

「生物ナビゲーションのシステム科学」

領域番号:4803

平成28年度～令和2年度

科学研究費助成事業(科学研究費補助金)

(新学術領域研究(研究領域提案型))

研究成果報告書

令和5年10月

領域代表者 東北大学・情報科学研究科・教授・橋本 浩一

## はしがき

本領域では「ヒトや動物の移動行動を計測し、分析し、モデルとして理解し、検証する」という新たな学問分野を創設することを目指した。積極的な異分野融合研究の成果として、最先端の小型多次元センサデバイスであるログボット（ロギングロボット）のハードウェア開発、および計測された多次元移動情報からのデータ駆動型分析プラットフォーム群を開発した。さらに本領域で得られた様々な動物種のデータに適用することによる、動物のこれまでに知られていなかった生態の解明や、生物ナビゲーションの数理モデル化などに成功した。

## 研究組織

### 計画研究

領域代表者 橋本 浩一 （東北大学・情報科学研究科・教授）

#### （総括班）

研究代表者 橋本 浩一 （東北大学・情報科学研究科・教授）  
研究分担者 妻木 勇一 （山形大学・大学院理工学研究科・教授）  
研究分担者 竹内 一郎 （名古屋工業大学・工学研究科・教授）  
研究分担者 前川 卓也 （大阪大学・情報科学研究科・准教授）  
研究分担者 玉木 徹 （名古屋工業大学・工学研究科・教授）  
研究分担者 依田 憲 （名古屋大学・環境学研究科・教授）  
研究分担者 飛龍 志津子 （同志社大学・生命医科学部・教授）  
研究分担者 高橋 晋 （同志社大学・脳科学研究科・教授）  
研究分担者 小川 宏人 （北海道大学・理学研究院・教授）  
研究分担者 木村 幸太郎 （名古屋市立大学・大学院理学研究科・教授）

#### （国際活動支援班）

研究代表者 橋本 浩一 （東北大学・情報科学研究科・教授）  
研究分担者 妻木 勇一 （山形大学・大学院理工学研究科・教授）  
研究分担者 竹内 一郎 （名古屋工業大学・工学研究科・教授）  
研究分担者 前川 卓也 （大阪大学・情報科学研究科・准教授）  
研究分担者 玉木 徹 （名古屋工業大学・工学研究科・教授）  
研究分担者 依田 憲 （名古屋大学・環境学研究科・教授）  
研究分担者 飛龍 志津子 （同志社大学・生命医科学部・教授）  
研究分担者 高橋 晋 （同志社大学・脳科学研究科・教授）  
研究分担者 小川 宏人 （北海道大学・理学研究院・教授）  
研究分担者 木村 幸太郎 （名古屋市立大学・大学院理学研究科・教授）

#### （A01 計画班）

研究代表者 橋本 浩一 （東北大学・情報科学研究科・教授）  
研究分担者 中井 淳一 （東北大学・歯学研究科・教授）  
研究分担者 丹羽 伸介 （東北大学・学際科学フロンティア研究所・准教授）

研究分担者 鏡 慎吾 (東北大学・情報科学研究科・准教授)  
研究分担者 荒井 翔悟 (東北大学・情報科学研究科・特任准教授)  
研究分担者 山口 明彦 (東北大学・情報科学研究科・助教)

研究代表者 妻木 勇一 (山形大学・大学院理工学研究科・教授)  
研究分担者 森 恭一 (帝京科学大学・生命環境学部・教授)  
研究分担者 多田隈 理一郎 (山形大学・理工学研究科・准教授)

#### (A02 計画班)

研究代表者 竹内 一郎 (名古屋工業大学・工学研究科・教授)  
研究分担者 打矢 隆弘 (名古屋工業大学・工学研究科・准教授)  
研究分担者 梶岡 慎輔 (名古屋工業大学・工学研究科・助教)  
研究分担者 鳥山 昌幸 (名古屋工業大学・工学研究科・准教授)

研究代表者 前川 卓也 (大阪大学・情報科学研究科・准教授)  
研究分担者 鮫島 正樹 (大阪大学・情報科学研究科・助教)

研究代表者 玉木 徹 (名古屋工業大学・工学研究科・教授)  
研究分担者 藤吉 弘亘 (中部大学・工学部・教授)

#### (B01 計画班)

研究代表者 依田 憲 (名古屋大学・環境学研究科・教授)  
研究分担者 牧口 祐也 (日本大学・生物資源科学部・講師)  
研究分担者 塩見 こずえ (東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教)

研究代表者 飛龍 志津子 (同志社大学・生命医科学部・教授)  
研究分担者 小林 耕太 (同志社大学・生命医科学部・教授)  
研究分担者 福井 大 (東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教)

