creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

농학석사 학위논문

몽골에서 번식하는 개리(*Anser cygnoides*)와 줄기러기(*Anser indicus*)의 공간 이용과 종내 상호작용

Spatial use of and intraspecies interactions in conspecific Swan Geese (*Anser cygnoides*) and Bar-headed Geese (*Anser indicus*) breeding in Mongolia

2020년 2월

서울대학교 대학원

산림과학부 산림환경학전공

백 민 재

몽골에서 번식하는 개리(*Anser cygnoides*)와 줄기러기(*Anser indicus*)의 공간 이용과 종내 상호작용

Spatial use of and intraspecies interactions in conspecific Swan Geese (*Anser cygnoides*) and Bar-headed Geese (*Anser indicus*) breeding in Mongolia

지도교수 이 우 신

이 논문을 농학석사 학위논문으로 제출함
2020년 1월

서울대학교 대학원
산림과학부 산림환경학전공
백 민 재

백민재의 석사 학위논문을 인준함
2020년 1월

위 원 장 _____ 박필선 _____ (인)

부위원장 _____ 이우신 _____ (인)

위 원 _____ 허위행 _____ (인)

국문초록

개리(*Anser cygnoides*)와 줄기러기(*Anser indicus*)는 몽골에서 동일한 번식지를 이용하는 종으로서, 개리는 동아시아-대양주 철새이동경로(East Asian-Australasian Flyway)를 통해, 줄기러기는 중앙아시아 철새이동경로(Central Asian Flyway)를 통해 번식지와 비번식지를 이동한다. 몽골의 번식지와 달리 저위도 지역에 위치한 두 종의 비번식지는 조류 인플루엔자 바이러스의 주요 발발 지역으로 알려져 있기에 몽골의 번식지는 서로 다른 비번식지에서 유입된 바이러스가 교환되고 다시 서로 다른 이동경로를 따라 확산되는 장소가 될 수 있다. 따라서 번식지에서 두 종의 공간이용과 상호작용에 대한 정보는 두 종의 기초 생태 및 조류 인플루엔자 확산을 이해하는데 유용하게 활용될 수 있다. 따라서 본 연구는 몽골 내 번식지에서 무선추적을 통해 확보한 두 종의 좌표를 분석함으로써, 종별 번식기의 행동권과 공간 이용을 이해하고, AIV 감염이 개체의 행동에 미치는 영향, 종내 상호작용을 통한 AIV 전파 위험성을 파악하고자 하였다.

개리와 줄기러기의 번식지에서 확보한 좌표를 이용하여 90% 및 50% 커널 밀도(kernel density estimation)를 구하고, 이를 각각 행동권(home range)과 핵심서식지(core area)로 정의하였다. 주별로 산정한 행동권과 핵심서식지 면적의 시간적 변화를 분석한 결과, 행동권과 핵심서식지는 종, 서식지, 시기에 따른 면적의 증가와 감소가 있었으며, 이는 새끼 성장과 깃의 성장에 따른 개체의 이동 능력 변화 및 시간에 따른 먹이 자원의 고갈, 이주 준비를 위한 먹이 활동의 증대 등과 관련된 것으로 보인다.

개리를 대상으로 AIV 감염이 미치는 야생조류의 행동에 미치는

영향을 파악하고자 행동권과 이동 거리의 차이를 분석한 결과, AIV 감염은 개체의 행동권과 이동 거리에 통계적으로 차이는 나타났으나, 생태적으로 유의한 영향으로 보기에는 어려웠다. AIV의 개체 간 전파 가능성을 평가하기 위해 개체 간 공간이용을 '유인'과 '회피'로 나누고 상호작용지수(IAB index)로 산출하여 감염 개체와 비감염 개체 간의 차이를 분석한 결과, AIV 감염 여부는 개체 간 유인, 회피, 상호작용지수에 영향을 미치지 않아 감염 개체와 비감염 개체간 물리적 회피는 나타나지 않았다. 이는 집단생활을 하는 개리와 줄기러기의 생태적 특징으로 인한 결과일 수 있으며, AIV의 개체간 전파가 무작위하게 발생할 수 있음을 의미한다. 이와 같이 두 종의 공동 번식지에서의 AIV 감염 및 비감염 개체 간 무작위로 발생하는 상호작용은 종내 AIV 전파 가능성을 높이고, 특히 번식지에서 바이러스에 면역이 형성되지 않은 어린 개체의 감염 가능성을 의미하며, 향후 번식기 이후의 이주행동으로 인해 서로 다른 이동경로를 따라 AIV의 확산 및 장거리 전파가 일어날 수 있음을 보여준다.

본 연구는 개리와 줄기러기의 번식지에서의 공간 이용에 대한 정보를 제공하며, 신규 감염성 질병에 노출된 두 종에 대한 향후 종 보전을 위한 자료로 활용될 수 있다. 또한, AIV가 개체의 활동에 미치는 영향을 파악하고자 분석에 있어 상대적으로 짧은 좌표 획득 간격의 데이터를 활용하였다는 점, 감염기 동안의 움직임만을 분석하였다는 점에 연구 의의가 있다.

주요어 : 개리, 번식지, 상호작용, 조류인플루엔자, 줄기러기, 행동권

학 번 : 2018-27702

목 차

Ⅰ. 서 론 ····· 1
1. 연구 배경 ····· 1
2. 연구 목적 ····· 4

Ⅱ. 연 구 사 ····· 6

Ⅲ. 연구 대상 및 방법 ····· 13
1. 연구 대상종 ····· 13
2. 연구 지역 ····· 16
3. 연구 방법 ····· 18
3.1. 포획 및 위치 데이터 수집 ····· 18
3.2. 행동권 분석 ····· 21
3.3. 조류 인플루엔자 감염에 따른 개리의 행동 차이 ····· 25
3.4. 개체 간 상호작용 및 병원균 전파 위험도 ····· 29

Ⅳ. 연구 결과 및 고찰 ····· 31
1. 개리와 줄기러기의 번식지에서의 행동권 ····· 31
1.1 개리와 줄기러기의 번식지에서의 행동권 ····· 31
1.2 고찰 ····· 40
2. 조류 인플루엔자 감염에 따른 개리의 공간 이용 ··· 42
2.1 조류 인플루엔자 감염에 따른 이동 거리 ····· 42
2.2 조류 인플루엔자 감염에 따른 행동권 ····· 44

2.3 고찰 ····· 47
3. 조류 인플루엔자 바이러스 감염에 따른 종내 상호작용 ····· 49
3.1 개체 간 상호작용 및 병원균 전파 위험도 ····· 49
3.2 고찰 ····· 54

Ⅴ. 종합 고찰 ····· 55

Ⅵ. 결론 ····· 58

인용 문헌 ····· 60

Abstract ····· 71

표 목 차

Table 1. Molting period of the Swan and Bar-headed Geese. ····· 10

Table 2. Information of the captured and tracked Swan (*Anser cygnoides*) and Bar-headed Geese (*A. indicus*) in Mongolia used for spatial analysis in this study. ····· 23

Table 3. Avian Influenza Virus Infection status of the 17 Swan Geese (*Anser cygnoides*) used in this study (source: USGS and USDA, unpublished data). ····· 26

Table 4. KDE Changes Swan Geese and Bar-headed Geese at breeding grounds. ····· 33

Table 5. Core areas (50% KDE) and home range (90% KDE) of Swan Geese (*Anser cygnoides*) and Bar-headed Geese (*Anser indicus*) in breeding grounds. ····· 35

Table 6. Summary of the generalized additive models on the changes in core areas (50% kernel density estimation: KDE) of the Swan (*Anser cygnoides*) and Bar-headed Geese (*Anser indicus*) by parameter. ····· 37

Table 7. Summary of the generalized additive models on the changes in core areas (90% kernel density estimation: KDE) of the Swan (*Anser cygnoides*) and Bar-headed Geese (*Anser indicus*) by parameter. ····· 38

Table 8. Summary of the generalized additive models on the changes in travel distance of the Swan (*Anser cygnoides*) and Bar-headed Geese (*Anser indicus*) by

parameter. ····· 39
Table 9. Impact of AIV on travel distance (n = 7,029) of Swan Geese based on the general linear model. ····· 43
Table 10. Core areas (50% KDE) and home range (90% KDE) of Swan Geese in 4 lakes during AIV susceptible periods. ····· 45
Table 11. Impact of AIV on core area (50% KDE) and home range (90% KDE) of the Swan Geese (n = 17). Location shows statistical significance based on the general linear model. ····· 46
Table 12. Swan Geese interaction IAB index in Bus Lake. Infection status corresponds to Interacting IDs. It describes AIV infection as LP (low pathogenic avian influenza virus) and neg (Negative). ····· 51
Table 13. Swan Geese interaction IAB index in Chukh Lake. Infection status corresponds to Interacting IDs. It describes AIV infection as LP (low pathogenic avian influenza virus), HP (high pathogenic avian influenza virus), and neg (Negative). ····· 52
Table 14. Swan Geese interaction IAB index in Gulaat Lake. Infection status corresponds to Interacting IDs. It describes AIV infection as LP (low pathogenic avian influenza virus). ····· 53

그 림 목 차

Figure 1. Different migration routes of the Bar-headed (*Anser indicus*) and Swan Geese (*A. cygnoides*). Bar-headed Geese use the Central Asian Flyway (orange) while Swan Geese migrate along the northern parts of the East Asian-Australasian Flyway (blue). ····· 3

Figure 2. Deploying a GPS transmitter on a Swan Goose (*Anser cygnoides*). ····· 15

Figure 3. Deploying a GPS transmitter on a Bar-headed Goose (*Anser indicus*). ····· 15

Figure 4. Location of study areas (A: Gulaat Lake, B: Salmiin Lake, C: Chukh Lake, D: Bus Lake, E: Khaichiin Tsagaan Lake) in Mongolia. ····· 17

Figure 5. Trapping net on July 2019. ····· 20

Figure 6. Release of a GPS tagged Swan Goose on July 2019. ····· 20

Figure 7. Core areas (50% KDE, green) and home ranges (90% KDE, blue) of 17 Swan Geese (*Anser cygnoides*) tracked in Mongolia. ····· 36

Figure 8. Core areas (50% KDE, green) and home ranges (90% KDE, pink) of 9 Bar-headed Geese (*Anser indicus)* tracked in Mongolia. ····· 36

Figure 9. The difference in interaction index (IAB.exp) of AIV infected and non-infected individuals of Swan Geese (*Anser cygnoides*). LP (low pathogenic avian

influenza virus), HP (high pathogenic avian influenza virus) and neg (negative) in the horizontal axis represent Status of Infection. ····· 50

Ⅰ. 서론

1. 연구 배경

조류 인플루엔자 바이러스(Avian Influenza Virus; AIV)는 사람을 비롯한 포유동물, 가금, 야생 조류에 질병을 유발하는 인수공통감염병(zoonosis)이다. 인수공통감염병은 야생동물의 생태에 영향을 미치고, 특히 인간의 건강, 가축, 멸종위기 종에 위협이 되기에(Mathews 2009) 지속적인 예찰과 차단 방역(biosecurity)을 통한 문제 해결이 필요하다(FAO 2008). 조류 인플루엔자(Avian Influenza; AI) 문제에 있어 야생조류의 영향에 대한 논의는 광범위하게 이루어져 왔으나 현재까지 정확한 바이러스 전파 경로는 파악되지 않았다(Gauthier-clerc et al. 2007; Latorre-margalef et al. 2009). AIV는 닭을 대상으로 한 임상검사 시 병원성에 따라 저병원성 조류인플루엔자 바이러스(low phathogenic avian influenza Virus; LPAIV)와 고병원성 조류 인플루엔자 바이러스(high phathogenic avian influenza Virus; HPAIV)로 구분된다(Spackman 2008). LPAIV는 가금을 대상으로 진행된 연구를 통해 두드러진 임상 증상을 수반하지 않는 것으로 밝혀졌다(Alexander 2007; Kuiken 2013). AIV의 병원성에 대한 연구는 대부분 가금을 대상으로 이뤄졌으며 Spickler (2008)와 Alexander (2000)의 연구에 따르면 AIV는 닭과 칠면조에서 높은 치사율을 나타냈고, 가금 오리를 대상으로는 병원성이 나타나지 않았다. 닭과 칠면조에서의 치사율이 높은 경우 이는 HPAIV로 정의 되며 HPAIV의 경우 가금 산업에 피해를 야기하는 유행병으로 간주되고 있으며, 인간과 야생 조류 간 문제로 이어지고 있다(Olsen et al. 2006; Gauthier-clerc et al. 2007).

AIV 확산의 주요 원인은 축산 시스템으로 축산 시스템이 발달한 월동지는 AIV 전파 위험성이 높다(Ssematimba et al. 2013; Yu et al. 2014). 반면, 기러기의 번식지인 몽골의 자연 서식지는 서식지 근처에 축산 시스템이 발달하지 않았고(Swayne 2009), 번식지에서의 AIV 감염은 면역

력이 없는 어린 개체의 AIV 감염 발생 가능성을 의미한다(Causey & Edwards 2008).

개리(*Anser cygnoide*)와 줄기러기(*Anser indiscus*)의 경우, 몽골에서 번식기를 보내며 중복된 서식지를 이용한다. 번식기 이후 개리는 동아시아시-대양주 철새이동경로(East Asian-Australasian Flyway)를, 줄기러기는 중앙아시아 철새이동경로(Central Asian Flyway)를 이용해 비번식지로 이동하게 된다(Figure 1). 오리·기러기류의 이동과 AIV의 확산에 대한 연구가 이뤄져 왔으나 이동경로에 대해서는 아시아에서 많은 연구가 이뤄지지는 않은 실정이다(Muzaffar et al. 2008; Newman et al. 2009; Prosser et al. 2009). AIV의 장거리 확산에 있어 야생 조류가 미치는 영향에 대해서는 명확하게 밝혀진 바가 없기에(Latorre-margalef et al. 2009; Takekawa 2010) 번식지에서의 AIV 감염은 번식지로부터 다른 서식지로의 AIV 확산 가능성을 보여준다.

공통 번식지에서의 AIV 감염은 종간 상호작용을 통해 바이러스 상호감염으로 이어질 수 있으며, 이주가 시작됨에 따라 서로 다른 이동경로를 통한 번식지 외 AIV 확산 가능성 및 장거리 전파 가능성을 의미한다(Swayne 2009). 따라서 위치 추적 데이터를 통한 개리와 줄기러기 두 종의 행동권과 종내 상호작용을 분석함으로써 종 별 행동적 특성에 대한 파악과 번식지에서 비번번식지로의 이동경로를 통한 AIV의 장거리 확산과 이에 대한 야생조류의 역할에 대한 이해가 필요하다.

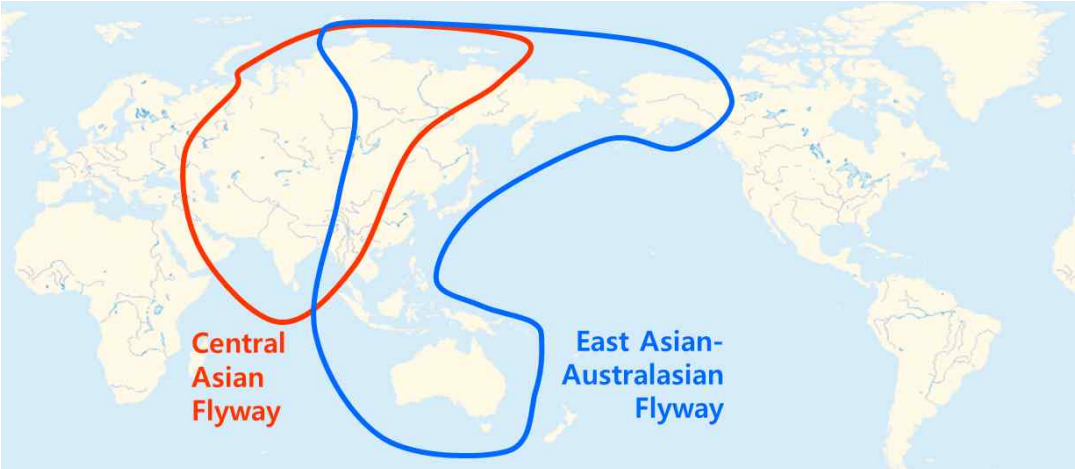

Figure 1. Different migration routes of the Bar-headed (*Anser indicus*) and Swan Geese (*A. cygnoides*). Bar-headed Geese use the Central Asian Flyway (Orange) while Swan Geese migrate along the northern parts of the East Asian-Australasian Flyway (Blue).

2. 연구 목적

개리와 줄기러기는 몽골 번식지에서 함께 서식하는 공서성의 기러기 종이다. 두 종은 동일한 번식지에서 서식 이후 각기 다른 철새이동경로를 통해 비번식지로 이동한다. 개리는 동아시아-대양주 철새이동경로를 통해 서해안을 거쳐 개체군의 대부분이 중국에서 비번식기를 보낸다. 줄기러기는 중앙아시아 이동경로를 따라 인도, 중국으로 이동하고 비번식기를 지낸다(Kear 2005).

두 종의 번식지에서의 행동권과 종내 상호작용의 파악은 공서성 조류의 종 별 서식지 이용 특성 파악 및 바이러스 전파에 대한 이해를 가능하게 한다. 특히, 개체 간 상호작용을 통한 바이러스 상호감염은 이주 시기의 각 이동경로로의 AIV 장거리 전파 가능성 높인다. 이는 서로 다른 지리적 위치에 있는 AIV의 장거리 전파 및 번식지 유입, 개체 간 감염, 번식지 외부로의 확산 가능성을 의미한다. 따라서 번식지에서 기러기의 행동권, 상호작용 연구는 AIV의 장거리 전파를 이해하고, 야생 조류의 역할을 이해할 수 있는 계기가 된다.

