

시 기반 프로그램을 이용한 백령도 점박이물범(*Phoca largha*)의 사진개체 식별과 휴식지 선호도 연구

어남규 · 김소라 · 박겸준 · 이상헌¹ · 김현우^{2*}

국립수산과학원 고래연구소, ¹부산대학교 해양학과, ²국립수산과학원 연근해자원과

Application of an AI-based Program for Photo-identification of Spotted Seals *Phoca largha*, and Analysis of Site Preference on Baengnyeongdo Island

Namgyu Uh, So Ra Kim, Kyum Joon Park, Sang-Heon Lee¹ and Hyun Woo Kim^{2*}

Cetacean Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Ulsan 44780, Republic of Korea

¹Department of Oceanography, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea

²Coastal Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

In this study, the AI-based photo-identification program IBEIS was used to efficiently analyze the photo-identification of spotted seals *Phoca largha*, around Baengnyeongdo Island, Korea. A total of 3,640 photographs collected during field surveys from 2016 to 2021 were analyzed, leading to the identification of 1,234 seals. The spotted seal population around Baengnyeongdo Island was estimated to be at least 1,200 individuals. The photo-identification method relies on the unique black spot patterns on the left cheek of the seals, which remain consistent over time. This method allows for long-term ecological studies and tracking of individual seals. In addition, site preferences of the spotted seals were analyzed, revealing that more than 70% of individuals were re-identified at the site where they were first observed and indicating site preference. The results suggest that environmental and ecological factors may influence habitat preferences. Future studies, including collaborative efforts with neighboring countries such as North Korea and China, will provide more comprehensive insights into the habitat usage patterns of the species. This study offers a foundation for estimating the population size of spotted seals and key data for habitat management and conservation strategies by using AI-based photo identification methods.

Keywords: Spotted seal, *Phoca largha*, Photo-identification, IBEIS, Site preference

서론

개체식별법은 개체군의 크기 추정과 개체별 행동 특성 파악 등을 위한 필수적인 연구방법으로, 자원학, 생태학, 행동학 등 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다(Würsig and Jefferson, 1990; Nichols, 1992; Vidya et al., 2014). 초기의 개체식별법은 인식표를 부착하거나 식별 문자를 새기는 등 침습적인 방법을 사용해왔다. 이러한 방식은 연구 대상에게 물리적인 손상을 가할 수 있다는 단점이 있었다(Foster, 1966; Pennycuick and Rudnai, 1970; Petersen, 1972). 생명 윤리가 더욱 강조되면서

포획하지 않고 자연적으로 생겨난 표지를 이용한 비침습적인 개체식별법이 대두되었다(Würsig and Jefferson, 1990).

그 중 사진개체식별법(photo-identification)은 개체마다 갖는 외형의 고유한 특징을 이용하는 방법으로, 단순히 사진을 촬영한 뒤 이를 비교하기 때문에 비침습적이고 방법이 간단하며 경제적인 연구방법으로 알려져 있다(Pennycuick, 1978; Beaumont and Goold, 2007; Anderson et al., 2010; Loughlin et al., 2010; Macleod et al., 2010). 그러나 뚜렷한 식별형질을 지니지 않은 경우에는 적용이 어려우며, 사진 정리 및 비교 과정에 많은 시간과 노력이 소요된다는 단점이 있다. 또한, 사진 분석 과정에

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2280 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: hyunwoo.kim@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0607>

Korean J Fish Aquat Sci 57(5), 607-611, October 2024

Received 11 September 2024; Revised 26 September 2024; Accepted 7 October 2024

저자 직위: 어남규(연구원), 김소라(연구사), 박겸준(연구관), 이상헌(교수), 김현우(연구관)

서 연구자의 숙련도나 집중도가 결과에 영향을 미칠 수 있다는 것 역시 큰 한계점이다(Beaumont and Goold, 2007; Anderson et al., 2010).

