려진 동북아시아의 떼까마귀 번식지 분포를 중첩한 결과, 이상의 세 가지 분포가 동시에 겹치는 지역으로 아무르 강을 중심으로 한 중국과 러시아의 국경 지역이 주로 추출되었다(Fig. 3). 따라서 우리나라, 특히 울산에 도래하여 월동하는 떼까마귀의 주요 번식지는 중국 흑룡강 성(Heilongjiang) 북부 및 러시아의 아무르 주(Amur Oblast) 남부의 아무르 강 유역과 러시아의 연해주(Primorsky Krai) 북부로 추정되며, 기타 자바이칼스키(Zabaykalsky Krai) 중부 지역에서 도래할 가능성도 배제할 수는 없을 것으로 판단된다. 주요 번식지가 아무르 강 유역이라고 볼 때, 울산에서 월동하는 떼까마귀의 편도 이동거리는 약 1,300~2,000km로 추정된다.

고 찰

우리나라에서 월동하는 떼까마귀는 몽골, 중국 중부와 동부, 극동 러시아와 아무르 분지(Amur Basin), 한반도 북부 등에 분포하는 동부 개체군(*Corvus frugilegus pastinator*)에 해당한다(Vaurie 1959, Brazil 2009). 본 연구 결과에 따르면, 우리나라의 울산 지역에서 월동하는 떼까마귀는 주로 중국 흑룡강 성(Heilongjiang) 북부 및 러시아의 아무르 주(Amur Oblast) 남부의 아무르 강 유역과 러시아의 연해주(Primorsky Krai) 북부에서 번식한 것으로 추정되었으며, 연간 이동거리는 최대 4,000km에 이를 것으로 보인다. 그러나 비록 지리적으로 거리가 멀기는 하지만 자바이칼스키(Zabaykalsky Krai) 중부 지역에서 번식했을 가능성도 완전히 배제할 수 없는 것으로 나타났으며, 이 경우 연간 이동거리는 더 늘어날 가능성이 있다.

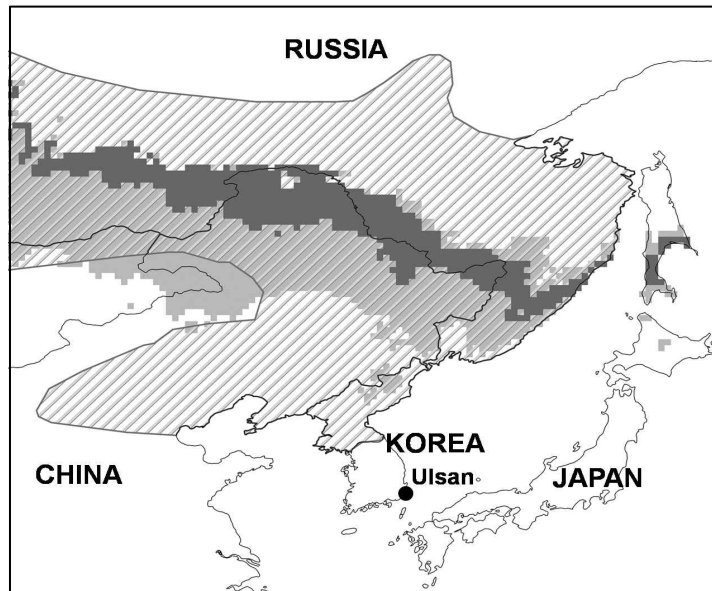


Fig. 3. Known breeding ranges (diagonal area) of Rooks (*Corvus frugilegus*) in literatures and 95% CIs of GSD (grey area) and GSD (dark grey area) in precipitation at breeding areas estimated from stable isotopes of wing feathers. The overlapped area of three ranges indicates the most probable breeding area of wintering Rooks in Ulsan City, Korea

본 연구에서 확인된 지리적 분포의 지형적 특징을 살펴보면, 떼까마귀의 번식지로 추정된 지역은 일부의 고원지대(high plateau)를 제외한 대부분이 아무르 강을 중심으로 한 낮은 산지(low mountain), 구릉 산지(hill mountain), 계곡(valley), 구릉성 평야(hill's plain), 평야(plain), 함몰지(depression) 등으로 구성된 해발 900m 미만, 경사도 20도 미만의 지형에 해당한다(Ermoshin and Ganzey, 2010). 먹이터로 활용되는 저지대의 개활지와 초지, 농경지가 인접한 숲, 잡목림, 숲 가장자리 등에서 집단으로 번식하는 떼까마귀의 습성(Vaurie, 1959; Mason and MacDonald, 2004; Brazil, 2009)을 감안한다면, 이 일대의 광범위한 지역이 떼까마귀의 번식과 먹이활동에 적합한 환경인 것으로 판단된다.