개리와 줄기러기의 번식기 동안의 공간 이용은 번식 여부, 새끼의 성장, 깃갈이, 서식지의 먹이 자원량 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 번식지에서의 행동권 변화를 일주일 간격으로 분석함으로써 새끼의 성장, 깃의 성장, 이주 전 에너지 보충에 따른 행동권이 증가할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 1) 개리와 줄기러기의 번식지 공간이용은 시간이 경과함에 따라 이용 서식지 면적과 이동 거리가 증가할 것이라는 가설을 검증하고, 이를 위해 개리와 줄기러기의 행동권의 변화를 커널밀도함수(kernel density estimation: KDE)를 통해 파악하였다.

AIV 감염이 야생조류에 미치는 영향을 파악하고자 개리를 대상으로 AIV 감염 개체와 비감염 개체 간 이동 거리(travel distance), 행동권 차이를 파악하고자 하였고, Latorre-Margalef et al. (2009)의 선행 연구에 따라 2) AIV의 감염 개체와 비감염 개체 간의 이동 거리, 행동권에는 차이가 없을 것으로 예상하였다. 이를 검증하고자 AIV 감염 여부에 따

른 이동 거리와 행동권 일반화선형모형(generalized linear model: GLM)을 통해 검증하였다.

번식지에서의 AIV 문제는 한정된 서식 환경에서의 개체, 개체군 내, 종 간 질병 전파 작용으로 볼 수 있다. 병원균은 숙주의 건강을 저하시켜 활동 등의 감소로 이어진다고 알려져 있다(Venesky et al. 2009). 야생동물의 장거리 이주는 조류 인플루엔자 바이러스, 에볼라 바이러스(Ebola virus), 웨스트 나일 바이러스(West Nile virus)와 같은 동물매개 감염 병원균이 확산시키는 것으로 추정되고 있다(Alekseev et al. 2001; Hubálek 2004). 야생동물에 의한 병원균의 전파가 이뤄지기 위해서는 감염지로부터 야생동물의 분산이 발생함과 동시에 감염 개체로 인한 병원균의 수반 및 장거리 이주 동안의 감염 상태의 유지가 있어야 한다(Weber & Stilianakis 2007). 하지만 야생동물은 질병을 유발하는 감염성 병원체나 기생충을 피하기 위해 감염 증상을 보이는 개체에 대한 물리적인 회피(physical avoidance) 현상을 보인다고 알려져 있다(Hart 2011; Curtis 2014). 따라서 본 연구에서는 앞서 제시한 두 번째 가설에 따라 번식기 개리의 공간이용은 감염 여부에 크게 영향을 받지 않을 것이므로, 3) 감염개체와 비감염 개체의 상호작용은 감염여부와 상관없이 무작위적인 양상으로 나타날 것으로 예측한다. 이를 검증하기 위해 본 연구에서는 동시에 근접한 개체의 이동 방향을 기반으로 상호작용을 '유인'과 '회피'로 구분하였고, 종 간 상호작용의 정도를 0-1의 지수(IAB.exp)로 나타내어(Benhamou et al. 2014) 감염여부에 따른 개체 간 상호작용을 분석하였다.

Ⅱ. 연구사

1. 위치 추적 장치를 통한 조류 행동권 연구

야생동물의 행동권은 개체가 먹이 이용, 짝짓기, 새끼 양육 등의 행동을 하는 공간상의 면적으로(Burt 1943), 동일한 개체 또는 종이라도 서식지의 질이나 기상 등의 조건에 따라 달라질 수 있다(유 등 2008a; 이 등 2017). 행동권의 시간적 변화는 야생동물의 계절적 이동 연구의 일환으로 수행되어 왔으며(Georgii 1980) 행동권과 이동 패턴에 대한 연구를 통해 개체 및 종의 생태와 환경에 대한 반응을 이해하고, 서식지의 변화 및 소실에 따른 행동 변화를 유추할 수 있다.

행동권 및 서식지에 대한 연구는 다양한 관점에서 야생동물 연구 기초 생태 연구의 일환으로 수행되어 왔다(Harris et al. 1990; Laver & Kelly 2008). 그간 수행되어 온 서식지에 대한 연구로는 서식지 한정성(Harris et al. 1990; Laver & Kelly 2008), 개체군 조절(Trewhella et al. 1988; Gautestad & Mysterud 2005; Wang & Grimm 2007), 피식-포식 모델 분석(Village 1982), 인간에 의한 교란의 영향(Berland et al. 2008; Rushton et al. 2000; Frair et al. 2008; Thiel et al. 2008), 섭식 전략(Hulbert et al. 1996), 질병전파와 야생동물이 이동(Kenkre et al. 2007), 중요 서식지와 생태 환경 간의 관련성(Tufto et al. 1996; Fisher 2000), 모델링을 통한 최적섭식이론에 대한 연구(Mitchell & Powell 2004) 등이 있다. 행동권 연구는 서식 공간 사용에 대한 연구로서 오랫동안 수행되어 왔음에도 불구하고 야생동물의 이동에 대한 연구의 구조적 미약함으로 인해 행동권을 고정된 영역으로 인식하기도 하였다(Börger et al. 2008). 원격 위성을 이용한 추적 연구(satellite telemetry technology)의 발달은 연구 되지 않은 지역의 야생동물, 접근이 어려운 지역의 연구종에 대한 시공간적인 행동 및 생태변화 연구에 적용되어 왔으며(Romagosa & Labisky 2000), 장거리 이동을 하는 조류 및 다양한 분류

군의 이동, 생활 주기에 관한 생태적 연구를 가능하게 하였다(Webster et al 2002; Stokes et al 2015).

위치 추적 데이터를 이용한 기러기류 행동권 연구로는 회색기러기(*Anser anser*)의 번식지와 비번식지에서의 행동권 비교 연구(Kleinhenz & Koenig 2018), 큰기러기(*Anser fabalis*)의 번식지, 중간기착지, 이주 경로에 관한 연구(Mitchell et al. 2016), 흑기러기(*Branta bernicla*)의 깃갈이 시기 동안의 행동권에 대한 연구(Lewis et al. 2011) 등이 수행되었다. 오리·기러기류의 종간 행동권 비교에 대한 연구로는 (신 등 2016)은 생태적 습성이 유사하고 서식지가 겹치는 청둥오리(*Anas platyrhynchos*)와 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorhyncha*)를 대상으로 위치 추적 데이터를 통한 행동권 및 이동 거리 비교 분석하여 육안 조사 등 가시적 관찰 조사로 확인할 수 없던 종간 행동 차이를 파악하였다.

2. 기러기류의 생활사

오리·기러기류와 같이 계절에 따라 장거리를 이동하는 야생 조류는 일년을 기준으로 하는 생활주기를 가지며 한 해의 생활주기는 개체의 전체 생활사에 영향을 미친다(Alerstam 1990). 기러기는 이동성 조류 중 번식지, 비번식지, 중간 기착지에서의 유소성(philopatry)이 상대적으로 높게 나타난다(Owen & Ogilvie 1979). 이는 특정 지역의 먹이원, 서식지 이질성, 포식 취약성, 교란의 정도, 공서성 종과 사회적 유대 형성을 위한 개체별 매커니즘에 대한 정보를 파악함으로써 얻는 이점이 존재하기 때문일 수 있다(Robertson & Cooke 1999).

번식지에서의 행동권은 새끼의 성장, 깃의 성장, 이주 준비를 위한 에너지 섭취에 따라 변화할 수 있다. 번식지에서 부모새와 유조는 함께 조성성(precocial) 조류인 Willow Grouse (*Lagopus lagopus*)의 새끼 성장에 따른 행동권 연구에 따르면(Erikstad 1985), 부화 후 새끼의 성장에 따라 행동권은 점차적으로 증가하는 것으로 알려져 있다. 특히, 부화 일주일 후에는 행동권이 일정하게 유지되는 특성이 나타났고 일부 개체에서는 부화 후 약 한 달 후 행동권이 급격하게 커지는 것으로 나타났다(Erikstad 1985). 일반적으로 오리·기러기류의 새끼들은 약 9주가 지나면 날개깃이 갖추어진다고 알려져 있다. Atlantic Brant Goose (*Branta bernicla hrota*)의 경우 부화 후 45-50일 후 비행이 가능하며(Barry 1962), Black Brant Goose (*Branta bernicla nigricans*)는 부화 후 49일 이내 비행 능력을 갖추는 것으로 연구되었다(Einarsen 1966).

오리·기러기·고니류는 다른 조류와 달리 번식지에서 깃갈이가 이뤄진다는 점에서 다른 종들과 차별화되는 생태를 가지며, 번식기 이후의 오리·기러기류 조류는 약 4주의 깃갈이(molting) 시기를 보내며 비행깃과 꼬리깃의 교체, 체내 지방 축적을 통해 이주를 위한 최적의 신체적 조건을 구성하므로(Rivera et al. 1999; Mitchell et al. 2010) 이 시기는 향후 개체의 생존에 중요한 영향을 미치게 된다. 깃갈이 시기에 따라 은신과 행동의 양상이 다르다고 알려져 있다(Thompson & Drobney 1997;

Adams et al. 2000). 깃갈이 조류에 대한 연구로는 깃갈이 시기의 수조류 서식지 관리 방안에 대한 연구(Ringelman 1990), 깃갈이 시기의 조류의 영양 상태에 대한 연구(Ankney 1984)가 이뤄졌다. 따라서 기러기류의 행동권 연구에 있어 성조의 깃갈이와 어린 개체의 깃 성장에 따른 행동 차이를 고려하는 것이 필요하다. 조류의 행동권은 깃갈이 시기에 이동이 제한됨에 따라 줄어든다고 알려져 있으며, 깃갈이에 요구되는 에너지를 활동을 줄임으로써 상쇄하기 위함이다(Owen & Ogilvie 1979). 깃갈이에는 많은 에너지가 필요하고, 비행깃의 소실로 인해 비행이 불가능한 상태가 되어 개체의 행동권에 제약이 발생한다. 깃갈이 시기를 보내는 서식지 내의 충분한 먹이원과 천적을 피할 수 있는 은신처(cover), 적절한 수심은 깃갈이 시기의 개체 생존 및 이주를 통한 분산, 나아가 개체군의 보전에 중요한 요인이 된다(Salomonsen 1968; Drent & Daan 1980; Lewis et al. 2011). 야생 조류는 깃갈이 시기 초기에 서식지내 행동권이 감소하며 후기에 행동권이 증가하는 것으로 알려져 있으나 구체적인 서식지 이용과 행동권에 관한 연구는 아직까지 부족한 실정이다(Lewis et al. 2010). 비번식 개체는 깃갈이를 일찍 시작하며 이는 이주 전 에너지 축적을 증대시킨다. 이는 섭취 먹이량을 늘리는 것과 아직 다른 개체에게 점유되지 않은 새로운 서식지를 이용하고, 번식 개체와의 먹이 경쟁으로부터 자유로워짐으로써 얻는 이익을 모두 포함한다. 번식에 실패한 개체 또한 둥지를 떠나 곧바로 깃갈이 시기에 접어든다(Owen & Ogilvie 1979). 개리와 줄기러기의 깃갈이 시기는 6-8월로 알려져 있으며, 이는 개체의 번식 유무 및 번식 성공 여부에 따라 다르다(Kear 2005, Table 1).

성조의 경우 번식 이후 깃갈이를 하는 반면, 유조의 경우 깃의 성장이 이뤄진다. 개리와 줄기러기의 번식지에서의 행동권은 새끼 성장, 깃갈이의 진행, 기존 서식지에서의 먹이 보유량 변화, 이주가 가까워짐에 따른 에너지 증대 요구에 따라 변화할 수 있다.

Table 1. Molting period of the Swan and Bar-headed Geese.

Species	Molting	Molting Stage
Swan Goose (*Anser cygnoides*)	· Nonbreeding birds: early June · Breeding birds: July-Aug	·Pre-molting: before June ·Molting: June-Aug ·Postmolting: late Aug
Bar-headed Goose (*Anser indicus*)	· Breeding birds: 32-35 days after hatching, June-July	·Pre-molting: before June ·Molting: June-July ·Postmolting: late July

3. 조류 인플루엔자와 야생조류

AIV에 관한 연구는 수의학, 조류학, 축산학, 사회학 등 다양한 분야에서 수행되고 있다. 가금 산업에 피해를 야기해왔기에 가금류 및 실험실 조류를 대상으로 바이러스 기작에 관한 연구, 개체에 미치는 영향에 대한 연구가 이뤄지고 있다. 야생조류가 바이러스 전파에 미치는 영향(Feare 2010), AIV 감시망에 대한 연구(Machalaba et al. 2015), 조류 종에 따른 AIV의 영향에 대한 연구가 있다(Alexander 2000). HPAIV의 전파 위험 파악에 대한 연구도 수행되고 있으며 HPAIV H5N1 바이러스는 가금과 야생 조류의 접촉이 원인으로 알려져 있으나 둘 간의 역학적 관계는 명확하게 규명된 바 없다(Peterson 2008; Nriagu 2014).

AIV의 영향에 대한 연구는 실험실 및 가금을 대상으로 이뤄져왔고, 병원균은 숙주의 건강을 저하시켜 숙주의 활동을 감소시키는 것으로 알려져 있으나(Venesky et al. 2009) 야생 조류를 대상으로 한 연구는 부족한 실정으로, 자연 상태에서 AIV가 야생 조류에게 미치는 영향에 대한 연구가 요구되고 있다(Latorre-Margalef et al. 2009). AIV는 감염 후 약 2.5일의 잠복기와 5.7일의 감염기를 거쳐 7일 이내로 감염 개체의 생존 여부가 드러나게 된다(Huai et al. 2008; Zhou et al. 2019). 조류 인플루엔자 바이러스 영향을 파악을 위해서는 AIV 감염 판독 검사 후 7일 이내의 개체 행동에 대한 연구가 이뤄져야 한다.

특히, AIV는 인수공통질병으로 질병 전파의 역학 관계 파악을 위해 바이러스 전파 모델에 대한 연구가 많이 이루어졌으며(Bouvier 2015) 유럽, 미국, 캐나다 등지에서는 지리정보시스템(Global Information System; GIS)을 활용한 공간 상 질병 관리 및 분석의 일환으로 AIV에 대한 연구 및 관리가 활발하게 시행되고 있다. AIV에 대한 국내 연구로는 문운경 등 (2014)이 수행한 HPAI 발생과 시공간 군집 분석, 박선일 등 (2015)의 도축장 출하 차량과 AI 발발의 연결망 특성 분석, 수의학 분야에서 이뤄진 AIV 특성 및 혈청학적 분석을 통한 백신 개발 등이 있다.

바이러스 감염 개체와 비감염 개체 간 및 종 간 접촉은 질병의 전파 가능성을 보여주며, 상호작용은 야생동물에 있어 바이러스 감염 개체와 비감염 개체 간 사회 행동에는 회피가 나타난다고 알려져 있다. 이는 감염 개체와 가까이 있으므로 포식 위협이 증가하고, 감염 위험성이 높아지기 때문으로 알려져 있다(Loehle 1995). 야생동물은 서로의 바이러스 감염 여부는 외관적 특성과 행동적 증상을 통해 파악하는 것으로 알려져 있고, 감염 개체는 무리로부터 소외되는 모습을 보인다(Hart 1987, 1990). 야생동물의 이주에 있어 숙주-병원체 간의 상호작용에 대한 역학적 결과는 알려진 바가 없으며(Altizer et al. 2011), AIV 문제 해결을 위해서는 병원체와 숙주가 되는 야생동물에 대한 고려가 이뤄져야 하기에 AIV가 야생조류에 미치는 영향에 대한 연구가 필요한 실정이며 나아가 인간-동물-생태계(환경)의 유기성을 고려하는 '원 헬스(One Health)' 적 관점 필요하기에 수의학, 사회학, 조류학 등 여러 분야의 간학문적 연구 협업이 요구되고 있다(FAO 2008).

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 연구 대상종

개리(*Anser cygnoides*)는 기러기목(Anseriformes) 오리과(Anatidae)에 속하는 물새로 전세계적으로 60,000-90,000여 개체가 있다(BirdLife International 2016). 개리는 동아시아에 서식하는 종으로 산림초원지대(forest-steppe zone), 스텝지대(steppe zones)의 삼각주, 초지대의 하곡(river valley), 기수호, 담수호, 유속이 빠른 산간지역 강과 같은 습지에서 번식하며 저지대 습지, 농경지, 하구역, 갯벌에서 월동한다. 구근 식물인 *Vallisneria asiatica*, 사초과, 벼과 갈풀을 섭식하는 것으로 알려져 있다.

서식 분포로는 러시아 아무르강역, 사할린 지역 및 몽골, 중국, 카자흐스탄 등지에서 번식하고 동아시아 이동경로(East-Asian Australasian Flyway)를 이용해 북한, 한국, 중국, 일본, 대만 등지로 이동하여 비번식기를 보낸다(BirdLife International 2016). 주요 비번식지(non-breeding area)는 중국 강소성(江蘇省, Jiangsu Province) 해안과 포양호(鄱陽湖, Poyang Lake), 양자강(揚子江, Yangtze) 인근의 동정호(洞庭湖, Dongting Lake)로 양자강 부근에서 전 세계 개체군이 월동을 한다고 볼 수 있다. 한국에는 10월 초순에서 4월 중순까지 관찰되며 이동시기와 월동기에 시기별로 약 1,000개체가 도래하는 것으로 알려져 있다.

최근 서식지 소실 및 농업 발달, 불법 포획으로 인해 개체수가 줄어들고 있으며 번식 환경 및 생존 위협의 개선이 이뤄지지 않을 경우 절멸 가능성이 있다(BirdLife International 2016). 개리의 국제적 보전을 위해 IUCN Red List에 취약종(vulnerable species; VU)으로 지정되어 있으며, 국내에서는 멸종위기 야생생물 Ⅱ급 및 천연기념물 제325-1호로 등재되어 있다(문화재청 1982).