최근에는 사진개체식별 연구에 인공지능 알고리즘이 적용된 개체식별 프로그램이 개발되고 있으며, 대표적으로 I3S (Van Tienhoven et al., 2007), AmphIdent (Matthé et al., 2008), Wild-ID (Bolger et al., 2012), Hotspotter (Crall et al., 2013), APHIS (Moya et al., 2015) 등이 있다. 이러한 프로그램은 대량의 이미지를 자동으로 분석하기 때문에 기존 육안으로 분석하는 것보다 최소 10배 이상 빠르며, 객관적인 수치를 바탕으로 비교하기 때문에 일관적인 결과를 얻을 수 있었다(Kelly, 2001; Hillman et al., 2003).

특히, hotspotter는 얼룩말, 기린, 표범과 같이 몸 전체에 뚜렷한 패턴형 무늬를 갖는 동물의 개체식별을 위해 제작된 프로그램으로, 분석 영역으로 지정한 범위 내에서 패턴형 무늬를 자동으로 감지한 뒤 각각의 패턴을 수치적으로 변환하여 기존 데이터베이스 내에서 유사한 값을 찾아내는 알고리즘이 적용되었다(Crall et al., 2013; Oddone, 2016). 최근 설표(snow leopard *Panthera uncia*), 푸른바다거북(green sea turtle *Chelonia mydas*), 사이마고리물범(saimaa ringed seal *Pusa hispida*) 등을 대상으로 hotspotter를 이용한 개체식별 연구를 수행하였다(Chehrsimin et al., 2018; McGinley et al., 2023).

이후 hotspotter의 알고리즘을 기반으로 IBEIS (image-based ecological information system)가 제작되었다. IBEIS의 인공지능 알고리즘은 기존 hotspotter를 바탕으로 제작되어 입력한 사진 속에서 자동으로 패턴형 무늬를 인식하고, 데이터베이스 내 유사한 사진을 나열한다(Oddone, 2016). 데이터베이스의 크기가 늘어날수록 비교할 대상이 많아지기 때문에 자료를 계속해서 축적할수록 식별의 정확도가 향상할 수 있다(Islam et al., 2023). 또한, 사진의 촬영시각, GPS 위치 정보를 자동으로 수집하고 사진의 품질이나 개체의 성별, 나이 등의 개체정보 등을 기록할 수 있도록 hotspotter보다 기능적으로 개선되었다. 특히, 사진 속에서 분석할 범위를 자동으로 지정하며, 일치할 것으로 여겨지는 이미지 쌍을 한 번에 정리해서 보여주는 등 사용자 편의를 높였다. 해외에서는 얼룩말이나 기린 등의 개체식별에 IBEIS를 적용한 바 있으며, 그 결과를 바탕으로 조사지역 내 서식하는 개체군 크기를 추정하고 이들의 보호 및 관리방안을 위한 기초자료를 제공하였다(Parham and Stewart, 2016; Parham et al., 2017). 점박이물범(*Phoca largha*)은 모피 전반에 고유한 타원형 또는 부정형의 검은 반점 무늬가 있고, 이 무늬는 시간이 지나도 변하지 않기 때문에 이를 식별 형질로 이용할 수 있다는 것이 밝혀져 있다(Kim et al., 2010). 특히, 생활사 등 특정 개체의 장기 추적 연구가 가능해지면서, 개체별로 더 선호하는 서식지가 있는지에 관하여 연구할 수 있게 되었다.

따라서 본 연구에서는 점박이물범의 효율적인 사진개체식별 연구를 위해 인공지능 프로그램인 IBEIS를 적용하였다. 2016

년부터 2021년까지 백령도에서 수행된 현장 조사에서 촬영된 사진을 통합적으로 분석하여 백령도 연안에서 확인된 점박이물범의 누적 개체수를 파악하고, 백령도 서식지 내 물범바위 및 연봉바위 등 휴식지에 대한 선호도를 갖는지 조사하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구는 인천광역시 옹진군 백령도 연안에 서식하는 점박이물범이 휴식지로 이용하는 물범바위와 연봉바위를 조사지점으로 선정하여 수행되었다(Park et al., 2010). 조사는 2 ton 미만의 소형선박(150 hp)을 이용해 조사지점에서 100 m 이내로 접근하였으며, DSLR카메라(D810; Nikon, Tokyo, Japan)와 망원렌즈(Nikon, 200–400 mm)를 사용하여 개체식별용 사진을 촬영하였다(Fig. 1A). 바위 위에서 휴식하는 점박이물범에게 방해가 되지 않도록 각 지점별 조사시간은 최대 1시간으로 제한했으며, 만약 물속으로 회피하는 개체의 비율이 50%를 넘어갈 경우 즉시 촬영을 멈추고 100 m 이상으로 벗어나 이전 수준으로 개체수가 회복될 때까지 대기하였다.

