

東アジア・オーストラリア地域フライウェイ・
ネットワーク参加地における鳥類モニタリングの
現状と課題

－ 気候変動が渡り性水鳥に及ぼす影響の評価のために －

2023年3月

環境省 自然環境局 野生生物課

目次

はじめに	1
1. 背景	3
2. 気候変動が生物多様性に及ぼす影響と分析手法.....	5
2. 1 気候変動が生態系、特に水鳥に及ぼす影響.....	5
2. 2 気候変動の影響分手法.....	15
3. 重要生息地ネットワーク参加地におけるモニタリングの現状.....	19
3. 1 全国規模、複数地域で連携したモニタリング.....	19
3. 2 サイト独自のモニタリング.....	19
4. 先行的な解析	29
4. 1 ガン類の飛来状況.....	29
4. 2 シギ・チドリ類の飛来状況.....	35
4. 3 先行的な解析のまとめ.....	40
5. モニタリング結果の活用.....	42
6. 課題と今後に向けて.....	44
6. 1 課題と必要な取組.....	44
6. 2 今後の研究について.....	45
7. 引用文献	48

はじめに

東アジア・オーストラリア地域フライウェイ・パートナーシップ (EAAFP) は、アジア太平洋地域の渡り性水鳥及びその生息地の保全に係る国際協力を強化することを目的とし、日豪両政府の主導により、平成 18 (2006) 年 11 月に発足した国際的枠組みである。EAAFP には、同地域内の各国政府 (18 ヶ国)、ラムサール条約事務局や生物多様性条約事務局等の国際機関、国際 NGO 等、計 39 主体が参加しており、渡り性水鳥にとって国際的に重要な湿地を「渡り性水鳥重要生息地ネットワーク」の参加地として登録し、その保全や持続可能な管理を進めている。令和 5 (2023) 年 3 月現在、日本国内には 34 箇所の重要生息地ネットワーク参加地 (以下、「ネットワーク参加地」という。) が存在し、それぞれの湿地において渡り性水鳥とその生息地の保全に関する取組が実施されている。

また、おおよそ隔年の頻度で開催されるパートナー会議 (MOP) での決定をもとに、渡り性水鳥を対象とする重要生息地ネットワーク参加地の拡充に努めるとともに、ネットワーク参加地における調査研究、情報交換、普及啓発、能力養成等を推進することが求められている。平成 30 (2018) 年に開催された第 10 回パートナー会議 (MOP10) において採択された EAAFP の戦略計画 2019-2028 では、気候変動による渡り鳥とその生息地への影響の把握及び渡り性水鳥重要生息地ネットワーク参加地間の連携促進が奨励されている。我が国では、各ネットワーク参加地において様々な主体によって長期間にわたり実施されている鳥類モニタリングデータが蓄積されている。このため、既存のデータを用いて、気候変動による渡りの動向への影響解析ができると考えられ、また、ネットワーク参加地間の連携協力により、気候変動の影響の把握にも資する、より効果的なモニタリングを実施することが可能である。

環境省では、国内のネットワーク参加地におけるモニタリングデータの解析やその活用に焦点を当て、気候変動の影響の把握に寄与するモニタリングの実施方法などについて検討することを目的とし、国内の EAAFP 関係者及び専門家の参画を得て、令和 2 年度には「フライウェイ・国内モニタリング検討準備会」を、令和 3 年度および 4 年度には「東アジア・オーストラリア地域フライウェイ・パートナーシップ国内モニタリング検討会」を開催した。

本資料は、本検討会の報告書としてとりまとめたものであり、ネットワーク参加地におけるモニタリングの現状や課題を整理するとともに、集積されたデータを活用した先行的な解析の結果や、各地でモニタリングを継続し気候変動が渡り性水鳥にもたらす影響を明らかにするために必要と考えられる取組についてまとめている。本資料をもとに、各ネットワーク参加地におけるモニタリングの効果的な実施や結果の活用がさらに進み、ネットワーク参加地間の連携協力、ひいては渡り性水鳥とその生息地の保全が進展することを期待するものである。

【東アジア・オーストラリア地域フライウェイ・パートナーシップ国内モニタリング検討会】

(国内コーディネーター)

- 神谷 要 中海水鳥国際交流基金財団 常務理事
米子水鳥公園ネイチャーセンター 館長 (ガンカモ類コーディネーター)
- 松本 文雄 日本ツル・コウノトリネットワーク 事務局 (ツル類コーディネーター)
- 守屋 年史 NPO 法人バードリサーチ 理事 兼 研究員
(シギ・チドリ類コーディネーター)

(専門家)

- 天野 達也 クイーンズランド大学生物科学部
Australian Research Council Future Fellow
- 牛山 克巳 宮島沼水鳥・湿地センター
- 柏木 実 NPO 法人ラムサール・ネットワーク日本 理事
- 田尻 浩伸 公益財団法人日本野鳥の会 自然保護室 室長
施設運営支援室 室長代理 (兼務)
- 仲村 昇 公益財団法人山階鳥類研究所 研究員

※注：肩書きは全て令和4年度時点のもの

(事務局)

- 環境省自然環境局野生生物課
一般社団法人バードライフ・インターナショナル東京

1. 背景

人間活動に起因する土地利用の変化や気候変動等の影響により、多くの生物の個体数が減少し、生物多様性が減少・劣化している (Pimm et al. 2014 ; Hillebrand et al. 2018)。人間が将来にわたって生態系を利用し、生態系サービスの恩恵を受け続けるためには、残された生態系を保全し、損失・劣化した生態系を再生・回復させることが必要である (Johnson et al. 2017 ; Tilman et al. 2017)。生物多様性の保全や再生を効果的かつ効率的に進めるためには、生物多様性の現状を定量的に評価し、減少や劣化の要因を特定し、必要な対策を検討して実践する必要がある、そのためには長期的なモニタリングが不可欠である (Boyd et al. 2017)。

これまでに、世界各地で数多くの生物モニタリングが実施されてきた (Moussy et al. 2022)。特に鳥類は、人々の関心を集めやすいこと、比較的調査を行いやすいこと、環境変化の指標として使われていることなどの理由から、モニタリングの対象になりやすい。イギリスの Breeding Bird Survey や北米の Christmas Bird Count をはじめ、世界各地で行われているモニタリングの3割以上は鳥類を対象にしたものであるとされている (Moussy et al. 2022)。このように、世界各地で実施されている鳥類モニタリングから得られるデータは、国際自然保護連合 (IUCN) が発行するレッドリストの改訂、生きている地球指数 (Living Planet Index) の算出 (Collen et al. 2009) など、地球規模での生物多様性の状態の把握に用いられている。さらには、個体数変動の定量的な分析、分布域の評価、またそれらに影響しうる要因の特定など、世界各地で様々な生物を対象とした保全・再生の取組においても大いに活用されている (Edenius et al. 2017 ; Wilson et al. 2018 ; Choi et al. 2020 ; 西廣・辻本 2021 など)。

日本国内でも、鳥類を対象としたモニタリングが古くから実施されており、世界的にみても、日本における鳥類モニタリングの歴史は長い。たとえば、環境省の全国ガンカモ一斉調査は 1970 年に開始されており、シギ・チドリ類の定点調査も 1971 年以降、実施主体や実施方法は変わりながらも継続して現在まで実施されている。また、国内に生息する全鳥種を対象とした全国鳥類繁殖分布調査が最初に実施されたのも 1970 年代であり、その後 1990 年代、2010 年代と継続して調査が実施されている (植田ほか 2021)。現在では環境省が実施している自然環境保全基礎調査や重要生態系監視地域モニタリング推進事業 (モニタリングサイト 1000) 等を含め、様々な種群を対象に、様々なスケールで鳥類モニタリングが実施されている。

鳥類の中でも、ガンカモ類やシギ・チドリ類、ツル類などの水鳥は、人々の関心を集めやすく、個体数の計測が比較的容易であることから、古くからモニタリング調査が実施されてきた分類群である。また、これらの水鳥の生息地である淡水生態系や沿岸生態系に多くの動植物が生育・生息しており、人間に多くの恵み (生態系サービス) を与えてくれる生態系である一方で (Balian et al. 2008 ; Collen et al. 2009)、他の生態系と比較しても近年の減少・劣化が著しく、その保全と再生を進めることが急務である (Millennium Ecosystem Assessment 2005 ; Davidson 2014 ; Fluet-Chouinard et al. 2023)。水鳥はそのような湿地生態系の高次消費者に位置し、生態系の健全性の指標としての有用性や水鳥を指標とした保全活動の有効性

が指摘されている (Frederick et al. 2009 ; Green & Elmberg 2014 など)。

また、水鳥の多くは渡り鳥であり繁殖地、中継地、越冬地の生態系をつなぐ重要な生物である (Hessen et al. 2017)。渡り鳥の渡り経路をフライウェイといい、世界には9つの渡り経路があるとされている。日本が位置する東アジア・オーストラリア地域フライウェイ (EAAF) は、北はロシアやアラスカから、東アジアや東南アジアを経て、オーストラリアやニュージーランドなどのオセアニア地域まで 22 ヶ国を含むフライウェイである。EAAF には、5 千万羽を超える水鳥が生息しているとされ、その中にはヘラシギやカラフトアオアシシギなど IUCN のレッドリストに記載されている絶滅危惧種 36 種も含まれる。一方、フライウェイ内に居住する人口も多く、それゆえに都市開発や農地への転換などにより、水鳥の生息地が減少し、質が低下している。

日本に生息する水鳥の多くは渡り鳥であり、一部は国内で繁殖しているが、その多くは渡り途中の中継地として、もしくは越冬地として日本を利用している。渡り鳥にとって、中継地は、休息し、栄養を補給するための重要な場所であり、渡りの成功、ひいては繁殖成功にまで影響する重要な場所である (Layton-Matthews et al. 2020 ; Schmaljohann et al. 2022)。越冬地についても、餌資源に乏しい厳しい時期を乗り越え、翌年の渡りや繁殖に向けて、栄養を蓄えるために重要な環境であり、特に野鳥では1年目の若齢個体の冬の生存率は低く、越冬地の環境は幼鳥の生存に大きく影響する要因である (Danner et al. 2013 ; Cunningham et al. 2021 など)。そのため、中継地、越冬地での鳥類の個体数をモニタリングし、個体数変化に影響する要因を分析することは、渡り鳥の保全を進める上でも、非常に重要であると考えられる。また、EAAF 内に生息する渡り性水鳥はアラスカや極東ロシアで繁殖する種も多いが、遠隔地であるがゆえにその繁殖状況の調査実施には非常に困難を伴う。一方、越冬地や中継地では群れをつくる種も多く、繁殖地と比べて個体数の計測を比較的行いやすいため、それぞれの種の個体数やその変動を把握する上で、中継地や越冬地でのモニタリングが非常に重要である。また一部の種では成鳥幼鳥の数の比率を計測することで、その年の繁殖成功率を評価する手法も用いられており (Jessop et al. 2020 ; Wang et al. 2021)、中継地・越冬地でのモニタリングから繁殖状況の一部についても分析が可能になると期待される。

このように、日本国内における水鳥のモニタリングは、EAAF 全体の生物多様性の保全上重要な調査であり、これらを継続して実施するとともに、それらのデータ分析や、普及啓発や能力向上への結果の活用をさらに進めることが重要となる。

2. 気候変動が生物多様性に及ぼす影響と分析手法

気候変動の影響が顕在化し、地球規模での社会的課題となっている。生物多様性や生態系への影響についても明らかになってきており、水鳥を含めた鳥類への様々な影響が報告されている。「東アジア・オーストラリア地域フライウェイ・パートナーシップ (EAAFP) 戦略計画 2019-2028」においても、気候変動による渡り鳥及びその生息地への影響把握が求められており、日本国内でも気候変動が渡り性水鳥に及ぼす影響を評価することが必要である。これをふまえて、「2. 1 気候変動が生態系、特に水鳥に及ぼす影響」では、気候変動が生態系、特に淡水生態系や沿岸生態系の頂点に位置する水鳥に及ぼす影響について、これまでに明らかになっている影響と国内の主要な研究事例についてまとめた。また、気候変動の影響分析手法の実例について、「2. 2 気候変動の影響分析手法」において整理した。

2. 1 気候変動が生態系、特に水鳥に及ぼす影響

これまでに、国内外で気候変動が生態系に及ぼす影響に関する様々な研究が行われてきた。ここでは、特に日本国内で気候変動による鳥類への影響を評価した研究事例について、(1) 季節性の変化、(2) 分布域の変化、(3) 繁殖成功や個体数の変化、(4) その他に分けて、以下に整理した。

(1) 季節性 (フェノロジー) の変化

鳥類では、渡り時期 (Butler 2003 ; Beaumont et al. 2006 ; Smith & Smith 2012 ; Gill et al. 2013 ; Orellana-Macias et al. 2020 ; Thurber et al. 2020 など) や、繁殖時期 (Crick et al. 1997 ; Both & Visser 2001 ; 小池・樋口 2006 ; Melfo et al. 2018 など) が最近数十年で変化していることが明らかになっている。特に、多くの種で春の渡り時期や繁殖時期は早期化していることが報告されている。一方で、フェノロジーの変化が検出されていない種も報告されており、変化が検出されている種とされていない種を比較することで、気象条件や生態学的な特性、生息地の環境などの様々な要因とフェノロジーの変化との関係についても分析されている (Halupka & Halupka 2017 ; Usui et al. 2017 ; Lehtikoinen et al. 2019)。国内でも、鳥類の飛来時期や繁殖時期の経年変化に関する研究事例がいくつか存在する。

事例 1. 谷津干潟におけるシギ・チドリ類の飛来時期の経年変化。

➤ 鈴木ほか.(2012). 地球規模で危機に瀕するシギ・チドリ類—湿地・沿岸域の生物多様性保全の指標種として、緊急を要するシギ・チドリ類の保全、その時は今!—. *Strix*, 28.

谷津干潟での観察記録を用いて、1997年から2007年までのシギ・チドリ類の渡りの動向を分析した研究。初認日・終認日のほか、連続出現期間（連続して確認された日数）とその初日および最終日、記録最大個体数や月ごとの出現頻度（個体群サイズの指標）の経年変化を、回帰分析を用いて解析した。渡り性の14種を分析した結果、春の渡りに関しては到着や出発が早まる傾向の種と遅くなる傾向の種が見られ、種によって異なる傾向が見られた。秋の渡りでは、到着が早まる傾向の種と遅くなる傾向の種が見られたが、出発については、早まる傾向の種は見られたが、遅くなる傾向の種は見られなかった。

事例2. 東京港野鳥公園におけるシギ・チドリ類の飛来時期の経年変化。

➤ 小林 & 林. (1999). 日々の観察記録を用いたシギ・チドリ類の渡来時期の分析 ～東京港野鳥公園における観察記録から～. *Strix*, 17, 69-76.

東京港野鳥公園での観察記録を用いて、1990年から1997年までのシギ・チドリ類の渡りの動向を分析した研究。9種のシギ・チドリ類を対象に、初認日・終認日のほか、連続出現期間（連続して確認された日数）とその初日および最終日の経年変化について、回帰分析を用いて解析した。トウネン（春の初認日）、ムナグロ（秋の初認日）、キアシシギ（春の終認日）、ソリハシシギ（秋の終認日）で、初終認日と年の間に有意な相関が認められた（図2-1）。

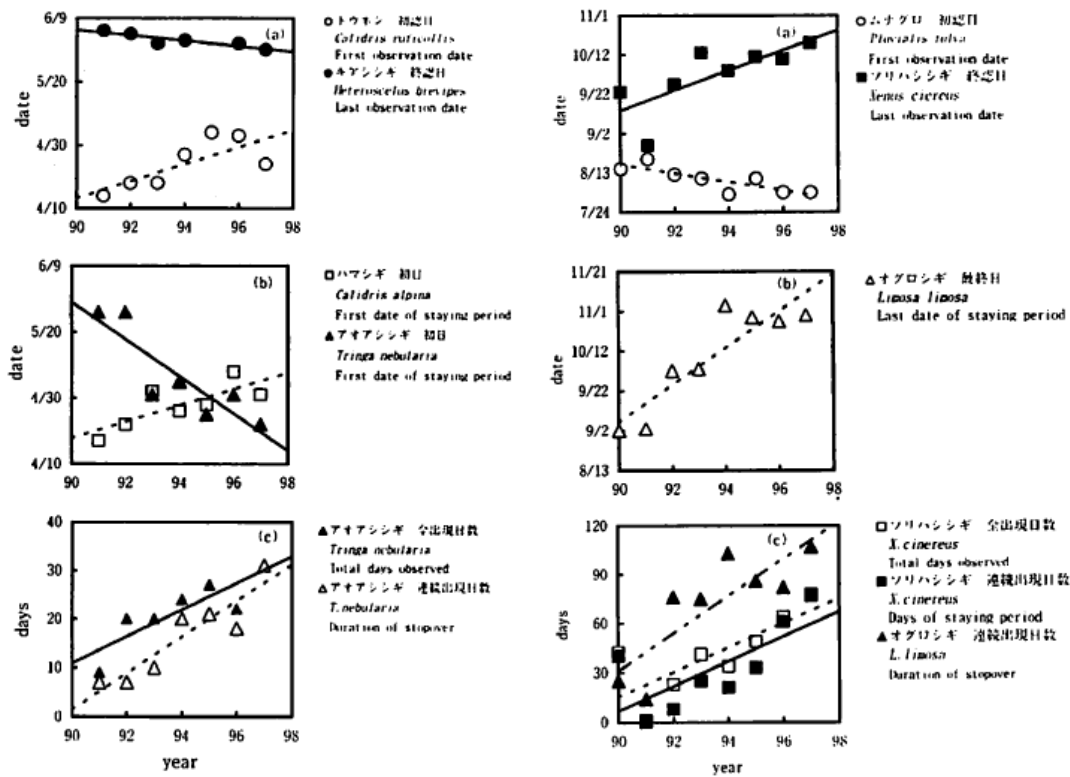


図2-1. 春期（左図）と秋期（右図）の渡りに関する指標（初認日や終認日、連続出現期間やその初日・最終日）と年の間で有意な回帰式が得られた種。（小林・林 1999）

事例3. 宮島沼におけるマガンの飛来時期の経年変化。

➤ 牛山克巳, 森口紗千子, & 天野達也. (2014). 宮島沼におけるマガン研究と保全管理. 湿地研究, 5, 5-14.