#### (B02 計画班)

研究代表者 高橋 晋 (同志社大学・脳科学研究科・教授)  
研究分担者 荻部 冬紀 (同志社大学・研究開発推進機構・准教授)

研究代表者 小川 宏人 (北海道大学・理学研究院・教授)  
研究分担者 安藤 規泰 (前橋工科大学・工学部・准教授)

研究代表者 木村 幸太郎 (名古屋市立大学・大学院理学研究科・教授)  
研究分担者 石原 健 (九州大学・理学研究院・教授)

### 公募研究

#### (A01 公募班)

研究代表者 岩谷 靖 (弘前大学・理工学研究科・准教授)

研究代表者 小林 博樹 (東京大学・空間情報科学研究センター・准教授)  
研究代表者 山本 茂 (金沢大学・フロンティア工学系・教授)  
研究代表者 大野 和則 (東北大学・未来科学技術共同研究センター・准教授)

### (A02 公募班)

研究代表者 柳井 啓司 (電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授)  
研究代表者 村尾 和哉 (立命館大学・情報理工学部・准教授)  
研究代表者 波部 斉 (近畿大学・理工学部・准教授)  
研究代表者 大西 正輝 (国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・  
研究チーム長)  
研究代表者 藤井 慶輔 (名古屋大学・情報学研究科・助教)

### (B01 公募班)

研究代表者 小池 伸介 (東京農工大学・連合農学研究科・准教授)  
研究代表者 木下 充代 (総合研究大学院大学・先導科学研究科・准教授)  
研究代表者 佐倉 緑 (神戸大学・理学研究科・准教授)  
研究代表者 宮竹 貴久 (岡山大学・環境生命科学研究科・教授)  
研究代表者 永澤 美保 (麻布大学・獣医学部・講師)  
研究代表者 高橋 晃周 (国立極地研究所・研究教育系・准教授)  
研究代表者 北川 貴士 (東京大学・大気海洋研究所・准教授)  
研究代表者 志垣 俊介 (大阪大学・基礎工学研究科・助教)  
研究代表者 新津 葵一 (名古屋大学・工学研究科・准教授)  
研究代表者 河端 雄毅 (長崎大学・水産・環境科学総合研究科・准教授)  
研究代表者 伊藤 健彦 (鳥取大学・国際乾燥地研究教育機構・特命助教)  
研究代表者 西海 望 (基礎生物学研究所・神経生理学研究室・特別研究員)

### (B02 公募班)

研究代表者 豊島 有 (東京大学・大学院理学系研究科・助教)  
研究代表者 北西 卓磨 (大阪市立大学・大学院医学研究科・講師)  
研究代表者 武藤 彩 (国立遺伝学研究所・遺伝形質研究系・客員研究員)  
研究代表者 佐藤 正晃 (北海道大学・医学研究院・講師)  
研究代表者 McHugh Thomas (国立研究開発法人理化学研究所・脳神経科学研究センター・  
チームリーダー)  
研究代表者 東島 眞一 (大学共同利用機関法人自然科学研究機構・新分野創成センタ  
ー、アストロバイオロジーセンター、生命創成探究・生命創成探究センター・教授)  
研究代表者 上川内 あづさ (名古屋大学・理学研究科・教授)  
研究代表者 岩楯 好昭 (山口大学・大学院創成科学研究科・准教授)

## 交付決定額（配分額）

年度	合計	直接経費	間接経費
平成 28 年度	261,300,000 円	201,000,000 円	60,300,000 円
平成 29 年度	295,100,000 円	227,000,000 円	68,100,000 円
平成 30 年度	293,800,000 円	226,000,000 円	67,800,000 円
令和元年度	286,780,000 円	220,600,000 円	66,180,000 円
令和 2 年度	277,330,000 円	212,500,000 円	64,830,000 円
合計	1,414,310,000 円	1,087,100,000 円	327,210,000 円

## 研究発表

### 雑誌論文

- 1) Chiba K., Takahashi H., Chen M., Obinata H., Arai S., Hashimoto K., Oda T., McKenney R. J., \*Niwa S. (2019) Disease-associated mutations hyperactivate KIF1A motility and anterograde axonal transport of synaptic vesicle precursors PNAS 116: 18429-18434. 査読有
- 2) \*Kagami S., Hashimoto K., (2019) Animated Stickies: Fast Video Projection Mapping onto a Markerless Plane through a Direct Closed-Loop Alignment, IEEE Trans. Vis. Com. Grap. 25(11). 査読有
- 3) \*Ardakani , I., Hashimoto K., Yoda K. (2019) Context-based semantical vector representations for animal trajectories. Advanced Robotics 33(3-4). 査読有
- 4) \*Li, M. & Hashimoto, K. (2017) Accurate object pose estimation using depth only. Sensors 18(4). 査読有
- 5) Gengyo-Ando, K., Kagawa-Nagamura, Y., Ohkura, M., Fei, X., Chen, M., Hashimoto, K., \*Nakai, J. (2017) A new platform for long-term tracking and recording of neural activity and simultaneous optogenetic control in freely behaving Caenorhabditis elegans. Journal of Neuroscience Methods 286, 56-68. 査読有
- 6) Murakami, R., Toyoshima, T., Furusawa, D., Suzuki, M., Masumoto, K., Owada, S., \*Tsumaki, Y., Mori, K. (2021) Logger Attaching System for Sperm Whales Using a Drone, J. of Robotics and Mechatronics 33(3), 475-483. 査読有
- 7) Abe, T., Kubo, N., Abe, K., Suzuki, H., Mizutani, Y., Yoda, K., \*Tadakuma, R., Tsumaki, Y., (2021) Development of Data Logger Separator for Bio-logging of Wild Seabirds, J. of Robotics and Mechatronics, 33(3), 446-456. 査読有
- 8) Abe, T., Kubo, N., Suzuki, H., Yoda, K., \*Tadakuma, R., Tsumaki, Y., (2020) Study on hypercompact and lightweight data logger separators for wild animals, Advanced Robotics 35(2). 査読有

- 9) \*Tsuchiya, K., Tsumaki, Y., Mori, K., Okamoto, R. (2019) Whale rover moving along the surface of sperm whale, *Advanced Robotics*, 33(3). 査読有
- 10) \*Iwatani, Y., Ogawa, H., Shidara H., Sakura, M., Sato, T., Hojo, M. K., Honma, A., and Tsurui-Sato, K. (2019). Markerless visual servo control of a servosphere for behavior observation of a variety of wandering animals. *Advanced Robotics*, Vol. 33, No. 3-4, pp. 183-194, 査読有.
- 11) Shimotoku, D., Fujiwara, A., Nakamura, K., Saito, K., Sezaki, K. A. (2018) Real-time streaming and detection system for bio-acoustic ecological studies after the Fukushima accident. *Multimedia Tools and Applications for Environmental & Biodiversity Informatics. Multimedia Systems and Applications*. 査読有
- 12) \*Nishinoma, H., Ohno K, Kikusui, T., Nagasawa M., Tsuchihashi N., Matsushita, S., Mikayama, T., Tomori, S., Saito, M., Murayama, M., Tadokoro, S.(2019) Canine Motion Control using Bright Spotlight Devices Mounted on a Suit, *IEEE TMRB*, 1(3), pp. 189-198. 査読有
- 13) \*Beokhaimook,C., Ohno, K., Westfechtel, T., Nishinoma, H., Tamura, R., Tadokoro, S.(2020)Cyber-enhanced canine suit with wide-view angle for three-dimensional LiDAR SLAM for indoor environments, *Advanced Robotics*, 34(11), pp. 715-729. 査読有
- 14) \*Inoue K, Karasuyama M., Nakamura R., Konno M., Yamada D., Mannen K. Nagata T., Inatsu Y., Yawo H., Yura K., Béjà O., Kandori H., \*Takeuchi I. (2021) Exploration of natural red-shifted rhodopsins using a machine learning-based Bayesian experimental design. *Communication Biology*. *Communication Biology*. Vol. 4, Article Number 362. 査読有
- 15) Duy N.L.V., Sakuma T., Ishiyama T., Toda H., Arai K., Karasuyama M., Okubo Y., Sunaga M., Hanada H., Tabei Y., \*Takeuchi I. (2020) Stat-DSM: Statistically Discriminative Sub-trajectory Mining with Multiple Testing Correction. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE)*. Early Access. 査読有
- 16) Sakuma T., Nishi K., Kishimoto K., Nakagawa K., Karasuyama M., Umezu Y., Kajioka S., Yamazaki S.J., Kimura K.D., Matsumoto S, Yoda K., Fukutomi M., Shidara H., Ogawa H. and \*Takeuchi I. (2019) Efficient learning algorithm for sparse subsequence pattern-based classification and applications to comparative animal trajectory data analysis. *Advanced Robotics*. vol.33, pp.134-152. 査読有
- 17) \*Maekawa, T.,..., Koike, S., Miyatake, T., Kimura, K., Ogawa, H., Takahashi, S., Yoda, K. (2020) Deep Learning-assisted Comparative Analysis of Animal Trajectories with DeepHL, *Nature Communications* 11: 5316. 査読有
- 18) Korpela, J., ..., \*Maekawa, T., Nakai, J., Yoda, K. (2020) Machine learning enables improved runtime and precision for bio-loggers on seabirds, *Communications Biology*, 3: 633. 査読有
- 19) Xia, Q., Korpela, J., Namioka, Y., \*Maekawa, T. (2020) Robust Unsupervised Factory Activity Recognition with Body-worn Accelerometer Using Temporal Structure of Multiple Sensor Data Motifs, *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies (IMWUT)* 4 (3) 査読有
- 20) 田一鳴, \*前川卓也, 天方大地, 原隆浩, 松本祥子, 依田憲, 藤岡慧明, 濱井郁弥, 福井大, 飛龍志津子 (2020) マルチモーダル移動行動データからの高速な頻出共起ルール抽出手法, *情報処理学会論文誌* 60 (3) 査読有

- 21) Xia, Q., Wada, A., Korpela, Y., \*Maekawa, T., J., Namioka (2019) Unsupervised Factory Activity Recognition With Wearable Sensors Using Process Instruction Information, Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies (IMWUT) 3 (2) 査読有
- 22) \*箕浦大晃, 平川翼, 山下隆義, 藤吉弘亘 (2020) 移動対象の属性と環境情報を導入した LSTM による経路予測, 精密工学会誌, 86(12), 961-968. 査読有
- 23) \*平川翼, 山下隆義, 玉木徹, 藤吉弘亘 (2019) 動画像を用いた経路予測手法の分類, 電子情報通信学会論文誌 D, J102-D(2):53-67, 査読有
- 24) \*Tamaki, T., Ogawa, D., Raytchev, B., Kaneda, K. (2019) Semantic segmentation of trajectories with improved agent models for pedestrian behavior analysis, Advanced Robotics, 33(3-4):153-168. 査読有
- 25) \*Hirakawa, T., Yamashita, T., Tamaki, T., Fujiyoshi, H., Umezu, Y., Takeuchi, I., Matsumoto, S., and Yoda, K. (2018) Can AI predict animal movements? Filling gaps in animal trajectories using Inverse Reinforcement Learning, Ecosphere, 9(10):e02447, 査読有
- 26) Matsui, K., \*Tamaki, T., Raytchev, B., Kaneda, K. (2017) Trajectory-set feature for action recognition. IEICE Transactions on Information and Systems, E100.D(8):1922-1924. 査読有
- 27) Shimoda, W. & \*Yanai, K. (2019) Weakly Supervised Semantic Segmentation Using Distinct Class Specific Saliency Maps, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 191, No.2, pp.1-17 査読有
- 28) \*Habe, H., Yoshiki Takeuchi, Y., Terayama, K., Sakagami, M.(2021). Pose estimation of swimming fish using an NACA airfoil model for collective behavior analysis. Journal of Robotics and Mechatronics 33(3). 査読有
- 29) \*Abe, K., Kuroda, S., Habe, H. (2020). A Multiple Video Camera System for 3D Tracking of Farmed Fry in an Aquaculture Tank. Sensors and Materials 32(11). 査読有
- 30) \*Fujii, K., Takeishi, N., Hojo, M., Inaba, Y., Kawahara, Y. (2020) Physically-interpretable classification of network dynamics for complex collective motions, Scientific Reports, 10, 3005, 査読有
- 31) \*Fujii, K., Kawahara, Y. (2019) Dynamic mode decomposition in vector-valued reproducing kernel Hilbert spaces for extracting dynamical structure among observables, Neural Networks, 117, 94-103, 査読有
- 32) \*Yoda, K., Okumura, M., Suzuki, H., Matsumoto, S., Koyama, S., Yamamoto, M. (2021) Annual variations in the migration routes and survival of pelagic seabirds over mountain ranges. Ecology, e03297. 査読有
- 33) \*水谷友一, 鈴木宏和, 前川卓也, Joseph Korpela, 宮竹貴久, 越山洋三, 依田憲 (2021) 海上飛翔中のウミネコによる昆虫捕食とその同定. 日本鳥学会誌 70, 53-60. 査読有
- 34) \*Yoda, K. (2019) Advances in bio-logging techniques and their application to study navigation in wild seabirds. Advanced Robotics 33, 108-117. 査読有
- 35) \*Yamamoto, T., Yoda, K., Blanco, G.S., Quintana, F. (2019) Female-biased stranding in Magellanic penguins. Current Biology 29, R12-13. 査読有

- 36) \*Ardakani, A., Hashimoto, K., Yoda, K. (2019) Context-based semantical vector representations for animal trajectories. *Advanced Robotics* 33, 118-133. 査読有
- 37) \*Shiomi, K., Kokubun, N., Shimabukuro, U., Takahashi, A. (2019) Homing ability of Adélie penguins investigated with displacement experiments and bio-logging. *Ardea*, 107, 333-339. 査読有
- 38) \*Goto, Y., Yoda, K., Sato, K. (2017) