

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24370016

研究課題名(和文) シギ・チドリ類におけるバイオフィーム採餌：適応的な形態と行動の実証

研究課題名(英文) Biofilm feeding by shorebirds: empirical studies on adaptive morphology and behavior

研究代表者

桑江 朝比呂 (Tomohiro, Kuwae)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・グループ長

研究者番号：40359229

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：干潟堆積物表面に存在するバイオフィームが小型シギ類の主要な食物源となっていることが、これまでの研究によって初めて明らかにされ、干潟生態系の食物網構造においてパラダイムシフトが起きた。鳥-バイオフィームの直接的なリンクを扱うこの新たな研究分野を生態学の中心的課題である食物網研究につなげていくため、本研究では、最適採餌理論ならびに個体レベルの形質の適応進化の観点からシギ・チドリ類におけるバイオフィーム採餌が統合的に説明できるか、生態学・生理学・形態学・系統学を融合した現地調査・実験・解析から実証した。

研究成果の概要(英文)：Previous our studies have revealed for the first time that biofilm on the surface of tidal flat sediments serves as a major food source for small sandpipers, causing a paradigm shift in the food web structure of tidal flat ecosystems. In order to extend this new research field dealing with the bird-biofilm direct linkage to the central field of ecology, i.e., food web structure and functioning, we performed field observations, mesocosm experiments, and analyses combining ecology, physiology, morphology, and phylogeny. Namely, our study focused on the reasonable explanation of the biofilm feeding by shorebirds from the viewpoint of optimum foraging theory and adaptive evolution of individual-level traits.

研究分野：沿岸生態学，沿岸生元素循環，沿岸環境工学

キーワード：行動生態 海洋生態 食物網 進化生態 群集生態

1. 研究開始当初の背景

干潟堆積物表面に存在するバイオフィームが小型シギ類の主要な食物源となっていることが、これまでの研究によって初めて明らかにされ、干潟生態系食物網構造においてパラダイムシフトが起きた。

2. 研究の目的

鳥-バイオフィームの直接的なリンクを扱うこの新たな研究分野を生態学の中心的課題である食物網研究につなげていくため、本研究では、最適採餌理論ならびに個体レベルの形質の適応進化の観点からシギ・チドリ類におけるバイオフィーム採餌が統合的に説明できるか、生態学・生理学・形態学・系統学を融合した現地調査・実験・解析から実証することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 適応的な採餌行動に関する現地観測

バイオフィーム採餌においても、鳥類が適応的な採餌行動を示すかどうかについて、最適採餌理論と実測データとの突き合わせから整合性を検証するためのデータを取得した。具体的には、国内外の干潟(コムケ湖、鳥の海、バンクーバー周辺など)において現地調査を実施した。現地における鳥類の分布や行動状況について、目視観察、ビデオカメラによる撮影、あるいはマルチコプターを用いた新たな計測技術を用いて調査した。また、現地でバイオフィームや他の餌資源生物を採取し、餌資源生物の質(全炭素窒素、栄養成分含有量、熱量など)について解析した。

(2) 餌選択と食物網影響に関する実証実験

関係官庁の許認可を得たのち、シギを捕獲し、港湾空港技術研究所内にある干潟メソコスムに放鳥し、長期実験を2013年の9月より開始した(2017年6月現在も継続中)。メソコスム内の生物量、給餌量、放鳥体重量などのデータを経時的に取得した。さらに、餌資源生物、給餌料、そして鳥糞の安定同位体比を測定し、各食物源の寄与率を推定した。

(3) 個体レベルの形質と適応進化

シギ類では、舌先の棘毛エリアが大きく、体サイズが小さい鳥ほど、食物をバイオフィームに依存することが可能で適応的であると予測されている。この予測を個体ベースで実証するためのデータを取得した。関係官庁の

許認可を得たのち、現地干潟において、かすみ網を用いてシギ・チドリ類を一時捕獲した。個体ごとの体長や体重などの測定や、棘毛や羽などの写真撮影と画像解析により、主要な形質を計測した。あわせて各個体の糞や血液などを採取した。