줄기러기(*Anser indicus*)는 기러기목(Anseriformes) 오리과(Anatidae)에 속하는 물새로 몽골에서 인도에 이르기까지 넓은 범위에 분포하는 것으로 알려져 있다. 줄기러기는 몽골, 러시아, 중국 북부, 히말라야 북부 등지의 중앙아시아 고원지대 습지에서 번식하며 번식 후 약 5,500-9,200m 고도로 비행하여 히말라야 산맥을 넘어 중국 남부, 미얀마, 방글라데시를 비롯한 인도 전역에서 월동하는 것으로 알려져 있다(Takekawa et al. 2009; Hawkes et al. 2011). 풀, 식물의 줄기, 뿌리, 낙곡을 먹이로 하며 환경에 따라 구근류, 해초류를 섭식하기도 한다.

국내에서 줄기러기는 2003년 3월 15일 길 잃은 새로 최초 기록 되었다(이 2005). 당시 개리와 재두루미 무리에 섞여 다니는 것이 관찰 되었으며, 이후 매년 1-2개체가 기러기 무리에 섞여 관찰되고 있다.

줄기러기는 IUCN Red List의 관심대상종(least concern species: LC)으로, 개체군은 비교적 넓게 분포하나 90년대 들어 남획, 알 채취, 서식지 소실로 인해 개체수가 감소하고 있다(Birdlife 2016). HPAIV의 감수성 조류로 알려져 있으며, 특히 칭하이-티베트(Qinghai-Tibet) 고원 지역에서의 H5N1 발생에 대한 연구가 이루어졌다(Brown et al. 2008; Prosser et al. 2011; Zhang et al. 2011).

Figure 2. Deploying a GPS transmitter on a Swan Goose (*Anser cygnoides*)

Figure 3. Deploying a GPS transmitter on a Bar-headed Goose (*Anser indicus*)

2. 연구 지역

본 연구의 대상지역은 몽골에 위치한 개리와 줄기러기의 번식지이다(Figure 4). 몽골은 광대한 면적에 따른 다양한 종류의 경관을 가지고 있고(Gombobaatar et al. 2011), 동아시아-대양주 철새이동경로, 중앙아시아 철새이동경로, 서아시아-동아프리카 철새이동경로(East Africa-West Asian Flyway)에 위치해 있어 다양한 야생 조류의 서식지가 되며 생태적으로 중요한 지역이다(Ganbold et al. 2017).

개리의 포획 및 추적 장치 부착은 북동부 지역 Dornod 주(province)의 Bus Lake (N 49.738°, E 115.150°), Chukh Lake (N 49.532°, E 114.669°), Galuut Lake (N 49.742°, E 115.290°), Khaichiin Tsagaan Lake (N 49.676°, E 114.675°)에서 이뤄졌고, 줄기러기의 포획 및 추적 장치 부착은 몽골 중앙부에 위치한 Arkhangai 주의 Salmiin Lake (N 48.1245 °, E 99.1527 °)에서 이뤄졌다. 개리와 줄기러기는 위 호수와 인근 습지에서 번식과 깃갈이 시기를 보내고 새끼를 기르며, 이주 전까지 군집을 이루면서 지낸다.

개리 번식기인 7월-9월 간 Dornod 지역의 7월 최고 기온은 28 °C, 최저 기온은 15 °C, 평균 강수량은 59 mm이고, 8월 최고 기온은 27 °C, 최저 기온은 12 °C, 평균 강수량은 41 mm이다. 깃갈이가 끝나고 이주가 시작되기 전인 9월의 최고 기온은 20 °C, 최저 기온이 5 °C, 평균 강수량이 18.2 mm이다.

줄기러기 번식기인 7월-9월 Arkhangai 지역의 연평균 강수량은 350-450 mm이며, 4월부터 7월까지 강수가 집중된다. 줄기러기가 번식하는 기간인 7월 평균 최고 기온은 20.5 °C이고, 최저 기온은 8.7 °C, 평균 강수량은 76.20 mm이다. 8월 최고 기온은 19.3 °C, 최저 기온은 6.8 °C, 평균 강수량은 66.04 mm이다. 9월 최고 기온은 15.1 °C 이며 최저 기온은 1.5 °C, 평균 강수량은 27.94 mm이다.

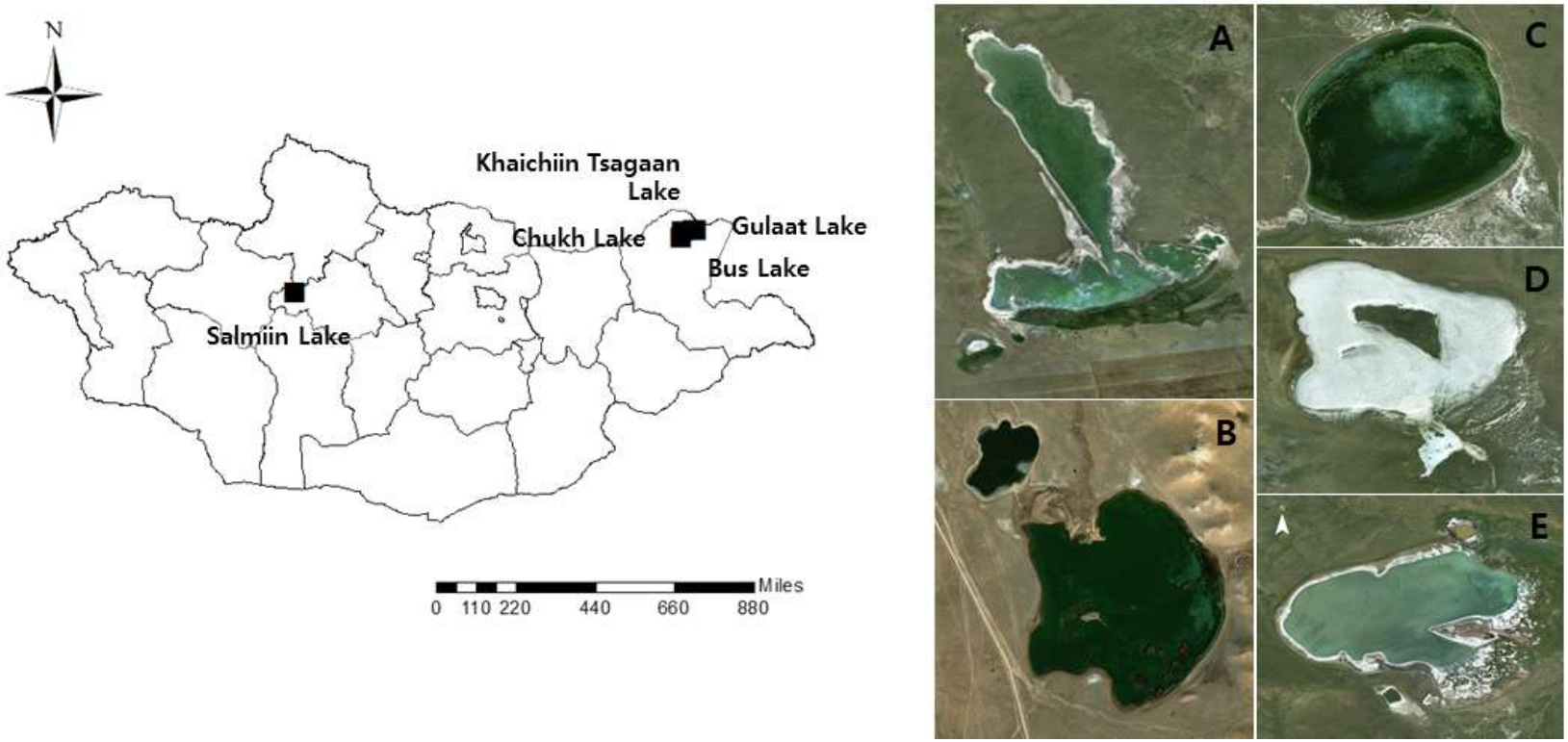

Figure 4. Location of study areas (A: Gulaat Lake, B: Salmiin Lake, C: Chukh Lake, D: Bus Lake, E: Khaichiin Tsagaan Lake) in Mongolia

3. 연구 방법

3.1. 포획 및 위치 데이터 수집

현장 조사는 AIV 예찰을 목적으로 환경부(국립환경과학원), 농림축산식품부, FAO (Food and Agriculture Organization, 식량농업기구), USGS (United States Geological Survey, 미국지질조사국), USDA (United States Department of Agriculture, 미국농무부), CAS (Chinese Academy of Sciences), MAS (Mongolian Academy of Sciences)의 공동연구의 일부분로 진행되었다.

현장 포획 조사는 기러기의 번식기인 7월-8월에 진행 되었다. 개리와 줄기러기 포획 및 위치 추적 장치 부착은 2014년 7월-2014년 8월 중 실시되었고, 줄기러기의 포획은 2019년 7월에 수행되었다.

포획 대상 개체는 깃갈이 중 비행깃(flight feather)의 소실로 비행이 불가한 개체를 대상으로 이뤄졌다. 포획에는 울타리형 트랩(corral trap)을 이용한 포획과 뜰망을 이용한 직접 포획 방법이 사용되었다. 울타리형 트랩 포획은 포획 1-2일 전 설치를 진행한다. 서식지에 그물과 쇠막대를 이용해 울타리 끝부분이 호수를 향하게 하여 통로형의 울타리 트랩을 설치하고, 포획 당일에 보트와 차량, 사람을 이용해 트랩 외의 경로를 차단하여 기러기 무리를 트랩으로 몰아넣는 방법이다(Figure 5). 울타리 트랩은 몰려 있는 기러기 무리를 몰아넣는 방법으로 수행 기회가 한정적이므로, 울타리 트랩 포획 이후 직접 포획이 진행되었다. 직접 포획은 보트를 이용해 수면에 있는 기러기 개체에 가까이 접근한 후, 뜰망으로 낚아 건져내는 방법이다.

포획된 개체는 위치 추적 장치 부착 전 외부 자극에 의한 스트레스를 최소화하기 위해 천으로 된 우리에 종 별로 넣어 두었다. 포획 개체는 몸무게, 부척 길이 등의 측정이 이뤄졌으며, 이후 식별을 위한 일련번호가 새겨진 가락지와 넥 밴드(neck band) 부착, 추적 장치 부착이 진행되었다. 추적 장치는 개체에 미치는 영향을 최소화하기 위해 개체 체중의

5% 이하(<50g)로 하였으며(Kenward 1985), 끈을 이용해 개체의 등에 배낭(backpack)형으로 부착하였다. 사용된 추적 장치는 Microwave사의 GPS/GSM 20-70, 한국 환경생태연구소 WT-300 Eagle 기기 등으로 통신망 기반의 추적 장치(Global Positioning System & Global System for Mobile; GPS-GSM)로 획득된 좌표는 웹 사이트를(Wild Tracker; http://www.wi-tracker.com) 통해 확인되고, 수집되었다(Table 13). 위치 추적 데이터는 구조적인 요인과 위선의 배치상황에 따라 오차가 발생할 수 있으며 오차범위는 약 5-15m 이다.

GPS 좌표 수집은 개리의 경우 약 1초-1시간 30분으로 무작위 간격으로 이뤄졌고, 줄기러기의 경우 2시간 간격으로 1일 12회 수집되었다. 좌표 수집 간격은 기기 별 배터리 종류에 따라 설정되었으나, 일부 기기에서는 태양광에 의한 배터리 충전수준에 따라 확보 가능한 최대 좌표수를 얻을 수 있도록 좌표 수집 간격이 자동으로 변경되었다.

위치 추적기 부착 후에는 즉시 방사를 진행 하였다(Figure 6). 방사된 개체에 대해서는 상태 확인을 위해 개체가 포획 장소를 벗어날 때까지 육안 관찰이 이뤄졌다.

Figure 5. Trapping net on July 2019

Figure 6. Release of a GPS tagged Swan Goose on July 2019

3.2. 행동권 분석

행동권(home range) 분석에는 일반적으로 연구 대상의 시공간적 위치를 추정하는(Worton 1989) 커널 밀도 추정(kernel density estimation: KDE)을 통해 행동권의 밀도 추정치를 분석하였다. 커널 밀도 추정은 점으로 된 위치 데이터를 중첩하고, 커널 함수로 산포를 평활하여(smoothing) 개체의 공간 이용을 밀도 개념의 등치선으로 나타내는 비모수적 방법이다(Worton 1989; Harris et al. 1990). 커널 분석에는 평활계수(h)의 산정에 따라 고정커널(fixed kernel)과 적응커널(adaptive kernel) 방법이 있다. 평활계수(h)는 분포의 띠폭을 결정하는 것으로 방법에 따라 KDE 값이 달라진다. 좁은 분포의 경우 밀도 추정에 가까운 관측치가 영향을 주게 되며 이는 작은 공간 규모의 분석에 적합하다고 할 수 있으며, 분포가 넓을 경우 관측값의 거리에 따라 결과가 달라지기에 분포의 일반적인 형태를 파악하는데 용이하다(Seaman & Powell 1996). 고정커널 평활계수를 구하는 방법에는 최대근린거리(maximum nearest neighbor distance: ad hoc), 최소제곱교차타당성(least squares cross-validation: LSCVh), 경험에 의한 임의 입력(user input or custom value)법, 가능도교차타당성(likelihood cross-validation: CVh) 등이 있다(Seaman & Powell 1996; Worton 1989). 본 연구에서는 상대적으로 서식지 면적의 경계를 명확하게 산정하기 위해 고정 h 값을 사용해 KDE 값을 계산하였다(Gitzen et al. 2006; Chirima & Owen-Smith 2016). 행동권은 개체가 사용한 광역적 공간 영역인 90% KDE으로 설정하였으며, 다른 공간 보다 이용이 많이 되는 핵심서식지(core area)는 50% KDE으로 정하여 개체 별 행동권을 분석하였다(White & Garrot 1990).

개리와 줄기러기의 번식지에서의 종 간 행동권 차이를 보고자 추적 장치 부착일 다음날부터 이주 전까지의 핵심서식지(50% KDE)와 행동권(90% KDE)을 구하였다. 번식지에서 이주가 가까워지고, 깃갈이가 진행됨에 따른 행동의 변화를 파악하고자 부착일로부터 일주일 간격으로 장거리 이주(migration) 전까지의 주간 행동권의 변화를 파악하였다.

번식지에서의 서식지 이용 파악을 위해 각 개체 별 포획 시기 및 이주 시작일을 기준으로 위치 추적 데이터를 선별하여 분석에 사용하였다. 개리와 줄기러기의 이주는 8월 말부터 9월 말에 이루어졌으며 개체별로 상이하였다. 분석에는 개리 17개체, 줄기러기 9개체의 위치 데이터가 사용되었다(Table 2).

개리의 경우 추적 장치의 위치 데이터 기록 간격이 불연속적이고, 균일하지 않았기에 서식지 이동이 발생할 시 이전 서식지에서 기록된 마지막 정보까지 포함하였다(Miller et al. 2005). 이주 시작일의 기준은 일정 방향으로 한 서식지에서 머무는 시간이 10일 이상일 경우 이주 시작으로 보지 않았으며, 상대적으로 짧은 3일 이하로 머무는 경우 이주 중 중간 기착으로 보았다(Martell et al. 2001).

행동권 추정은 통계 소프트웨어 R (R version 3.5.2, R Core Team 2018), RStudio (RStudio version 1.1.463, RStudio Team 2016)의 adehabitatHR 패키지를 사용하여 h-reference 방법으로 결과를 도출하였고(Calenge 2019), ArcMap 10.3.1를 사용해 KDE 영역을 가시화 하였다(ESRI 2015).

Table 2. Information of the captured and tracked Swan (*Anser cygnoides*) and Bar-headed Geese (*A. indicus*) in Mongolia used for spatial analysis in this study

Species	ID	Period for spatial analysis	Interval between GPS fixes
Anser cygnoides	403	28 Jul 2014 - 13 Sep 2014	1min - 30mins
	406	1 Aug 2014 - 29 Aug 2014	1min - 30mins
	409	31 Jul 2014 - 4 Sep 2014	1min - 30mins
	410	1 Aug 2014 - 29 Aug 2014	1min - 30mins
	411	31 Jul 2014 - 18 Aug 2014	1min - 30mins
	413	29 Jul 2014 - 19 Aug 2014	2mins - 1hr
	414	30 Jul 2014 - 13 Sep 2014	1min - 1hr
	415	31 Jul 2014 - 27 Aug 2014	1min - 1hr
	416	28 July 2014 - 13 Sep 2014	1min - 1hr
	417	31 Jul 2014 - 12 Sep 2014	1min - 1hr
	419	31 Jul 2014 - 13 Sep 2014	30mins - 1hr
	421	31 Jul 2014 - 13 Sep 2014	1min - 1hr
	422	1 Aug 2014 - 6 Sep 2014	1min - 1hr
	HY01	1 Aug 2014 - 26 Sep 2014	1hr - 3hrs
	HY03	1 Aug 2014 - 26 Sep 2014	1hr
	HY06	1 Aug 2014 - 6 Sep 2014	1hr
	HY10	1 Aug 2014 - 29 Aug 2014	1hr
Anser indicus	ke1915	14 Jul 2019 - 4 Aug 2019	2hrs
	ke1916	14 Jul 2019 - 2 Sep 2019	2hrs
	ke1917	14 Jul 2019 - 2 Sep 2019	2hrs
	ke1918	14 Jul 2019 - 10 Aug 2019	2hrs
	ke1919	14 Jul 2019 - 5 Sep 2019	2hrs
	ke1920	14 Jul 2019 - 9 Aug 2019	2hrs
	ke1921	14 Jul 2019 - 15 Sep 2019	2hrs
	ke1922	14 Jul 2019 - 6 Aug 2019	2hrs
	ke1923	14 Jul 2019 - 30 Aug 2019	2hrs

3.2.1. 통계 분석

위치 추적 데이터를 통해 개리와 줄기러기의 행동권 분석은 종 별 행동권 차이 파악과 번식지에서의 종 별 시간에 따른 핵심서식지(50% KDE), 행동권(90% KDE) 변화를 분석하였다.

개리와 줄기러기의 번식지에서의 종 별 행동권을 파악하고자 핵심서식지(50% KDE)와 행동권(90% KDE)를 파악하였다. 또한 이주 전까지의 번식지에서의 개리와 줄기러기의 핵심서식지, 행동권의 변화를 보고자 일주일 간격으로 핵심서식지, 행동권의 변화를 구하였으며, 일주일 간격의 행동권 변화의 종 간, 서식지 간 차이를 파악하고자 일반화가법혼합모델(generalized additive model: GAM) 분석을 통해 시기에 따른 핵심서식지, 행동권의 통계적 유의성을 파악하였다. 종속 변수는 서식지 면적(50%, 90% KDE)이고, 설명 변수로 종, 서식지를 지정하였다. 개리와 줄기러기의 추적 기간 차이에 따른 영향을 배제하고자 임의 효과로 개체 추적 년도를 설정하였다. 분석에는 프로그램 R 3.5.2 (R core team 2018)과 통계 패키지 gamlss (Stasinopoulos et al. 2019)를 사용하였다.

3.3. 조류 인플루엔자 감염에 따른 개리의 행동 차이

개리 포획 후 AIV 감염 판독을 위한 총배설강과 인후두강 및 혈액 채취가 진행되었다. 채취된 시료는 액체 질소로 보존 처리 후 USDA의 연구소인 Southeast Poultry Research Laboratory에 전달되어 분석되었다. AIV 감염 판독 결과 총 17개체 중 바이러스 A 보균 개체는 11개체 였으며, 그 중 1개체에서 PR-PCR 분석을 통해 H5형 항원 2.3.4.4 계통(clade)을 확인하였다. 비감염 개체는 6개체였다.

조류 인플루엔자 감염 여부가 확인된 개리를 대상으로 행동 차이를 보기 위해 이동 거리(travel distance)와 공간 이용(spatial use)을 분석하였다. 이동 거리 분석 시 위치 추적 장치의 오차 시간 범위인 1분 이내의 데이터와 두 위치 좌표 사이의 거리 산정에 적합하지 않은 600초 이상의 데이터를 제외하였다(Douglas et al. 2012). 이동 거리 분석에는 총 17개체 중, 위치 데이터 기록이 60-600초에 해당하는 12개체의 위치 데이터가 사용되었다. 행동권 분석의 경우, 위치 좌표 간 획득 시간이 분석에 영향을 주지 않기에 분석에 배제된 개체는 없었으며 17개체의 추적 데이터가 사용되었다(Table 3). 개체의 이동 거리와 행동권은 성별, 연령에 따라 달라질 수 있다. 선행연구에 따르면 세력권 형성, 분산 등은 연령, 성별에 따라 상이 할 수 있으며 이는 이주의 연령, 성별 차이로 나타날 수 있다(William 1977; Woodrey & Chandler 1997). 따라서 이동 거리 및 행동권 차이를 분석함에 있어 통계 분석 시 설명 변수로 연령, 성별을 고려하였다.

Table 3. Avian Influenza Virus Infection status of the 17 Swan Geese (*Anser cygnoides*) used in this study (source: USGS and USDA, unpublished data). Infection status means status of AIV infection. A refers virus A which is low photogenic influenza virus, Neg refers non-infected status. A/H5(H5Nx) 2.3.4.4 means high pathogenic influenza virus with type 2.3.4.4 clade

Species	ID	Infection status	Analysis
Anser cygnoides	403	A	travel distance, spatial use
	406	A	travel distance, spatial use
	409	Neg	travel distance, spatial use
	410	A	travel distance, spatial use
	411	A	travel distance, spatial use
	413	A	travel distance, spatial use
	414	Neg	travel distance, spatial use
	415	Neg	travel distance, spatial use
	416	A	travel distance, spatial use
	417	A	travel distance, spatial use
	419	A	spatial use
	421	A	travel distance, spatial use
	422	Neg	travel distance, spatial use
	HY01	A	spatial use
	HY03	Neg	spatial use
	HY06	Neg	spatial use
	HY10	A/H5(H5Nx) 2.3.4.4	spatial use

3.3.1 조류 인플루엔자 감염에 따른 개리의 이동 거리 차이

이동 거리 분석은 GPS 포획 당시 감염 여부가 확인 된 개체가 조류 인플루엔자 영향을 받은 7일 간의 추적 데이터를 통해 이뤄졌다. 조류 인플루엔자 바이러스 감염여부는 포획 시 혈액 채취 및 혈청, 항체 검사를 통해 판독되었다. 조류 인플루엔자 바이러스의 잠복기와 감염기는 약 일주일 정도로, 조류 인플루엔자가 개체에 미치는 영향을 파악하기 위해 추적 장치 부착 다음날부터 7일 간의 추적 데이터를 사용하였다.

기록된 GPS 간격이 개체별로 상이하여, GPS 기록 시간에 따른 이동 거리 차이의 영향을 최소화 하고자 GPS 기록 간격이 60-600초 사이의 데이터를 추출, 사용하였다. 데이터의 경위도 X, Y 좌표 이용해 좌표 간의 거리를 m 단위로 구하고 이를 이동 거리로 보았다. 이동 거리를 구하는 식은 아래와 같다.

$$D = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$$

AI 감염이 이동 거리에 미치는 영향을 보고자 일반화선형모형(Generalized Linear Model, GLM) 분석을 실시하였다. 분석 시 위치 추적 데이터는 17개의 개체로부터 얻어지기에 개체 간 데이터의 중복에 대한 영향을 배제하고자 개체를 임의 효과로 지정하였다. AI 감염 여부 외에 이동 거리에 연령, 성별, 서식지, 위치 추적 장치 기록 시간이 영향을 줄 수 있기에 위 요인들을 고정 효과(fixed effect)로 두었다. 밤-낮의 활동 시간대 또한 이동 거리에 영향을 줄 수 있는 요인이나, 이동 거리 분석 시 데이터 추출 과정을 통해 남은 데이터가 모두 낮에 수집된 것이었으므로 낮-밤의 활동 시간 요인은 통계 분석 시 제외하였다. 고정 효과에 대한 p 값의 유의 수준 0.05 이하에 대해 AI 감염 여부에 따른 이동 거리 차이를 유의하다고 보았다.

3.3.2 조류 인플루엔자 감염에 따른 개리의 공간 이용

AIV 감염기 동안의 개리의 공간 이용을 핵심서식지(50% KDE)와 행동권(90% KDE)으로 파악하였다. 행동권은 추적된 위치 좌표로부터 h-reference 방법으로 커널밀도를 구하였다. AI 감염에 따른 행동권 차이를 보고자 도출된 행동권을 종속 변수로 두고, 행동권에 영향을 줄 수 있는 성별, 연령, 서식지를 설명 변수로 두어 일반화선형모형을 통해 분석하였다. 행동권 추정에는 통계 소프트웨어 R (R version 3.5.2, R Core Team 2018)과 RStudio (RStudio version 1.1.463, RStudio Team 2016)의 adehabitatHR 패키지를 사용하였고(Calenge 2019), 지도 투영에는 ArcMap 10.3.1을 사용하였다(ESRI 2015).

3.4. 개체 간 상호작용 및 병원균 전파 위험도

개체 간 AIV 전파 위험도를 파악하기 위해 AIV 감염이 확인된 개리를 대상으로 2개체 이상이 서식하는 Bus Lake, Chukh Lake, Gulaat Lake에서의 상호작용을 분석하였다. Khaichiin Tsaan Lake에서는 1개체에 대한 추적이 이뤄졌기에 개체별 상호작용 분석은 수행되지 않았다. 바이러스 전파는 접촉 비율과 관련이 있으며, 개체군 규모, 짝짓기 여부, 사회적 행동에 따른 영향을 받는다고 알려져 있어(Loehle 1995), 호수별로 두 개체의 위치 좌표 간 거리 및 중첩 정도를 계산하여 개체 간 접촉 여부를 파악하였다.

본 연구에서는 두 개체의 상호작용은 동일 방향으로 움직이며 위치 좌표의 중첩이 발생했을 때를 '유인(attraction)'으로 보았고, 서로 다른 방향으로 이동하며 위치 좌표의 중첩이 발생하지 않을 때를 '회피(avoidance)'로 구분하였다(Long 2019). 개체 간 유인과 회피에 따라 상호작용을 파악할 수 있으며, 상호작용을 Benhamou's IAB Index 를 사용하여 상호작용 지수(IAB.exp)로 수치화 하였다(Benhamou et al. 2014). 상호작용 지수는 두 개체의 개체 간 지역적인(local range) 상호작용부터 전역적 범위(global range)의 상호작용에 이르기까지 시공간적 범위에 적용되어 상호작용을 수치화한 것으로 두 개체의 위치, 방향의 변화를 통해 얻어진다. 상호작용 지수를 구하는 식은 아래와 같다. 한 지점에서 다음 지점까지의 위치를 구하고, 이를 개체의 움직임으로 산정하여 각 개체의 위치 변화와 중첩의 정도로 상호작용을 추정하는 방식이다. 개체 간 상호작용 지수로 호수별 개체 간 상호작용 정도에 순위를 매기고, 감염 개체와 비감염 개체의 접촉에 대해서는 바이러스 전파 위험도로 간주하였다.

$$I_{AB}(t) = \exp[-0.5(D_{AB}(t)/\Delta)^2]$$

$$D_{AB}(t) = \|Z_A(t) - Z_B(t)\|$$

$Z_A(t)$: t 시간에서의 A 개체의 위치

$Z_B(t)$: t 시간에서의 B 개체의 위치

AIV 감염 여부에 따른 상호작용 지수 차이를 파악하고자 정규성 검정 및 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였으며, 상호작용 지수 도출 및 통계 분석에는 통계 소프트웨어 소프트웨어 R (R version 3.5.2, R Core Team 2018), RStudio (RStudio version 1.1.463, RStudio Team 2016)의 wildlfieDI 패키지가 사용되었다(Long 2019).

V. 연구 결과 및 고찰

1. 개리와 줄기러기 번식지에서의 행동권

1.1 개리와 줄기러기의 번식지에서의 행동권

번식지에서의 개리와 줄기러기의 행동권과 핵심서식지를 일주일 간격으로 구하여 변화 양상을 파악하였다(Table 4). 추적기 부착 이후 번식지에서 개리와 줄기러기는 최소 약 3주간 머물렀고, 최장으로 머문 기간은 약 8주이다.

번식지에서 개리의 핵심서식지(50% KDE)는 평균 3,019 ha, 최소 핵심서식지는 398 ha, 핵심서식지 최대 면적은 17,922 ha로 나타났다. 개리의 번식지에서의 평균 행동권(90% KDE)은 12,797 ha이며, 최소 행동권 면적은 1,405 ha, 최대 행동권은 68,105 ha로 나타났다(Fig 7, Table 5). 번식지에서 줄기러기의 핵심서식지는 평균 3,453 ha로, 최소 핵심서식지는 1,430 ha, 최대 면적의 핵심서식지는 5,717 ha이다. 줄기러기의 평균 행동권은 15,205 ha, 최소 행동권은 10,542 ha, 최대 행동권은 31,704 ha 이다(Fig 8, Table 5).

개리와 줄기러기의 공간 이용을 보고자 핵심서식지, 행동권, 이동 거리의 변화를 일주일 간격으로 구하였고, 시기 별 면적과 거리의 증감이 나타났다(Table 4). GAM 분석을 실시하여 시기, 종, 서식지에 따른 핵심서식지 변화를 파악한 결과(Table 6) 핵심 서식지는 시기의 경과에 따라 증감을 보이나(Table 4), 전체적으로 증가하였고 통계적으로 유의한 변화는 4주차에 0.365 ha($p<0.001$), 5주차에 0.337 ha($p<0.001$), 6주차에 0.3 ha($p=0.005$)의 증가가 있었다. 종에 있어 핵심 서식지는 개리 5.722 ha, 줄기러기 7.537 ha의 면적 증가를 보이는 것으로 나타났다($p<0.001$). 서식지의 경우 Chukh Lake는 1.103 ha, Gulaat Lake에서는 2.808 ha, Khaichiin Tsagaan Lake에서는 1.335 ha의 유의한 증가가 나타났다

($p<0.001$).

행동권 변화에 대한 GAM 분석 결과(Table 7) 시기, 종, 서식지에서 변화는 다음과 같이 나타났다. 시기적으로 증가, 감소가 나타났으며, 전체적으로는 면적의 증가가 나타났다(Table 4). 시기적으로 통계적으로 유의한 변화는 4주차, 5주차에는 각 0.367, 0.489 ha의 증가로 나타났으며($p<0.001$). 6주차에는 0.364 ha의 면적 증가가 나타났다($p=0.003$). 종에 있어 개리는 -1.804 ha의 감소를 보였고($p<0.001$), 줄기러기는 8.755 ha의 증가를 보였다($p<0.001$). 서식지에 있어 Chukh Lake는 1.056 ha, Gulaat Lake에서는 2.696 ha, Khaichiin Tsagaan Lake에서는 1.358 ha의 통계적으로 유의한 증가가 나타났다($p<0.001$, Table 7).

번식지에서의 이동 거리를 일주일 간격으로 구하여 GAM 분석한 결과(Table 8), 이동 거리는 지속적으로 증가하였으며 주별 약 20-21 m의 증가가 나타났다($p<0.001$). 종에 있어 이동 거리는 감소하는 것으로 나타났으며 개리는 -14.224 m, 줄기러기는 -14.04 m의 감소를 보였다($p<0.001$). 서식지에 있어 Gulaat Lake는 1.516 m 의 이동 거리 증가($p<0.001$), Khaichiin Tsagaan Lake는 1.95 m의 증가($p=0.011$)가 통계적으로 유의하게 나타났다.

Table 4. Changes in kernel density estimation (KDE) of Swan Geese and Bar-headed Geese at breeding grounds in Mongolia over the eight week after the deployment of telemetry units

Species	Location (lake)	ID	% KDE	Spatial use (KDE; ha) by week								KDE (ha) in overall period
				P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
A. cygnoides	Bus	409	50	369.46	289.2	267.93	401.47	439.3	-	-	-	591.09
			90	1169.01	981.3	895.38	1259.36	1502.58	-	-	-	1740.28
		414	50	304.43	355.93	244.77	306.92	332.16	235.41	-	-	508.813
			90	1123.31	1082.09	892.46	1011.7	1066.16	831.02	-	-	1529.72
		415	50	444.05	346.67	245.86	699.79	-	-	-	-	523.72
			90	1319.60	1132.51	816.28	2536.74	-	-	-	-	2571.01
		417	50	349.69	367.45	353.57	284.74	285.72	226.75	-	-	398.44
			90	1234.81	1104.22	1285.59	987.11	984.55	793.63	-	-	1405.04
		419	50	373.7	379.36	286.77	352.34	1274.24	768.43	-	-	1034.13
			90	1250.93	1139.34	1067.47	1152.12	4957.32	4495.7	-	-	5302.28
		421	50	311.88	372.21	342.44	307.91	576.41	515.20	-	-	873.50
			90	1104.11	1131.50	1321.19	991.99	2882.07	4027.34	-	-	3797.83
	Chukh	406	50	916.69	975.91	1284.65	2791.36	-	-	-	-	2314.52
			90	2954.91	3371.34	4110.44	8684.24	-	-	-	-	9576.34
		410	50	862.75	780.3	803.85	2237.38	-	-	-	-	1900.39
			90	2831.66	2581.47	2662.56	8037.98	-	-	-	-	7474.85
		422	50	735.53	910.47	1212.93	2690.62	1145.06	-	-	-	1167.66
			90	2454.95	3520.22	3885.5	9361.51	5632.86	-	-	-	5676.62
		HY01	50	875.46	896.94	843.21	855.33	796.1	990.69	1028.05	1157.07	1021.17
			90	2891.59	2965.84	2737.96	2918.75	2727.87	3256.11	3357.53	5941.92	4071.4
		HY03	50	844.68	967.70	861.34	841.15	843.33	1005.94	1026.83	996.31	1004.35
			90	2822.88	3132.17	2794.82	2799	2784.21	3397.12	3349.46	4290.56	3342.46
		HY06	50	871.41	1015.6	857.97	3512.03	1614.27	-	-	-	2473.04

			90	2884.87	3220.38	2784.99	10866.65	7264.23	–	–	–	12207.84
		HY10	50	941.01	966.26	1235.03	2649.65	–	–	–	–	3196.08
			90	3028.59	3315.56	4192.01	8693.02	–	–	–	–	12697.93
	Gulaat	403	50	4525.28	5547.9	10156.58	4368.36	4440.99	6894.03	6344.33	–	6201.06
			90	15157.62	21233.03	34231.97	15612.14	15388.21	14669.01	19890.51	–	37206.38
		413	50	4569.42	4603.26	4306.48	–	–	–	–		7967.65
			90	15292.73	15163.27	21607.5	–	–	–	–	–	31870.6
		416	50	5347.62	4579.59	9480.37	16874.87	8027.54	11201.25	–	–	17922.48
			90	17358.27	16256.62	22544.64	48528.73	30537.94	21547.66	–	–	68105.43
	Khaichiin	411	50	1021.34	1599.48	1095.3	–	–	–	–	–	2231.45
	Tsagaan		90	3403.89	6517.88	3650	–	–	–	–	–	8976.5
A. indicus	Salmiin	kel915	50	1862.19	1870.83	2928.89	–	–	–	–	–	3613.88
			90	6187.70	6214.72	12630.84	–	–	–	–	–	13979.99
		kel916	50	1834.01	1838.51	1882.92	1989.91	2122.83	2365.62	–	–	3973.24
			90	6090.3	6104.82	6333.44	7258.01	7942.90	8826.68	–	–	12719.36
		kel917	50	1826.82	1883.80	1853.41	1894.41	4540.33	3846.17	–	–	5717.17
			90	6065.47	6250.97	6160.17	6313.77	17627.15	14353.99	–	–	31704.31
		kel918	50	1810.17	1826.19	1804.22	4292.08	–	–	–	–	2338.05
			90	6011.82	6063.77	5994	15098.91	–	–	–	–	11550.35
		kel919	50	1894.36	1892.16	1871.76	2792.61	3947.69	3327.35	2418.22	–	5633.30
			90	6279.13	6269.91	6207.13	8851.03	12961.59	11091.18	7821.3	–	16899.9
		kel920	50	1871.12	1869.46	2649.16	3369.85	–	–	–	–	2775.86
			90	6208.12	6203.59	9605.23	10996.89	–	–	–	–	10541.83
		kel921	50	1803.9	1809.16	1797.88	1794.2	2586.80	1855.08	2280.30	1838.95	1429.98
			90	5999.68	6018.78	5969.12	5966.84	16555.55	6162.64	15962.11	7355.79	11439.87
		kel922	50	1850.24	1881.33	3309.19	–	–	–	–	–	2569.31
			90	6146.55	6241.93	18261.8	–	–	–	–	–	16761.67
		kel923	50	1832.27	1838.42	1826.35	2675.86	1877.34	2383.05	–	–	3029.17
			90	6083.19	6104.14	6064.85	8410.62	6308.12	8243.70	–	–	11251.19

Table 5. Core areas (50% KDE) and home range (90% KDE) of Swan Geese and Bar-headed Geese in breeding grounds

Species	Core areas (50% KDE; ha)			Home ranges (90% KDE; ha)		
	Min	Max	Mean±S.D.	Min	Max	Mean±S.D.
Anser cygnoides	398	17,922	3,019±257	1,405	68,105	12,797±883
Anser indicus	1,430	5,717	3,453±162	10,542	31,704	15,205±735

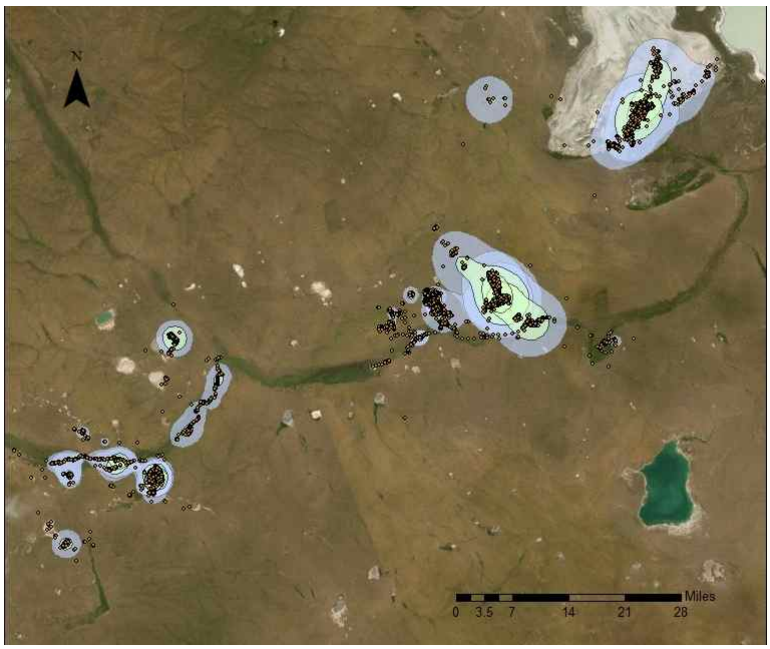

Figure 7. Core areas (50% KDE, green) and home ranges (90% KDE, blue) of 17 Swan Geese tracked in Mongolia.

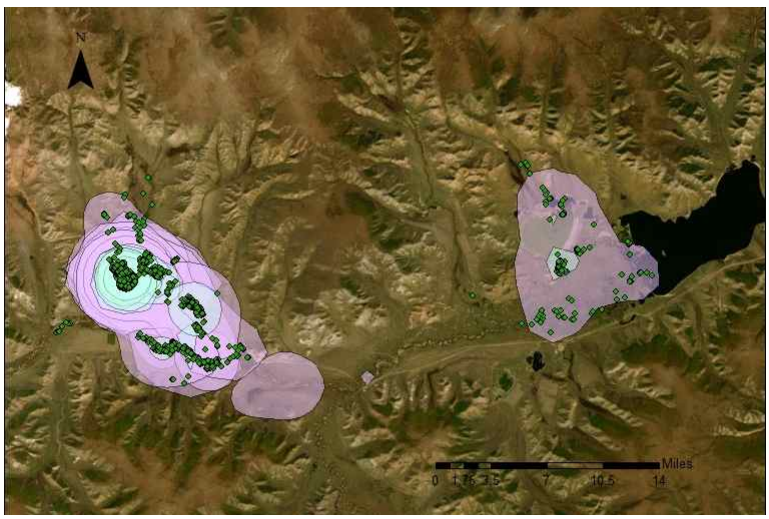

Figure 8. Core areas (50% KDE, green) and home ranges (90% KDE, pink) of 9 Bar-headed Geese tracked in Mongolia.

Table 6. Summary of the generalized additive models on the changes in core areas (50% kernel density estimation: KDE) of the Swan and Bar-headed Geese by parameter

	Estimate	Standard error	t	p
Species				
Bar-headed Geese	7.537	0.071	106.209	<0.001
Swan Geese	5.722	0.078	73.673	<0.001
Location				
Chukh Lake	1.103	0.076	14.591	<0.001
Gulaat Lake	2.808	0.093	30.222	<0.001
Khaichiin Tsagaan Lake	1.335	0.189	7.076	<0.001
Periods				
Period 2	0.038	0.086	0.444	0.658
Period 3	0.096	0.086	1.122	0.264
Period 4	0.365	0.09	4.049	<0.001
Period 5	0.337	0.099	3.408	<0.001
Period 6	0.3	0.106	2.834	0.005
Period 7	0.179	0.152	1.173	0.243
Period 8	0.096	0.191	0.503	0.616

Table 7. Summary of the generalized additive models on the changes in core areas (90% kernel density estimation: KDE) of the Swan and Bar-headed Geese by parameter

	Estimate	Standard error	t	p
Species				
Bar-headed Geese	8.755	0.081	107.575	<0.001
Swan Geese	-1.804	0.081	-22.194	<0.001
Location				
Chukh Lake	1.056	0.087	12.182	<0.001
Gulaat Lake	2.696	0.107	25.302	<0.001
Khaichiin Tsagaan Lake	1.358	0.216	6.277	<0.001
Periods				
Period 2	0.045	0.099	0.453	0.651
Period 3	0.146	0.099	1.482	0.141
Period 4	0.367	0.103	3.556	<0.001
Period 5	0.489	0.113	4.317	<0.001
Period 6	0.364	0.121	2.997	0.003
Period 7	0.321	0.175	1.837	0.068
Period 8	0.396	0.219	1.810	0.073

Table 8. Summary of the generalized additive models on the changes in travel distance of the Swan and Bar-headed Geese by parameter.

	Estimate	Standard error	t	p
Species				
Bar-headed Geese	-14.04	0.282	-49.722	<0.001
Swan Geese	-14.224	0.309	-46.028	<0.001
Location				
Chukh Lake	0.353	0.301	1.175	0.242
Gulaat Lake	1.516	0.37	4.101	<0.001
Khaichiin Tsagaan Lake	1.95	0.751	2.597	0.011
Periods				
Period 2	20.05	0.342	58.625	<0.001
Period 3	20.855	0.342	60.979	<0.001
Period 4	21.745	0.359	60.657	<0.001
Period 5	21.601	0.393	54.925	<0.001
Period 6	21.226	0.421	50.416	<0.001
Period 7	20.64	0.606	34.053	<0.001
Period 8	21.343	0.759	28.107	<0.001

1.2 고찰

오리 · 기러기류를 포함한 척추동물의 행동권과 서식지의 크기는 종(Adam et al. 2016), 연도(Adam et al. 2016), 유전적 요인(Ricklefs & Peters 1981) 뿐만 아니라 먹이 잔존량, 위협요인 등의 환경적 요인의 영향을 받으며(Quan et al. 2002; 유 등 2008b). 먹이의 질은 시기와 공간에 따라 달라진다고 알려져 있다(Sedinger & Raveling 1986; Larsson & Forslund 1991). 개리와 줄기러기의 번식지에서의 핵심서식지(50% KDE)와 행동권(90% KDE)의 최소 면적, 최대 면적, 평균 면적을 통해 종 간 공간 이용의 차이를 파악한 결과 평균 및 최소 핵심서식지와 행동권은 줄기러기가 개리보다 크게 나타났으나 개리의 핵심서식지와 행동권 최대 면적이 줄기러기보다 넓게 나타났다. 이는 공서성 종인 개리와 줄기러기의 핵심서식지와 행동권 차이를 보여주는 것으로 Ringelman (1990)의 연구에 상응하여 기러기류 내에서도 종에 따라 생태 습성의 차이와 그에 따른 서식지 이용 및 행동권 차이가 나타날 수 있음을 보여준다. Kear (2005)의 연구에 따르면 번식 시 줄기러기는 상대적으로 한 서식지에서 여러 쌍이 함께 번식하며, 개리는 개별적으로 번식하는 특성을 보인다. 이와 같은 번식지 내 무리 짓는 특성의 차이는 종 간 핵심서식지와 행동권 차이로 나타날 가능성이 있다.

시기에 따라 핵심서식지, 행동권, 이동 거리는 증가와 감소가 나타나는 변화를 보였고, 전체적으로 증가하는 양상을 보였다(Table 4). 이는 번식지에서 시간 경과에 따른 깃갈이 진행, 새끼의 성장과 같은 생활사의 변화에 의한 결과로 볼 수 있다. 두 종의 핵심서식지는 4-5주차($p<0.001$), 6주차($p=0.005$)에 통계적으로 유의한 증가를 보였고(Table 6), 행동권의 증가도 4-5주차($p<0.001$), 6주차($p=0.003$)에 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 기존 연구에 따르면 깃갈이는 개리의 경우 8월 말에 완료되고, 줄기러기는 7월 말에 완료되는 것으로 조사되었다(Kear 2005, Table 1). 이는 분석 시 유의한 핵심서식지, 행동권의 증가가 나타난 4, 5, 6주차에 해당하는 시기이다. 새끼 성장에 따른 조류의 행동권에 대한 연구에 따

르면 새끼의 성장과 이동 거리는 비례하기에(Erikstad 1985; Barry 1962; Einarsen 1966. 번식지에서의 중후기에 해당하는 주 4-6주차의 핵심서식지와 행동권이 증가하는 것으로 나타났음을 알 수 있다. 선행 연구에 따르면 줄기러기의 핵심서식지는 번식기(nesting period)에 가장 넓게 나타났고, 깃갈이 동안에는 가장 작게 나타났으며 깃갈이 동안의 핵심서식지와 행동권 면적은 성별, 연령, 번식여부에 따라 차이가 나타나지 않아 번식기 동안 육추를 위해 이동 반경이 넓어질 수 있음과 깃갈이의 시작은 이동에 제한을 줄 수 있음이 연구되었다(Cui et al. 2010). 핵심서식지와 행동권의 변화는 약 0.3-0.5 ha로 그 값이 크지는 않았으나, 생활사에 따른 에너지 요구는 조류의 이동에 영향을 주며 육추 및 깃갈이 시기의 경우 조류로 하여금 많은 에너지를 요하게 해 향후 이주 및 개체 생존에 영향을 줄 수 있음에 의미가 있다(Marra et al. 1998; Norris et al. 2004; Angelier et al. 2009; Reudink et al. 2009).

개리와 줄기러기의 행동권은 서식지의 영향을 받는 것으로 분석되었다. 기러기류는 포식자로부터 회피를 위해 개방된 수면(open water)이 있는 번식지를 선택하며, 깃갈이 시기에도 동일한 이유로 개방된 서식지를 선호하며. 크기가 넓으며, 식생 밀도가 높아 충분한 은신처(cover)가 존재하는 습지를 선호하는 것으로 알려져 있다(Ringelman 1990). 따라서 Chukh Lake, Gulaat Lake, Khaichiin Tsagaan Lake의 서식지 식생, 수면 면적 등의 환경이 개리와 줄기러기의 행동과 이동에 영향을 줄 수 있음을 의미한다.

2. 조류 인플루엔자 감염에 따른 개리의 공간 이용

2.1 조류 인플루엔자 감염에 따른 이동 거리

개리의 조류 인플루엔자 감염에 따른 이동 차이를 알아보고자 위치 추적 데이터를 통해 60초-600초 간 개체의 이동 거리(travel distance)를 구하고, GLM 분석을 통해 이동 거리에 영향을 주는 요인들을 파악하였다. 그 결과 서식지, 위치 추적 장치 좌표 획득 간격의 영향이 통계적으로 유의하였으며, 특히 서식지에 있어 Gulaat Lake, Khaichiin Tsagaan Lake에서의 이동거리가 다른 서식지에 비해 크게 나타났다($p<0.001$, Table 9). AIV 감염 여부의 경우, p 유의수준 0.05 이하에서 통계적 유의성이 나타났다. 감염 개체는 비감염 개체에 비해 주당 약 4 m의 이동 거리가 크게 나타났다. 성별에 따른 이동 거리는 유조와 성조 간에 통계적 유의한 차이가 나타나지 않았다($p=0.56$). 유조는 성조에 비해 주당 0.5 m 가량을 더 이동하는 것으로 나타났다. 성별에 따른 이동 거리의 차이는 통계적으로 유의하게 나타나지 않았으며, 수컷이 암컷에 비해 주당 약 0.4 m 더 이동하는 것으로 나타났다($p=0.54$). 서식지에 따른 이동 거리 차이는 호수 별로 주당 약 0-5 m로 나타났다. Gulaat Lake에서는 이동 거리가 주당 약 4 m 정도 증가하였고, Khaichiin Tsagaan Lake의 경우 약 5 m 가량 증가한 것으로 나타났으며 이는 통계적으로 유의한 차이이다($p<0.001$). 위치 좌표 획득 간격의 경우, 좌표 획득 시간이 길어짐에 따라 이동거리가 주당 약 0.1 m 증가하는 것으로 나타났다($p<0.001$). 따라서 번식지에서 AIV 감염기 동안 개체의 이동 거리에 영향을 주는 요인으로는 AI 감염 여부, 서식지, 위치 추적 장치 좌표 획득 간격이 있다.

Table 9. Impacts of fixed-effect parameters on travel distance (n = 7,029) of Swan Geese based on the general linear model.

Parameter	Estimate	Standard error	t	p
Infection status				
AI infected	3.912	1.734	2.257	0.024
AI negative	0.591	1.338	-2.482	0.013
Age				
Juvenile	0.521	0.889	0.586	0.558
Sex				
Male	0.487	0.791	0.616	0.538
Location				
Chukh Lake	3.907	1.55	2.521	0.0117
Gulaat Lake	4.127	1.513	2.727	<0.001
Khaichiin Tsagaan Lake	5.589	1.664	-3.359	<0.001
GPS_time_interval	0.118	0.008	15.166	<0.001

2.2 조류 인플루엔자 감염에 따른 행동권

개리의 조류 인플루엔자 감염에 따른 행동 차이 파악을 위해 4개의 호수에서 총 17개체의 핵심서식지(50% KDE)와 행동권(90% KDE)을 도출하였다(Table 10). Bus Lake의 경우 6개체의 핵심서식지는 평균 97±32 ha (50% KDE; 최소: 60 ha, 최대: 137 ha)로, 행동권은 평균 390±49 ha (90% KDE; 최소: 315 ha, 최대: 445 ha)로 나타났다.

Chukh Lake에 서식하는 7개체의 핵심서식지는 평균 143±41 ha (50% KDE; 최소: 66 ha, 최대: 194 ha)이며, 평균 행동권은 514±82 ha (90% KDE; 최소: 346 ha, 최대: 596 ha)로, 핵심서식지 면적은 143±41 ha (50% KDE)로 나타났다.

Gulaat Lake의 3개체의 핵심서식지는 평균 263±140 ha (50% KDE; 최소: 148 ha, 최대: 420 ha) 이며, 행동권은 평균 1,118±336 ha (90% KDE; 최소: 846 ha, 최대: 1,493 ha) 이다.

Khaichiin Tsagaan Lake에서 추적된 1개체의 핵심서식지는 19 ha이고, 행동권은 66.86 ha이다.

AI 감염에 따른 조류 행동권 차이를 보고자 GLM 분석을 실시하였고, 설명인자로는 AI 감염 여부와 그 외 행동권에 영향을 줄 수 있는 인자인 성별, 연령, 서식지가 고려되었다. 분석 결과 KDE 50%의 핵심서식지와, 90%의 행동권 면적은 AI 감염 개체는 주당 112.82 ha의 변화가 나타났고, 비감염 개체는 90 ha로 감염 여부에 따라 약 22 ha 의 차이가 있었으나, 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 11). 서식환경에 따른 영향은 Gulaat Lake에서 주당 147 ha 가 증가하며 통계적으로 다른 서식지와 다르게 유의한 차이를 나타냈으며(p=0.038), 그 외 다른 호수에서는 면적과의 상관성이 나타나지 않았다. 설명 변수로 함께 분석이 진행된 성별, 연령에 있어 수컷의 핵심 행동권과 행동권이 암컷에 비해 15.76 ha 작게 나타났고(p=0.711), 유조의 행동권은 성조에 비해 8 ha 큰 것(p=0.858)으로 나타났으나 통계적으로 유의한 차이를 주지 않는 것으로 나타났다.

Table 10. Core areas (50% KDE) and home range (90% KDE) of Swan Geese in 4 lakes during avian influenza virus susceptible periods.

Location	ID	Core areas (50% KDE; ha)	Home ranges (90% KDE; ha)
Bus Lake	409	80.749	394.002
	414	59.921	315.950
	415	136.867	445.893
	417	88.644	403.332
	419	134.184	431.938
	421	79.736	352.659
	All birds	96.68±31.55	390.63±48.89
Chukh Lake	406	124.909	504.075
	410	166.885	500.159
	422	65.993	346.099
	HY01	163.808	541.705
	HY03	136.029	543.061
	HY06	150.676	569.58
	HY10	193.547	596.080
	All birds	143.12±40.67	514.39±81.57
Gulaat Lake	403	222.592	1014.606
	413	148.298	846.481
	416	419.565	1493.753
	All birds	263.49±140.18	1118.28±335.86
Khaichiin Tsagaan Lake	411	19.103	66.862

Table 11. Impact of AIV on core area (50% KDE) and home range (90% KDE) of the Swan Geese (n = 17). Location shows statistical significance based on the general linear model.

Parameter	Estimate	Standard error	t	p
Infection status				
AI infected	112.82	85.492	-0.599	0.564
AI negative	90.281	88.253	-0.836	0.425
Age				
Juvenile	8.464	45.902	0.184	0.858
Sex				
Male	-15.764	41.181	-0.383	0.711
Location				
Chukh Lake	36.817	43.540	0.846	0.42
Gulaat Lake	147.456	60.829	2.424	0.038
Khaichiin Tsagaan Lake	-93.716	91.804	-1.021	0.334

2.3 고찰

조류 인플루엔자 바이러스 감염이 조류의 행동에 미치는 영향을 파악하고자 조류의 행동을 이동 거리, 핵심행동권, 행동권을 분석하였다.

이동 거리 분석 결과에서 이동 거리는 p값 유의수준 0.01에서는 감염 개체와 비감염 개체 간 차이를 보이지 않았으나 유의수준 0.05에서 AIV 감염에 따른 이동 거리가 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 감염 개체의 이동 거리가 비감염 개체 보다 주당 이동거리가 약 4 m 크게 나타났다. 이는 첫째, AIV의 감염이 개체의 이동을 저해하지 않는다고 볼 수 있다. 야생 조류에 있어 AIV 감염에 따른 행동이 상이하게 나타나는 이유는 종 별로 AIV 감염에 따른 영향이 다를 수 있음을 의미하며, 향후 AIV가 야생조류에 미치는 영향에 대한 지속적인 연구가 필요함을 보여준다. 개리의 이동거리가 AIV 감염에 따라 통계적으로 유의한 차이가 나타났음에도 불구하고 약 4 m의 차이는 위치 추적 장치의 오차 범위 이내이자 기러기류의 행동권에 비해 상대적으로 짧은 거리로(Kear 2005; Adam 2016) AIV에 의한 영향을 명확하게 규명하는데 한계가 있음을 보여준다. 선행연구에 따르면 LPAIV의 감염이 야생조류에 미치는 영향은 경우에 따라 다르게 나타나는 것으로 알려져 있으나, 청둥오리에 있어 LPAIV의 감염이 이주 거리 및 속도에 영향을 주지 않는다고 연구되었다(Latorre-Margalef et al. 2009). Bewick's Swan (*Cygnus columbianus bewickii*)의 경우, Gils (2007)의 연구에 따르면 LPAIV 감염이 이주 시작 일을 늦추고, 이동 거리를 짧게 하는 것으로 나타났으나 동일종을 대상으로 더 많은 수의 샘플에서 이뤄진 Hoye (2011)의 연구에 따르면 LPAIV의 감염과 이주 시작일, 이동 거리 간에 영향을 명확하게 규명할 수 없었다.

핵심행동권, 행동권 분석 결과 AIV 감염에 따른 차이가 나타나지 않았다(p=0.56). 핵심서식지와 행동권 면적은 AI 감염 개체 간 약 22 ha의 차이가 있었으나, 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 11). 서식환경에 따른 영향으로는 Gulaat Lake에서 주당 147 ha 로 나타나 통계적으

로 유의한 차이를 나타났다.(p=0.038) 조류의 행동권은

성별에 있어 수컷의 핵심 행동권과 행동권이 암컷에 비해 15.76 ha 작게 나타났으나 유의한 차이는 아니었다(p=0.711). 기러기류의 경우 암수가 함께 새끼를 기르기에(Kear 2005) 육추기 동안에도 함께 행동하기에 수치상 면적의 차이는 나타남에도 유의한 차이가 아닌 것으로 보인다.

연령에 있어 유조의 행동권은 성조에 비해 8 ha 크게 나타났고, 이는 통계적으로 유의한 차이는 아니나(p=0.858) 유조 개체의 성장에 따라 이동 능력이 증가함에 따라 행동권이 증가했기 때문으로 볼 수 있다(Erikstad 1985).

이동거리는 위치 추적 장치의 기록 간격이 길어짐에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 추적 간격의 증가에 따라 예측되는 이동 거리 증가량은 주당 0.118m이다. 이는 GPS 오차범위인 15 m 이내의 값으로 본 분석에서의 위치 추적 장치 기록 간격이 GPS 오차에 의한 결과일 수 있다. 위치 추적 장치의 기록 간격은 조사자에 의한 임의 설정이 가능한 부분으로 개체의 생리적 내지는 환경 생태적 요인에 의한 영향이 아니다. 따라서 추적 개체의 좌표 회득 간격을 균일하게 설정하는 것이 중요하며, 시공간적 규모가 작은 연구는 좌표 획득이 자주 이뤄지도록 함으로써 많은 위치 데이터를 얻고, 소규모 움직임에 대한 연구를 고려해야 한다.

3. 조류 인플루엔자 바이러스 전파 위험도

3.1 개체 간 상호작용 및 병원균 전파 위험도

AIV 감염 및 비감염 개체 간 상호작용 지수(IAB.exp)에 대한 정규성 검정을 실시 후(shapiro-wilk normality test, $p<0.001$), AIV 감염 여부에 따른 개체 간 상호작용 차이를 파악하고자 상호작용 지수에 대한 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였으며 그 결과, AIV 감염 여부(Infection status)에 따른 상호작용 차이는 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다 (df=4, χ^2=4.2752, p=0.37, Figure 9).

호수 별 개체 간 유인(P.attract)과 회피(P.avoid) 작용의 경우, Bus Lake의 경우 모든 개체의 상호작용에서 회피가 나타나지 않고 (P.avoid=1.00) 상호작용하는 것으로 나타났으며(Table 12), Chukh Lake에서는 통계적으로 유의한 회피는 나타나지 않았다(P.avoid>0.001, Table 13). Gulaat Lake에서는 개체 간 유의미한 회피는 나타나지 않았다(Table 14).

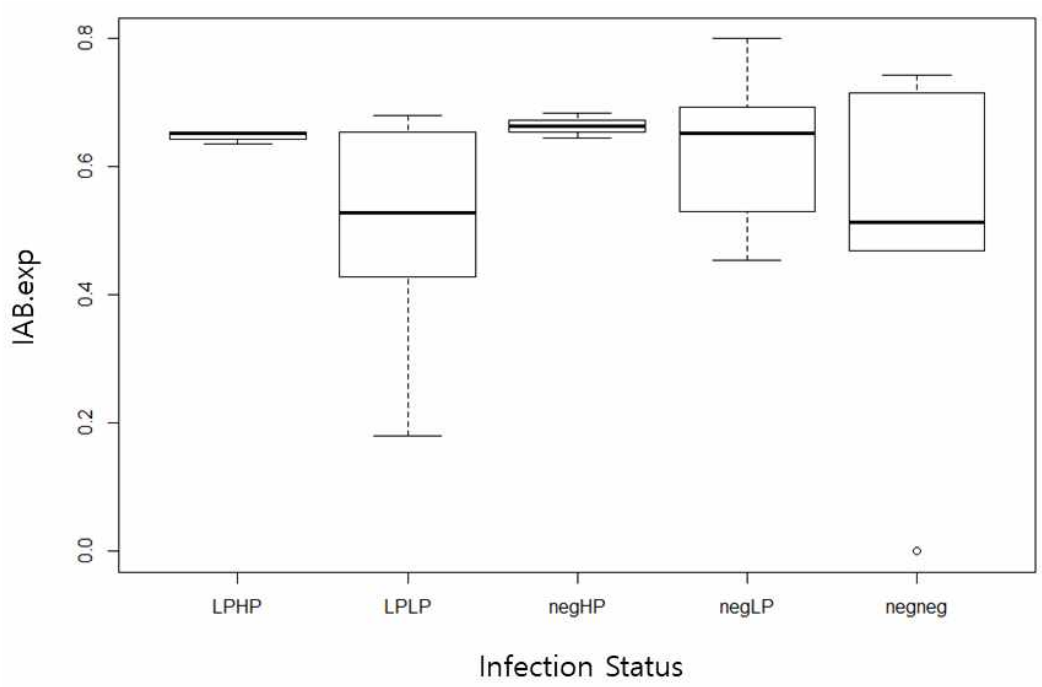

Figure 9. The difference in interaction index (IAB.exp) of AIV infected and non-infected individuals of Swan Geese. LP (low pathogenic avian influenza virus), HP (high pathogenic avian influenza virus) and neg (negative) in the horizontal axis represent Status of Infection.

Table 12. Swan Geese interaction IAB index in Bus Lake. Infection status corresponds to Interacting IDs. It describes avian influenza virus infection as LP (low pathogenic avian influenza virus) and neg (negative).

Interacting IDs	IAB.exp	P.attract	P.avoid	Infection status
414-417	0.587	0.003	1	neg-LP
419-421	0.527	0.006	1	LP-LP
414-421	0.656	0.001	1	neg-LP
414-419	0.529	0.006	1	neg-LP
417-419	0.529	0.006	1	LP-LP
417-421	0.58	0.003	1	LP-LP
409-417	0.509	0.003	1	neg-LP
415-417	0.509	0.003	1	neg-LP
409-419	0.454	0.006	1	neg-LP
415-419	0.504	0.006	1	neg-LP
409-421	0.541	0.001	1	neg-LP
409-415	0.469	0.001	1	neg-neg
414-415	0.519	0.001	1	neg-neg
415-421	0.533	0.001	1	neg-LP
409-414	0.508	0.001	1	neg-neg

Table 13. Swan Geese interaction IAB index in Chukh Lake. Infection status corresponds to Interacting IDs. It describes avian influenza virus infection as LP (low pathogenic avian influenza virus), HP (high pathogenic avian influenza virus), and neg (negative).

Interacting IDs	IAB.exp	P.attract	P.avoid	Infection status
H01-H10	0.654	0.013	1	LP-HP
H06-H01	0.691	0.013	1	neg-LP
422-410	0.799	0.005	1	neg-LP
H03-H01	0.692	0.014	1	neg-LP
H06-H10	0.645	0.013	1	neg-HP
H03-H10	0.662	0.015	1	neg-HP
406-410	0.668	0.003	1	LP-LP
422-H03	0.742	0.2	0.82	neg-neg
406-H01	0.653	0.1	0.91	LP-LP
422-H01	0.708	0.118	0.902	neg-LP
422-406	0.71	0.004	1	neg-LP
422-H06	0.715	0.196	0.824	neg-neg
422-H10	0.684	0.125	0.893	neg-HP
406-H10	0.635	0.099	0.911	LP-HP
H06-406	0.649	0.134	0.876	neg-LP
H06-410	0.681	0.165	0.845	neg-LP
H03-410	0.696	0.187	0.824	neg-LP
H03-406	0.658	0.165	0.846	neg-LP
410-H01	0.68	0.25	0.76	LP-LP
410-H10	0.652	0.168	0.842	LP-HP
H03-H06	0.000	0.449	0.562	neg-neg

Table 14. Swan Geese interaction IAB index in Gulaat Lake. Infection status corresponds to Interacting IDs. It describes avian influenza virus infection as LP (low pathogenic avian influenza virus).

Interacting IDs	IAB.exp	P.attract	P.avoid	Infection status
413-416	0.427	0.004	1	LP-LP
403-416	0.394	0.13	0.874	LP-LP
403-413	0.179	0.2	0.807	LP-LP

3.2 고찰

호수 별 개체 간 상호작용을 유인, 회피로 파악하여 개체 간 거리가 가까운 순서에 따른 상호작용 지수(IAB.exp)를 파악한 결과 AIV 감염 개체와 비감염 개체의 무작위적인 상호작용이 나타났다.

특히, 3개의 호수에서는 유의미한 회피 작용이 나타나지 않았다 (P.avoid>0.05). 이는 오리·기러기류의 사회행동 특성에 기인하는 것으로 보인다. 오리·기러기류는 번식지에서 가족단위로 생활하며 무리지어 활동하는 행동적 특성을 가진다(Johnsgard 1965; Kear 2005). 이 과정에서 개체 간 서식지 중첩 및 접촉이 발생한다. 군집형 조류의 움직임은 개체의 움직임에 영향을 미치고, 앞서 수행된 AIV 감염 여부는 개체의 이동거리에 영향을 미치지 않는 것으로 분석된 것으로 보아 무리의 움직임에 따라 개체가 이동하고, 개체 간 상호작용이 무작위하게 발생 가능함을 설명해준다.

가금에 있어 연령에 따른 AIV의 감염 후 항체 형성에는 성조와 유조 간의 차이가 나타난다고 연구되었다(Lu & Castro 2004). 어린 개체는 면력 세포의 성장이 이뤄지기 전까지 낮은 면역 체계로 인해 질병 감염과 전파에 취약하다(Causey & Edwards 2008). 따라서 가족단위로 생활하는 기러기류의 특성상 AIV에 면역이 없는 어린 개체들에게의 바이러스 전파가 발생할 수 있음을 의미한다.

본 분석이 이뤄진 개체들은 7월 말에서 8월 초에 포획된 깃갈이 중인 개체로 비행에 제약이 따르는 상태이기에 상대적으로 한정된 서식지에 머무르게 된다(Table 1). 따라서 개체의 상호작용에 따른 접촉은 국지적 AIV 전파 가능성 및 발생 위험성으로 이해될 수 있다. 또한, 향후 개체 상호작용에 따른 번식지에서의 AIV 발생 및 확산은 이주 시작 후 중간 기착지를 비롯한 비번식지(non-breeding ground, wintering ground, 월동지)로의 AIV 전파 가능성을 의미한다(Swayne 2009; Prosser et al. 2011).

Ⅵ. 종합 고찰

개리와 줄기러기의 추적 데이터를 통해 번식지에서 깃갈이 중인 성조와 깃 성장 중인 유조 기러기 개체들의 행동권을 분석하였다. 그 결과, 개리와 줄기러기의 번식지에서의 행동권은 종 별, 서식지 별로 차이가 나타났다. 개체 별로 이주 전까지의 행동권 변화를 파악한 결과 이주 전까지 행동권의 증감이 나타났다. Erikstad (1985)의 연구에 따르면 Willow Grouse (*Lagopus lagopus*) 새끼의 행동권은 성장에 따라 증가한다는 것으로 나타났다. 이와 마찬가지로 본 연구 결과는 첫째, 새끼의 성장에 따른 개체의 이동 범위 증가에 의한 영향으로 볼 수 있다.

둘째, 이주 시기가 가까워짐에 따라 이주를 위한 필요 먹이의 증대로 인해 먹이가 부족한 곳에서는 먹이가 풍부한 서식지로 이동이 발생할 수 있다. 또한 새끼의 성장에 따른 먹이 요구도의 증대 및 먹이 고갈의 영향도 있을 것으로 보인다(Fox & Kahlert 2005). 기존 서식지의 먹이가 풍부한 경우에는 해당 서식지를 많이 벗어나지 않고, 섭식 활동이 이루어질 수 있다(Martin 1987). 따라서 이주 전 개체는 먹이 활동을 증대하며 이주에 필요한 에너지를 축적한다고 볼 수 있다(Zwarts & Dirksen 1990; Bairlein & Simons 1995).

셋째, 새끼의 성장과 깃갈이의 진행 과정 상 개체 행동에 미치는 영향이 다름을 의미한다. 선행 연구에 따르면 성조의 깃갈이에 있어 날개깃의 교체가 가장 오래 걸리며 생리적, 행동적 변화가 뚜렷한 것으로 알려져 있다(Owen & Ogilvie 1979; Debbie & Fred 2000). 깃갈이 기간에는 활동성 저하에 의한 포식 위협의 증대와 섭식 활동 기회의 감소가 나타난다(Owen & Ogilvie 1979; Panek & Majewski 1990; Adams et al. 2000; Wetering & Cooke 2000). 또한, 이 시기는 어린 개체에서는 깃의 성장이 나타나는 시기이기에 개체의 신체적 조건 및 활동성은 깃갈이와 깃성장 과정에 따라 달랐을 것이고 이는 행동권의 변화로 나타났을 것이다.

번식지에서 AIV 감염 확인이 이루어진 개리를 대상으로 AIV 감염에

따른 행동권 차이와 이동 거리의 차이를 분석한 결과, AIV는 개체의 행동권 및 이동 거리에 통계적으로 유의한 차이는 있었으나, 생태적으로 유의미한 영향으로 보기에는 어려운 것으로 나타났다. 기존 연구에 따르면 닭에 있어 LPAIV는 임상적 영향이 나타나지 않았다(Bergervoet 2019). 야생조류에 있어 AIV의 감염이 개체 행동에 큰 영향을 주지 않는다고 볼 수 있다. 하지만 이는 무리지어 움직이는 오리·기러기류의 행동적 특성에 따른 영향일 수 있다(Kear 2005). 번식기 이후의 개체들은 가족 단위로 지내며 유조는 부모새를 따라 움직인다(Kear 2005).

번식지에서의 AIV 감염 개체간의 상호작용을 분석한 결과, 개체 간 상호작용은 AIV 감염 여부와 상관없이 무작위하게 발생하였다. 이는 하나의 서식지에서 개체 간 접촉에 따라 AIV 전파가 이루어질 수 있음과 번식지에서는 바이러스에 대한 면역이 형성되지 않은 어린 개체의 AIV 감염 위험이 있음을 의미한다(Lu & Castro 2004; Causey & Edwards 2008). AIV 문제 해결을 위해서는 조류의 행동이 제한되는 번식 이후 깃갈이 시기를 주목할 필요가 있으며 AIV 전파를 막기 위해서는 서식지 관리를 통해 교란을 최소화하고, 다른 서식지로의 개체 이동이 최소화될 수 있도록 해야 한다. 이주가 시작되면 개체들은 여러 호수, 서식지를 거치며 중간 기착을 하고, 비번식지에 도착하게 된다.

개리의 경우 중국의 포양호(Poyang Lake)에 개리 개체군의 대부분이 겨울을 보내게 된다. 포양호에서는 인근으로부터의 가금 유입이 발생하여 야생조류와 고밀도의 가금 조류가 함께 있는 모습이 관찰된다(Zhang et al. 2013; Diann 2015). 야생 조류 중 AIV 감염 개체가 있을 경우, 가금과 야생 조류의 접촉에 의한 질병 전파 가능성을 보여주며(Prosser 2015), 가금 내에서 AIV의 HPAIV로의 변이 가능성을 의미한다(Abdelwhab 2013). 따라서 AI 문제 해결에 있어 월동지에서의 서식지 관리가 중요하며 나아가 이동경로의 관점에서 이동경로 상 서식지 전체를 대상으로한 관리가 고려되어야 한다.

향후 개리와 줄기러기를 대상으로 한 서식지별 먹이량과 행동권 변화를 깃갈이 시기와 이주 전 시기 간 시 서식지 이용 변화에 대한 연구가

필요하다. 또한 번식지에서 이주 전까지의 행동 연구와 향후 이주 시 중간 기착지 등과의 서식지 간의 Migratory connectivity, 이주 전략(migratory strategy)에 대한 연구를 통해 해당 종의 생태에 대한 추가적인 연구가 이뤄질 수 있을 것이다.

Ⅶ. 결론

개리와 줄기러기의 번식지에서의 시기에 따른 핵심서식지(50% KDE) 및 행동권(90% KDE) 변화와 AIV 감염이 개리의 이동 거리, 행동권에 미치는 영향, 개체 간 상호작용에 따른 위험도를 분석한 결과는 다음과 같다.

번식기 동안의 유사한 환경에서 서식하는 개리와 줄기러기의 행동권을 분석하여 몽골 번식지에서 시공간적인 서식지 이용 변화에는 1) 개리와 줄기러기의 핵심서식지, 행동권 면적에는 평균 및 최소 핵심서식지와 행동권은 줄기러기가 개리보다 크게 나타났으나 개리의 핵심서식지와 행동권 최대 면적이 줄기러기보다 넓게 나타났다.

번식지에서의 행동권 변화를 주별로 분석한 결과, 2) 개리, 줄기러기의 핵심서식지, 행동권에는 시간에 따른 변화가 나타났으며, 이는 시기별 영향이 존재하는 것으로 보이며 새끼 성장, 깃의 성장, 이주 시기가 가까워짐에 따른 영향이라 볼 수 있다.

번식지에서 AIV 감염에 따른 잠복기 동안의 이동 거리와 행동권을 분석한 결과, 3) AIV의 감염이 개채의 이동 거리와 행동권에 생태적으로 영향을 준다고 보기에는 어려운 것으로 나타났다. 이는 야생조류에 있어 AIV가 가지는 병원성이 가금 닭, 칠면조에서 높은 치사율로 나타나는 것과의 차이를 의미한다. 이는 향후 AIV를 논함에 있어 야생조류와 질병 간의 관계가 가금과 다를 수 있음을 보여주는 것이기도 하다.

일반적으로 야생동물에 있어 병원균의 감염 개체와 비감염 개체 사이에는 물리적인 회피 현상이 나타난다. AIV 감염 판독이 이뤄진 개리를 대상으로 감염된 개체와 비감염 개체 간의 상호작용을 파악한 결과, 개체 간의 회피와 유인현상은 AIV 감염과 상관없이 나타났다. 이에 따라 감염 여부에 따른 상호작용 지수 차이도 통계적으로 유의하지 않는 것으로 분석되었다. 이는 4) 기러기류에서 AIV 병원균 감염에 따른 물리적 회피가 나타나지 않는 것을 의미한다. 이는 군집 내지는 가족 단위로 생

활하는 기러기류의 생태적 특성에 의한 영향일 수 있다. AIV 감염 개체와 비감염 개체 간 회피가 없이 상호작용이 발생한다는 것은 개체간 접촉에 의한 AIV 전파 발생 가능성을 의미한다. 개체군 내 AIV 전파는 향후 중간 기착지, 비번식지와 같은 다른 서식지로의 AIV 전파로 이어질 가능성이 있다. 따라서 이 시기 동안 번식지에서의 교란을 최소화 하고, AIV 감염 개체의 다른 서식지로의 이동을 최소화함으로써 서식지 간 AIV 전파의 관리 및 차단이 이뤄질 수 있다(Quan et al. 2002).

LPAIV가 가금을 비롯한 조류에 미치는 영향은 미미하다고 알려져 있고, 감염 후 개체의 회복은 개체 건강도에 따라 달라질 수 있다(Latorre-Margalef et al. 2009). AIV는 인수공통질병으로 사람에게 전파 가능성이 있어 문제 해결을 위해서는 원 헬스의 관점에 입각한 인간-동물-생태계 간의 연성을 고려하여야 한다. 번식지에서의 풍부한 먹이와 개체 건강도의 연관성에 대한 이해가 필요하며 양질의 서식지 조성을 위한 번식지 관리가 이뤄져야 한다.

Ⅷ. 인용 문헌

문운경, 조성범, 배선학. 2014. 2014년 국내 발생 HPAI의 시, 공간 군집 분석. 한국지리정보학회지 18(3): 89-101.

문화재청 국가문화유산포털. 1982. 천연기념물 제325-1호 개리. [online] Available at: http://www.heritage.go.kr/heri/cul/culSelectDetail.do?VdkVgwKey=16,03250100,ZZ&pageNo=5_1_1_0 [Accessed 8 Dec. 2019].

박선일, 정원화, 이광녕. 2019. GIS 공간분석 기술을 이용한 국내 고병원성 조류인플루엔자 발생 고위험지역 분류. 한국임상수의학회지 36(1): 15-22.

신용운, 신만석, 이한수, 강용명, 정우석, 최지다, 윤하정, 오홍식. 2016. 청둥오리와 흰뺨검둥오리의 월동기 행동권 비교 연구. 한국환경생태학회지 30(2): 165-172.

유승화, 김인규, 강태한, 조해진, 유재평, 이시완, 이한수. 2008a. 천수만에서 월동하는 조류군집과 먹이자원과의 관계. 한국환경생태학회지 22(3): 301-308.

유승화, 김준범, 김인규. 2008b. 천수만에 도래하는 기러기류의 분포양상과 시기에따른 분포의 변화. 한국환경생태학회지 22(6): 632-639.

이기섭. 2005. 한국 미기록종인 줄기러기(*Anser indicus*)의 첫 관찰 보고. 한국조류학회지 12(1): 39-40.

이우신, 박찬열, 임신재, 허위행, 정옥식, 최창용, 박용수, 이은재. 2017. 야생동물생태관리학. 라이프사이언스, 서울.

Abdelwhab, E. M., Veits, J., & Mettenleiter, T. C. 2013. Genetic changes that accompanied shifts of low pathogenic avian influenza viruses toward higher pathogenicity in poultry. Virulence 4(6): 441-452.

Adam, M., Podhrázský, M., & Musil, P. 2016. Effect of Start of Hunting Season on Behaviour of Greylag Geese *Anser anser*. Ardea 104(1): 63-68.

Adams, P. A., Robertson, G. J., & Jones, I. L. 2000. Time-Activity Budgets of Harlequin Ducks Molting in the Gannet Islands, Labrador. The Condor 102(3): 703-708.

Alekseev, A. N., Dubinina, H. V., Semenov, A. V.,& Bolshakov, C. V. 2001. Evidence of Ehrlichiosis Agents Found in Ticks (Acari: Ixodidae) Collected from Migratory Birds. Journal of Medical Entomology 38(4): 471-474.

Alerstam, T. 1990. Bird Migration. Cambridge University Press, Cambridge, New York.

Alexander, D. J. 2000. A review of avian influenza in different bird species. Veterinary Microbiology 74(1-2): 3-13.

Alexander, D. J. 2007. An overview of the epidemiology of avian influenza. Vaccine 25(30): 5637-5644.

Altizer. S., Bartel. R., & Han, B. A. 2011. Animal Migration and Infectious Disease Risk, 331(6015): 296-302.

Angelier, F., Holberton, R. L. & Marra, P. P. 2009. Does stress response predict return rate in a migratory bird species? A study of American redstarts and their non-breeding habitat. Proceeding of the Royal Society B 276: 3545-3551.

Ankney, C. D. 1984. Nutrient Reserve Dynamics of Breeding and Molting Brant, The Auk 101(2): 361-370.

Bairlein, F., & Simons, D. 1995. Nutritional adaptations in migrating birds. Israel Journal of Ecology and Evolution 41(3): 357-367.

Barry, T. W. 1962. Effect of late seasons on Atlantic brant reproduction. Journal of wildlife Management 26: 19-26.

Benhamou, S., Valeix, M., Chamaille-Jammes, S., Macdonald, D., & Loveridge, A. J. 2014. Movement-based analysis of interactions in African lions. Animal Behaviour 90: 171-180.

Bergervoet, S. A., Germeraad, E. A., Alders, M., Roose, M. M., Engelsma, M. Y., Heutink, R., Bouwstra, R., Fouchier, R. A. M., Beerens, N. 2019. Susceptibility of Chickens to Low Pathogenic Avian Influenza (LPAI) Viruses of Wild Bird- and Poultry-Associated Subtypes. Viruses 11(11).

Berland, A., Nelson, T., Stenhouse, G., Graham, K., & Cranston, J. 2008. The impact of landscape disturbance on grizzly bear habitat use in the Foothills Model Forest, Alberta, Canada. Forest Ecology and Management 256(11): 1875-1883.

BirdLife International 2016. *Anser cygnoid*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22679869A92832782.

Börger, Luca., Dalziel, B. D. & Fryxell, J. M. 2008. Are there general mechanisms of animal home range behaviour? A review and prospects for future research. Ecology Letters 11(6): 637-650.

Bouvier, N. M., 2015. Animal models for influenza virus transmission studies: a historical perspective. Current Opinion in Virology 13: 101-108.

Bradley, C. A., & Altizer, S. 2005. Parasites hinder monarch butterfly flight: implications for disease spread in migratory hosts. Ecology Letters 8(3): 290-300.

Brown, J. D., Stallknecht, D. E., & Swayne, D. E. 2008. Experimental infection of swans and geese with highly pathogenic avian influenza virus (H5N1) of Asian lineage. Emerg Infect Dis. 14:136-42.

Burt, W. H. 1943. Territoriality and Home Range Concepts as Applied to Mammals. Journal of Mammalogy 24(3): 346-352.

Calenge, C. 2019. Home Range Estimation in R: the adehabitatHR Package.

Causey, D. & Edwards, V. S. 2008. Ecology of Avian Influenza Virus in Bird. The Journal of Infectious Diseases 197(1): 29-33.

Chirima, J. G., & Owen-Smith, N. 2015. Comparison of Kernel Density and Local Convex Hull Methods for Assessing Distribution Ranges of Large Mammalian Herbivores. Transactions in GIS 21(2): 359-375.

Cui, P., Hou, Y., Tang, M., Zhang, H., Zhou, Y., Yin, Z., Li, T., Guo, S., Xing, Z., & He, Y., et al. 2010. Movement patterns of Bar-headed Geese Anser indicus during breeding and post-breeding periods at Qinghai Lake, China. Journal of Ornithology 152(1): 83-92.

Curtis, V. A. 2014. Infection-avoidance behaviour in humans and other animals. Trends in Immunology 35(10): 457-464.

Douglas, D. C., Weinzier, R., Davidson, S. C., Kays, R., Wikelski, M., & Bohrer, G. 2012. Moderating Argos location errors in animal tracking data. Methods in Ecology and Evolution 3: 999-1007.

Drent, R. H., & Daan, S. 1980. The prudent parent: energetic adjustments in avian breeding. Ardea 68: 225-252.

Einarsen, A. S. 1966. Black Brant: Sea Goose of the Pacific Coast. The Quarterly Review of Biology 41(3): 330.

Erikstad, K. E. 1985. Growth and Survival of Willow Grouse Chicks in Relation to Home Range Size, Brood Movements and Habitat Selection. Ornis Scandinavica 16(3): 181-190.

FAO. UN System Influenza Coordination, Unicef. et al. 2008. FAO Report Exercise on Highly Pathogenic Avian Influenza

Fagan, W. F., Lutscher, F., & Schneider, K. 2007. Population and community consequences of spatial subsidies derived from central-place foraging. The American Naturalist. 170(6): 902-915.

Feare C. J. 2010. Role of wild birds in the spread of highly pathogenic avian influenza virus H5N1 and implications for global surveillance. Avian Disease 54(1): 201-212.

Fisher, D. O. 2000. Effects of vegetation structure, food and shelter on the home range and habitat use of an endangered wallaby. Journal of Applied Ecology 37(4): 660-671.

Frair, J. L., Merrill, E. H., Beyer, H. L., & Morales, J. M. 2008. Thresholds in landscape connectivity and mortality risks in response to growing road networks. Journal of Applied Ecology 45(5): 1504-1513.

Fox, A. & Kahlert, J. 2005. Changes in body mass and organ size during wing moult in non-breeding greylag geese *Anser anser.* Journal of Avian Biology 36(6): 538-548.

Ganbold, O., Munkhbayarc, M., Paik, I. H., & Bing G. C., Jargalsaikhanc, A., Pureveec, E., Peak, W. K. 2017. Globally threatened birds in Mongolia: a review. Journal of Asia-Pacific Biodiversity 10(4): 435-440.

Gautestad, A. O., & Mysterud, I. 2005. Intrinsic scaling complexity in animal dispersion and abundance. American Naturalist, 165(1): 44-55.

Gauthier-clerc, M., Lebarbenchon, C., & Thomas, F. 2007. Recent expansion of highly pathogenic avian influenza H5N1: a critical review. Ibis 149(2): 202-214.

Georgii, B. 1980. Home range patterns of female red deer (Cervus elaphus L.) in the Alps. Oecologia 47(2): 278-285.

Gill, F. B. 2007. Ornithology. Academy of Natural Sciences, Philadelphia.

Gitzen, R. A., Millspaugh, R. J., & Kernohan, B. J. 2006. Bandwidth selection for fixed-kernel analysis of animal utilization distributions. Journal Wildlife Management 70: 1334-44.

Gombobaatar, S., Monks, E., Seidler, R., Sumiya, D., Tseveenmyadag, N., Bayarkhuu, S., Baillie, J. E. M., Boldbaatar, Sh., & Uuganbayar, Ch. 2011. Birds Regional Red List Series, vol. 7, Zoological Society of London,

National University of Mongolia and Mongolian Ornithological Society

Harris, S., Cresswell, W. J., Forde, P. G., Trewhella, W. J., Woollard, T. H., & Wray, S. 1990. Home-range analysis using radio-tracking data—a review of problems and techniques particularly as applied to the study of mammals. Mammal Review 20(2/3): 97-123.

Hart, B. L. 1987. Behavior of sick animals. Veterinary clinics of North America: food animal practice 3(2): 383-391.

Hart, B. L. 1990. Behavioral adaptation to pathogens and parasites-five strategies. Neuroscience and Biobehavioral Reviews 14: 273-294.

Hart, B. L. 2011. Behavioral defences in animals against pathogens and parasites: parallels with the pillars of medicine in humans. Philosophical Transactions of the Royal Society B 366: 2406-3417.

Hawkes, L. A., Balachandran, S., Batbayar, N., Butler, P. J., Frappell, P. B., Milsom, W. K., Tseveenmyadag, N., Newman, S. H., Scott, G. R., & Sathiyaselvam, P., et al. 2011. The trans-Himalayan flights of bar-headed geese (Anser indicus). Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 108: 9516-9519.

Hoye, B. J. 2011 Host-Pathogen Interactions on the Move: Migratory waterfowl and avian influenza viruses. PhD thesis. Utrecht University, Utrecht, the Netherland

Huai, Y., Xiang, N., Zhou, L., et al. 2008 Incubation Period for Human Cases of Avian Influenza A (H5N1) Infection, China. Emerging Infectious Diseases 14(11): 1819-1821.

Hubálek, Z. 2004. An annotated checklist of pathogenic pathogenic microorganisms associated with migratory birds. Journal of Wildlife Diseases 40(4): 639-659.

Hulbert, I. A. R., Iason, G. R., Elston, D. A., & Racey, P. A. 1996. Home-range sizes in a stratified upland landscape of two lagomorphs with different feeding strategies. Journal of Applied Ecology 33(6): 1479-1488.

Johnsgard, P. A. 1965. Handbook of W Handbook of Waterfowl Beha fowl Behavior: T vior: Tribe Anserini (Swans and Tribe Anserini (Swans and True Geese). Cornell University Press.

Kear, J. 2005. Ducks, Geese and Swans. Oxford University Press. Oxford, United Kingdom.

Kenkre, V. M., Giuggioli, L., Abramson, G., & Camelo-Neto G. 2007. Theory of hantavirus infection spread incorporating localized adult and itinerant juvenile mice. The European Physical Journal B 55: 461-470.

Kenward, R. E. 1985. Raptor radio-tracking and telemetry. ICBP Technical publication 5: 409-420.

Kleinhenz, A., & Koenig, A. 2018. Home ranges and movements of resident graylag geese (Anser anser) in breeding and winter habitats in Bavaria, South Germany. PLoS ONE 13(9): e0202443.

Kuiken, T. 2013. Is low pathogenic avian influenza virus virulent for wild waterbirds?. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 280(1763): 20130990.

Larsson, K., & Forslund, P. 1991. Environmentally induced morphological variation in the Barnacle Goose, *Branta leucopsis*. Journal of evolutionary Biology 4: 619-636.

Latorre-Margalef, N., Gunnarsson, G., Munster, V. J., Fouchier, R. A., Osterhaus, A. D., Elmberg, J., Olsen, B., Wallensten, A., Haemig, P. D., & Fransson, T., et al. 2009. Effects of influenza A virus infection on migrating mallard ducks. Proceeding Biological Science 276(1659): 1029-1036.

Laver, P. N., & Kelly, M. J. 2008. A critical review of home range studies. Journal of Wildlife Management 72(1): 290–298.

Lewis, T. L., Flint, P. L., Derksen, D. V., & Schmutz, J. A. 2011. Fine Scale Movements and Habitat Use of Black Brant During the Flightless Wing Molt in Arctic Alaska. Waterbirds 34(2): 177-185.

Lewis, T. L., Flint, P. L., Schmutz, J. A., & Derksen, D. V. 2010. Pre-moult patterns of habitat use and moult site selection by Brent Geese Branta bernicla nigricans: Individuals prospect for moult sites. Ibis 152(3): 556-568.

Loehle, C. 1995. Social Barriers to Pathogen Transmission in Wild Animal Populations. Ecology 76(2): 326-335.

Long, J. 2019. Calculate Indices of Dynamic Interaction for Wildlife Tracking Data. R package version 0.3.0

Lu, H., & Castro, A. E. 2004. Evaluation of the Infectivity, Length of Infection, and Immune Response of a Low-Pathogenicity H7N2 Avian Influenza Virus in Specific-Pathogen-Free Chickens. Avian Diseases 48(2): 263-270.

Machalaba, C. C., Elwood, S. E., Forcella, S., Smith, K. M., Hamilton, K., Jebara, K. B., & Karesh, W. B. 2015. Global avian influenza surveillance in wild birds: a strategy to capture viral diversity. Emerging infectious diseases 21(4): 1-7.

Marra, P. P., Hobson, K. A. & Holmes, R. T. 1998. Linking winter and summer events in a migratory bird by using stable carbon isotopes. Science 282: 1884-1886.

Martell, M. S., Henny, C. J., Nye, P. E., & Solensky, M. J. 2001. Fall Migration Routes, Timing, and Wintering Sites of North American Ospreys as Determined by Satellite Telemetry. The Condor 103(4): 715-724.

Martin, L. C. 1987. Habitat Selection in Birds. Academic Press. Orlando, U.S.A.

Mathews, F. 2009. Advances in Parasitology, Chapter 8 Zoonoses in Wildlife: Integrating Ecology into Management. 1st edn, Advances in Parasitology. 1st edn. Elsevier Ltd.

Miller, M. R., Takekawa, J. Y., Fleskes, J. P., Orthmeyer, D. L., Casazza, M. L., & Perry, W. M. 2005. Spring migration of Northern Pintails from California's Central Valley wintering area tracked with satellite telemetry: routes, timing, and destinations. Canadian Journal of Zoology 83(10): 1314-1332.

Mitchell, C., Griffin, L., Maciver, A., Minshull, B., & Makan, N. 2016., Use of GPS tags to describe the home ranges, migration routes, stop-over locations and breeding area of Taiga Bean Geese Anser fabalis fabalis wintering in central Scotland, Bird Study 63(4): 437-446.

Mitchell G. W., Taylor, P. D., & Warkentin, I. G., 2010. Assessing the Function of Broad-Scale Movements Made by Juvenile Songbirds Prior to Migration. The Condor 112(4): 644-654.

Mitchell, M. S., & Powell, R. A. 2004. A mechanistic home range model for optimal use of spatially distributed resources. Ecological Modelling 177(1-2): 209-232.

Norris, D. R., Marra, P. P., Kyser, T. K., Sherry, T. W., & Ratcliffe, L. M. 2004. Tropical winter habitat limits reproductive success on the temperate breeding grounds in a migratory bird. Proc. R. Soc. Lond. B 271: 59-64.

Nriagu, J. O. 2011. Encyclopedia of Environmental Health. Elsevier Science. Oxford, United Kingdom.

Olsen, B., Munster, V. J., Wallensten, A., Waldenstrom, J., Osterhaus, A. D., &

Fouchier, R. A. 2006. Global patterns of influenza a virus in wild birds. Science 312: 384-388.

Owen, M., & Ogilvie, M. 1979. Wing Molt and Weights of Barnacle Geese in Spitsbergen. The Condor 81(1): 42-52.

Panek, M., & Majewski, P. 1990. Remex Growth and Body Mass of Mallards during Wing Molt, The Auk 107(2): 255-259.

Paracuellos, M., & Tellería, J. L. 2004. Factors affecting the distribution of a waterbird community: the role of habitat configuration and bird abundance. Waterbirds 27(4): 446-453.

Peterson, A. T., & Williams, R. A. J. 2008. Risk mapping of highly pathogenic avian influenza distribution and spread. Ecology and Society 13(2): 15.

Prosser, D. J., Cui, P., Takekawa, J. Y., Tang, M., Hou, Y., Collins, B. M., & Newman, S. H. 2011. Wild bird migration across the Qinghai-Tibetan plateau: a transmission route for highly pathogenic H5N1. PLoS ONE 6(3).

Prosser, D. J., Palm, E. C., Takekawa, J. Y., Zhao, D., Xiao, X., Li, P., Liu, Y., & Newman, S. H. 2015. Movement analysis of free-grazing domestic ducks in Poyang Lake, China: a disease connection. International Journal of Geographical Information Science 30(5): 869-880.

Quan, R. C., Wen, X., & Yang, X. 2002. Effects of human activities on migratory waterbirds at Lashihai Lake, China. Biological Conservation 108: 273-279.

Reudink, M. W., Marra, P. P., Kyser, T. K., Boag, P. T., Langin, K. M., & Ratcliffe, L. M. 2009. Non-breeding season events influence sexual selection in a long-distance migratory bird. Proceeding of the Royal Society B: Biological Sciences 276: 1619-1626.

Ricklefs, R. E., & Peters, S. 1981. Parental Components of Variance in Growth Rate and Body Size of Nestling European Starlings (*Sturnus vulgaris*) in Eastern Pennsylvania. The Auk 98(1): 39-48.

Ringelman, J. K. 1990. Habitat Management for Molting Waterfowl in Waterfowl Management Handbook. United States Department of the Interior Fish and Wildlife Service, Washington, U.S.A.

Rivera, J. H. V., Mcshea, W. J., Rappole, J. H., & Haas, C. A. 1999. Postbreeding movements and habitat use of adult wood thrushes in northern Virginia. The Auk 116(2): 458-466.

Rivera, J. H. V., Rappole, J. H., Mcshea, W. J., & Haas, C. A. 1998. Wood Thrush postfledging movements and habitat use in northern Virginia. The Condor 100(1): 69–78.

Robertson, G. J. & Cooke, F. 1999. Winter Philopatry in Migratory Waterfowl. The Auk 116(1): 20-34.

Romagosa, C. M., & Labisky, R. F. 2000. Establishment and dispersal of the Eurasian Collared-Dove in Florida. Journal of Field Ornithology 71(1): 159-166.

Rushton, S. P., Barreto, G. W., Cormack, R. M., MacDonald, D. W., & Fuller, R. 2000. Modelling the effects of mink and habitat fragmentation on the water vole. Journal of Applied Ecology 37(3): 475–490.

Salomonsen, F. 1968. The moult migration. Wildfowl 19: 5–24.

Seaman, D., & Powell, R. 1996. An Evaluation of the Accuracy of Kernel Density Estimators for Home Range Analysis. Ecology 77(7): 2075-2085.

Sedinger, S. J. & Raveling, G. D. 1986. Timing of nesting by Canada Geese in relation to the phenology and availability of their food plants. Journal of Animal Ecology 55(3): 1083-1102.

Spackman E. 2008. A Brief Introduction to the Avian Influenza Virus. In: Spackman E, Editor. Avian influenza virus. 1st ed. Humana Press. 1-3.

Spickler, A, Trampel, D., & Roth, J. 2008. The onset of virus shedding and clinical signs in chickens infected with high-pathogenicity and low-pathogenicity avian influenza viruses. Avian Pathology 37(6): 555-577.

Ssematimba, A., Hagenaars, T. J., de Wit, J. J., Ruiterkamp, F., Fabri, T. H., Stegeman, J. A., & de Jong, M. C., 2013. Avian influenza transmission risks: Analysis of biosecurity measures and contact structure in Dutch poultry farming. Preventive Veterinary Medicine 109(1–2): 106–115.

Stasinopoulos, M., Rigby, B., Voudouris, V., Akantziliotou, C., Enea, M., & Kiose, D. (2019). gamlss: Generalised Additive Models for Location Scale and Shape. R package version 5.1-4

Stokes, K. L., Broderick, A. C., Canbolat, A. F., Candan, O., Fuller, W. J., Glen, F., et al. 2015. Migratory corridors and foraging hotspots: critical habitats identified for Mediterranean green turtles. Diversity and Distributions 21: 665-674.

Swayne, D. E. 2009. Avian Influenza. Blackwell Publishing Ltd., 43-58.

Takekawa, J. Y., Heath, S. R., Douglas, D. C., Perry, W. M., Javed, S., Newman, S. H., Suwal, R. N., Rahmani, A. R., Choudhury, B. C., & Prosser, D. J., et al. 2009. Geographic variation in Barheaded Geese *Anser indicus*: connectivity of wintering areas and breeding grounds across a broad front. Wildfowl 59:102-125.

Takekawa, J. Y., Newman, S. H., Xiao, X., Prosser, D. J., Spragens, K., Palm, E. C., Yan, B., Li T., Lei, F., & Zhao, D., et al. 2010. Migration of Waterfowl in the East Asian Flyway and Spatial Relationship to HPAI H5N1 Outbreaks. Avian Diseases 54: 466-476.

Takekawa, J. Y., Prosser, D. J., Newman, S. H., Muzaffar, S. B., Hill, N. J., Yan, B., Xiao, X., Lei, F., Li, T., Schwarzbach, S. E., & Howell, J. A. 2010. Victims and vectors: highly pathogenic avian influenza H5N1 and the ecology of wild birds. Avian biology research 3(2): 51-73.

Thiel, D., Jenni-Eiermann, S., Braunisch, V., Palme, R., & Jenni, L. 2008. Ski tourism affects habitat use and evokes a physiological stress response in capercaillie Tetrao urogallus: a new methodological approach. Journal of Applied Ecology 45(3): 845-853.

Thompson, J. E., & Drobney, R. D. 1997. Diet and Nutrition of Male Canvasbacks during Postreproductive Molts. The Journal of Wildlife Management 61(2): 426-434.

Trewhella, W. J., Harris, S., & McAllister, F. E. 1988. Dispersal, distance, home-range size and population density in the red fox (Vulpes vulpes): a quantitative analysis. Journal of Applied Ecology 25(2): 423-434.

Tufto, J., Andersen, R., & Linnell, J. 1996. Habitat use and ecological correlates of home range size in a small cervid: the roe deer. Journal of Animal Ecology 65(6): 715-724.

Venesky, M. D., Parris, M. J., & Storfer, A. 2009. Impacts of Batrachochytrium dendrobatidis infection on tadpole foraging performance. EcoHealth 6(4): 565-575.

Village, A. 1982. The home range and density of kestrels in relation to vole abundance. Journal of Animal Ecology 51(2): 413-428.

Wang, M., & Grimm, V. 2007. Home range dynamics and population regulation: an individual-based model of the common shrew *Sorex ayaneus*. Ecological Moelling 205(3): 397-409.

Weber, T. P. & Stilianakis, N. I., 2007. Ecologic Immunology of Avian Influenza

(H5N1) in Migratory Birds. Emerging Infectious Diseases 13(8): 1139-1143.

Webster, M. S., Marra, P. P., Haig, S. M., Bensch, S., & Holmes, R. T. 2002. Links between worlds: unraveling migratory connectivity. Trends in Ecology & Evolution 17(2): 76-83.

Wetering, D. V. D., & Cooke, F. 2000. Body Weight and Feather Growth of Male Barrow's Goldeneye During Wing Molt. The Condor 102(1): 228-231.

White, G. C., & Garrott, R. A. 1990. Analysis of wildlife radio-tracking data. Academic Press, Inc. San Diago. California p.289.

William, P. 1977. Home Range Dynamics of Wild Turkeys in Southeastern Minnesota. The Journal of Wildlife Management 41(3): 434-437.

Woodrey, M. S., & Chandler, C. R. 1997. Age-related timing of migration: Geographic and interspecific patterns. The Wilson Bulletin 109(1): 52-67.

Worton, B. J. 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. Ecology 70:164-168.

Yu, H., Wu, J. T., Cowling, B. J., Liao, Q., Fang, V. J., Zhou, S., et al. 2013. Effect of closure of live poultry markets on poultry-to-person transmission of avian influenza A H7N9 virus: an ecological study. The Lancet 383(9916): 541-548.

Zhang, G., Liu, D., Hou, Y., Jiang, H., Dai, M., Qian, F., Lu, J., Xing, Z., & Li, F. 2011. Migration routes and stop-over sites determined with satellite tracking of Bar-headed Geese *Anser indicus* breeding at Qinghai Lake, China. Waterbirds 34(1): 112-6.

Zhang, L., Guo, Z. W., Bridge, E. S., Li, Y. M., & Xiao, X. M. 2013. Distribution and dynamics of risk factors associated with highly pathogenic avian influenza H5N1. Epidemiology and Infection 141(11): 1-10.

Zhou, L., Li, Q., & Uyeki, T. M. 2019. Estimated Incubation Period and Serial Interval for Human-to-Human Influenza A(H7N9) Virus Transmission. Emerging Infectious Diseases 25(10): 1982-1983.

Zwarts, L., & Dirksen, S. 1990a. Digestive bottleneck limits the increase in food intake of Whimbrels preparing for spring migration from the Banc d'Arguin, Mauritania. Ardea 78(1): 257-278.

Abstract

Spatial use of and intraspecies interactions in conspecific Swan Geese (*Anser cygnoides*) and Bar-headed Geese (*Anser indicus*) breeding in Mongolia

Baek, Minjae

Major in Forest Environmental Science

The Graduate School

Seoul National University

Swan Geese (Anser cygnoides) and Bar-headed Geese (Anser indicus) are conspecific waterbird species that use similar breeding habitats in Mongolia. After the breeding season, Swan Geese migrate through the East Asian-Australasian Flyway while Bar-headed Geese use the Central Asia Flyway to reach their own non-breeding

grounds. Unlike natural habitats in Mongolia, non-breeding grounds in lower latitudes are known to be epicenters of the Avian Influenza Virus (AIV) outbreaks. Therefore, AIVs from two separated non-breeding grounds can be introduced into and exchanged in their shared breeding grounds in Mongolia, and then transmitted again along the two different flyways. Information on the spatial use and species interactions would helpful for the understanding of the biology of the geese and inter- and intra-species AIV transmission. This study aimed to enhance the understanding of spatial use and home ranges of the breeding geese and to assess the effects of AIV infection and intraspecies interaction on their spatial use and the risk of AIV transmission through the analysis of GPS-based telemetry data in breeding grounds of Mongolia.

In July and August in 2014 and 2019, home ranges (90% of kernel density estimation: 90% KDE) and core areas (50% KDE) were estimated from the GPS coordinates of the geese in their breeding grounds. The study period in the breeding ground was separated into weeks, and the temporal changes in core areas and home ranges were estimated to detect weekly changes in their spatial use. There was a significant increase and decrease in the range of behavior by species, habitats and periods. This pattern of spatial use may be related to the temporal change in individuals' mobility due to the growth of offspring and the re-growth of flight feathers of adults, the depletion of available feeding resources over time, and the increased feeding activities to prepare for migration.

Analysis of the home ranges and travel distances to assess the potential effects of AIV infection on the behaviors of Swan Geese indicated that there was no significant difference between AIV infected and non-infected individuals in ecological perspective.

Interactions between infected and non-infected individuals, attraction or avoidance, were standardized as Benhamou's IAB Index. The indices indicated that all individuals seem to interact randomly without clear attraction or avoidance with infected individuals, suggesting that the gregarious Swan Geese would be vulnerable to the spread of AIV by having no avoidance of infected individuals. This random interaction between AIV infected and non-infected individuals in shared breeding sites of wild geese may be a risk factor of the inter- and intra-species local transmission and the long-distance transmission along their different migration flyways.

This study collected noble information on the spatial use of two wild geese species using high-frequency GPS-based telemetry data in their wild breeding habitats, improved knowledge on the ecology of two declining geese species, and provided fundamental data to assess the risk of AIV transmission in the two AIV susceptible waterbirds in terms of their conservation and management.

keywords : Avian Influenza Virus, Bar-headed Goose, Breeding ground, Home-range, Interaction, Swan Goose

Student Number : 2018-27702