안정성 동위원소 분석은 화학적 마커를 사용하는 비침습적인 방법으로써 최근 생태학에서부터 법의학 분야까지 널리 사용되고 있으며(Gannes *et al.*, 1997; Bowen *et al.*, 2005; West *et al.*, 2006; Inger and Bearhop, 2008), 다양한 동물의 이동 및 분포 연구에도 많이 활용되고 있다(Hobson and Wassenaar, 1997; Hobson *et al.*, 1999; Clark *et al.*, 2006; Pérez and Hobson, 2007). 특히 안정성 동위원소를 이용한 이동 연구의 대부분은 이동의 연결성(migratory connectivity)을 파악하는 것에 중점을 두고 있다(Rubenstein and Hobson, 2004). 효율성이 낮은 전통적인 외부 표식(금속 가락지, 유색 가락지 등)의 한계를 극복하기 위해 최근 인공위성 추적장치(platform terminal transmitter: PTT), 위치기록장치(geolocator: GLS)와 같은 다양한 장비가 개발되고 소형화, 경량화되고 있으나, 이런 추적방법 역시 고비용과 높은 실패율 등 여러 가지 제약으로 인하여 떼까마귀를 직접 추적하는 데 현실적인 어려움이 있었다. 특히 대규모

로 도래하며 무리를 짓는 떼까마귀의 특성으로 인해 외부 표식이나 장치가 부착된 특정 개체를 다시 발견하거나 재포획할 수 있는 가능성이 낮은 상황에서, 깃털을 이용한 안정성 동위원소는 떼까마귀의 번식지와 월동지의 연결성을 확인할 수 있는 유용한 방법으로 나타났다.

안정성 동위원소를 이용한 화학적 마커 추적은 기존의 가락지 부착 조사 결과와 병행할 경우 철새의 이동 전략을 이해하는 매우 유용한 방법으로 활용될 수 있다(Smith *et al.*, 2003). 그러나 아시아 대륙의 강수에 포함된 안정성 동위원소의 분포 현황은 아직 충분히 알려지지 않은 상태이며, 강수에 포함된 동위원소와 새로 형성된 떼까마귀의 깃털에 고정된 동위원소의 상관관계는 명확하게 밝혀진 바 없으므로, 본 연구 결과를 해석함에 있어 신중한 접근이 필요한 부분도 있다. 따라서 동북아시아 떼까마귀 개체군의 이동전략을 이해하고 이들을 보전 또는 관리하기 위해서는 표식조사나 추적장치 부착 등의 연구를 통해 본 연구에서 추정된 번식지를 확증하려는 노력이 필요하다. 그럼에도 불구하고 이번 연구는 안정성 동위원소를 이용하여 철새의 번식지를 추정한 국내 첫 번째 시도로서 그 의미가 크다고 판단되며, 향후 철새를 비롯하여 여러 이동성 동물의 장거리 이동을 분석하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 2010년도 한국자연환경보전협회 자연환경보전학술연구사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

인용문헌

- 국립생물자원관, 2010. 2010년도 겨울철 조류 동시 센서스. 환경부 국립생물자원관, 인천. p. 588.
- 이우신, 구태희, 박진영, 2000. 한국의 새. LG 상록재단. 서울. p. 320.
- Bearhop, S., R. W. Furness, G. M. Hilton, S. C. Votier and S. Waldron. 2003. A forensic approach to understanding diet and habitat use from stable isotope analysis of (avian) claw material. *Funct. Ecol.* 17: 270-275.
- Bowen, G. J., L. I. Wassenaar and K. A. Hobson. 2005. Global application of stable hydrogen and oxygen isotopes to wildlife forensics. *Oecologia* 143: 337-348.
- Brazil, M. 2009. Birds of East Asia: China, Taiwan, Korea, Japan, and Russia. Princeton University Press, New Jersey. p. 528.
- Clark, R. G., K. A. Hobson and L. I. Wassenaar. 2006. Geographic variation in the isotopic (δD , $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$, $\delta^{34}S$) composition of feather and claws from lesser scaup and northern pintail: implications for studies of migratory connectivity. *Can. J. Zool.* 84: 1395-1401.
- Ermoshin, V. V. and S. S. Ganzey. 2010. GIS creation of Amur River Basin for land-use management: results and prospects (Amur River Basin: Russia, China, Mongolia), pp. 263-272, In Shiraiwa, T (ed.), 2010. Final Reports of the Amur Okhotsk Project 2005-2009. <http://www.chikyu.ac.jp/AMORE/lecturenote.htm>.

- Gannes, L. Z., D. M. O'Brien and C. M. del Rio. 1997. Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more laboratory experiments. *Ecology* 78: 1271-1276.
- Hobson, K. A. and L. I. Wassenaar. 1997. Linking brooding and wintering grounds of neotropical migrant songbirds using stable hydrogen isotopic analysis of feathers. *Oecologia* 109: 142-148.
- Hobson, K. A., L. Atwell and L. I. Wassenaar. 1999. Influence of drinking water and diet on the stable-hydrogen isotope ratios of animal tissues. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 8003-8006.
- Hobson, K. A., G. J. Bowen, L. I. Wassenaar, Y. Ferrand, H. Lormee. 2004. Using stable hydrogen and oxygen isotope measurements of feathers to infer geographical origins of migrating European birds. *Oecologia* 141: 477-488.
- Inger, R. and S. Bearhop. 2008. Applications of stable isotope analyses to avian ecology. *Ibis* 150: 447-461.
- MacKinnon, J. and K. Phillipps. 2000. A Field Guide to the Birds of China. Oxford University Press, New York. p. 858.
- Mason, F. and S. M. MacDonald. 2004. Distribution of foraging rooks, *Corvus frugilegus*, and rookeries in a landscape in eastern England dominated by winter cereals. *Folia Zool.* 53: 179-188.
- Pérez, G. E. and K. A. Hobson. 2007. Feather deuterium measurements reveal origins of migratory western loggerhead shrikes (*Lanius ludovicianus excubitorides*) wintering in Mexico. *Diversity Distrib.* 13: 166-171.
- Pérez, G. E., K. A. Hobson, E. J. Garde and M. Gilbert. 2008. Stable-hydrogen Isotope Analysis (δD) of Asian Wild Aquatic Bird Feathers Reveal Migratory Movements. Wildlife Conservation Society, New York. p. 55.
- Rubenstein, D. R. and K. A. Hobson. 2004. From birds to butterflies: animal movement patterns and stable isotopes. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 256-263.
- Smith, R. B., T. D. Meehan and B. O. Wolf. 2003. Assessing migration patterns of sharp-shinned hawks *Accipiter striatus* using stable-isotope and band encounter analysis. *J. of Avian Biol.* 34: 387-392.
- Vaurie, C. 1959. The Birds of the Palearctic Fauna: a Systematic Reference. Order Passeriformes. H. F. & G. Whitherby Limited, London. p. 431.
- West, J. B., G. J. Bowen, T. E. Cerling and J. R. Ehleringer. 2006. Stable isotopes as one of nature's ecological recorders. *Trends Ecol. Evol.* 21: 408-414.

요 약

철새의 번식지를 파악하는 것은 생태적인 연구 및 개체군의 보전뿐만 아니라, 이들이 옮길 수 있는 질병의 전파 양상을 이해하고 기후변화의 영향을 이해하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 전통적으로 사용되어 오던 부착물을 이용한 이동경로 파악이나 추적장치를 통한 방법은 많은 제약이 따르게 되므로, 국내에 도래하는 폐까마귀(*Corvus frugilegus*) 무리의 번식지를 파악하기 위해 2008년부터 2010년까지 울산에서 월동하는 폐까마귀 어린새의 깃털을 수집하고 그 내부에 포함된 수소와 산소의 안정성 동위원소를 분석하였다. 기존에 알려진 폐까마귀의 번식지 분포, 보정값이 적용된 깃털의 안

정성 동위원소 추정값, 강수 내에 포함된 안정성 동위원소량 등을 종합적으로 분석한 결과, 우리나라 특히 울산에 도래하여 월동하는 떼까마귀는 중국 흑룡강 성 북부 및 러시아의 아무르 주 남부의 아무르 강 유역에서 주로 번식하는 것으로 추정되었다. 이 결과는 철새의 이동연구에서 지리적 표식자로서 안정성 동위원소의 높은 효율성을 보여주는 것으로서, 향후 동북아시아 떼까마귀 개체군의 이동전략을 자세히 파악하기 위해서는 표식조사 및 추적장치 부착 등의 추가 연구를 통해 본 연구에서 추정된 번식지를 확증하는 노력이 요구된다.

검색어 : 깃털, 떼까마귀, 번식지, 아무르 강, 안정성 동위원소