사진촬영은 Kim et al. (2010)의 점박이물범 사진개체식별 방법에 따라 개체의 왼쪽 뺨을 중심으로 이루어졌으며, 역광이나 흔들림이 없도록 유의하였다. 촬영 시에는 외장 GPS 유닛(GP-1; Nikon)을 장착하여 사진의 EXIF정보에 촬영시각과 GPS 위치 정보를 자동 저장하였다. 수집한 사진은 파일명에 날짜와 장소를 기입하여 구분하였다.

2016년부터 2021년까지의 연도별로 4–6회 조사를 통해, 물범바위에서 29회, 연봉바위에서 25회의 조사를 수행하였고, 총

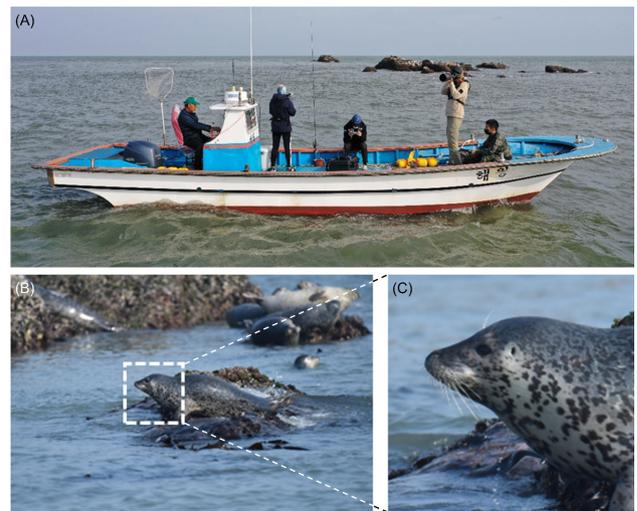


Fig. 1. Field survey and photo cropping for photo-identification. A, Approaching on survey sites and taking pictures using a DSLR camera and a telescopic lens; B, Cropping an individual with an identification trait on its left cheek; C, Edited 1:1 ratio photo for identification.

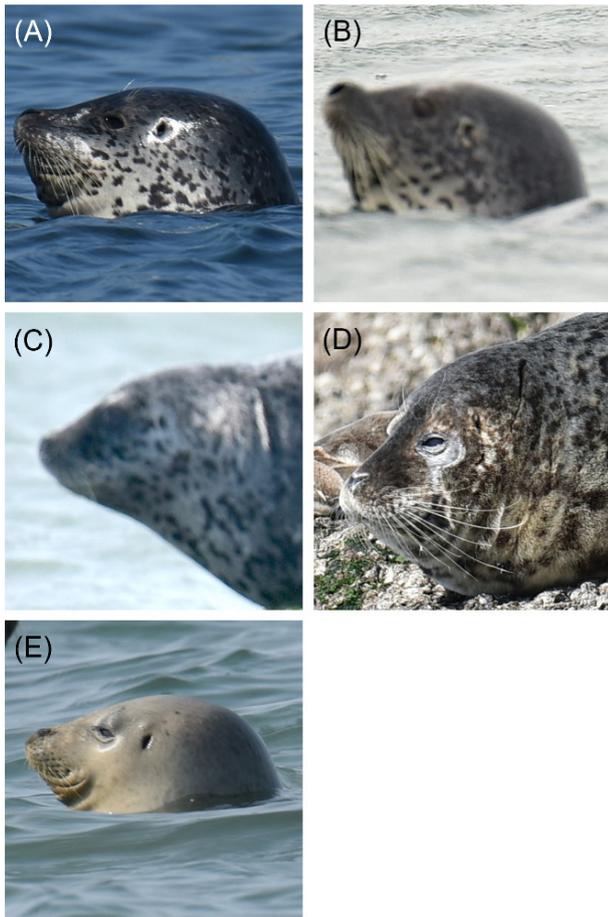


Fig. 2. Examples of quality classification for photo-identification. A, Very good - having clear identification traits with overall good angle, exposure, and focus; B, Good - not meeting the criteria for angle, exposure, or focus, but still clearly distinguishing identification traits; C, Fair - somewhat distinguishable identification traits; D, Poor - difficult to distinguish due to unclear identification traits; E, Very poor - unable to distinguish any identification traits.

16,167장의 원본 사진을 수집하였다. 개체식별 분석의 효율성을 높이기 위해 사진편집 프로그램 ACDSsee (v.10.0)을 사용하여 왼쪽 뺨의 식별형질이 뚜렷하게 나타난 사진을 선별하여 1:1 비율로 잘라냈다(Fig. 1B, 1C). 한 장의 사진 속에 여러 개체가 포함된 경우 각 개체를 개별 파일로 저장하였다.

편집된 사진은 1) 식별형질의 명확성, 2) 촬영각도, 3) 노출, 4) 초점의 기준에 따라 '매우 양호', '양호', '보통', '불량', '매우 불량'의 5단계로 품질을 분류하였다(Fig. 2). '매우 양호'는 명확한 개체식별 형질을 갖추고 촬영각도나 노출, 초점이 전반적으로 양호한 상태를 의미하며, '양호'는 모든 기준을 충족하지는 않지만 식별형질이 명확한 상태를, '보통'은 식별형질이 어느 정도 구분할 수 있는 상태를, '불량'은 식별형질이 모호해 구별이 어려운 상태를, '매우 불량'은 식별형질을 전혀 확인할 수 없는 상태로

정의하였다. 이 중 품질이 '보통' 이상인 3,640장이 개체식별 분석에 사용되었다.

사진개체식별은 AI 프로그램 IBEIS (v.2.2.4)를 이용해 분석하였으며, 분석 환경은 Ubuntu Linux (v.18.04) 기반(GPU, Nvidia Quadro RTX 4000 8 GB; RAM, 192 GB)에서 구축하였다. 분석은 동일 조사 회차별 사진을 우선적으로 처리한 뒤, 같은 해에 촬영된 사진을 순차적으로 분석하고, 마지막으로 전체 자료를 통합하여 분석하였다. 분석된 결과는 Microsoft Excel (v.2305)로 정리하였고, 개체의 출현 순서에 따라 고유한 개체명을 부여하였다.

점박이물범의 개체별 휴식지 선호도 특성을 확인하기 위해서 식별된 전체 개체 중에서 2회 이상 식별된 개체의 출현 장소를 확인하였다. 만약 처음 식별된 장소와 같은 장소에서만 식별될 경우, 해당 휴식지에 대한 선호도를 갖는다고 정의하였다.

결과 및 고찰

2016년부터 2021년까지 29번의 백령도 현장조사에서 수집한 점박이물범 개체식별용 사진 3,640장을 인공지능 개체식별 프로그램 IBEIS를 이용해 분석한 결과, 총 1,234개체를 식별하였다(Fig. 3).

2016년 224개체를 처음 식별한 뒤로, 2017년에 식별한 290개체 중 63개체(21.7%)가 재식별되었다. 2018년 294개체 중 115개체(39.1%), 2019년 378개체 중 153개체(40.5%), 2020년 438개체 중 233개체(46.8%), 2021년 296개체 중 154개체(52.0%)를 다시 식별하였으며, 해를 거듭할수록 재식별율이 점차 증가하는 것으로 확인되었다.

또한, 누적 식별 개체수를 통해 조사기간 동안 백령도 일대에 출현한 점박이물범의 개체수가 최소 1,200여 마리 이상이었음을 추정해볼 수 있다. 점박이물범의 수명은 30-35년으로 알려