4. 研究成果

(1) 適応的な採餌行動に関する現地観測

小型シギ(ヒメハマシギ)の食物源について、カナダバンクーバー周辺の数十kmスケールで分布する干潟を広域的に調べた(図1)(Jardine et al., 2015)。その結果、バイオフィームは23~52%を占めていた(表1)。バイオフィームの構成比率の規定要因は明確でなく、主要かつ安定的な餌資源となっていた一方で、バイオフィーム以外の食物源の構成比率は、ゴカイ(3~48%)、小型無脊椎動物(9~74%)など、場所によって大きなばらつきがあることが示された。

コムケ湖やバンクーバー周辺干潟において、春の渡りの時期に小型シギ類が採餌場所として利用していた潮間帯上部の干潟堆積物表面試料について、電子顕微鏡による検鏡ならびに脂肪酸やアミノ酸を分析した結果、羽状目の珪藻類を主成分とするバイオフィームが発達していることがわかった。一方、干潟潮間帯中下部では小型無脊椎動物を主食としていたことから、干潟岸沖数kmの空間スケールならびに数時間の潮汐時間スケールに応じて、鳥類は適応的な餌メニュー選択とパッチ利用行動を示すと考えられた。

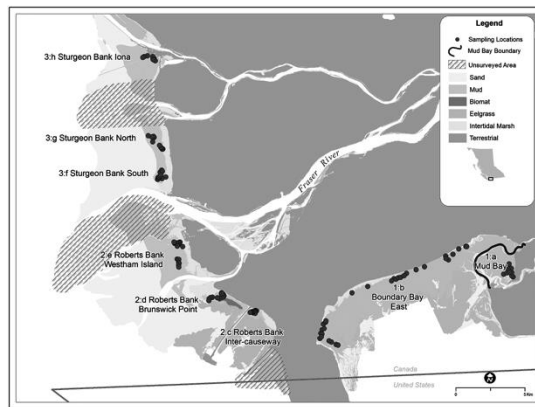


図1 数十kmスケールで分布するカナダバンクーバー周辺干潟における6つの調査サイト

表1 バンクーバー周辺干潟6サイトにおける安定同位体比を用いた食物源の推定結果

Site	Biofilm		Small Invertebrates		Polychaetes	
	Median	95% Cr.I.	Median	95% Cr.I.	Median	95% Cr.I.
1:a Mud Bay	51.7%	40.2-60.0%	40.7%	29.0-49.1%	6.7%	0.3-26.2%
1:b Boundary Bay East	46.1%	35.2-57.2%	19.7%	4.6-36.2%	34.2%	16.5-50.2%
2:c Roberts Bank Inter-causeway	36.4%	10.0-54.7%	15.0%	1.0-40.0%	48.1%	37.9-60.0%
2:d Roberts Bank Brunswick Point	37.7%	24.8-47.6%	13.7%	1.0-35.6%	48.2%	36.2-57.5%
2:e Roberts Bank Westham Island	50.2%	39.9-57.3%	8.6%	0.4-27.6%	40.6%	30.3-47.6%
3:f Sturgeon Bank South	22.8%	13.2-36.0%	74.4%	52.1-85.5%	2.8%	0.1-13.2%
3:g Sturgeon Bank North	35.9%	2.4-63.6%	55.9%	20.4-93.9%	6.4%	0.3-35.9%
3:h Sturgeon Bank Iona	27.9%	14.3-49.7%	63.7%	25.4-82.9%	7.8%	0.3-33.6%

Data are presented as the median of 130,000 posterior draws and 95% credibility intervals (Cr.I.), the Bayesian equivalent of confidence intervals

さらに、バイオフィームが発達する潮間帯上部の特徴として、融雪に伴い淡水が地下水から湧出していることが明らかとなった（竹内ほか, 2015; 中山ほか, 2016）。したがって、融雪や地下水といった気象条件や水理条件が栄養塩や塩分を規定し、さらにボトムアップ効果によりバイオフィームや底生動物の生産力を間接的に規定し、その帰結として鳥類の採餌行動に影響を与えていることが示唆された。

バンクーバー・デルタ港拡張における環境影響評価において、カナダ国環境省は本研究によって解明された「鳥類の主食としての微生物」の保全に関して、重要評価項目と公式に定め、現在アセスメントが進行中である。また、国内においても、橋梁建設によるシギ・チドリ類の採餌場所への影響について、本研究の知見が影響評価に活用されている。

従来の望遠鏡を用いた目視観察による鳥類分布の調査では、遠方の場合や起伏等の障害物がある場合に限界があった。そこで、マルチコプター（DJI 社 Phantom 3 Professional）を用いて上空からの空撮を試みたところ、鳥類種や環境条件にも依存するものの、撮影高度 10~50 m からでも、採餌する鳥類に影響を与えずに分布状況を把握できた。

さらに、撮影した画像を Agisoft 社製の PhotoScan Professional に読み込み、画像を 3次元合成しデジタル標高モデル（DEM）を作成したところ、撮影高度 50 m の場合には、解像度約 2 cm、誤差（RMSE）約 6 cm、精度 5.7%FS の DEM が得られた（図 2）（桑江ほか, 2016）。このことは、マルチコプターの利用と画像解析により、鳥類の分布やその規定要因として重要な地形について、高精度なデータ収集が可能であることを示している。

（2）餌選択と食物網影響に関する実証実験

干潟メソコスムの鳥は、メソコスム内で自然に発生する食物源（小型無脊椎動物やバイオフィーム）と、与えた餌料を摂食した（図 3）。安定同位体比による食物源推定の結果、実験開始初期の 2013 年 9~10 月においては、全食物源に占めるバイオフィームの比率は 8~21%と見積もられた。

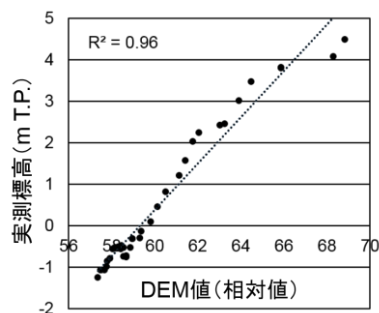


図 2 マルチコプターによる空撮画像を用いた画像解析によって推定された、西表島における潮間帯上部~下部の標高の推定値と実測値の比較



図 3 干潟メソコスムを用いた、放鳥による食物網の構造や機能の変化に関する長期実験の様子。右下の写真が実験に用いたシギ（トウネン）。ケージ内に放鳥（実験区 水槽 A 鳥あり）し、ケージ内とケージ外（対照区 水槽 A 鳥なし）あるいは隣の水槽（対照区 水槽 B 鳥なし）との比較実験を実施した。

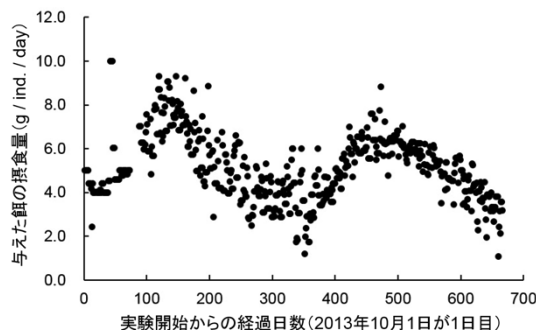


図 4 与えた餌料の摂食量。鳥は干潟メソコスム内の食物源（底生動物やバイオフィーム）と与えた餌料（すり餌）を実際には摂食している。

与えた餌料（すり餌）の摂食量をモニタリングしたところ、明瞭な季節性と潮汐（干出と冠水）の影響がみられた（図 4）。この結果を体重変化から求めた熱量収支と合わせて解析すると、小型無脊椎動物の現存量が少ない秋冬やメソコスム内の食物源を利用できない冠水時には与えた餌料を主食とし、春夏や干出時は、逆の食物メニュー選択をしていることが推察された。このことは、季節や潮汐といった時間スケールに応じて、鳥が適応的な採餌行動をとることを示唆している。

実験区と対照区における餌資源生物量を比較した結果、実験開始の約半年後以降、実験

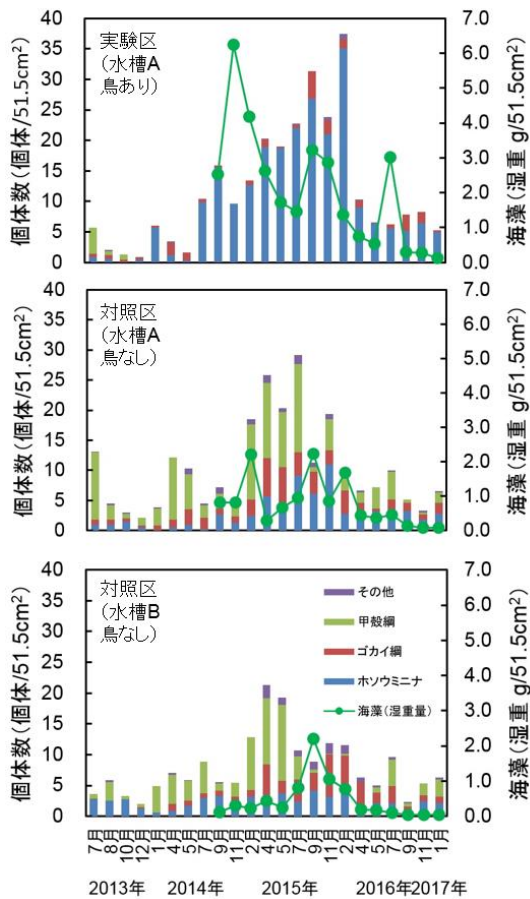


図5 実験区と対照区における、餌資源生物量（甲殻類，ゴカイ類）や競合生物量（ホソウミナ），そして海藻類の時系列変化

区においては対照区よりも餌資源生物量が少なくなり，明瞭なトップダウン効果が確認された（図5）．さらに，堆積物中の栄養濃度を比較した結果，実験区の濃度は対照区より高く，鳥の排泄による施肥効果も確認できた．施肥によるボトムアップ効果は，バイオフィームや海藻類の現存量が実験区において多いことから確認された．さらに，鳥の排泄によるボトムアップ効果は，鳥と同様バイオフィーム食である競合種のホソウミナナの増加ももたらした．

以上のメソコスム実験から，季節や潮汐といった時間スケールに応じて，鳥が適応的なバイオフィームの採餌行動をとること，そして，鳥類の存在が干潟生態系の食物網構造に対して，トップダウン効果とボトムアップ効果の両方の効果をもたらすことが実証された．

（3）個体レベルの形質と適応進化

鳥の海干潟やバンクーバー周辺干潟において，かすみ網を用いてシギ・チドリ類を合計33種 296羽一時捕獲した．そして，主要な形質と食性について，個体ベースで比較したところ，体重や露出嘴峰長といった形質と，糞や血液の安定同位体比といった食物源に関連する指標とに相関がみられた（図6）．この結果が，個体レベルの形質の適応進化の観点か

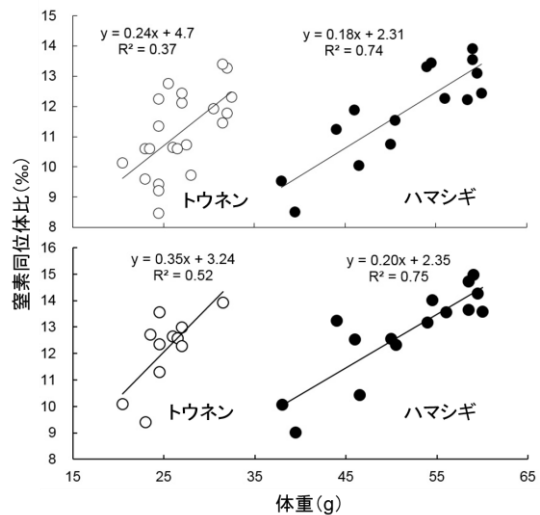


図6 鳥の海干潟におけるトウネンとハマシギの個体ベースの形質と食性との関連性を示すデータの一例．上図は体重と全血中の窒素安定同位体比の関係，下図は体重と血漿中の窒素安定同位体比の関係．

ら整合的に説明できるか解析中である．

今後は，これらの因果関係や，他の形質と食性との関係性についてさらに解析をすすめ，個体ベースの形質とバイオフィーム採餌についてとりまとめる予定である．

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計24件）

Morita, A., Touyama, S., Kuwae, T., Nishimura, O., and Sakamaki, T. (2017) Effects of watershed land-cover on the biogeochemical properties of estuarine tidal flat sediments: a test in a densely populated subtropical island, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 184, 207-213 (査読有り) .

Watanuki, Y., A. Yamashita, M. Ishizuka, Y. Ikenaka, S. M.M. Nakayama, C. Ishii, T. Yamamoto, M. Ito, T. Kuwae, and P. N. Trathan (2016) Feathers mercury concentration in streaked shearwaters wintering in separate areas of Southeast Asia. *Marine Ecology Progress Series*, 546: 263-269 (査読有り) .

中山恵介・駒井克昭・Robert W. Elner・桑江朝比呂 (2016) Roberts Bank tidal flatにおける biofilm 形成に重要な物理・塩分環境の要因解析. 土木学会論文集 B3-72 (海岸開発) : I_1063-I_1068 (査読有り) .

竹内友彦・駒井克昭・中山恵介・渡辺謙太・一見和彦・山田俊郎・桑江朝比呂 (2016) 融雪期のコムケ湖干潟における溶存有機物と栄養塩の分布・変動特性, 土木学会論文

- 集 B1(水工学) 72(4): I_661-I_666 (査読有り).
- 岡田知也・井芹絵里奈・三戸勇吾・高橋俊之・高濱繁盛・秋山吉寛・渡辺謙太・棚谷灯子・杉野弘明・徳永佳奈恵・久保雄広・桑江朝比呂 (2016) 比較順位法を用いた生物多様性と教育に関する干潟の生態系サービスの経済評価の検討. 土木学会論文集 B2-72 (海岸工学) : I_1453-I_1458 (査読有り).
- 井芹絵里奈, 岡田知也, 秋山吉寛, 渡辺謙太, 桑江朝比呂 (2016) 干潟および干潟の生態系が有するサービスの定量化手法の考案. 国土技術政策総合研究所資料 890, pp.1-141 (査読有り).
- 桑江朝比呂 (2016) 再生された干潟における生態系の発達と自律安定. 水環境学会誌 39:120-124 (査読無し).
- Jardine, C.B., A. L. Bond, P. J. A. Davidson R. W. Butler, and T. Kuwae (2015) Biofilm consumption and variable diet composition of Western Sandpipers (*Calidris mauri*) during migratory stopover, *PLoS ONE*, e0124164 (査読有り).
- Takahashi, A., M. Ito, Y. Suzuki, Y. Watanuki, J-B. Thiebot, T. Yamamoto, T. Iida, P. Trathan, Y. Niizuma, T. Kuwae (2015) Migratory movements of rhinoceros auklets in the northwestern Pacific: connecting seasonal productivities. *Marine Ecology Progress Series*, 525: 229-243 (査読有り).
- 竹内友彦・駒井克昭・中山恵介・渡辺謙太・一見和彦・佐藤之信・桑江朝比呂 (2015) 融雪に伴う浸透流がコムケ湖の干潟水質に及ぼす影響, 土木学会論文集 B3-71 (海洋開発) : I_856-I_861 (査読有り).
- 岡田知也・高橋俊之・三戸勇吾・菅野孝則・井芹絵里菜・秋山吉寛・渡辺謙太・鈴木高二朗・吉田稔・鳥羽光晴・桑江朝比呂 (2015) 干潟が有する海岸保護・港湾機能の定量的評価手法. 土木学会論文集 B2-71 (海岸工学) : I_1651-I_1656 (査読有り).
- 岡田知也・井芹絵里菜・三戸勇吾・高橋俊之・秋山吉寛・渡辺謙太・吉田稔・桑江朝比呂 (2015) 干潟域における文化的サービスの定量的評価. 土木学会論文集 B3-71 (海岸開発) : I_838-I_843 (査読有り).
- 駒井克昭・中山恵介・川口貴之・山崎新太郎・渡辺謙太・一見和彦・桑江朝比呂 (2014) コムケ湖における干潟水質の分布・変動特性に関する検討, 土木学会論文集 B3-70 (海洋開発) : I_1182-I_1187 (査読有り).
- 吉江祐人・丸谷靖幸・中山恵介・駒井克昭・新谷哲也・渡辺謙太・一見和彦・桑江朝比呂 (2014) コムケ湖における水質及び流動特性の解明, 土木学会論文集 B3-70 (海洋開発) : I_1176-I_1181 (査読有り).
- Sassa, S., Y. Watabe, S. Yang, and T. Kuwae (2013) Ecological Geotechnics. *ISSMGE Bulletin*, 7: 23-33 (査読有り).
- Sassa, S, Y. Watabe, S. Yang, and T. Kuwae (2013) Ecological geotechnics: Role of waterfront geoenvironment as habitats in the activities of crabs, bivalves, and birds for biodiversity restoration. *Soils and Foundations*, 53: 246-258 (査読有り).
- Hatano, T., K. Murakami, H. Ishii, A. Kadowaki, T. Kuwae, and K. Nakase (2013) Characteristics of nitrogen and phosphorus budgets at a tidal flat in Tokyo Port Wild Bird Park. *Journal of JSCE*, 1: 145-161 (査読有り).
- 丸谷靖幸・中山恵介・駒井克昭・渡辺謙太・三好英一・一見和彦・桑江朝比呂 (2013) コムケ湖における現地観測結果を用いた湖内の流動特性に関する基礎的検討, 土木学会論文集 B3-69 (海洋開発) : I_1228-I_1233 (査読有り).
- 篠崎知美・村上和男・梅田悠輔・桑江朝比呂 (2013) 干潟堆積物における脱窒・アナモックス速度とその要因. 土木学会論文集 B2-69 (海岸工学) : I_1146-I_1150 (査読有り).
- 佐々真志・渡部要一・梁順普・桑江朝比呂 (2013) 干潟・砂浜海岸の生物生態/地形変動に果たす地盤環境の役割-多種多様な生物住環境診断チャートと安定地形の最適設計-. 港湾空港技術研究所報告 52(4): 3-44 (査読有り).
- 桑江朝比呂 (2013) シギ・チドリ類は干潟で何を食べているの? *Birder*, 27 (4), pp. 34-35 (査読無し).
- 桑江朝比呂・三好英一 (2012) 小型シギ類における未知の餌の探究を通じた干潟生態系の再生. 土木学会論文集 B2-68 (海岸工学) : I_1176-I_1180 (査読有り).
- 桑江朝比呂・三好英一 (2012) 鳥類の食性の探究による干潟生態系の保全と再生. 港湾空港技術研究所報告 51(3): 3-75 (査読有り).
- 杉浦琴・高橋正一・三好英一・中村由行・桑江朝比呂 (2012) 貧酸素および硫化水素が干潟の生物に与える影響に関するメソコスム実証実験. 水産工学 49: 101-111 (査読有り).
- [学会発表] (計 34 件)
- Matsumoto, K. Nakayama, K. Komai, S. Hisamatsu, S. Takahashi, K. Watanabe, and T. Kuwae (2016) Transfer patterns of salmon resources by terrestrial animals in Hokkaido. Proceedings of the 31st International Symposium on Okhotsk Sea and Sea Ice.
- Oda, K., K. Komai, K. Matsumoto, K. Nakayama, K. Watanabe, and T. Kuwae (2016) Stable isotope analysis and marine-derived nutrient inputs in the riparian forests in Shiretoko Peninsula.

- Proceedings of the 31st International Symposium on Okhotsk Sea and Sea Ice. Nakayama, K., Y. Maruya, K. Matsumoto, K. Komai, and T. Kuwae (2016) Nutrient contributions from the ocean across a river basin using stable isotope analysis in Shiretoko Peninsula. the 10th International Conference on the Applications of Stable Isotope Techniques to Ecological Studies (IsoEcol 2016).
- 桑江朝比呂・伴野雅之・柳嶋慎一・中川康之・栗山善昭・棚谷灯子・井上智美・山野博哉・馬場繁幸 (2016) マルチコプターを用いた空撮によるマングローブ-干潟-海草場-サンゴ礁の地形測定の試み. 日本サンゴ礁学会第 19 回大会.
- 竹内友彦・中山恵介・渡辺謙太・一見和彦・佐藤之信・桑江朝比呂 (2015) 融雪に伴う浸透流がコムケ湖の干潟水質に及ぼす影響, 土木学会全国大会 第 70 回年次学術講演会.
- 竹内友彦・駒井克昭・中山恵介・渡辺謙太・一見和彦・佐藤之信・桑江朝比呂 (2015) コムケ湖における融雪期の地下水浸透流が干潟水質に及ぼす影響. 2015 年度土木学会北海道支部論文報告集 71.
- Elner, R. W. and T. Kuwae (2014) Biofilm Grazing: Missing Link in Shorebird Ecology (Satisfaction from“Snot”). Proceedings of the 26th International Ornithological Congress, Tokyo (招待講演).
- Matsumoto, K., K. Nakayama, S. Takahashi, K. Watanabe, and T. Kuwae (2014) Role of eagles in the flow of salmon-derived nutrients into a terrestrial ecosystem. Proceedings of the 26th International Ornithological Congress, Tokyo.
- Sakuma, Y., G. Fujita, Y. Nishikawa, T. Amano, K. Katoh, T. Kuwae, and H. Higuchi (2014) Stopover habitat preferences of wood sandpipers and common snipes in lotus and rice fields. Proceedings of the 26th International Ornithological Congress, Tokyo.
- 佐野史弥・中山恵介・松本経・C. Beitia・駒井克昭・丸谷靖幸・井上徹教・桑江朝比呂 (2014) 安定同位体比を利用した知床における海陸の栄養循環. 水文水資源学会.
- 徳重彰倫・中山恵介・丸谷靖幸・桑江朝比呂・井上徹教・松本経・駒井克昭 (2014) ラウス川流域における海陸の栄養循環量の推定. 2013 年度土木学会北海道支部論文報告集.
- 桑江朝比呂・三好英一 (2013). シギ・チドリ類の食性からみた干潟生態系の理想像. 第 60 回日本生態学会大会.
- Nakayama, K., T. Kuwae, Y. Maruya, A. Abliz, T. Inoue, and K. Tateyama (2012) Nutrient circulation due to the interaction between terrestrial and oceanic systems. Proceedings of The Proceedings of The 50th Estuarine and Coastal Science Association (ECSA) Conference, Venice, Italy, 07, 22.
- Murakami, K., N. Sasaki, Y. Umeda, T. Kuwae, and K. Nakase (2012) Nitrogen and phosphorus cycles in constructed tidal flat in Tokyo Bay. Proceedings of The Ninth International Wetlands Conference, Florida, USA.
- Takai, N., K. Kawabe, S. Sugiyama, I. Tachibana, Y. Kumon, T. Kuwae, and K. Yoshihara (2012) Feeding habits of great cormorants *Phalacrocorax carbo hanedae*, inferred from multiple analyses of stomach contents and stable isotope ratios. Proceedings of 6th World Fisheries Congress, Edinburgh, UK
- 桑江朝比呂 (2012) 造成干潟と鳥類. 2012 年度モニタリングサイト 1000 シギ・チドリ類調査交流会 (招待講演).
- 桑江朝比呂・三好英一 (2012) シギ・チドリ類の食性に配慮した干潟生態系の保全と再生. 日本鳥学会 2012 年度大会講演要旨集.
- [図書] (計 1 件)
桑江朝比呂 (2013) 干潟, pp 223-230, 亀山章・倉本宣・日置佳之編, 自然再生の手引き, 日本緑化センター, 264 p.
- [その他]
 ホームページ等
 “A variety of shorebirds are fueled by biofilm”
<http://www.pari.go.jp/unit/ekanky/en/member/kuwae/biofilm-feeding-shorebirds.html>
 “Counting bacteria in soils and sediments”
http://www.pari.go.jp/unit/ekanky/en/member/kuwae/counting_bacteria/
 「干潟の泥表面の微生物が鳥の餌」
<http://www.pari.go.jp/unit/ekanky/member/kuwae/biofilmfeeding.html>
6. 研究組織
 (1) 研究代表者
桑江朝比呂 (KUWAE, Tomohiro)
 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・グループ長
 研究者番号: 40359229
- (2) 研究分担者
 一見 和彦 (ICHIMI, Kazuhiko)
 香川大学・瀬戸内圏研究センター・教授
 研究者番号: 70363182