宮島沼では 1975 年以降、マガンの飛来期にはほぼ毎日、2003 年以降は隔日で、ガン類の個体数の計測がおこなわれており、そのデータをもとに、秋の渡りの特徴が明らかになりつつある。1990 年代にはマガンの飛来ピークは 10 月中旬で、10 月下旬には南下するが、年によっては 11 月中旬まで滞在することがあった。2000 年代に入ってから、マガンの初認日は 9 月 20 日前後と変わらないが、飛来ピークはほぼ毎年 10 月上旬で、10 月中旬にはほとんどの個体が南下するようになっており、渡り時期が早期集中化していることがわかった (図 2-2)。

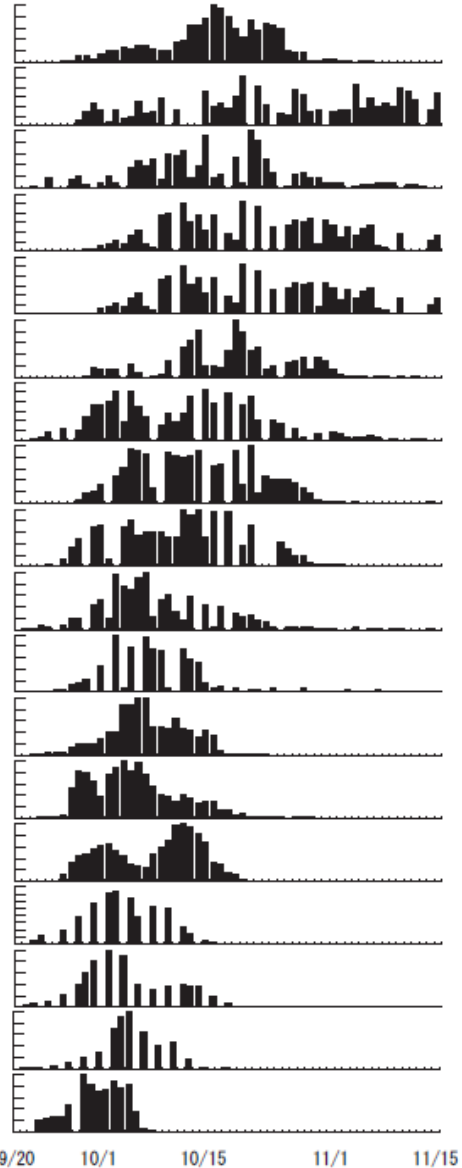


図 2-2. 1992 年 (上) から 2009 年 (下) にかけて、秋の飛来時期におけるマガンの飛来状況。縦軸は、それぞれの年の最大個体数に対する当日の飛来数の比率。1990 年代は 9 月中旬から 11 月中旬にかけて飛来していたが、2000 年代は 9 月下旬から 10 月上旬に集中的に飛来するようになっており、渡り時期が早期集中化していることがわかった。(牛山ほか 2014)

事例4. 宮城県のハクチョウ類の渡り時期に影響する要因。

➤ 嶋田哲郎, & 森晃. (2019). 宮城県におけるハクチョウ類の渡りに影響する要因. 伊豆沼・内沼研究報告, 13, 37-43.

宮城県内の約 500 箇所 で 2000 年から 2014 年にかけて年 3 回 (11 月、1 月、3 月) 実施されたガンカモ類の調査データを用いて、ハクチョウの渡りに影響する要因を検討した。秋の渡りの進み具合を 11 月と 1 月の個体数から求めた増加率、春の渡りの進み具合を 1 月から 3 月の個体数から求めた減少率とし、降雪量合計 (12 月、2 月) と 給餌箇所数がそれぞれに与える影響を、一般化線形混合モデルを用いて解析した。その結果、宮城県のハクチョウ類は 12 月の降雪量が多いほど秋の渡りが早く進み、2 月の降雪量が少ないほど春の渡りが早く進むことが明らかになった。

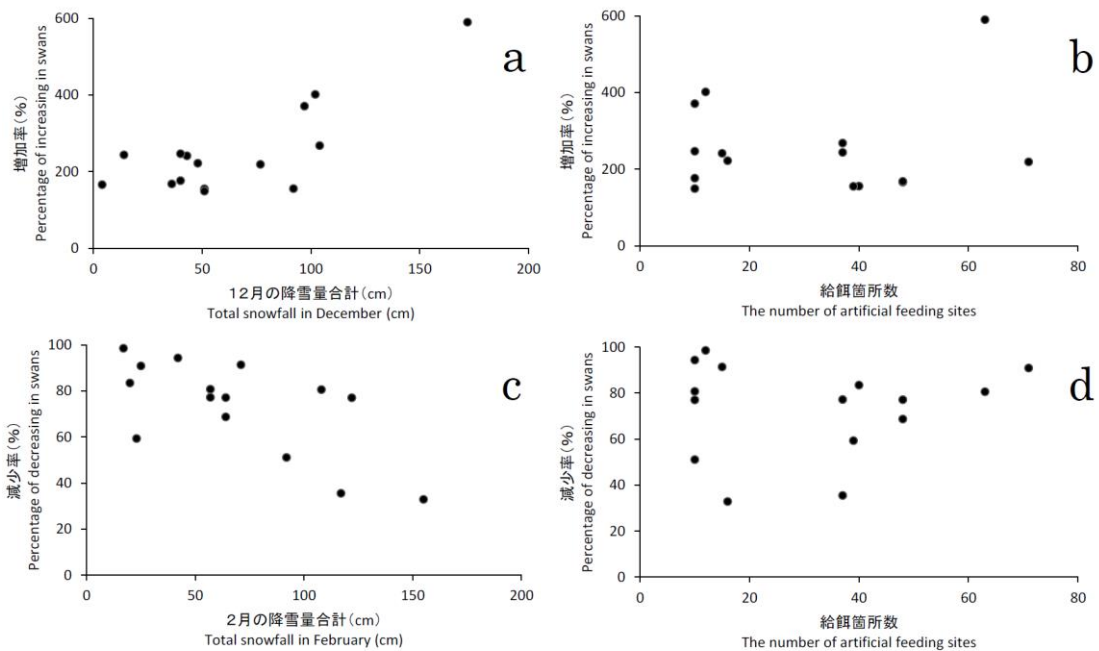


図 2-3. ハクチョウ類の渡り時期の増減率 (a、b は秋の渡り、c、d は春の渡りの進行の程度を示す) と環境要因 (a、c は降雪量合計、b、d は給餌箇所数) の関係。(嶋田・森 2019)

事例5. 横浜自然観察の森における冬鳥の渡り時期の経年変化。

➤ Kobori et al. (2012) The effects of climate change on the phenology of winter birds in Yokohama, Japan. *Ecological Research* 27: 173–180.

1986年から2008年にかけて、横浜自然観察の森において記録された初認日と終認日のデータを用いて、冬鳥6種（ツグミ、シロハラ、アオジ、ジョウビタキ、シメ、ウソ）の飛来時期・渡去時期と滞在期間について調べた研究。施設管理者やボランティアメンバーが、毎日決まったコースを歩いて鳥を記録し、そこから初認日と終認日を抽出した。

解析を行った23年間では、6種平均では初認日は9日遅く、終認日は21日遅くなっており、滞在期間が1か月ほど短くなっていった（図2-4）。一部の種では、初認日もしくは終認日と気温（8～

11月の気温）間の有意な相関も認められ、温暖化によって初認日は遅く、終認日は早くなっている可能性が示唆された。また、6種の間で、年ごとの初認日もしくは終認日の相関が認められ、共通する要因が6種の渡り時期の年変化に影響している可能性が示唆された。

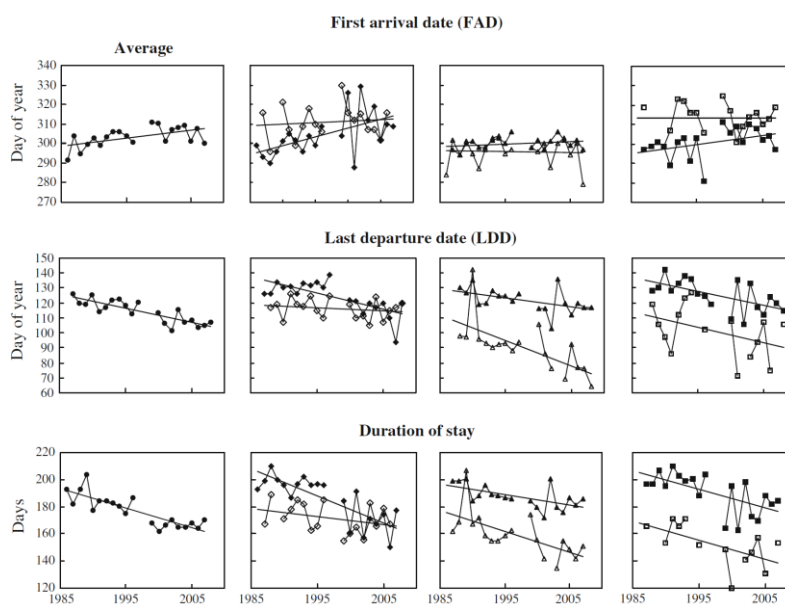


図2-4. 冬鳥6種の初認日（FAD、一番上の行）、終認日（LDD、中央の行）、滞在期間（一番下の行）の年変化（1986年から2008年）。一番左の列は6種の平均を、左から2番目の列はツグミ（◆）とシロハラ（◇）、左から3番目の列はアオジ（▲）とジョウビタキ（△）を、一番右の列はシメ（■）とウソ（□）を示す。（Kobori et al. 2012）

事例6. 新潟県の海岸林における標識調査にもとづく春・秋の渡り時期の経年変化。

➤ Dorzhieva et al. (2020). Bird-Banding Records Reveal Changes in Avian Spring and Autumn Migration Timing in a Coastal Forest Near Niigata. *Ornithological Science*, 19(1), 41–53.

標識調査の記録に基づき、新潟県の海岸林で1971～2010年にかけて、28種の鳥類の渡り時期を評価した研究。半数の種で気温の上昇に伴って春の渡りが早くなっており、5種で秋の渡り時期が変化していた。

事例7. 標識調査にもとづく夏鳥の渡りおよび繁殖時期の長期変化。

- 出口ほか. (2015). 日本に飛来する夏鳥の渡りおよび繁殖時期の長期変化. 日本鳥学会誌, 64(1): 39-51.

標識調査 (1961~1971年、1982~2011年) および気象庁生物季節 (1953~2008年) に基づいて、日本に飛来する夏鳥 (ツバメ、カッコウ、オオヨシキリ、コムクドリ) の渡り時期および繁殖時期の年変化を評価した研究。ツバメ、オオヨシキリ、コムクドリの成鳥、巣内雛の出現時期は早くなる傾向が見られたが、カッコウでは出現時期が遅くなる傾向にあった (図2-5)。

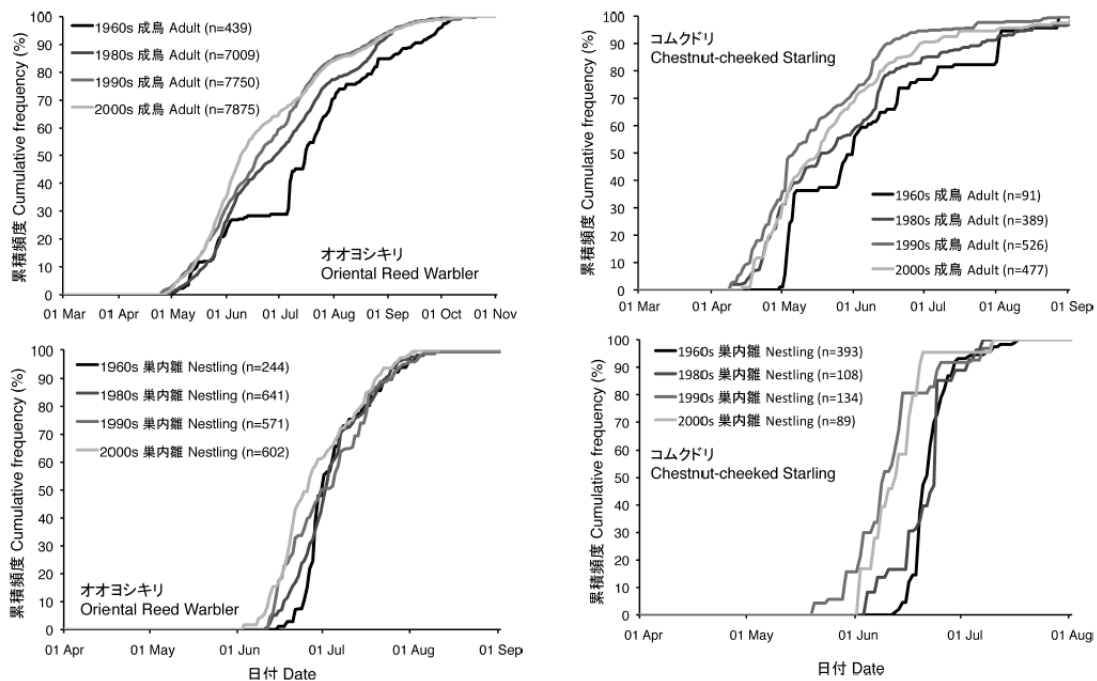


図2-5. オオヨシキリ (左) とコムクドリ (右) の、1960年代、1980年代、1990年代、2000年代の成鳥 (上) と巣内雛 (下) の日別捕獲数の累積頻度分布。(出口ほか 2015)

事例8. ムクドリの繁殖時期の経年変化。

- 小池 & 樋口. (2006). 気候変動が同一地域の鳥類、昆虫、植物の生物季節に与える影響. 地球環境, 11(1), 27-34.

1978年から2005年まで、新潟県においてコムクドリの産卵開始日の経年変化を調べた研究。28年間で15.3日産卵開始日が早くなっており、繁殖地の早春平均気温が高いほど、産卵開始日が早かった。また、一腹卵数も28年間で1.03個増加していた。

(2) 分布域の変化

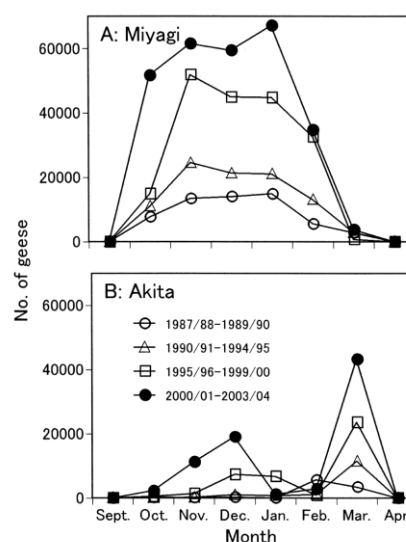
気温上昇や降水量の変化に伴う分布域の変化 (Rehfishch et al. 2004 ; Smith et al. 2013 ; Tombre et al. 2019 ; Nuijten et al. 2020 など) や、渡り経路の変化 (Visser et al. 2009 ; Teitelbaum et al. 2016 ; Nourani et al. 2017 など) が報告されている。これらの報告では、観察データや過去の標本データなどに基づく分布の変化に関する分析や、予測モデルを用いた将来予測の分析・評価がなされている。日本国内では、鳥類の分布変化と気候変動の影響について調べた研究事例は、以下の事例を除いてほとんど存在しない。

事例 9. 越冬地、中継地でのマガンの個体数変化。

- Shimada, T., Hatakeyama, S., Miyabayashi, Y., & Kurechi, M. (2005). Effects of climatic conditions on the northward expansion of the wintering range of the Greater White-fronted Goose in Japan. *Ornithological Science*, 4(2), 155–159.

1987 年から 2003 年において、宮城県の伊豆沼、秋田県の小友沼で毎月 1 回マガンの個体数が記録されている。元々はマガンの中継地であった小友沼で、11 月、12 月の個体数が増加しており、越冬地化しつつあることを示した (図 2-6)。

図 2-6. 1987 年から 2003 年にかけて、宮城県 (A : 伊豆沼) と秋田県 (B : 小友沼) における月ごと (9 月～4 月) のマガンの個体数の変動。近年小友沼における 11 月、12 月の個体数が増加しており、越冬地化しつつあることがわかる。1 月、2 月は積雪量が増えるため、南下している。(Shimada et al. 2005)



事例 10. 気候変動シナリオにもとづいた、ハチクマの渡りに適した場所の予測

- Nourani, E., Yamaguchi, N.M., & Higuchi, H. (2017). Climate change alters the optimal wind-dependent flight routes of an avian migrant. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 284, 2–7.

秋の渡りにおける、九州からユーラシア大陸にかけてのハチクマの追跡データを用いて、風況と渡り経路の関係を明らかにし、複数の気候変動シナリオ (RCP4.5 および RCP8.5) を用いて、今世紀中頃および今世紀終わり時点での、渡り適地を予測した研究。今世紀末には、渡りに適した場所がほとんど失われることを示している。

(3) 繁殖成功や個体数の変化

渡り性水鳥を含めたさまざまな種で、個体群サイズの長期的な変化と、気温や降水量との関係が報告されている（樋口ほか 2009；Amano et al. 2020 など）。また、気温上昇、降水量や降水パターンの変化が、餌生物の変動、繁殖適地の変化、捕食者の増加などを介して、鳥類の繁殖成功率や生存率に影響を及ぼしたり、個体数を変化させたりすると考えられており（Nolet et al. 2020 など）、一部の種ではそのような気候変動による影響が分析・評価されている（Layton-Matthews et al. 2020；Saalfeld et al. 2021 など）。日本国内では、鳥類の繁殖成功や個体数の経年変化と気候変動の関係について調べた研究事例は、以下の事例を除いてほとんど存在しない。

事例 11. 国内のコハクチョウの越冬個体数の増加と繁殖地の環境変化の関係。

➤ 樋口ほか. (2009). 温暖化が生物季節、分布、個体数に与える影響. 地球環境, 14(2), 189–198.

地球温暖化が生態系にもたらす影響について、国内外の研究事例を紹介した総説。全国ガンカモ一斉調査の結果から、1975年から2008年にかけての日本国内でのコハクチョウの個体数が増加していることを示している（図2-7）。さらに、個体数と繁殖地・越冬地・中継地の気温や降雪量との関係についても、一般化線形モデルを用いて検討・分析しており、地球規模での温暖化がコハクチョウの国内での越冬数の増加に寄与していると考察している。

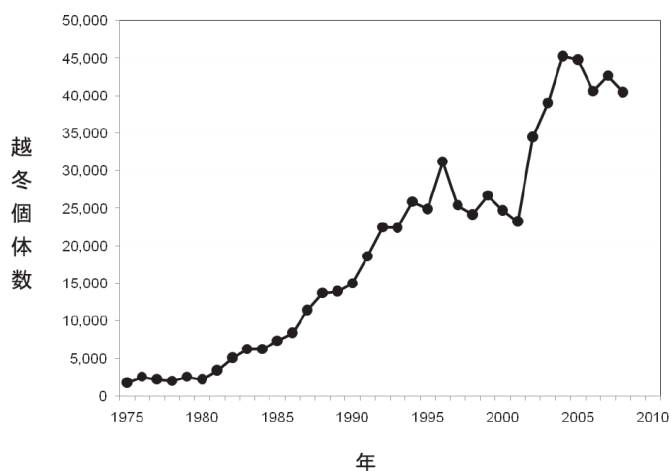


図2-7. 1975年から2008年にかけての日本国内のコハクチョウの越冬数の年変化。全国ガンカモ一斉調査に基づいて算出されている。（樋口ほか

(4) その他

鳥類の長期モニタリングデータは気候変動の影響を分析する上で貴重なデータになりうると思われる。気候変動の影響を分析せずとも、近年では取得されたモニタリングデータをデータ論文という形で公表することも可能である。調査者による分析が難しい場合でも、モニタリングデータをデータ論文として公表することで、その他の研究者や解析の専門家によるデータの分析が進むと期待される。以下に、日本国内で取得された鳥類の長期モニタリングデータを公表したデータ論文の事例を紹介する。

事例 12. 青森県におけるコハクチョウの長期間の個体数データ。

➤ Ogata et al. (2021). Data on swan arrival, departure, and population size on the Asadokoro tidal flat, Aomori Prefecture, Japan, from 1956 to 2010. *Data in Brief*, 35, 1–8.

青森県平内町の浅所小学校（2010年に閉校）で、1956年から2010年まで小学生がハクチョウの個体数をほぼ毎日記録しており、そのデータをまとめたデータペーパー（表 2-1）。

Year	Month	Day	Number of individuals	Remarks
1956	10	23	6	
1957	10	19	8	
1958	10	15	8	
1959	10	15	8	
1960	10	20	18	
1961	11	2	8	
1962	10	10	5	
1963	11	2	5	
1964	11	2	5	
1965	10	31	4	
1966	10	21	3	
1967	11	11	6	Adult 6
1968	11	9	1	
1969	11	7	4	Adult 3, Young 1
1970	11	1	3	Adult 3
1971	11	8	7	Adult 2, Young 5
1972	10	26	4	
1973	11	1	6	Adult 2, Young 4
1974	11	1	4	Adult 2, Young 2
1975	11	2	11	
1976	10	14	6	Adult 2, Young 4
1977	10	19	2	Adult 2
1978	10	28	7	Adult 5, Young 2
1979	10	29	13	Adult 4, Young 9
1980	11	10	13	
1981	10	20	24	Adult 20, Young 4
1982	11	4	2	Adult 2
1983	10	19	20	Adult 16, Young 4
1984	10	7	3	Adult 3
1985	10	15	3	Adult 3
1986	10	16	7	Adult 5, Young 2
1987	10	15	10	Adult 10
1988	10	17	16	Adult 16
1989	10	21	4	Adult 4
1990	10	11	3	Adult 3
1991	10	15	2	Adult 2
1992	10	15	30	Adult 26, Young 4
1993	10	16	5	Adult 4, Young 1
1994	10	21	18	Adult 14, Young 4
1995	10	24	7	Adult 7
1996	10	12	3	Adult 3
1997	10	24	2	Adult 2
1998	10	22	18	Adult 14, Young 4
1999	10	20	27	Adult 24, Young 3
2000	10	20	52	Adult 38, Young 14
2001	10	20	17	Adult 9, Young 8
2002	10	21	27	Adult 24, Young 3
2003	10	20	70	Adult 58, Young 12
2004	10	20	22	Adult 22
2005	10	24	135	Adult 103, Young 32
2006	10	24	36	Adult 33, Young 3
2007	10	25	96	Adult 88, Young 8
2008	10	31	39	Adult 30, Young 9
2009	10	20	1	Adult 1

表 2-1. 公開されているデータの一部（年ごとの初認日を抽出している）。データには、年月日、個体数、成鳥・幼鳥の個体数が含まれている。(Ogata et al. 2021)

事例 13. 市民参加型調査によって収集された初認日のデータ。

➤ 植田 & 神山. (2014). 参加型調査で収集した各種鳥類の初認, 初鳴きのデータ. *Bird Research*, 10, F33-F36.

バードリサーチで 2005 年に開始した参加型調査「季節前線ウォッチ」により収集した初認日もしくは初鳴き日のデータをデータペーパーとしてとりまとめている。初認の対象はホトトギス、カッコウ、アオバズク、ツバメ、オオヨシキリ、ツグミ、ジョウビタキ、ヒヨドリ（秋の渡り）、カルガモ（ヒナの初認）、初鳴きの対象はモズ、ヒバリ、ウグイス、メジロである。データには種名、学名、観察年月日、1月1日からの通算日、緯度、経度が含まれている（表 2-2）。

	A	B	C	D	E	F	G	H
1			初認日				観察場所	
2		種名	年	月	日	1月1日からの通算日	緯度	経度
3		Species	Year	Month	Date	Days from Jan 1	Latitude	Longitude
4	ウグイス	Cettia diphone	2005	2	20	51	32.81	130.72
5	ウグイス	Cettia diphone	2005	2	24	55	35.63	139.29
6	ヒバリ	Alauda arvensis	2005	2	28	59	35.65	139.93
7	ウグイス	Cettia diphone	2005	3	2	61	34.71	135.65
8	ウグイス	Cettia diphone	2005	3	2	61	34.89	135.70
9	ウグイス	Cettia diphone	2005	3	2	61	35.01	135.69
10	ヒバリ	Alauda arvensis	2005	3	7	66	36.28	136.32
11	ヒバリ	Alauda arvensis	2005	3	7	66	36.38	136.40
12	ウグイス	Cettia diphone	2005	3	8	67	36.25	139.69
13	ウグイス	Cettia diphone	2005	3	8	67	35.34	139.58
14	ウグイス	Cettia diphone	2005	3	12	71	36.44	139.82
15	ウグイス	Cettia diphone	2005	3	15	74	33.55	130.45
16	ツバメ	Hirundo rustica	2005	3	15	74	35.77	139.87
17	ツバメ	Hirundo rustica	2005	3	18	77	33.41	132.44
18	ツバメ	Hirundo rustica	2005	3	18	77	35.47	137.07
19	ツバメ	Hirundo rustica	2005	3	20	79	35.33	137.13
20	ツバメ	Hirundo rustica	2005	3	22	81	34.49	133.11

表 2-2. ダウンロードできるデータファイルのイメージ。（植田 & 神山）

2. 2 気候変動の影響分手法

気候変動が生態系に及ぼす影響の評価手法や必要なデータについて、重要生息地ネットワークでのモニタリングを検討していく上で重要と考えられる調査手法と調査期間について、以下にまとめた。

(1) 調査手法、データ取得方法

既存の研究事例では影響評価のための手法として、主にセンサス調査、繁殖に関わる指標の調査、標識・追跡調査、データベースが利用されていた。単一の手法だけでなく、複数の手法を同時に用いた研究事例も存在している。

➤ センサス調査

定期的に、決められた場所を、決められた方法で、鳥類の在不在や個体数を記録する調査手法。特別な機材や資格をあまり必要としないため、ネットワーク参加地でも最も多く行われている調査である。センサス調査のデータから、各種の個体数や、初認日・終認日のデータ、渡りの時期の個体数のピークなどが算出され、それらの経年変化や当該変化に影響しうる要因に関する分析が行われている。

2. 1でも紹介したとおり、中でも特に渡りに関わる指標として、以下の指標が既存の研究では多く用いられている。

- 初認日 (First arrival dates; FAD) : ある種が該当する季節に初めて観察された日のこと。初めてさえずりが確認された日や、初めてヒナが確認された日を記録する場合もある。個体群サイズの影響を受けるとされ、個体群サイズが大きい場合には、初認日は早く、終認日は遅くなる傾向にあるとされる。
- 渡りの平均 (中央) 値 (Mean/Median arrival dates; MAD) : 渡り時期に毎日もしくは定期的に個体数を記録し、その平均 (中央値) の日のこと。初認日よりも頑健な指標とされる。
- 連続出現期間 : その種が連続して記録された期間のことで、該当する期間の初日や最終日、日数などが渡り時期の指標として用いられている (小林 & 林 1999 ; 鈴木ほか 2012)。

初認日や終認日は、わかりやすく、記録も容易であるため、多くの研究で季節性 (フェノロジー) を表す指標として用いられている。しかし、個体群サイズが初認日や終認日に影響することも知られており (図 2-8)、経年変化などを分析する際には、個体群サイズなど初認日に影響しうる要因を考慮したうえで分析を行うべきとされている (Miller-Rushing et al. 2008)。

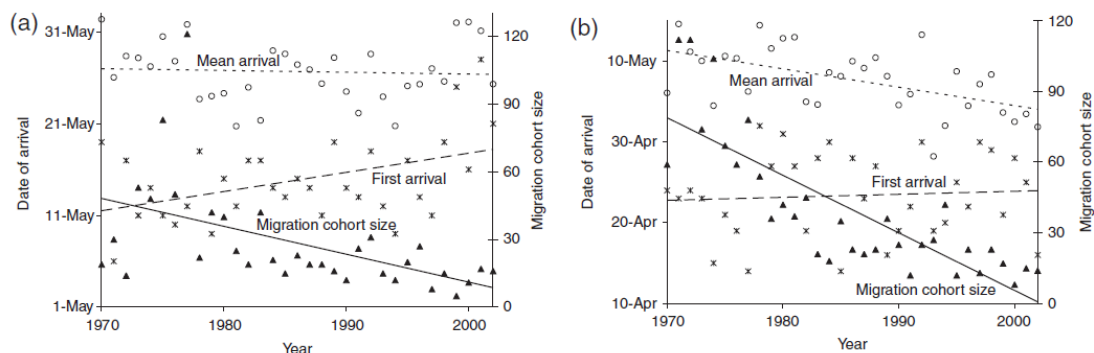


図 2-8. ズグロアメリカムシクイ *Dendroica striata* (左) とワキアカトウヒチョウ *Pipilo erythrophthalmus* (右) の平均到着日 (Mean arrival)、初認日 (First Arrival)、渡り時の個体 (Migration cohort size) の経年変化。初認日と平均到着日の経年変化の傾向は必ずしも一致していない。(Miller-Rushing et al. 2008)

➤ 繁殖に関わる指標の調査

繁殖時期 (産卵時期、孵化時期、巣立ち時期など)、産卵数、巣立ちヒナ数など、繁殖に関わるデータを野外調査によって取得し、それらの年変化や地域差、個体群間差、種間差な

どを分析する方法。繁殖時期の早期化や、繁殖成功率の上昇もしくは低下などを示すことができる。越冬地や中継地では、繁殖に関わる直接的な指標について調査することが難しいが、成鳥と幼鳥の比率が繁殖成功の指標として用いられており (Jessop et al. 2020 ; Wang et al. 2021)、繁殖地での繁殖状況についても部分的な評価が可能になると期待される。

➤ 標識・追跡調査

個体識別を可能にする足環やカラーリング、個体の位置情報を取得することができるジオロケーターや GPS ロガーなどの追跡機器を鳥に装着し、飛来時期、飛来場所、滞在期間、生存率などを、個体ごとに追跡する手法。標識調査による足環の情報からは、個体の移動に関する情報や生存に関する情報を得ることができる。ジオロケーター等による追跡調査では、渡り時期や飛来経路、滞在場所、移動のパターンなどに関する情報を得ることができる。日本でも、環境省や山階鳥類研究所が鳥類標識調査を実施し (水田ほか 2022)、気候変動に関する分析も行われている (出口ほか 2015 ; Dorzhieva et al. 2020)。

➤ データベース

eBird などのデータベースに含まれる生物の観察データを利用して、渡りの動向や、分布の変遷などを評価する手法。国内では、気象庁が生物季節観測を実施し、インターネットにデータを公開しているほか (<https://www.data.jma.go.jp/sakura/data/>)、環境省の生物多様性情報システム (<https://www.biodic.go.jp/index.html>) などにより調査データが HP で公開されており、利用可能である。また、eBird については、日本語版「eBird Japan」が、2021 年にオープンし、公益財団法人日本野鳥の会によって運営されている。誰でもアプリやウェブサイト上から野鳥観察記録を投稿したり、閲覧したりすることが可能である。「eBird」および野鳥識別アプリ「Merlin」の設定と基本的な操作方法を紹介するガイドや、学校や教育活動向けの電子教材「野鳥観察を市民科学に 学校教育での eBird 利用ガイド」も eBird Japan のウェブサイト (<https://ebird.org/japan/home>) で公開されている。eBird などデータベースへの登録や、データ論文としての公開を進めることで、他の地域のデータと組み合わせることも可能になるため、データの電子化やオープン化を進めることで、その分析・活用がさらに進むことが期待される。

(2) 調査期間

気候変動の影響を評価する際には、長期間のデータを分析する必要がある。現在公表されている研究で扱っている調査がいつ頃開始され、どれくらいの期間実施されてきたのかを明らかにするために、既存研究の一部 (2.1 で整理した研究事例を中心に 73 事例) から、調査開始年及び調査継続年数を抽出し、まとめた (図 2-9)。

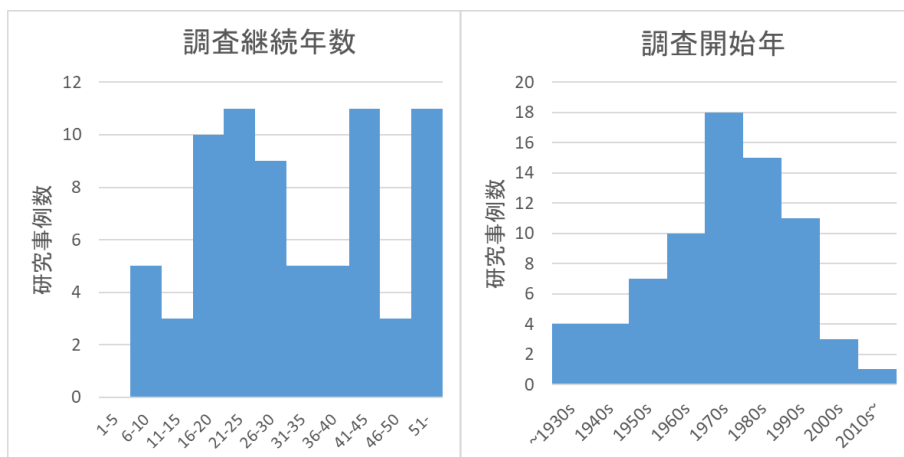


図 2-9. 気候変動が鳥類に及ぼす影響を評価した既存研究の一部（73 事例）から抽出した調査継続年数（左）、調査開始年（右）のヒストグラム。

調査継続年数が最も短い研究は6年間で（Zaifman et al. 2017、eBird のデータを用いて渡り時期の変化を調べた研究）、16年間以上から研究事例数が増加しており、最も長いもので182年間のデータを用いた研究事例（Kolářová et al. 2017）があった。限られた数の事例の分析であるため、明確な結論を導き出すことはできないが、気候変動の影響を評価するためには少なくとも15年以上、可能であれば20年以上継続した調査を行うことが望ましいと考えられる。また、調査開始年については1970年代に開始された事例が18件と最も多く、1970年代前後の研究は年を追うごとに減少していた。気候変動の影響に長期間のデータが必要となるため、1970年代以降に調査が開始された研究は、まだ十分にデータが蓄積されていない、もしくは十分な分析がなされていないなどの理由から公表されていない可能性が考えられる。また、1970年代以前には、分析可能な調査データが十分に取得されていなかった可能性が考えられる。なお、今回は一定の基準に基づいて網羅的にレビューを行ったわけではないため、抽出した結果に偏りがある可能性は否定できない点には注意が必要である。

3. 重要生息地ネットワーク参加地におけるモニタリングの現状

東アジア・オーストラリア地域フライウェイ渡り性水鳥重要生息地ネットワークの国内参加地におけるモニタリングの実施状況を把握するため、各サイトを対象にアンケート調査を行った。33箇所の湿地（2021年10月に新しく参加したサロベツ湿原を除く）の湿地管理者に対し、2020年11月にアンケートを送付し、2021年1月までに29箇所から回答を得た。アンケートに加えて、追加的な聞き取りや文献調査、インターネットでの情報収集を行い、その結果を整理して、各地でのモニタリングの実施状況を以下に整理した。

3. 1 全国規模、複数地域で連携したモニタリング

ネットワーク参加地で実施されている全国規模もしくは複数地域で連携した鳥類モニタリングについて、表3-1にまとめた。日本国内で実施されている代表的なモニタリングとして、環境省によるモニタリングサイト1000が挙げられる。モニタリングサイト1000は、2003年に開始され、全国に1,000箇所以上の調査サイトを設置し、100年以上モニタリングを継続することで、長期間にわたって基礎的な環境情報を収集し、日本の自然環境の質的・量的な劣化を早期に把握することを目的として実施されている（環境省自然環境局生物多様性センター2019）。鳥類では陸水域（ガンカモ類）調査、沿岸域（シギ・チドリ類）調査が対象になっている。モニタリングサイト1000以外にも、環境省や自治体、国内の環境NGOが中心となって、「全国鳥類繁殖分布調査」や「鳥類標識調査」、「ガンカモ類の生息調査」、「渡り鳥等の飛来状況調査」などの全国規模のモニタリング調査が実施されており、ほとんどのネットワーク参加地は、これらの調査の実施サイトと重複している。地域レベルでは、北海道および東日本を中心に実施されている2種類のガン類の分布調査や、ツル類の越冬分布調査などが実施されている。

また表3-3に示すとおり、モニタリングサイト1000沿岸域（シギ・チドリ類）調査は、シギ・チドリ類ネットワークに属する全てのネットワーク参加地で実施されており、モニタリングサイト1000陸水域（ガンカモ類）調査は、ガンカモ類ネットワークに属するネットワーク参加地の内、白石川を除く全てのネットワーク参加地で実施されている。

3. 2 サイト独自のモニタリング

各ネットワーク参加地においても、3種群の渡り性水鳥を中心に、モニタリング調査が実施されている（表3-2）。ガンカモ類の調査を行っているネットワーク参加地は8箇所、ツル類は4箇所、シギ・チドリ類は2箇所あり、全鳥種を対象に行っているネットワーク参加地は13箇所であった。各ネットワーク参加地で実施されているモニタリングの継続年数を図3-1にまとめた。5～10年程度のモニタリングもあったが、多くは15年以上継続して行われている。特に長期間にわたってモニタリングが実施されている湿地として、出水（ツル類、58年）、宮島沼（マガン、46年）、大阪南港野鳥園（全鳥類種、38年）、球磨川河口（シギ・チドリ類、36年）などが挙げられる。出水では地元の中学生も調査に参加し、長期間にわ

たってツル類のモニタリングが行われており、長期的な個体群動態や渡り時期の変化などが明らかになりつつある。宮島沼でも 1975 年以降、春と秋の渡りの時期には、研究者や一般市民が協力してマガンの個体数を計測しており、その結果から調査開始以降個体数が増加してきたことなどが明らかになっている（牛山ほか 2014）。その他の湿地でもガンカモ類、シギ・チドリ類、ツル類などの水鳥類を中心に、在不在の調査や個体数の計測が実施されている。

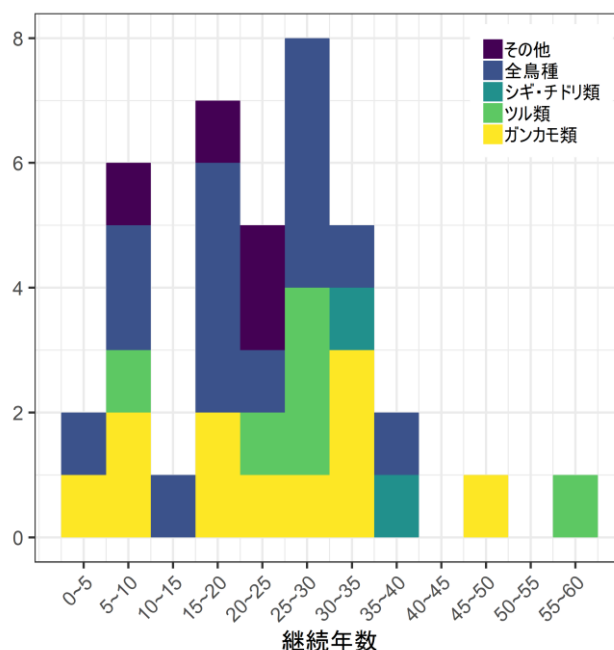


図 3-1. ネットワーク参加地で実施されているサイト独自の鳥類モニタリングの継続年数。

調査方法や調査頻度、データの保管方法についても聞き取りをしたが、サイトごとに異なっていた。対象とする種群や飛来時期、調査地の環境、調査にかけることができる人員や時間等がサイトによって異なるため、全てのサイトで調査方法等を統一したり、統一的なモニタリングを実施したりすることは難しいと考えられるものの、モニタリングに関する指針を作成することで、各サイトでモニタリングを実施する際に参考になると考えられる。今後、フライウェイ・ネットワークとして渡り性水鳥の保全や気候変動の影響を分析するために明らかにすべき事象を洗い出し、そのために有効なモニタリング手法や取得すべきデータ項目などを検討し、モニタリングの指針を作成することが、各地でのモニタリング実施体制を強化し、データの解析をさらに進める上でも有用と考えられる。また、取得されたデータは各地に電子データもしくは紙データとして点在しており、すぐに解析を行える状態にはなっていないケースも少なくはなかった。データの解析を進めていくためには、eBirdなどのプラットフォームを活用しつつ、各地で取得されているデータの電子化、統合、オープン化をさらに進めていくことも必要である。

表 3-1. 全国規模もしくは、複数地域で連携し実施している鳥類モニタリング（ネットワーク参加地で実施されているもの）（その1）

調査	対象種・種群	統括主体	実施地域	調査地点数	開始年	調査時期	調査頻度	解析事例
モニタリングサイト 1000 沿岸域（シギ・チドリ類）調査	シギ・チドリ 類	環境省	日本全国	約 140 箇所	2004 年	秋・冬・春		三上ほか 2012
モニタリングサイト 1000 陸水域（ガンカモ類）調査	ガンカモ類	環境省	日本全国	約 80 箇所	2004 年	秋・冬・春	年 1 回	三上ほか 2012
全国鳥類繁殖分布調査	鳥類全般（国内で繁殖する種）	環境省、国内環境 NGO	日本全国		1970 年代 1990 年代 2010 年代	春～夏		Amano & Yamaura 2007 Yamaura et al. 2009
鳥類標識調査	鳥類全般	環境省	日本全国		1924 年	通年		中田ほか 2011 出口ほか 2012、2015 Edenius et al. 2017 Dorzhieva et al. 2020 川路・中田 2015 Lagassé et al 2020 水田ほか 2022 など

表 3-1. 全国規模もしくは、複数地域で連携し実施している鳥類モニタリング（ネットワーク参加地で実施されているもの）（その2）

調査	対象種・種群	統括主体	実施地域	調査地点数	開始年	調査時期	調査頻度	解析事例
渡り鳥の飛来状況調査	鳥類全般	環境省	日本全国	52箇所	2007年	秋～春(9月～5月)	月2回 (国指定鳥獣保護区については月3回)	
ガンカモ類の生息調査 (全国ガンカモ一斉調査)	ガンカモ類	環境省、全国47都道府県	日本全国	約9000箇所	1970年	冬(1月)	年1回	植田 2007 樋口ほか、2009 Kasahara & Koyama 2010 笠原・神山 2011 三上ほか、2012 Jia et al. 2016 Shimada et al. 2016 Ao et al. 2020
マガン・ヒシクイ羽数合同調査@北海道	ガン類	牛山克巳氏	北海道全域		2015年	春・秋	春秋2回 ずつ	
マガン羽数合同調査	ガン類	伊豆沼・内沼環境保全財団	本州(ガン類飛来地)		2003年	冬(10～3月)	月2回	嶋田 2010 Shimada 2009 Shimada et al. 2019

表 3-1. 全国規模もしくは、複数地域で連携し実施している鳥類モニタリング（ネットワーク参加地で実施されているもの）（その3）

調査	対象種・種群	統括主体	実施地域	調査地点数	開始年	調査時期	調査頻度	解析事例
新潟県水鳥湖沼ネットワーク調査	ハクチョウ類、ガン類	新潟県水鳥湖沼ネットワーク	越後平野（福島潟、佐潟、鳥屋野潟、瓢湖、阿賀野川下流）	5 サイト	2000 年	冬（10～3 月）	週 1 回	
八代海カモ類一斉調査	カモ類		八代海沿岸域		1985 年	冬（1 月中旬旬）	年 1 回	
クロツラヘラサギ一斉調査	クロツラヘラサギ	日本クロツラヘラサギネットワーク、日本野鳥の会、香港バードウォッチング協会	九州沿岸域		1990 年？	冬	月 1 回	Sung et al. 2018
タンチョウ越冬分布調査	タンチョウ	環境省、北海道	北海道（生息地、飛来地）	350 箇所程度	1952 年	冬（12、1 月）	年 2 回	
タンチョウ越冬総数調査	タンチョウ	タンチョウ保護研究グループ	北海道（東部一円）	道東地域一帯	1986 年	冬（1～2 月）	年 1 回	
ナベヅル、マナヅルの全国飛来状況調査	ナベヅル、マナヅル	環境省	九州・四国を中心に全国		2004 年	冬（10～2 月）	滞在期間を通じて	

表 3-2. ネットワーク参加地におけるサイト独自の鳥類モニタリングの実施状況。(その1)

調査分類	記録項目	サイト名	対象種群	対象種	調査時期	調査月	調査頻度	開始年	継続年数	調査実施者	調査方法	データ形式	備考
個体数等調査	個体数	宮島沼	ガン類	マガン	春・秋		2日に1回	1975	46	サイト管理者、市民ボランティア	定点カウント	電子データ・紙	
個体数等調査	鳥類種、個体数	宮島沼	水鳥		春・秋		週1回	2007	14	サイト管理者	定点カウント	電子データ・紙	
個体数等調査	鳥類種、個体数	ウトナイ湖	ハクチョウ類		通年			1988	33	サイト管理者、市民ボランティア	定点カウント	紙	
個体数等調査	鳥類種、個体数	ウトナイ湖	ガン類		春・秋			2004	17	サイト管理者、市民ボランティア	定点カウント	紙	
個体数等調査	鳥類種、個体数	ウトナイ湖	水鳥		通年		月1回	2002	19	サイト管理者、市民ボランティア	定点カウント	紙	
個体数等調査	鳥類種、個体数	野付半島・野付湾	全鳥類種		通年		月1回	2004	17	サイト管理者	定点カウント	電子データ・紙	https://betsukai.jp/kyoiku/culture/bunkazai/bunkazai_sonota/bird_houkoku/
個体数等調査	鳥類種、個体数	風連湖・春国岱	シギ・チドリ類		秋	7月末～9月	月1～2回	1988	33	サイト管理者	定点カウント	電子データ	
個体数等調査	個体数、繁殖状況	風連湖・春国岱	ソル類	タンチョウ	春・夏	5～7月	月1回	2000	21	サイト管理者	定点カウント	電子データ	
個体数等調査	個体数	風連湖・春国岱	ハクチョウ類	オオハクチョウ	春・秋	10、11、3月	月2回	2002	19	サイト管理者	定点カウント	電子データ	
個体数等調査	鳥類種、個体数	風連湖・春国岱	陸鳥		夏	6月	月4回	2001	20	サイト管理者	定点カウント、ラインセンサス	電子データ	
個体数等調査	個体数	風連湖・春国岱	ワシ類	オオワシ、オジロワシ	冬	1、2月	月2回	2000	21	サイト管理者	定点カウント	電子データ	
個体数等調査	個体数、繁殖状況	厚岸湖・別寒辺牛湿原	ソル類	タンチョウ	春・夏			1995	26	サイト管理者			
個体数等調査	個体数、繁殖状況	厚岸湖・別寒辺牛湿原	ワシ類	オオワシ、オジロワシ	通年			1997	24	サイト管理者			繁殖しているオジロワシと、越冬しているオジロワシ・オオワシを記録
個体数等調査	鳥類種、個体数	釧路湿原	全鳥類種		通年		週1～2回	2013	8	サイト管理者	ラインセンサス	電子データ・紙	湿原性の鳥類。湿根内ビジターセンター
個体数等調査	鳥類種、個体数	釧路湿原	水鳥		冬	11月	年1～2回	2002	19	市民ボランティア	定点カウント		釧路湿原達古武沼
個体数等調査	個体数、渡来時期、生息場所	釧路湿原	クイナ類	シマクイナ、(オオヨシゴイ)	夏			2015	6	サイト管理者、市民ボランティア	鳴き声の聞き取り調査	電子データ・紙	
個体数等調査	鳥類種、個体数	小友沼	水鳥		秋・冬・春	10月～4月上旬	ほぼ毎日	1998	23	自治体、市民ボランティア	定点カウント	電子データ・紙	https://www.city.noshiro.lg.jp/sangyo/kankyo/hozen/otomo-numa/646
個体数等調査	個体数、生息場所	八郎潟干拓地	ガン類		冬		断続的に(毎年ではない)	2020	1	市民ボランティア			電子データに移行中
個体数等調査	個体数、生息場所	八郎潟干拓地	ガン類	ハクガン	冬		2日に1回程度	1994	27	市民ボランティア			電子データに移行中
個体数等調査	個体数	福島潟	ガン類・ハクチョウ類		冬	10～3月	週1回	1998	23	市民ボランティア	自動車センサス	紙	福島潟周辺の餌場の利用状況把握
個体数等調査	繁殖状況	谷津干潟	水鳥	カルガモ、カイツブリ、バン、セイタカシギ	春・夏					サイト管理者		紙	

表 3-2. ネットワーク参加地におけるサイト独自の鳥類モニタリングの実施状況。(その2)

調査分類	記録項目	サイト名	対象種群	対象種	調査時期	調査月	調査頻度	開始年	継続年数	調査実施者	調査方法	データ形式	備考
個体数等調査	鳥類種、個体数	東京港野鳥公園	全鳥類種		通年		月1回	1990	31	サイト管理者	定点カウント、 ライセンスサス	電子データ・ 紙	
個体数等調査	鳥類種、個体数	片野鴨池	全鳥類種		通年		ほぼ毎日	1995	26	サイト管理者	定点カウント	電子データ	
個体数等調査	個体数	琵琶湖	ガン類	オオヒシクイ	冬			1988	33	サイト管理者		電子データ	
個体数等調査	個体数	琵琶湖	ハクチョウ類	コハクチョウ	冬			1988	33	サイト管理者		電子データ	
個体数等調査	鳥類種、個体数	大阪南港野鳥園	全鳥類種		通年		週2回以上	1983	38	サイト管理者、市 民ボランティア	定点カウント	電子データ	
個体数等調査	鳥類種、個体数	米子水鳥公園	全鳥類種		通年		ほぼ毎日	1995	26	サイト管理者			
個体数等調査	個体数	米子水鳥公園	カワウ	カワウ	通年		2か月に1回	2005	16	サイト管理者			
個体数等調査	個体数、生息場所	八代	ツル類	ナベツル	冬		ほぼ毎日	1994	27	自治体		電子データ・ 紙	
個体数等調査	鳥類種、個体数	鹿島新龍	全鳥類種		通年		月1回	2015	6	専門家	定点カウント	電子データ・ 紙	
個体数等調査	鳥類種、個体数	荒尾干潟	全鳥類種		通年		ほぼ毎日	2019	2	サイト管理者	定点カウント、 ライセンスサス		
個体数等調査	鳥類種、個体数	球磨川河口	シギ・チドリ類		通年	6・7月を除く	週2～3回	1985	36	市民ボランティア			
個体数等調査	鳥類種、個体数	出水	カモ類		冬			2011	10	サイト管理者、市 民ボランティア		電子データ・ 紙	
個体数等調査	鳥類種、個体数	出水	ツル類		冬	11～1月	月2回	1963	58	市民ボランティ ア、中学生	定点カウント	電子データ・ 紙	
個体数等調査	個体数	出水	ツル類	マナヅル	冬	12～2月	月1～2回	2012	9	サイト管理者、市 民ボランティア	定点カウント、 ドローン	電子データ	韓国と合同
個体数等調査	個体数、生息場所	出水	ツル類		冬	1月	年1回	1994	27	サイト管理者、市 民ボランティア		電子データ・ 紙	ツル類の市内分散状況の 傾向把握のため。文化庁 からの補助事業。
種組成(在不在)調査	鳥類種	谷津干潟	全鳥類種		通年		ほぼ毎日	1994	27	サイト管理者		電子データ・ 紙	
種組成(在不在)調査		米子水鳥公園	ガン類	マガン	冬	10～3月	月1回	2011	10	サイト管理者			
種組成(在不在)調査		米子水鳥公園	ハクチョウ類	コハクチョウ	冬	10～3月	月1回	2011	10	サイト管理者			
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	宮島沼	ガン類	マガン、ヒシクイ									
渡り調査	初認日	宮島沼	夏鳥										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	宮島沼	ハクチョウ類										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	ウトナイ湖	ガン類	マガン、ヒシクイ									
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	ウトナイ湖	ハクチョウ類	オオハクチョウ、コハク チョウ、コブハクチョウ									
渡り調査	初認日	野付半島・野付湾	ガン類	コクガン									
渡り調査	初認日、終認日	風連湖・春国岱	カモ類	主な種									
渡り調査	初認日、終認日	風連湖・春国岱	ハクチョウ類	オオハクチョウ									
渡り調査	初認日、終認日	風連湖・春国岱	シギ・チドリ類	主な種									
渡り調査	初認日、終認日	風連湖・春国岱	ワン類	オオワン、オジロワシ									
渡り調査	初認日	風連湖・春国岱	夏鳥	主な種									

表 3-2. ネットワーク参加地におけるサイト独自の鳥類モニタリングの実施状況。(その3)

調査分類	記録項目	サイト名	対象種群	対象種	調査時期	調査月	調査頻度	開始年	継続年数	調査実施者	調査方法	データ形式	備考
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	霧多布湿原	ハクチョウ類	オオハクチョウ									
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	霧多布湿原	ワシ類	オオワシ									
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	厚岸湖・別寒辺牛湿原	ハクチョウ類	オオハクチョウ									
渡り調査	初認日、終認日	厚岸湖・別寒辺牛湿原	カモ類										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	厚岸湖・別寒辺牛湿原	ワシ類	オオワシ、オジロワシ									
渡り調査	初認日、終認日	八郎潟干拓地	ガン類	マガン、ヒシクイ、ハクガン、シジュウカラガン									
渡り調査	初認日	蕪栗沼	ガン類	マガン									
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	福島潟	ガン類										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	福島潟	ハクチョウ類										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	瓢湖	ハクチョウ類										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	佐潟	ガン類										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	佐潟	ハクチョウ類										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	谷津干潟	カモメ類										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	谷津干潟	カモ類										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	谷津干潟	シギ・チドリ類										
渡り調査	初認日、終認日	谷津干潟	陸鳥										
渡り調査	初認日、終認日	東京港野鳥公園	全鳥類種										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	片野鴨池	カモ類										
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	片野鴨池	ガン類										
渡り調査	初認日	片野鴨池	夏鳥	ツバメ、キビタキ、ホトトギス									
渡り調査	初認日	片野鴨池	陸鳥	ジョウビタキ、ツグミ									
渡り調査	初認日、終認日	琵琶湖	ガン類	オオヒシクイ									
渡り調査	初認日、終認日	琵琶湖	全鳥類種	わかる種類に関して									
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	琵琶湖	ハクチョウ類	コハクチョウ									
渡り調査	初認日、終認日	琵琶湖	ワシ類	オオワシ									
渡り調査	初認日	米子水鳥公園	ガン類										
渡り調査	初認日	米子水鳥公園	ハクチョウ類	コハクチョウ									
渡り調査	初認日、終認日、飛来数	八代	ツル類	ナベヅル									
渡り調査	初認日	荒尾干潟	シギ・チドリ類										
渡り調査	初認日、終認日	出水	ツル類										
その他		大阪南港野鳥園	底生生物		夏・冬			2000		サイト管理者		電子データ	
その他		大阪南港野鳥園	干潟現況調査(底質、地形、海藻、植生、水鳥の餌生物など)		夏・冬		年2回	2014		サイト管理者		電子データ	
その他		蕪栗沼	動植物モニタリング調査							サイト管理者			
その他		八代	水辺の生き物調査(水生昆虫、魚類など)		秋	9月		年1回	2008	地元小学校		紙	
その他		米子水鳥公園	鳥インフルエンザ糞便調査					年1~4回	2007	サイト管理者(主催は鳥取県)			

表 3-3. 国内におけるネットワーク参加地が対象とする種群ネットワークと、環境省によるモニタリングの実施状況（その1）

サイト名	対象とする種群ネットワーク			モニ 1000 実施状況		渡り鳥の飛 来状況調査	ガンカモ類 の生息調査	タンチョウ 越冬分布 調査	ナベヅル・ マナヅル飛 来状況調査
	シギ・チドリ	ツル	ガンカモ	シギ・チドリ	ガンカモ				
クッチャロ湖			○		○	○	○		
サロベツ湿原			○		○				
宮島沼			○		○	○			
ウトナイ湖			○		○	○	○		
野付半島・野付湾	○	○	○	○	○	○	○		
風連湖・春国岱	○	○	○	○	○	○		○	
霧多布湿原		○				○			
琵琶瀬湾			○		○	○	○		
厚岸湖・別寒辺牛湿原		○	○		○	○	○	○	
釧路湿原		○	○		○			○	
小友沼			○		○		○		
八郎潟干拓地			○		○		○		
化女沼			○		○		○		
蕪栗沼			○	○	○		○		
伊豆沼・内沼			○		○	○	○		
白石川			○				○		
福島潟			○		○		○		
瓢湖水きん公園			○		○		○		
佐潟			○		○	○	○		

表 3-3. 国内におけるネットワーク参加地が対象とする種群ネットワークと、環境省によるモニタリングの実施状況（その2）

サイト名	対象とする種群ネットワーク			モニ 1000 実施状況		渡り鳥の飛来状況調査	ガンカモ類の生息調査	タンチョウ越冬分布調査	ナベヅル・マナヅル飛来状況調査
	シギ・チドリ	ツル	ガンカモ	シギ・チドリ	ガンカモ				
谷津干潟	○			○		○	○		
東京港野鳥公園	○			○			○		
片野鴨池			○		○	○	○		
藤前干潟	○			○		○			
琵琶湖			○		○	○	○		
大阪南港野鳥園	○			○			○		
吉野川河口	○			○			○		
米子水鳥公園			○		○		○		
八代		○							○
東よか干潟	○			○	△*		○		
鹿島新籠	○			○	△*		○		
荒尾干潟	○			○	△*				
球磨川河口	○			○	△*		○		
出水		○					○		**
漫湖	○			○		○	○		

* 「有明海・八代海周辺」として実施

** 出水におけるツル類の個体数調査は、地元の中学生や市民ボランティアにより実施され、公式記録として公表・記録されている。

4. 先行的な解析

ネットワーク参加地のうち、宮島沼（北海道）および小友沼（秋田県）におけるマガンの個体数データ、谷津干潟（千葉県）におけるシギ・チドリ類のモニタリングデータを用いて行った。気候変動の評価に着目した先行的な解析、特に各種鳥類の飛来時期の経年変化に関する解析について、その結果を以下に示す。

4. 1 ガン類の飛来状況

(1) モニタリングの概要

宮島沼は北海道の石狩川下流の平野部に位置しており、周辺は農耕地が広がっている。マガンをはじめとするガン類の中継地となっており、春と秋にガン類が多数飛来する。宮島沼では、1975年にマガンの個体数調査が開始され（星子 2003）、2000年頃からは東京大学グースプロジェクトが、2007年以降は宮島沼水鳥・湿地センターが計測を行っている。マガンの飛来時期（春・秋）に隔日で、夕方ねぐら入りするマガンの個体数を定点から10羽単位で計測している。

	A	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV
1		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
6	9月17日					25		9	1500
7	9月18日	16							
8	9月19日	300			960				1700
9	9月20日	345		7950	970		2480	3020	1800
10	9月21日	1470	600		960	2			
11	9月22日		2150	10890	2040		12000	19050	
12	9月23日	1900	2560		2700	25			2050
13	9月24日			21060	1960	28	44130	37560	
14	9月25日	4000	3350			280			11400
15	9月26日	7400		35420	2680	3010	32490	29994	
16	9月27日	10150	9650			8500			36650
17	9月28日		34610	31680	3130	24250	29030	56610	41493
18	9月29日	17050			4760	33063			42540
19	9月30日		66220	18050		24180	58260	58780	
20	10月1日	11320		16944	11730				63200
21	10月2日		58980	15070	12860	24810	26810	46080	
22	10月3日	14600	68200		17950				46670
23	10月4日			15960	41950	16380	31730	54820	
24	10月5日	10880	41000		71460				45220

図 4-1. 宮島沼で記録されているマガンの個体数データの一部。日ごとに記録された個体数が入力されている。

小友沼は秋田県北西部、米代川の河口に広がる能代平野に位置する農業用ため池であり、春と秋にガン類が多数飛来する。1998年以降、地元の市民団体「おとも自然の会」により、ガンカモ類の個体数モニタリングが実施されており、冬期はほぼ毎日、定点より個体数を計測している。

	A	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	R3年度	10/3	10/4	10/5	10/6	10/7	10/8	10/9	10/10	10/11
1										
2	マガン	1500	3500	4500	10000	10000	12000	12000	18000	12000
3	ヒシクイ	7	4	4		11	3	3	14	3
4	亜種ヒシクイ									
5	亜種オオヒシクイ									
6	ハクガン	0	9	9	1	0	2	5	5	5
7	アオハクガン									
8	シジュウカラガン									19
9	サカツラガン									
10	カリガネ									
11	ハクチョウ								117	45
12	オオハクチョウ							10		
13	コハクチョウ	12	21	24	489	17	14	20		
14	アメリカコハクチョウ									
15	(カモ類)									
16	マガモ		5	15				10	20	20
17	オナガガモ	3	4	20		0		10	11	20
18	カルガモ	30	50	50				30	30	30
19	コガモ	200	300	300		20		300	250	40

図 4-2. 小友沼で記録されているモニタリングデータの一部。冬期は毎日、確認された種とその個体数が記録されている。

宮島沼及び小友沼の日々の個体数データより、マガンの春、秋それぞれの渡り時期における初認日、終認日、渡りのピーク（最大個体数が計測された日）、同一シーズン中ののべ確認個体数（Goose days）の中央値が確認された日、1000 個体以上が初めて確認された日及び最後に確認された日を年ごとに算出した。

（2）渡り時期の経年変化

宮島沼及び小友沼それぞれにおける春と秋の渡り時期の指標の経年変化について、図 4-1 および図 4-2 にまとめた。宮島沼では秋の渡り時期がいずれの指標においても、早期化していた。特に渡りの終わり（終認日や最後に 1000 個体以上が確認された日）が 1 か月ほど早まっており、滞在期間が短くなって、秋の渡りは早期集中化していた。春の渡りでは初認日が遅く、終認日が早くなっていたが、渡りのピークなど、その他の渡り時期の指標値では有意な経年変化は認められなかった。

小友沼では、初認日は遅くなっていた一方で、渡りのピークやのべ確認個体数の中央値が確認された日は早くなっており、渡り時期としては早期化する傾向にあった。春の渡りでは、すべての指標が早期化する傾向にあったが、明確な経年変化は認められなかった。

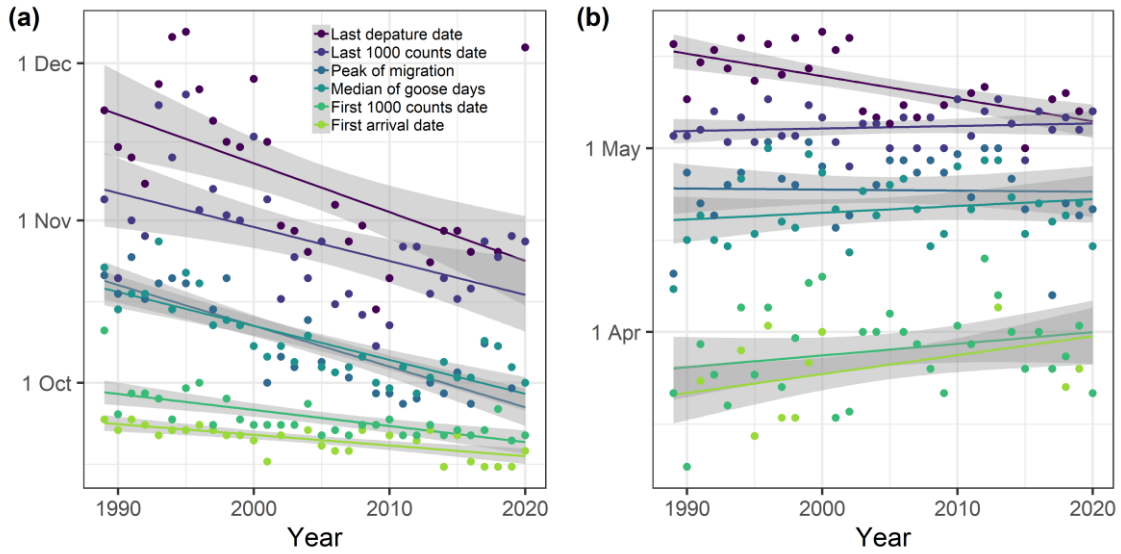


図 4-3. 宮島沼における、秋 (a) と春 (b) のマガンの渡り動向。初認日 (First arrival date: FAD)、1000 個体以上が最初に確認された日 (First 1000 counts date)、のべ確認個体数 (Goose days) の中央値が確認された日 (Median of goose days)、渡りのピーク (Peak of migration)、1000 個体以上が最後に確認された日 (Last 1000 counts date)、終認日 (Last departure date: LDD) の経年変化。

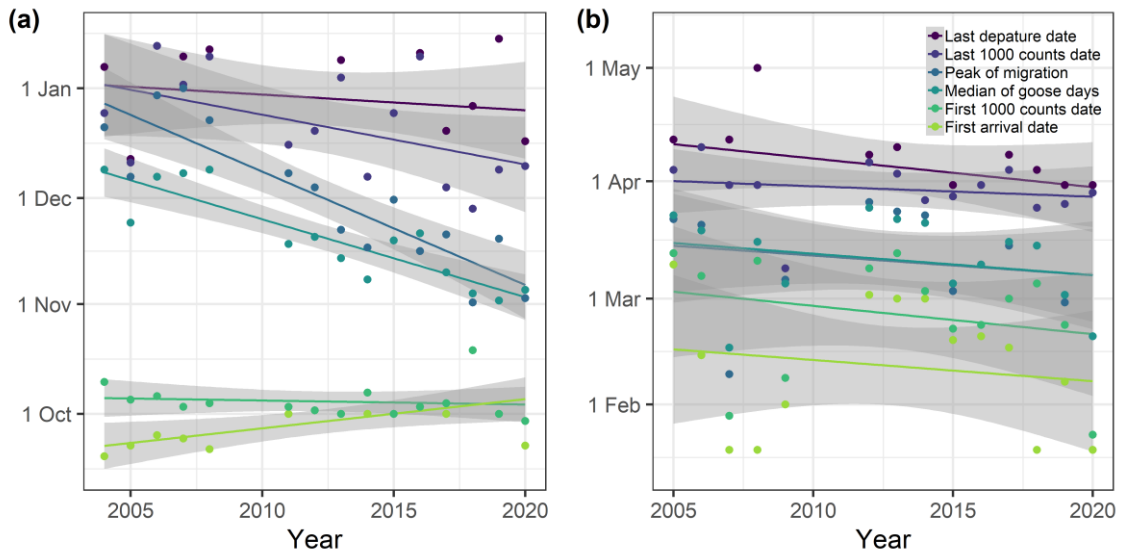


図 4-4. 小友沼における、秋 (a) と春 (b) のマガンの渡り動向。初認日 (First arrival date: FAD)、1000 個体以上が最初に確認された日 (First 1000 counts date)、のべ確認個体数 (Goose days) の中央値が確認された日 (Median of goose days)、渡りのピーク (Peak of migration)、1000 個体以上が最後に確認された日 (Last 1000 counts date)、終認日 (Last departure date: LDD) の経年変化。

(3) 積雪量との関係

マガンの渡り時期には特に積雪量が影響するとされるため、宮島沼および小友沼におけるマガンの飛来時期と積雪量の関係について分析した。気象庁の過去の気象データより、宮島沼、小友沼それぞれに近い美唄および能代における日最深積雪を用いて、積雪量とマガンの個体数の関係を図 4-3 に示した。

宮島沼では、特に近年、積雪量とは関係なく秋の個体数が減少、つまり積雪する前に宮島沼を渡去していた。一方で春には、積雪量が減少し、一部積雪が残るかほとんどみられなくなる頃から個体数が増加し、1ヶ月間ほど滞在していた。

小友沼では、秋・春ともに積雪量の増減と個体数の増減は関係が認められ、12月頃積雪量が増加すると個体数が減少して小友沼からは渡去していた。その後2月前後に積雪量が0になる頃から、個体数が増加し、半月～1ヶ月間ほど小友沼に滞在していた。これらのことから、今後気候変動に伴い、降雪量や積雪時期が変化することにより、小友沼におけるマガンの飛来時期や滞在期間は変化すると予想される。宮島沼においても、春の飛来時期は積雪量の影響を大きく受けていると考えられ、今後積雪量が減少したり、雪融けが早期化したりすることで、マガンの飛来時期も早期化する可能性が考えられる。

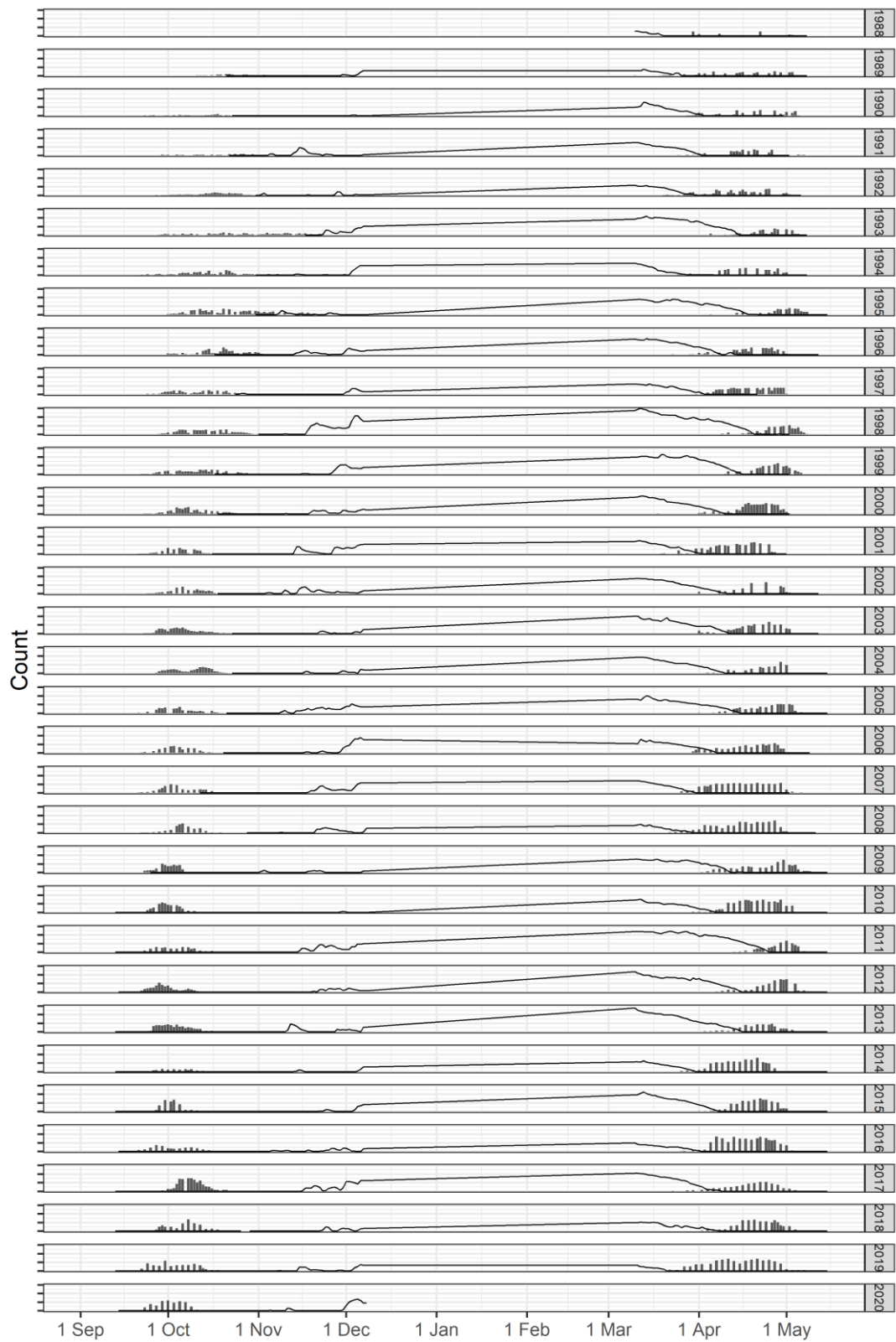


図 4-5. 1998 年から 2020 年における宮島沼の日々のマガンの個体数（黒い棒グラフ）、及び積雪量の季節変化（折れ線グラフ）。

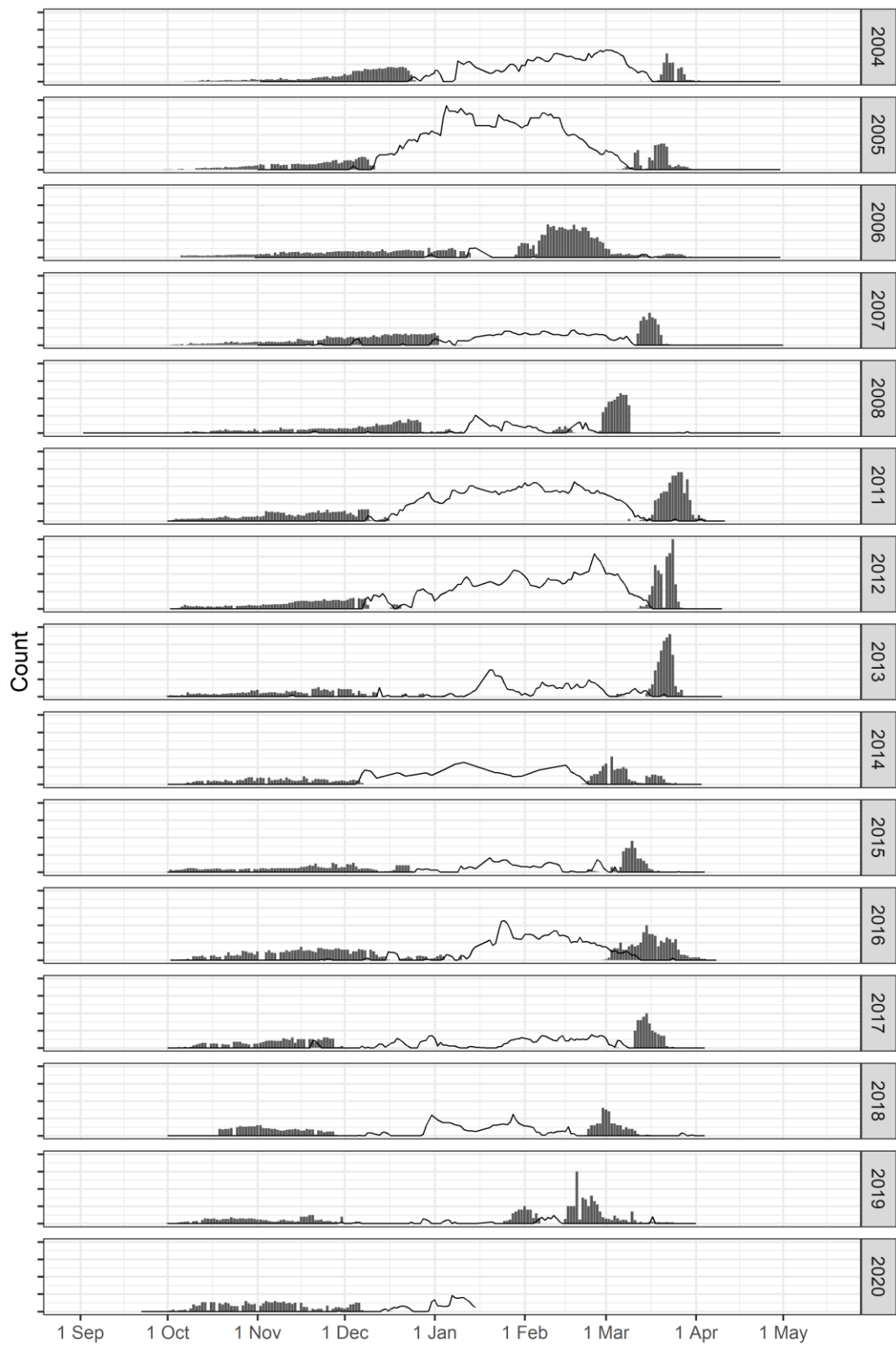


図 4-6. 2004 年から 2020 年における小友沼の日々のマガンの個体数（黒い棒グラフ）、及び積雪量の季節変化（折れ線グラフ）。

4. 2 シギ・チドリ類の飛来状況

谷津干潟は、東京湾の湾奥部、千葉県習志野市に位置している。以前は広大な干潟の一部であったが、周囲の干潟が埋め立てられ、現在は約40haの干潟が残されている。周辺には住宅地、商用地、港湾施設などが広がっている。谷津干潟は2本の人工的な水路で東京湾とつながっており、水路を通じて海水が出入りしている。

2000年以降現在まで、谷津干潟自然観察センターの閉館日を除いた週6日間、確認された鳥類種（一部個体数の情報も含まれる）が記録されている。

鳥相調査記録表 ~水鳥編~ 2000年 4月

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
カイツブリ																														
カウ																														
ゴイサギ																														
アマサギ																														
ダイサギ																														
チユウサギ																														
コサギ																														
アオサギ																														
マガモ																														
カルガモ																														
コガモ																														
オカヨシガモ																														
ヒドリガモ																														
オナガガモ																														
ハシビロガモ																														
ホシハジロ																														
キンクロハジロ																														
スズガモ																														
バン																														
チドリ目																														
ハジロチドリ																														
チドリ																														
シロチドリ																														
メボロチドリ																														
ムササビ																														
ダイゼン																														
タグリ																														
シギ目																														
キョウジョシギ																														
ニトウネン																														
トウネン																														
ハマシギ																														
サルハマシギ																														
オオハマシギ																														
オオシギ																														
ミユビシギ																														
エリマキシギ																														
オオハシシギ																														
アカアシシギ																														
コアカアシシギ																														
アサアシシギ																														
キアシシギ																														
イソシギ																														
リリハシシギ																														
オオソリハシシギ																														
ダイショウシギ																														
ホウロウシギ																														
チョウシャクシギ																														
カシギ																														
セイタカシギ																														
カモ目																														
コリカモ																														
セグロカモ																														
ウミズコ																														
ズグロカモ																														
アササギ																														
コアシサシ																														
カモ																														
キリ																														
ハジロチドリ																														

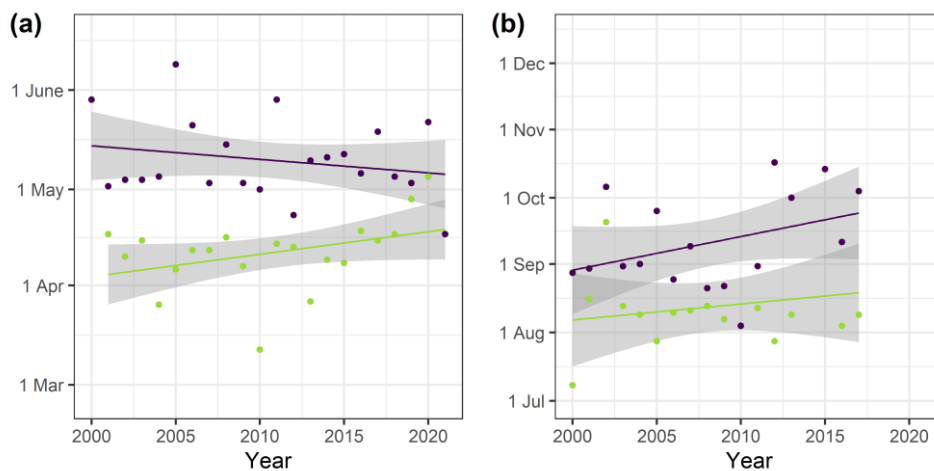
図4-7. 谷津干潟で記録されているモニタリングデータの一部。閉館日を除く毎日、確認された種とその一部は個体数が記録されている。赤丸は初認日を示す。

記録されている日々の鳥類データより、シギ・チドリ類に着目し、春と秋の渡り時期における初認日と終認日を抽出し、回帰分析を用いてその経年変化を分析した。対象とした種は、確認日数の多い 10 種（ムナグロ、コチドリ、メダイチドリ、タシギ、オオソリハシシギ、アオアシシギ、キアシシギ、トウネン、ハマシギ）とした。回帰分析を用いて、初認日と終認日の経年変化を分析した結果を表 4-1 に示した。また、各種ごとの初認日及び終認日の経年変化を図 4-8 に示した。種によって、経年変化が見られた種と見られなかった種が存在していたが、多くの種で春・秋ともに初認日は遅く、終認日は早くなる傾向にあり、それに伴って滞在期間も短くなっていた。特に、春の終認日は複数の種で早期化しており、秋の初認日は複数の種で遅くなっていた。

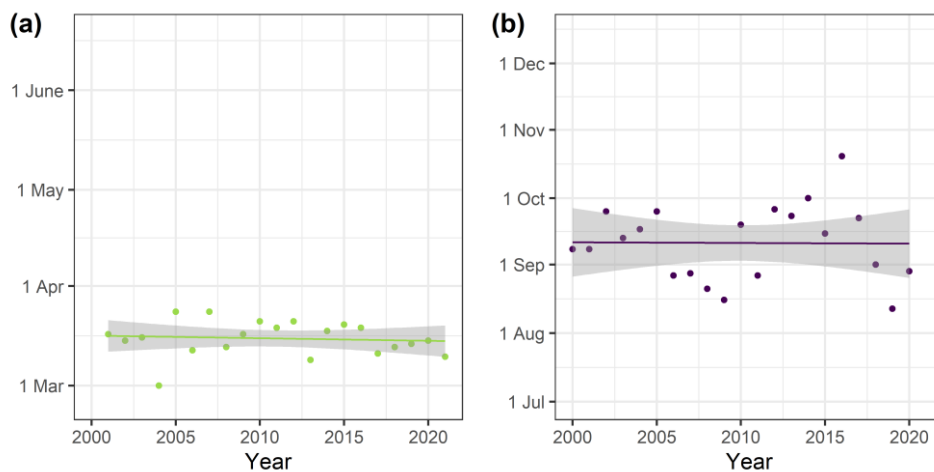
表 4-1. 谷津干潟における、シギ・チドリ類の春、秋の渡り時期の初認日・終認日の経年変化を、回帰分析を用いて分析した結果。太字は、回帰分析の結果、初認日もしくは終認日が有意に($p<0.05$)変化していたことを示す。正の値は、初認日もしくは終認日が遅くなっていることを、負の値は初認日もしくは終認日が遅くなっていることを示す。

和名	学名	春 Spring		秋 Fall	
		初認日 (FAD)	終認日 (LDD)	初認日 (FAD)	終認日 (LDD)
ムナグロ	<i>Pluvialis fulva</i>	0.70	-0.42	0.72	1.52
コチドリ	<i>Charadrius dubius</i>	-0.08	-	-	-0.03
メダイチドリ	<i>Charadrius mongolus</i>	0.03	0.00	0.07	0.23
タシギ	<i>Gallinago gallinago</i>	-	-3.71	0.87	-
オオソリハシシギ	<i>Limosa lapponica</i>	0.54	-1.13	1.32	-0.56
アオアシシギ	<i>Tringa nebularia</i>	-0.23	-1.11	1.54	-2.01
キアシシギ	<i>Tringa brevipes</i>	-0.08	-0.42	-0.04	0.35
ソリハシシギ	<i>Xenus cinereus</i>	0.38	-0.61	0.92	-1.14
トウネン	<i>Calidris ruficollis</i>	0.51	-0.07	0.47	-1.59
ハマシギ	<i>Calidris alpina</i>	-	-0.34	1.69	-

ムナグロ *Pluvialis fulva*



コチドリ *Charadrius dubius*



メダイチドリ *Charadrius mongolus*

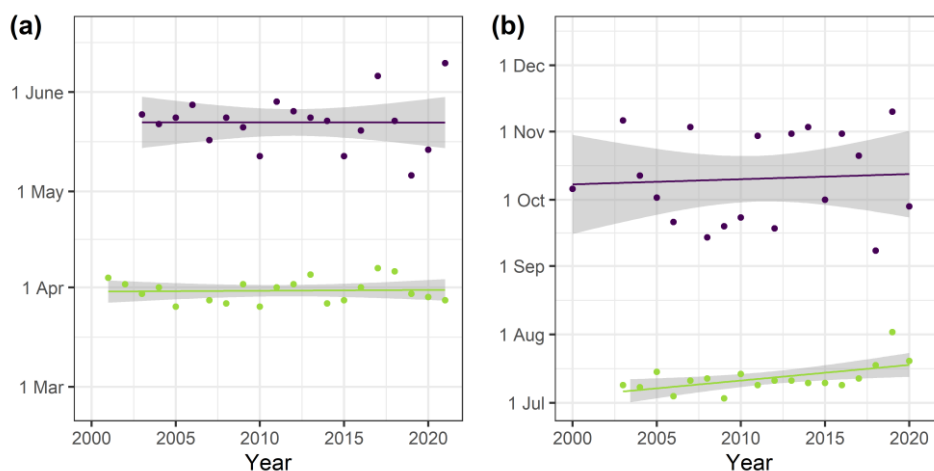
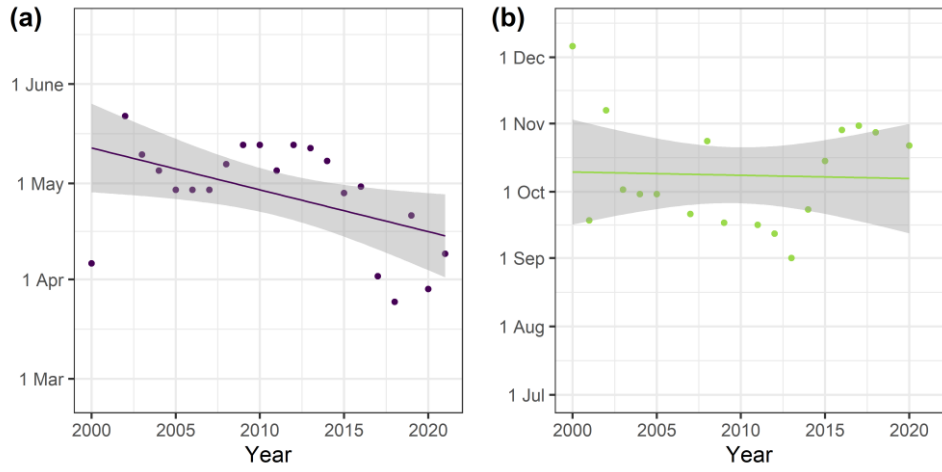
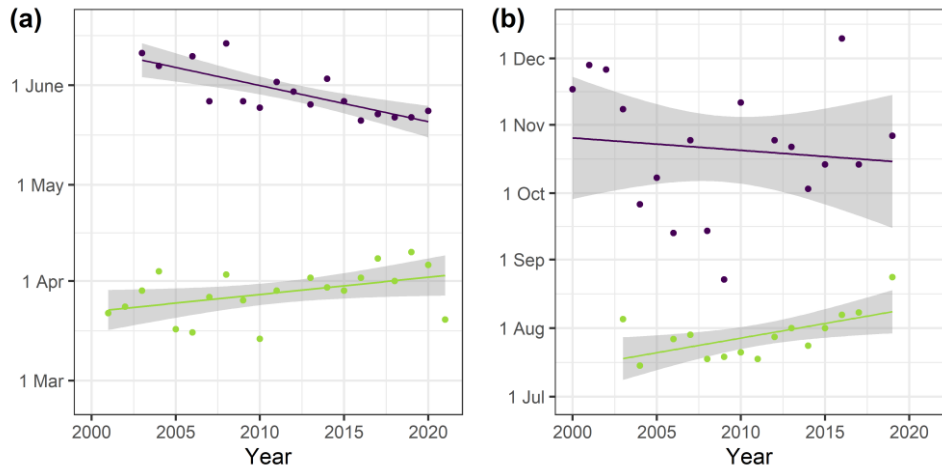


図 4-8. 谷津干潟におけるシギ・チドリ類の渡り動向の経年変化。(a)は春の渡りを、(b)は秋の渡りを示す。(その1)

タシギ *Gallinago gallinago*



オオソリハシシギ *Limosa lapponica*



アオアシシギ *Tringa nebularia*

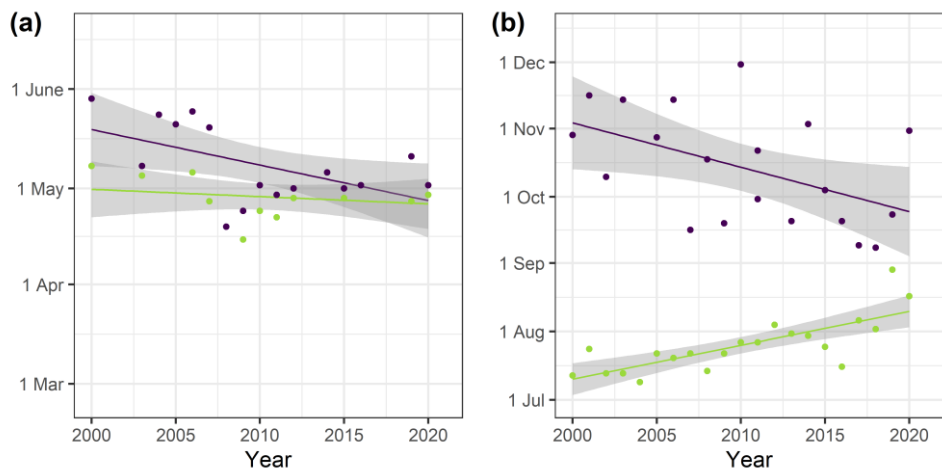
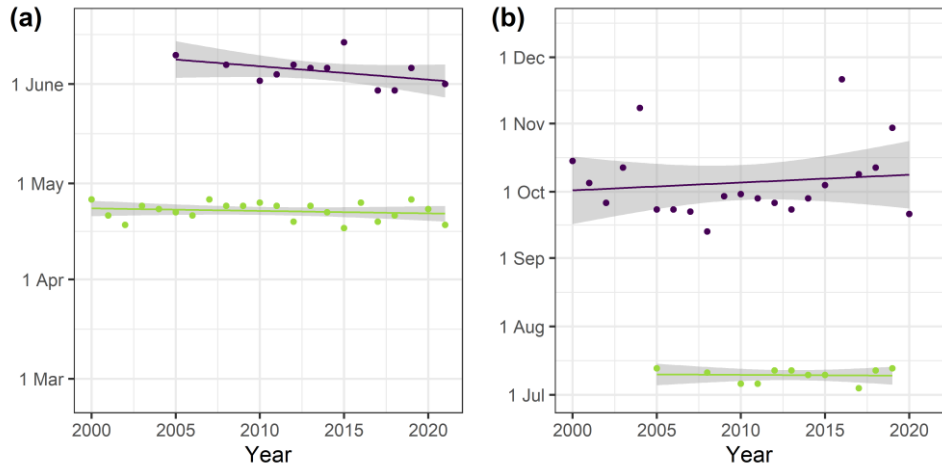
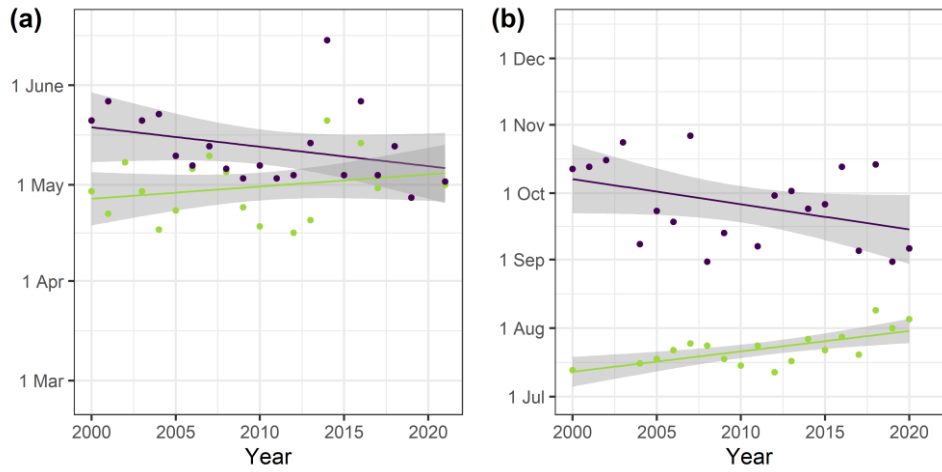


図 4-8. 谷津干潟におけるシギ・チドリ類の渡り動向の経年変化。(a)は春の渡りを、(b)は秋の渡りを示す。(その2)

キアシシギ *Tringa brevipes*



ソリハシシギ *Xenus cinereus*



トウネン *Calidris ruficollis*

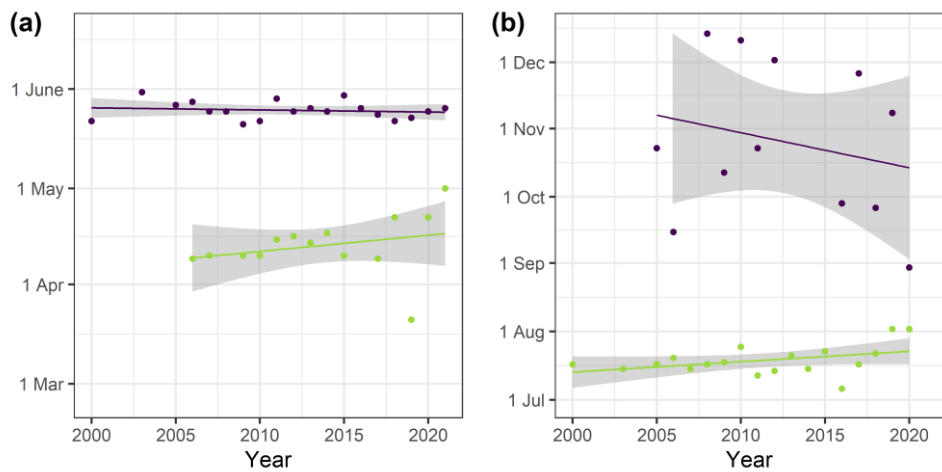


図 4-8. 谷津干潟におけるシギ・チドリ類の渡り動向の経年変化。(a)は春の渡りを、(b)は秋の渡りを示す。(その3)

ハマシギ *Calidris alpina*

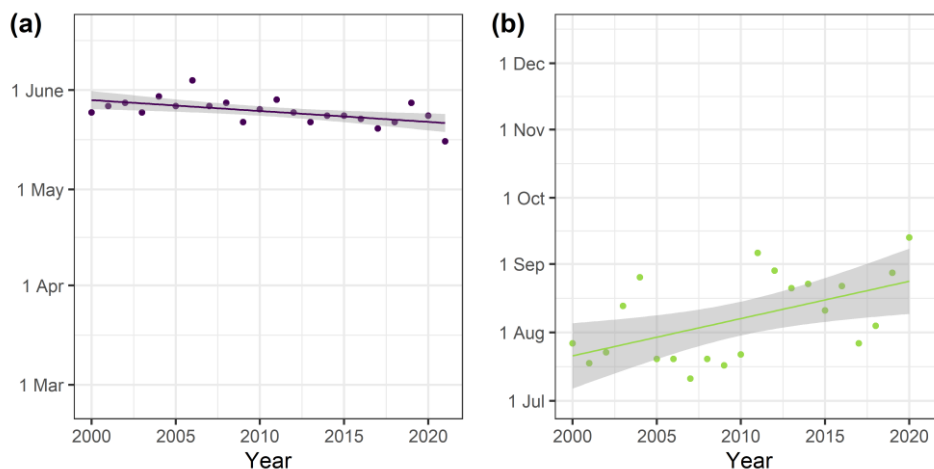


図 4-8. 谷津干潟におけるシギ・チドリ類の渡り動向の経年変化。(a)は春の渡りを、(b)は秋の渡りを示す。(その4)

谷津干潟におけるシギ・チドリ類の初認日および終認日の解析の結果、種によって経年変化が見られた種と見られなかった種が存在していたが、多くの種で春・秋ともに初認日は遅く、終認日は早くなる傾向にあった。特に、春の終認日は複数の種で早期化の傾向がみられ、また、秋の初認日は複数の種で遅くなっており、既存の谷津干潟での 1997～2007 年の研究結果（鈴木ほか 2012）と同様の傾向が認められた。このような傾向が見られたこの原因の一つとして、地球温暖化により、繁殖可能な期間が長くなったことから、より早い時期に繁殖地に北上し、繁殖地から中継地や越冬地への南下が遅くなっていることが考えられる。

一方で、初認日や終認日は、各種の個体数の影響を受けているとされ（Tryjanowski & Sparks 2001）、個体数が減少すると、渡り時期は変化していなくても初認日は遅く、終認日は早くなることが知られている（Miller-Rushing et al. 2008）。渡り時期の経年変化を分析する際には、渡りのピークや中央値など複数の指標を用いることがよいとされる（Miles et al. 2017）。谷津干潟では、ハマシギをはじめ多くのシギ・チドリ類において谷津干潟で記録される個体数が減少し、年間の確認日数も減少している傾向にあった。個体数に基づいて、初認日や終認日以外の渡りの指標を算出したり、個体数指標と初認日や終認日などの渡り指標との関係を分析したりすることも必要である。

4. 3 先行的な解析のまとめ

4. 1 では、マガンの個体数データを用いて、渡り時期の経年変化や渡り時期と積雪との関係について分析した。個体数データがあることで、渡りの初認日や終認日だけでなく、渡りのピーク（最大個体数が計測された日）や、同一シーズン中ののべ確認個体数の中央値が確認された日、1000 個体以上が初めて確認された日と最後に確認された日などの複数の渡り時期の指標を算出することができ、より頑健で詳細な分析を行うことが可能になる。

一方で、個体数の計測には労力や一定以上の技術が必要とされるため、在不在の記録の方法では、より手軽に調査を行うことが可能である。4. 2では、シギ・チドリ類の在不在データをを用いて、初認日と終認日を算出し、その経年変化を分析した。初認日、終認日は定期的に生息地の観察を行うことが必要にはなるが、容易に調査を行うことができる項目であり、実際に多くのネットワーク参加地でも初認日や終認日が記録されていた（詳細は、表 3-2 を参照）。2. 1 で示した事例 1 や事例 2 のように、初認日や終認日の経年変化を分析した事例も存在する。単一のサイトにおける初認日や終認日だけでは、データ量もそれほど多くなく、十分な分析も難しいが、複数サイトの情報を統合することで、より詳細な分析も可能になると考えられる。

また、日々の在不在データを用いて、鳥類の個体数変化や鳥類の群集構造の変化を明らかにした事例も存在する。例えば、Tamada et al. 2017 では、日々の鳥類の在不在データを用いて、アカモズやシマアオジの記録率が急激に減少していることを示している。また、五十嵐ほか 2015 では同様のデータを用いて福島市小鳥の森における原発事故前後 10 年間の鳥類相の変遷を分析している。個体数データがあるとより詳細な分析が可能になるものの、在不在データでも長期間のデータを蓄積することで渡り時期の変化や個体数の変化などの分析が可能になる。各地でのモニタリングを継続していくとともに、既存のデータ分析を進めることが重要である。

また、今回の解析では、マガンについては宮島沼と小友沼の 2 箇所、シギ・チドリ類については谷津干潟の 1 箇所のみデータの分析であった。その他のネットワーク参加地でも同様のモニタリングデータを取得しているサイトも存在するため、それらのデータを統合し、分析を進めることで、国全体での評価や、国外のサイトも含めたフライウェイ全体での分析が可能になる。今後はそのような分析も進めることが期待される。

気候変動は、気温上昇に伴う繁殖時期の早期化 (Liebezeit et al. 2014 ; Weiser et al. 2018 など)、餌資源の発生時期と繁殖時期のミスマッチ (Lameris et al. 2018 ; Saalfeld et al. 2019 ; Wilde et al. 2022 など)、気温上昇に伴う植生の変化や洪水の増加による繁殖適地や分布域の減少 (Haverkamp et al. 2022 ; Zhu et al. 2022 など)、捕食者の増加による捕食率の増加 (Kubelka et al. 2018 ; Layton-Matthews et al. 2020 など) などの様々なプロセスを通じて、多様かつ複合的な影響を渡り性水鳥に及ぼすことが報告されている。今回の先行的な解析で明らかになったマガンやシギ・チドリ類の渡り時期の変化が、それぞれの種の繁殖成功や生存率、個体群に及ぼす影響については、繁殖地での繁殖状況の評価や生存率の分析なども含め、さらなる研究が必要となる。

5. モニタリング結果の活用

2020 年度に実施した各ネットワーク参加地へのアンケートの結果にもとづき、モニタリング結果の活用方法について検討した。主な活用方法として、(1) 科学論文としての公表、(2) サイトの管理・保全のための基礎情報、(3) サイト間での情報共有、(4) 普及啓発の4つに分けて、以下に整理した。

(1) 科学論文としての公表

各ネットワーク参加地におけるモニタリングの結果が科学論文にまとめられ、公表されている。学術論文として公表されなくとも、大学等へデータが提供され、卒業研究等に活かされている事例もあった。科学論文の中でも特に気候変動に関わる研究は、「2. 1 気候変動が生態系、特に水鳥に及ぼす影響」に整理したが、気候変動と直接関係しない研究内容も多数存在している。そのうち一部の事例を以下に記載した。

- Shimada, T. (2009). Current status and distribution of Greater White-fronted Goose in Japan. *Ornithological Science*, 8(2), 163–167.
- 鈴木弘之, & 芝原達也. (2003). 谷津干潟および周辺地域におけるシギドリ類群集構造の変化. *Strix*, 21, 35–52.
- Tamada et al. (2017) Drastic declines in Brown Shrike and Yellow-breasted Bunting at the Lake Utonai Bird Sanctuary, Hokkaido. *Ornithological Science* 16: 51–57.

(2) サイトの管理・保全のための基礎情報

各ネットワーク参加地におけるモニタリングの結果は、サイトの管理・保全のための基礎的な情報として活用されていた。具体的には、湿地の自然再生事業や渡り鳥の保全など、保全管理や施策を検討する際の基礎データや根拠として活用されていた。特に長期的にモニタリングが実施されているサイトでは、種ごとの個体数変化の傾向が明らかになっており、多くのサイトでマガンやシジュウカラガンの個体数の増加などが確認されている。ガンカモ類の飛来数と積雪量との関係や、狩猟圧との関係についても、モニタリングデータの分析により明らかになったサイトもある。さらには、地方公共団体が策定する環境基本計画において、環境保全型農業等の実施のための基礎データとして活用された事例があった。鳥類だけでなく、干潟の底生生物のモニタリングや環境調査をあわせて行うことで、干潟の環境変化や、それに伴う底生生物および鳥類相の変化を分析し、それらの結果にもとづいて、湿地の順応的管理を実施しているサイトも存在した。

また、バードウォッチャーの観察圧や、工事などの人為的な攪乱への対応の検討、国定公園やネットワーク参加地、ラムサール条約湿地、国指定鳥獣保護区などの指定や更新の際の基礎資料、環境審議会・委員会など各種会議における提言などにも活用されていた。さらには、ガン類の飛来数の減少の要因の一つとして、釣り人や野鳥観察者による沿岸への接近が

考えられたため、注意喚起の看板を設置しねぐら入りやねぐら立ちの時間帯は沿岸に近づかないよう周知したり、渡り鳥の飛来時期に配慮して干潟への立ち入りを制限したり、工事の時期を検討しているサイトもあった。

(3) サイト間での情報共有

各種メーリングリストで、鳥類の飛来状況や初認日、多地域での調査結果について情報共有がなされており、サイト間での情報共有に活用されている。その他にも、地域住民、周辺の地方公共団体、自然体験施設、環境省などとの情報交換も行われていた。

(4) 普及啓発

各ネットワーク参加地においては、関連施設での展示等による来館者への情報提供、ウェブサイト、SNS や通信誌等での情報発信、マスコミへの情報提供などに活用されていた。その他には、観察会、交流会、研修会、シンポジウムなどのイベント開催、地元の学校や企業の CSR 活動としての活用、初認日や飛来数に関するクイズの実施など、環境教育・普及啓発への活用もあげられた。特に初認日や飛来数に関するクイズは複数のサイトで実施されており、当選者には景品が贈呈されるケースもあった。ボランティア・案内ガイド向けの研修や若い世代の調査体験の場として、さらには市民団体による調査対象地として活用されているという回答もあった。

6. 課題と今後に向けて

6. 1 課題と必要な取組

各ネットワーク参加地とも共通して、人材不足、調査員の高齢化、財源の確保を課題としてあげたほか、調査データは取得しているものの、データ入力や分析が進んでいないことも指摘された。調査を実施するためには一定の知識や技術が必要だが、調査を担うことのできる人材を育成し、確保することは容易ではなく、一人もしくは複数人の調査員が調査の全工程を担っているサイトも少なくなかった。現状のままでは、数年後には調査を継続できなくなる可能性があるという意見もあった。これらを踏まえ、ネットワーク参加地間で課題を共有し、議論を深めることが改善に繋がると考えられる。ネットワーク参加地におけるモニタリングについて、今後必要な取組として以下の5点を整理した。

➤ 研究者等と連携したデータ分析

各地においてモニタリングが実施されているものの、取得されたデータの分析は十分に進んでいない。各地で解析を実施できるよう解析手法や実例等を収集・整理したり、大学や研究機関の研究者と連携して解析を進めたりすることなどが解決策として考えられる。そのためには、各地におけるモニタリングの実施状況についてウェブサイトに掲載し、また、調査結果について論文等の形で公表することにより、データの存在や活用の可能性について、研究者に広く周知することが必要である。

➤ 死蔵データの収集やデータベース化

本資料の作成に当たって取得されたデータ以外にも、日本野鳥の会支部などの団体や個人により多くの調査・観察の記録が蓄積されていると考えられる。これらのデータには紙媒体のものも少なくなく、分析をさらに進めるには、eBird等のデータベースも活用し、「死蔵データ」の収集やデータベース化を進め、分析できる状態にしておくことが必要である。

➤ ネットワーク参加地間における情報共有

本検討会で整理したモニタリングの実施状況や先行的な解析の成果を、ネットワーク参加地等に共有することで、今後のモニタリングの実施を促し、データの収集、解析や活用につなげていくことが期待される。一方で、各ネットワーク参加地で確認されている自然環境や鳥類相の変化などについて、共有する場が少ないため、メーリングリストやホームページ、アンケート、それ以外の方法でも情報共有を行うことを検討し、より緊密に連携を図ることが重要である。

➤ わかりやすい普及啓発資料の作成

一般の人に鳥類モニタリングの意義や重要性について認識してもらうためには、これまでのモニタリングの成果を普及啓発資料としてまとめることが必要だと考えられる。作成

に当たっては、デザイナー等と協力し、より魅力的でわかりやすい資料の作成に努めることが重要である。

➤ モニタリングに関する能力向上や体制強化

アンケート結果やこれまでの検討において、各地でモニタリングに携わる人材不足や高齢化が課題としてあげられたほか、モニタリングを実施する際の指針になり得る資料が存在していないという意見があった。先行的な解析の結果を踏まえてモニタリングの指針となる資料を作成することにより、各地でモニタリングを実施する際の参考になると考えられる。また、例えばモニタリング研修講座を開催するなどし、体制の強化や人材育成を図るとともに、若い世代（ユース）の参画を積極的に進めていくことが効果的である。

6. 2 今後の研究について

特に気候変動の影響を分析・評価する際に有効なモニタリングを実施し、渡り性水鳥の保全に活用していくための課題と、今後重要と考えられる調査研究について、ガンカモ類、ツル類、シギ・チドリ類の種群ごとに整理した。

(1) ガンカモ類

ガン類については、個体数に関するモニタリング調査が各地で実施され、マガンやシジュウカラガンなどは近年個体数が増加傾向にあることが明らかになってきている（牛山ほか 2014；Shimada et al. 2019 など）。越冬分布や渡り時期については、気温や積雪の影響を受けることがわかってきているため（Shimada et al. 2005；嶋田 2010；Xu & Si 2019；Li et al. 2020）、気候変動の影響を受けて、これらが増加する可能性が考えられる。既存のモニタリングデータを用いて、越冬期の分布や渡り時期の経年変化を分析し、気候変動の影響について詳細に分析を進めることで、新たな知見を得ることができると考えられる。また、現在、越冬地は宮城県北部の伊豆沼や蕪栗沼などいくつかの湖沼に集中しており、鳥インフルエンザ蔓延や農業被害などのリスクも高いと考えられる。越冬地の分散化を図るためにも、モニタリングデータを活用して潜在的な越冬地の抽出を行い、分散化の可能性についても検討を進める必要がある。

カモ類については、日本国内もしくは地域ごとの個体数変化が明らかになっているものの（笠原・神山 2011；Shimada et al. 2016）、それらに影響する生態学的な要因や地理的な要因の分析はほとんど行われていない。カモ類の分布や個体数も、繁殖地や越冬地の環境変化、餌付けの状況、気候変動による気温や積雪状況の変化などの影響を受けていると予想され、それらの要因と個体群動態の関係を詳細に分析することが重要であると指摘されている（笠原・神山 2011）。

ハクチョウ類については、1970年代以降日本国内の越冬地においてコハクチョウの個体数が増加しており、繁殖地や越冬地における気温上昇との関係が指摘されている（樋口ほか

2009)。繁殖地、中継地、越冬地において気候変動による異なる影響を受けることが予想され、それらの影響について、成鳥幼鳥比率も含めた個体数データを用いながら詳細に分析を進める必要がある。青森県の小学校では1956年から2010年までハクチョウ類の個体数データを取得しており、これが公表されている（Ogata et al. 2021）。このようなデータも長期的な個体群動態を分析する上では、重要なデータになりうると考えられるため、データペーパー等による公表がなされることが望ましい。

（2）ツル類

ツル類については、出水では1963年以降、長期的なモニタリングが実施されており、個体数は増加傾向にあるものの、詳細な分析は十分に実施されていない。韓国など海外の中継地・越冬地との関係性も考慮しながら、個体数の変化や渡り時期の変化、気象条件との関係性に関する詳細な分析を進める必要があると考えられる。特に気候変動の影響により、越冬地の北上や、飛来時期の変化などがおこる可能性が考えられるため、関連した調査研究も必要となる。また、今年度、特に出水においてツル類の鳥インフルエンザ感染個体が多数確認されており、越冬地が集中化することによる鳥インフルエンザ蔓延のリスクなどの観点から、越冬地の分散化を進める必要がある（正富 2001、原口ほか 2016）。中国・四国地方では継続的にマナヅルやナベヅルが確認される場所もあり、これらの場所では環境省によるモニタリング調査が実施されている。これらのデータを用いて潜在的な越冬分布を予測することが、新たな越冬地の創出には有効であると考えられる。

北海道に生息するタンチョウについては、繁殖場所に関する調査や研究が実施されているほか（正富ほか 2020）、越冬期の生息調査が行われている。タンチョウも出水と同様、越冬期には給餌が行われている釧路地域周辺に集中して分布しており、鳥インフルエンザを含めた感染症のリスクや農業被害などが課題になっている（正富・正富 2009；正富・正富 2018）。これまで実施されているモニタリングデータなどに基づいて、潜在的な越冬地の評価などを行うことが重要だと考えられる（正富 2018）。

（3）シギ・チドリ類

国内外で、シギ・チドリ類は多くの種で個体数が減少傾向にあり（天野 2006；Amano et al. 2010；Clemens et al. 2016）、その保全を進めることが急務である。黄海への依存度の高い種（Amano et al. 2010；Studds et al. 2017）、淡水性の種や田んぼへの依存度が高い種（天野 2006；Amano et al. 2010）が特に減少傾向にあることや、渡り戦略の違いが個体群動態に影響を及ぼしている可能性が指摘されている（Lisovski et al. 2021）。一方で、シギ・チドリ類はガン類やツル類とは異なり、種数も多く、全国各地に飛来している。サイトごとにそれぞれの種の個体数変動の傾向が異なっているものの、日本国内では地域ごとの個体数変動に関する傾向やどのような種が減少傾向にあるか、十分には明らかになっていない。地域ごとにそれぞれの湿地環境の特性も異なり、これまでの攪乱の歴史も異なるため、それらに対す

るシギ・チドリ類の応答も異なるものになっている可能性がある。さらには、日本に冬期に飛来するハマシギのように、複数の亜種が国内の複数の地域に飛来している可能性がある種も存在する。そのため、全国的な分析に加えて、個体群動態に関する分析を地域ごとに行い、定量的に評価を行うとともに、繁殖地、渡り戦略やルート、越冬地、食性、体サイズなどの種ごとの生態学的特性と長期的な個体数変動との関係について、詳細な分析を進めることが重要である。

また、気候変動による影響に関する研究事例は、2. 1で示した渡り時期に関する研究事例を除いて、日本国内ではほとんど行われていない。このため、気候変動がシギ・チドリ類の飛来時期などの渡りに及ぼす影響について分析を進めることも重要であると考えられる。

7. 引用文献

- 天野一葉. (2006). 干潟を利用する渡り鳥の現状. *地球環境*, 11(2), 215–226.
- Amano T, Székely T, Koyama K, Amano H, Sutherland WJ. (2010). A framework for monitoring the status of populations: An example from wader populations in the East Asian-Australasian flyway. *Biological Conservation*, 143(9), 2238–2247.
- Amano T, Székely T, Wauchope HS, Sandel B, Nagy S, Mundkur T, Langendoen T, Blanco D, Michel NL, Sutherland WJ. (2020). Responses of global waterbird populations to climate change vary with latitude. *Nature Climate Change*, 10(10), 959–964.
- Amano T, Yamaura Y. (2007). Ecological and life-history traits related to range contractions among breeding birds in Japan. *Biological Conservation*, 137(2), 271–282.
- Ao P, Wang X, Solovyeva DV, Meng F, Ikeuchi T, Shimada T, Park J, Gao D, Liu G, Hu B, Natsagdorj T, Zheng B, Vartanyan S, Davaasuren B, Zhang J, Cao L, Fox AD. (2020). Rapid decline of the geographically restricted and globally threatened Eastern Palearctic Lesser White-fronted Goose *Anser erythropus*. *Wildfowl, Special Issue 6*, 206–243.
- Balian EV, Segers H, Lévêque C, Martens K. (2008). The freshwater animal diversity assessment: An overview of the results. *Hydrobiologia*, 595(1), 627–637.
- Beaumont LJ, McAllan IA, Hughes L. (2006). A matter of timing: Changes in the first date of arrival and last date of departure of Australian migratory birds. *Global Change Biology*, 12(7), 1339–1354.
- Both C, Visser ME. (2001). Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature*, 411(6835), 296–298.
- Boyd C, DeMaster DP, Waples RS, Ward EJ, Taylor BL. (2017). Consistent Extinction Risk Assessment under the U.S. Endangered Species Act. *Conservation Letters*, 10(3), 328–336.
- Butler CJ. (2003). The disproportionate effect of global warming on the arrival dates of short-distance migratory birds in North America. *The Ibis*, 145(3), 484–495.
- Choi CY, Nam HY, Kim HK, Park SY, Park JG. (2020). Changes in Emberiza bunting communities and populations spanning 100 years in Korea. *PloS One*, 15(5), e0233121.
- Clemens RS, Rogers DI, Hansen BD, Gosbell K, Minton CD, Straw P, Bamford M, Woehler EJ, Milton DA, Weston MA, Venables B, Weller D, Hassell C, Rutherford B, Onton K, Herrod A, Studds CE, Choi CY, Dhanjal-Adams KL, Murray NJ, Sillileter GA, Fuller RA. (2016). Continental-scale decreases in shorebird populations in Australia. *Emu*, 116(2), 119–135.
- Collen B, Loh J, Whitmee S, McRae L, Amin R, Baillie JE. (2009). Monitoring change in vertebrate abundance: the Living Planet Index. *Conservation Biology*, 23(2), 317–327.
- Crick HQ, Dudley C, Glue DE, Thomson DL. (1997). UK birds are laying eggs earlier. *Nature*, 388(6642), 526.
- Cunningham, S. A., Zhao, Q., & Weegman, M. D. (2021). Increased rice flooding during winter

- explains the recent increase in the Pacific Flyway White-fronted Goose *Anser albifrons frontalis* population in North America. *The Ibis*, 163(1), 231–246.
- Danner, R. M., Greenberg, R. S., Danner, J. E., Kirkpatrick, L. T., & Walters, J. R. (2013). Experimental support for food limitation of a short-distance migratory bird wintering in the temperate zone. *Ecology*, 94(12), 2803–2816.
- Davidson NC. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934–941.
- 出口智広, 吉安京子, 尾崎清明. (2012). 標識調査情報に基づいた 2000 年代と 1960 年代のツバメの渡り時期と繁殖状況の比較. *日本鳥学会誌*, 61(2), 273–282.
- 出口智広, 吉安京子, 尾崎清明, 佐藤文男, 茂田良光, 米田重玄, 仲村昇., 富田直樹, 千田万里子, 広居忠量. (2015). 日本に飛来する夏鳥の渡りおよび繁殖時期の長期変化. *日本鳥学会誌*, 64(1), 39–51.
- Dorzheva A, Nakata M, Takano K, Fujihiko Y, Ito Y, Akahara K, Tachikawa K, Ichimura Y, Furukawa Y, Sato H, Fujisawa M, Okamoto M, Shimizu T. (2020). Bird-banding records reveal changes in avian spring and autumn migration timing in a coastal forest near Niigata. *Ornithological Science*, 19(1), 41–53.
- Edenius L, Choi CY, Heim W, Jaakkonen T, De Jong A, Ozaki K, Roberge JM. (2017). The next common and widespread bunting to go? Global population decline in the Rustic Bunting *Emberiza rustica*. *Bird Conservation International*, 27(1), 35–44.
- Green, A. J., & Elmberg, J. (2014). Ecosystem services provided by waterbirds. *Biological Reviews*, 89(1), 105–122.
- Fluet-Chouinard E, Stocker BD, Zhang Z, Malhotra A, Melton JR, Poulter B, Kaplan JO, Goldewijk KK, Siebert S, Minayeva T, Hugelius G, Joosten H, Barthelmes A, Prigent C, Aires F, Hoyt AM, Davidson N, Finlayson CM, Lehner B, Jackson RB, McIntyre PB. (2023). Extensive global wetland loss over the past three centuries. *Nature*, 614(7947), 281–286.
- Frederick, P., Gawlik, D. E., Ogden, J. C., Cook, M. I., & Lusk, M. (2009). The White Ibis and Wood Stork as indicators for restoration of the everglades ecosystem. *Ecological Indicators*, 9(6, Supplement), S83–S95.
- Gill JA, Alves JA, Sutherland WJ, Appleton GF, Potts PM, Gunnarsson TG. (2013). Why is timing of bird migration advancing when individuals are not? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1774), 20132161.
- Halupka L, Halupka K. (2017). The effect of climate change on the duration of avian breeding seasons: A meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1867), 20171710.
- 原口優子, 吉野智生, & 高瀬公三. (2016). 鹿児島県出水平野におけるツル類の死亡個体数の推移 (2003~2013) と主な解剖所見. *日本鳥学会誌*, 65(2), 153–160.

- Haverkamp PJ, Byskatova-Harmey I, Germogenov N, Schaeppman-Strub G. (2022). Increasing arctic tundra flooding threatens wildlife habitat and survival: Impacts on the critically endangered Siberian Crane (*Grus leucogeranus*). *Frontiers in Conservation Science*, 3, 799998.
- Hessen DO, Tombre IM, van Geest G, Alfsnes K. (2017). Global change and ecosystem connectivity: How geese link fields of central Europe to eutrophication of Arctic freshwaters. *Ambio*, 46(1), 40–47.
- 樋口広芳, 小池重人, 繁田真由美. (2009). 温暖化が生物季節、分布、個体数に与える影響. 地球環境, 14(2), 189–198.
- Hillebrand H, Blasius B, Borer ET, Chase JM, Downing JA, Eriksson BK, Filstrup CT, Harpole WS, Hodapp D, Larsen S, Lewandowska AM, Seabloom EW, Van de Waal DB, Ryabov AB. (2018). Biodiversity change is uncoupled from species richness trends: Consequences for conservation and monitoring. *The Journal of Applied Ecology*, 55(1), 169–184.
- 星子廉彰. (2001). 北海道宮島沼における 1975 年から 2000 年のマガンの個体数の変化. *Strix*, 19, 169–173.
- 五十嵐悟, 長渡真弓, 細井俊宏, 松井晋. (2015). 福島市小鳥の森の 2003 年から 10 年間の鳥類相の変遷と各種鳥類の生態的特徴. 日本鳥学会誌, 64(2), 147–160.
- Jessop R, Bush R, Patrick R, Atkinson R, Christie M, Marks I. (2020). Wader breeding success in the 2019 arctic summer, based on juvenile ratios of birds which spend the non-breeding season in Australia. *Stilt*, 73-74, 106–108.
- Jia Q, Koyama K, Choi CY, Kim HJ, Cao L, Gao D, Liu G, Fox AD. (2016). Population estimates and geographical distributions of swans and geese in East Asia based on counts during the non-breeding season. *Bird Conservation International*, 26(4), 397–417.
- Johnson CN, Balmford A, Brook BW, Buettel JC, Galetti M, Guangchun L, Wilmschurst JM. (2017). Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. *Science*, 356(6335), 270–275.
- Kasahara S, Koyama K. (2010). Population trends of common wintering waterfowl in Japan: Participatory monitoring data from 1996 to 2009. *Ornithological Science*, 9(1), 23–36.
- 笠原里恵, 神山和夫. (2011). 日本で越冬するカモ類の 1996 年～2009 年における個体数変化の地域的傾向. 日本鳥学会誌, 60(1), 35–51.
- 川路則友, 中田達哉. (2015). 標準化された標識調査による鳥類繁殖モニタリングの有効活用. 日本鳥類標識協会誌, 27(1), 14–22.
- 小林豊, 林英子. (1999). 日々の観察記録を用いたシギ・チドリ類の渡来時期の分析 ～東京港野鳥公園における観察記録から～. *Strix*, 17, 69–76.
- Kobori H, Kamamoto T, Nomura H, Oka K, Primack R. (2012). The effects of climate change on the phenology of winter birds in Yokohama, Japan. *Ecological Research*, 27(1), 173–180.
- 小池重人, 樋口広芳. (2006). 気候変動が同一地域の鳥類、昆虫、植物の生物季節に与える影

- 響. 地球環境, 11(1), 27–34.
- Kolářová E, Matiu M, Menzel A, Nekovář J, Lumpe P, Adamík P. (2017). Changes in spring arrival dates and temperature sensitivity of migratory birds over two centuries. *International Journal of Biometeorology*, 61(7), 1279–1289.
- Kubelka V, Šálek M, Tomkovich P, Végvári Z, Freckleton R, Székely T. (2018). Global pattern of nest predation is disrupted by climate change in shorebirds. *Science*, 683, 680–683.
- Lagassé BJ, Lanctot RB, Barter M, Brown S, Chiang CY, Choi CY, Gerasimov YN, Kendall S, Liebezeit JR, Maslovsky KS, Matsyna AI, Matsyna EL, Payer DC, Saalfeld ST, Shigeta Y, Tiunov IM, Tomkovich PS, Valchuk OP, Wunder MB. (2020). Dunlin subspecies exhibit regional segregation and high site fidelity along the East Asian-Australasian Flyway. *The Condor*, 122(4), duaa054.
- Lameris TK, van der Jeugd HP, Eichhorn G, Dokter AM, Bouten W, Boom MP, Litvin KE, Ens BJ, Nolet BA. (2018). Arctic geese tune migration to a warming climate but still suffer from a phenological mismatch. *Current Biology*, 28(15), 2467–2473.e4.
- Layton-Matthews K, Hansen BB, Grøtan V, Fuglei E, Loonen MJ. (2020). Contrasting consequences of climate change for migratory geese: Predation, density dependence and carryover effects offset benefits of high-arctic warming. *Global Change Biology*, 26(2), 642–657.
- Lehikoinen A, Lindén A, Karlsson M, Andersson A, Crewe TL, Dunn EH, Gregory G, Karlsson L, Kristiansen V, Mackenzie S, Newman S, Røer JE, Sharpe C, Sokolov LV, Steinholtz Å, Stervander M, Tirri IS, Tjørnløv RS. (2019). Phenology of the avian spring migratory passage in Europe and North America: Asymmetric advancement in time and increase in duration. *Ecological Indicators*, 101, 985–991.
- Li H, Fang L, Wang X, Yi K, Cao L, Fox AD. (2020). Does snowmelt constrain spring migration progression in sympatric wintering Arctic-nesting geese? Results from a Far East Asia telemetry study. *The Ibis*, 162(2), 548–555.
- Liebezeit JR, Gurney KE, Budde M, Zack S, Ward D. (2014). Phenological advancement in arctic bird species: relative importance of snow melt and ecological factors. *Polar Biology*, 37(9), 1309–1320.
- Lisovski S, Gosbell K, Minton C, Klaassen M. (2021). Migration strategy as an indicator of resilience to change in two shorebird species with contrasting population trajectories. *The Journal of Animal Ecology*, 90(9), 2005–2014.
- 正富宏之. (2001). 出水のツルの分散：国際協力へ向けて. ワイルドライフ・フォーラム, 7(2), 31–42.
- 正富宏之, 正富欣之. (2009). タンチョウと共存するためにこれから何をすべきか. 保全生態学研究, 14(2), 223–242.
- 正富宏之, 正富欣之. (2018). 過密化したタンチョウ個体群のリスク低減のために. ワイルド

- ライフ・フォーラム, 23(1), 14–15.
- 正富宏之, 正富欣之, 富士元寿彦, 増澤直., 小西敢., 藤村朗子. (2020). 航空機調査で明らかになった北海道北部におけるタンチョウ繁殖域の拡大. 保全生態学研究, 25(1), 87–98.
- 正富欣之. (2018). 北海道におけるタンチョウの営巣適地推定および越冬環境に関する検討. ワイルドライフ・フォーラム, 23(1), 17–18.
- Meltofte H, Amstrup O, Petersen TL, Rigét F, Tøttrup AP. (2018). Trends in breeding phenology across ten decades show varying adjustments to environmental changes in four wader species. *Bird Study*, 65(1), 44–51.
- 三上かつら, 高木憲太郎, 神山和夫, 守屋年史, 植田睦之. (2012). 渡り性水鳥類の渡来地の保護区域指定の現状. 日本鳥学会誌, 61(1), 112–123.
- Miles WT, Bolton M, Davis P, Dennis R, Broad R, Robertson I, Riddiford NJ, Harvey PV, Riddington R, Shaw DN, Parnaby D, Reid JM. (2017). Quantifying full phenological event distributions reveals simultaneous advances, temporal stability and delays in spring and autumn migration timing in long-distance migratory birds. *Global Change Biology*, 23(4), 1400–1414.
- Miller-Rushing AJ, Inouye DW, Primack RB. (2008). How well do first flowering dates measure plant responses to climate change? The effects of population size and sampling frequency. *The Journal of Ecology*, 96(6), 1289–1296.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C., USA.
- 水田拓, 尾崎清明, 澤祐介, 千田万里子, 富田直樹, 仲村昇, 森本元, 油田照秋. (2022). 日本の鳥類標識調査—その意義と今後の展望. 山階鳥類学雑誌, 54(1), 71–102.
- Morrisk ZN, Lилleyman A, Fuller RA, Bush R, Coleman JT, Garnett ST, Gerasimov YN, Jessop R, Ma Z, Maglio G, Minton CD, Syroechkovskiy E, Woodworth BK. (2021). Differential population trends align with migratory connectivity in an endangered shorebird. *Conservation Science and Practice*, 4(1), e594.
- Moussy C, Burfield IJ, Stephenson PJ, Newton AFE, Butchart SHM, Sutherland WJ, Gregory RD, McRae L, Bubb P, Roesler I, Ursino C, Wu Y, Retief EF, Udin JS, Urazaliyev R, Sánchez-Clavijo LM, Lartey E, Donald PF. (2022). A quantitative global review of species population monitoring. *Conservation Biology*, 36(1), e13721.
- 中田誠, 千野奈帆美, 千葉晃, 小松吉蔵, 伊藤泰夫, 赤原清枝, 市村靖子, 沖野森生, 佐藤弘, 太刀川勝喜, 藤澤幹子. (2011). 新潟市の海岸林における鳥類の春季渡来時期の経年変化と気温との関係. 日本鳥学会誌, 60(1), 63–72.
- 西廣淳, 辻本翔平. (2021). 陸域・陸水域生態系における気候変動影響モニタリング. 地球環境, 26(1&2), 69–78.
- Nolet BA, Schreven KH, Boom MP, Lameris TK. (2020). Contrasting effects of the onset of spring on reproductive success of Arctic-nesting geese. *The Auk*, 137(1), ukz063.

- Nourani E, Yamaguchi NM, Higuchi H. (2017). Climate change alters the optimal wind-dependent flight routes of an avian migrant. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1854), 20170149.
- Nuijten, R. J. M., Wood, K. A., Haitjema, T., Rees, E. C., & Nolet, B. A. (2020). Concurrent shifts in wintering distribution and phenology in migratory swans: Individual and generational effects. *Global Change Biology*, 26(8), 4263–4275.
- Ogata M, Mitsuya T, Tanaka Y. (2021). Data on swan arrival, departure, and population size on the Asadokoro tidal flat, Aomori Prefecture, Japan, from 1956 to 2010. *Data in Brief*, 35, 1–8.
- Orellana-Macías JM, Bautista LM, Merchán D, Causapé J, Alonso JC. (2020). Shifts in crane migration phenology associated with climate change in Southwestern Europe. *Avian Conservation and Ecology*, 15(1), 16.
- Pimm SL, Jenkins CN, Abell R, Brooks TM, Gittleman JL, Joppa LN, Raven PH, Roberts CM, Sexton JO. (2014). The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 344(6187), 1246752.
- Rehfishch MM, Austin GE, Freeman SN, Armitage MJ, Burton NH. (2004). The possible impact of climate change on the future distributions and numbers of waders on Britain's non-estuarine coast. *The Ibis*, 146(Suppl.1), 70–81.
- Saalfeld ST, Hill BL, Hunter CM, Frost CJ, Lanctot RB. (2021). Warming Arctic summers unlikely to increase productivity of shorebirds through reneesting. *Scientific Reports*, 11, 15277.
- Saalfeld ST, McEwen DC, Kesler DC, Butler MG, Cunningham JA, Doll AC, English WB, Gerik DE, Grond K, Herzog P, Hill BL, Lagassé BJ, Lanctot RB. (2019). Phenological mismatch in Arctic-breeding shorebirds: Impact of snowmelt and unpredictable weather conditions on food availability and chick growth. *Ecology and Evolution*, 9(11), 6693–6707.
- Schmaljohann H, Eikenaar C, Sapir N. (2022). Understanding the ecological and evolutionary function of stopover in migrating birds. *Biological Reviews*, 97(4), 1231–1252.
- Shimada T. (2009). Current status and distribution of Greater White-fronted Goose in Japan. *Ornithological Science*, 8(2), 163–167.
- 嶋田哲郎. (2010). 気象条件にともなうヒシクイの短期的移動. *Bird Research*, 6, S7–S11.
- Shimada T, Hatakeyama S, Miyabayashi Y, Kurechi M. (2005). Effects of climatic conditions on the northward expansion of the wintering range of the Greater White-fronted Goose in Japan. *Ornithological Science*, 4(2), 155–159.
- 嶋田哲郎, 森晃. (2019). 宮城県におけるハクチョウ類の渡りに影響する要因. 伊豆沼・内沼研究報告, 13, 37–43.
- Shimada T, Mori A, Higuchi H. (2016). Trends in the abundance of diving ducks and seaducks wintering in Japan. *Wildfowl*, 66, 176–185.
- Shimada T, Mori A, Tajiri H. (2019). Regional variation in long-term population trends for the Greater

- White-fronted Goose *Anser albifrons* in Japan. *Wildfowl*, 69, 105–117.
- Smith P, Smith J. (2012). Climate change and bird migration in south-eastern Australia. *Emu*, 112(4), 333–342.
- Smith SE, Gregory RD, Anderson BJ, Thomas CD. (2013). The past, present and potential future distributions of cold-adapted bird species. *Diversity and Distributions*, 19(3), 352–362.
- Studds CE, Kendall BE, Murray NJ, Wilson HB, Rogers DI, Clemens RS, Gosbell K, Hassell CJ, Jessop R, Melville DS, Milton DA, Minton CD, Possingham HP, Riegen AC, Straw P, Woehler EJ, Fuller RA. (2017). Rapid population decline in migratory shorebirds relying on Yellow Sea tidal mudflats as stopover sites. *Nature Communications*, 8, 14895.
- Sung YH, Tse IW, Yu YT. (2018). Population trends of the Black-faced Spoonbill *Platalea minor*: Analysis of data from international synchronised censuses. *Bird Conservation International*, 28(1), 157–167.
- 鈴木弘之, 芝原達也. (2003). 谷津干潟および周辺地域におけるシギチドリ類群集構造の変化. *Strix*, 21, 35–52.
- 鈴木弘之, 芝原達也, 小山文子. (2012). 地球規模で危機に瀕するシギ・チドリ類—湿地・沿岸域の生物多様性保全の指標種として、緊急を要するシギ・チドリ類の保全、その時は今!—. *Strix*, 28.
- Tamada K, Hayama S, Umeki M, Takada M, Tomizawa M. (2017). Drastic declines in Brown Shrike and Yellow-breasted Bunting at the lake Utonai bird sanctuary, Hokkaido. *Ornithological Science*, 16(1), 51–57.
- Teitelbaum CS, Converse SJ, Fagan WF, Böhning-Gaese K, O’Hara RB, Lacy AE, Mueller T. (2016). Experience drives innovation of new migration patterns of whooping cranes in response to global change. *Nature Communications*, 7, 12793.
- Thurber BG, Roy C, Zimmerling JR. (2020). Long-term changes in the autumn migration phenology of dabbling ducks in southern Ontario and implications for waterfowl management. *Wildlife Biology*, 2020(2), wlb.00668.
- Tilman D, Clark M, Williams DR, Kimmel K, Polasky S, Packer C. (2017). Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature*, 546(7656), 73–81.
- Tombre IM, Oudman T, Shimmings P, Griffin L, Prop J. (2019). Northward range expansion in spring-staging barnacle geese is a response to climate change and population growth, mediated by individual experience. *Global Change Biology*, 25(11), 3680–3693.
- Tryjanowski P, Sparks TH. (2001). Is the detection of the first arrival date of migrating birds influenced by population size? A case study of the Red-backed Shrike *Lanius collurio*. *International Journal of Biometeorology*, 45(4), 217–219.
- 植田睦之. (2007). ハクチョウ類やカモ類の越冬数に積雪や気温がおよぼす影響. *Bird Research*, 3, A11–A18.

- 植田睦之, 福井晶子, 山浦悠一, 山本裕. (2011). 全国的な生態観測調査「モニタリングサイト 1000」で見えてきた日本の森林性鳥類の分布状況. *日本鳥学会誌*, 60(1), 19–34.
- 植田睦之, 葉山政治, 串田卓弥. (2019). ニホンジカの下層植生摂食の影響が宿主を通して托卵鳥へ. *Bird Research*, 15, S11–S16.
- 植田睦之, 岩本富雄, 中村豊, 川崎慎二, 今野怜, 佐藤重穂, 高美喜男, 高嶋敦史, 滝沢和彦, 沼野正博, 原田修, 平野敏明, 堀田昌伸, 三上かつら, 柳田和美, 松井理生, 荒木田義隆, 才木道雄, 雪本晋資. (2014). 全国規模の森林モニタリングが示す 5 年間の鳥類の変化. *Bird Research*, 10, F3–F11.
- 植田睦之, 神山和夫. (2014). 参加型調査で収集した各種鳥類の初認, 初鳴きのデータ. *Bird Research*, 10, F33–F36.
- 植田睦之, 山浦悠一, 大澤剛士, & 葉山政治. (2022). 2 種類の全国調査にもとづく繁殖期の森林性鳥類の分布と年平均気温. *Bird Research*, 18, A51–A61.
- 植田睦之, 植村慎吾, 葉山政治, 荒哲平, 高川晋一, 川路則友, 梶田学, 仲村昇, 田畑早紀, 内山優奈. (2021). 全国鳥類繁殖分布調査で収集された 20km メッシュの鳥類の繁殖分布のデータ. *Bird Research*, 17, R5–R9.
- 牛山克巳, 森口紗千子, 天野達也. (2014). 宮島沼におけるマガン研究と保全管理. *湿地研究*, 5, 5–14.
- Usui T, Butchart SH, Phillimore AB. (2017). Temporal shifts and temperature sensitivity of avian spring migratory phenology: a phylogenetic meta-analysis. *The Journal of Animal Ecology*, 86(2), 250–261.
- Visser ME, Perdeck AC, van Balen JH, Both C. (2009). Climate change leads to decreasing bird migration distances. *Global Change Biology*, 15(8), 1859–1865.
- Wang Y, Damba I, Zhao Q, Xie Y, Deng X, Ga R, Liu G, Xu Z, Li Y, Gao, Xu W, Chen G, Cao L. (2021). Organising a juvenile ratio monitoring programme for 10 key waterbird species in the Yangtze River floodplain: analysis and proposals. *Avian Research*, 12(1), 1–13.
- Weiser EL, Brown SC, Lanctot RB, Gates HR, Abraham KF, Bentzen RL, Bêty J, Boldenow ML, Brook RW, Donnelly TF, English WB, Flemming SA, Franks SE, Gilchrist HG, Giroux MA, Johnson A, Kendall S, Kennedy LV, Koloski L, Kwon E, Lamarre JF, Lank DB, Latty CJ, Lecomte N, Liebezeit JR, McKinnon L, Nol E, Perz J, Rausch J, Robards M, Saalfeld ST, Senner NR, Smith PA, Soloviev M, Solovyeva D, WardDH, Woodard PF, Sandercock, B. K. (2018). Effects of environmental conditions on reproductive effort and nest success of Arctic-breeding shorebirds. *The Ibis*, 160(3), 608–623.
- Wilson S, Saracco JF, Krikun R, Flockhart DTT, Godwin CM, Foster KR. (2018). Drivers of demographic decline across the annual cycle of a threatened migratory bird. *Scientific Reports*, 8(1), 7316.
- Xu F, Si Y. (2019). The frost wave hypothesis: How the environment drives autumn departure of

- migratory waterfowl. *Ecological Indicators*, 101, 1018–1025.
- Yamaura Y, Amano T, Koizumi T, Mitsuda Y, Taki H, Okabe K. (2009). Does land-use change affect biodiversity dynamics at a macroecological scale? A case study of birds over the past 20 years in Japan. *Animal Conservation*, 12(2), 110–119.
- Zaifman J, Shan D, Ay A, Jimenez AG. (2017). Shifts in bird migration timing in North American long-distance and short-distance migrants are associated with climate change. *International Journal of Zoology*, 2017, 6025646.
- Zhu BR, Verhoeven MA, Velasco N, Sanchez-Aguilar L, Zhang Z, Piersma T. (2022). Current breeding distributions and predicted range shifts under climate change in two subspecies of Black-tailed Godwits in Asia. *Global Change Biology*, 28(18), 5416–5426.