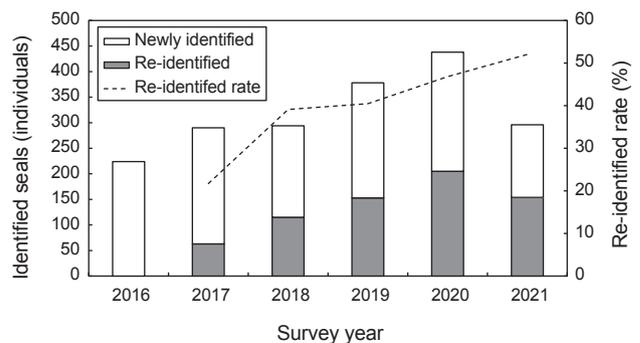


Fig. 3. Annual trends of newly and previously identified individuals on Mulbeom rocks and Yeonbong rocks from 2016 to 2021. The white bars, The number of newly identified individuals; The gray bars, The number of re-identified individuals (identified at previous survey); The dotted line, The percentage of individuals re-identified in each survey.

Table 1. Individuals by identification counts from 29 surveys conducted at Mulbeom and Yeonbong rocks in 2016–2021

Identified times	Survey site			Total
	Mulbeom only	Yeonbong only	Changeable	
2	49	40	26	115
3	14	14	11	39
4	18	6	13	37
5	13	12	10	35
6	11	0	10	21
7	19	3	5	27
8	6	0	8	14
9	8	1	6	15
10	16	0	2	18
11	6	0	2	8
12	6	0	0	6
13	1	0	3	4
14	1	0	3	4
15	1	0	0	1
16	1	0	1	2
17	3	0	1	4
Total	173	76	101	350

Individuals have been categorized into three groups based on their occurrence site: those identified exclusively at Mulbeom rocks, those identified only at Yeonbong rocks, and those in both locations.

져 있으므로(Jefferson et al., 2015; Frost and Burns, 2018) 조사기간 중 식별한 개체의 대부분이 여전히 생존해 있을 가능성이 크다는 점, 황해에 서식하는 전체 점박이물범 중 일부만 백령도를 방문한다는 점(Zhuang et al., 2024), 식별형질로 설정한 왼쪽 뺨 무늬가 희미하거나 없어 식별이 불가능한 개체가 있는 점(Kim et al., 2010)을 고려할 때 실제로는 1,200여 마리보다 더 많은 개체가 서식하고 있다고 생각된다. 그러나 이번 연구는 단순히 다년간의 사진 데이터를 통합하여 분석한 결과이므로, 출생·사망률이나 개체군으로의 이입·이출을 반영할 수 있는 고도화된 모델을 적용하여 보다 정확한 개체군 크기 추정이 필요하다.

개체별 휴식지 선호도를 확인한 결과, 71.1%에 해당하는 249마리가 처음 식별된 장소에서만 계속해서 발견되었다(Table 1). 지역별로는 물범바위에서 식별된 개체가 173마리(49.4%)이고, 연봉바위에서 식별된 개체는 76마리(21.7%)였다. 물범바위와 연봉바위는 최단거리로 약 11.4 km가 떨어져 있으며, 이는 점박이물범의 유영능력으로는 약 2시간 내외로 이동할 수 있는 거리로 여겨진다(Lowry and Frost, 1998; Trukin et al., 2021). 따라서 70%가 넘는 개체가 동일한 장소에서만 계속해서 식별된 결과는 점박이물범이 특정 휴식지에 대해 선호도를 보인 것으로 해석할 수 있다. 점박이물범의 근연종인 참물범

(harbor seal *Phoca vitulina*)의 이동 패턴 연구에서는 섭이 후 본래의 휴식지로 돌아가는 특성을 확인했으며, 시·공간적으로 선호하는 휴식지가 성비나 연령구조에 따라 유의하게 구분되는 것으로 나타났다(Härkönen and Harding, 2001; Cordes and Thompson, 2015). 따라서 이번 연구에서 확인된 점박이물범의 휴식지 선호도에 환경요인 등 생태적 요인이 기여했을 수 있으며, 이에 대해 어떤 관계가 있는지 추후 연구가 필요하다. 더 나아가 가로림만 등 국내의 다른 점박이물범 서식지나, 북한과 중국 등의 국외 지역에서 공동 협력연구를 통해 개체식별자료를 분석한다면, 개체별 서식지 이용 특성까지 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 2024년도 수산시험연구사업 중 고래류 평가 및 관리 연구(R2024004)의 지원을 받아 수행되었습니다. 조사에 참여한 모든 연구원께 감사합니다.

References

- Anderson CJR, Lobo NDV, Roth JD and Waterman JM. 2010. Computer-aided photo-identification system with an application to polar bears based on whisker spot patterns. *J Mammal* 91, 1350-1359. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-A-425.1>.
- Beaumont ES and Goold JC. 2007. Cheap and accessible method to aid individual photo-identification of grey seals, *Halichoerus grypus*. *J Mar Biol Assoc U K* 87, 1337-1343. <https://doi.org/10.1017/S0025315407055907>.
- Bolger DT, Morrison TA, Vance B, Lee D and Farid H. 2012. A computer-assisted system for photographic mark-recapture analysis. *Methods Ecol Evol* 3, 813-822. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00212.x>.
- Chehrsimin T, Eerola T, Koivuniemi M, Auttila M, Levänen R, Niemi M, Kunnasranta M and Kälviäinen H. 2017. Automatic individual identification of Saimaa ringed seals. *IET Comput Vis* 12, 146-152. <https://doi.org/10.1049/iet-cvi.2017.0082>.
- Cordes LS and Thompson PM. 2015. Mark-resight estimates of seasonal variation in harbor seal abundance and site fidelity. *Popul Ecol* 57, 467-472. <https://doi.org/10.1007/S10144-015-0496-Z>.
- Crall JP, Stewart CV, Berger-Wolf TY, Rubenstein DI and Sundaresan SR. 2013. HotSpotter-Patterned species instance recognition. 2013 IEEE Int Workshop on Applications of Computer Vision (WACV), Clearwater Beach, FL, U.S.A., 230-237. <https://doi.org/10.1109/WACV.2013.6475023>.
- Foster JB. 1966. The giraffe of Nairobi National Park: Home range, sex ratios, the herd, and food. *Afr J Ecol* 4, 139-148. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.1966.tb00889.x>.
- Frost KJ and Burns JJ. 2018. Spotted seal: *Phoca largha*. En-

- cyclopedia of Marine Mammals, Thirded Edition. Academic Press, Cambridge, MA, U.S.A., 928-931. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804327-1.00244-2>.
- Härkönen T and Harding KC. 2001. Spatial structure of harbour seal populations and the implications thereof. *Can J Zool* 79, 2115-2127. <https://doi.org/10.1139/z01-172>.
- Hillman GR, Würsig B, Gailey GA, Kehtarnavaz N, Drobyshesky A, Araabi BN, Tagare HD and Weller DW. 2003. Computer-assisted photo-identification of individual marine vertebrates: A multi-species system. *Aquat Mamm* 29, 117-123. <https://doi.org/10.1578/016754203101023960>.
- Islam SB, Valles D, Hibbitts TJ, Ryberg WA, Walkup DK and Forstner MRJ. 2023. Animal species recognition with deep convolutional neural networks from ecological camera trap images. *Animals* 13, 1526. <https://doi.org/10.3390/ani13091526>.
- Jefferson TA, Webber MA and Pitman RL. 2015. 6-Pinnipeds. In: *Marine Mammals of the World* (2nd ed.). Academic Press, Cambridge, MA, U.S.A., 358-522. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409542-7.50005-6>.
- Kelly MJ. 2001. Computer-aided photograph matching in studies using individual identification: An example from Serengeti cheetahs. *J Mammal* 82, 440-449. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2001\)082<0440:CAPMIS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2001)082<0440:CAPMIS>2.0.CO;2).
- Kim HW, An YR, Park TG, Kim ZG, Moon DY and Choi SG. 2010. Validity of photo-identification Method for Spotted Seals on Baekryongdo, Korea. *Korean J Fish Aquatic Sci* 43, 340-344. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.4.340>.
- Loughlin T, Cunningham L, Gales NJ, Wells R and Boyd L. 2010. Marking and capturing. In: *Marine Mammal Ecology and Conservation*. Boyd IL, Bowen WD and Iverson S, eds. Oxford University Press, Oxford, U.K., 16-41.
- Lowry LF, Frost KJ, Davis R, DeMaster DP and Suydam RS. 1998. Movements and behavior of satellite-tagged spotted seals (*Phoca largha*) in the Bering and Chukchi Seas. *Polar Biol* 19, 221-230. <https://doi.org/10.1007/s003000050238>.
- Macleod K, Du Fresne S, Mackey B, Faustino C and Boyd I. 2010. Approaches to Marine Mammal Monitoring at Marine Renewable Energy Developments. Report by Sea Mammal Research Unit, St Andrews, U.K.
- Matthé M, Schönbrodt T and Berger G. 2008. Computergestützte Bildanalyse von auchfleckenmustern des Kammmolchs *Triturus cristatus*. *Z Feldherpetol* 15, 89-94.
- McGinley E, Cogley A, Palmer L, McCaul P, Longo L, Silvenoinen J, Martin A, Gomez J, Bachmaier S, Mackey M, Kao C, Eastman S and Eastman C. 2023. Marina observation of sea turtles: Establishing a database of intracoastal waterway green sea turtles in Northeast Florida. *Animals* 13, 279. <https://doi.org/10.3390/ani13020279>.
- Moya Ó, Mansilla PL, Madrazo S, Igual JM, Rotger A, Romano A and Tavecchia G. 2015. APHIS: A new software for photo-matching in ecological studies. *Ecol Inform* 27, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.03.003>.
- Nichols JD. 1992. Capture-recapture models: Using marked animals to study population dynamics. *BioScience* 42, 94-102. <https://doi.org/10.2307/1311650>.
- Oddone A. 2016. A mobile application for the image based ecological information system. M.D. Thesis, University of Chicago, Chicago, IL, U.S.A.
- Parham J, Crall J, Stewart C, Berger-Wolf T and Rubenstein D. 2017. Animal Population Censusing at Scale with Citizen Science and Photographic Identification. AAAI Spring Symposium on Artificial Intelligence for the Social Good Technical Report, 37-44.
- Parham J and Stewart C. 2016. Detecting Plains and Grey's Zebras in the Real World. 2016 IEEE Winter Appl of Computer Vision Workshops (WACVW), Lake Placid, NY, U.S.A., 1-9. <https://doi.org/10.1109/WACVW.2016.7470122>.
- Park TG, An YR, Moon DY, Choi SG and Kim ZG. 2010. Distribution of the spotted seal, *Phoca largha*, along the Coast of Baekryongdo. *Korean J Fish Aqua Sci* 43, 659-664. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.6.659>.
- Pennycuik CJ. 1978. Identification using natural markings. In: *Animal Marking*: Stonehouse B, ed. Palgrave, London, U.K., 147-159. https://doi.org/10.1007/978-1-349-03711-7_16.
- Pennycuik CJ and Rudnai J. 1970. A method of identifying individual lions *Panthera leo*, with an analysis of the reliability of identification. *J Zool* 160, 497-508. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1970.tb03093.x>.
- Petersen JCB. 1972. An identification system for zebra (*Equus burchelli*, Gravy's zebra). *Afr J Ecol* 10, 59-63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.1972.tb00858.x>.
- Trukhin AM, Permyakov PA, Ryazanov SD, Lobanov V, Kim HW, Choi YM and Sohn H. 2021. Migrations of young spotted seals (*Phoca largha*) from Peter the Great Bay, Sea of Japan/East Sea, and the pattern of their use of seasonal habitats. *PLoS One* 16, e0244232. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0244232>.
- Van Tienhoven A, Den Hartog J, Reijns R and Peddemors V. 2007. A computer-aided program for pattern-matching of natural marks on the spotted raggedtooth shark *Carcharias taurus*. *J Appl Ecol* 44, 273-280. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01273.x>.
- Vidya TNC, Prasad D and Ghosh A. 2014. Individual identification in Asian elephants. *Gajah* 40, 3-17.
- Würsig B and Jefferson TA. 1990. Methods of photo-identification for small cetaceans. *Rep Int Whal Commn* 12, 43-52.
- Zhuang H, Shao F, Zhang C, Xia W, Wang S, Qu F, Wang Z, Lu Z, Zhao L and Zhang Z. 2024. Spatial-temporal shifting patterns and in situ conservation of spotted seal (*Phoca largha*) populations in the Yellow Sea ecoregion. *Integr Zool* 19, 307-318. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12731>.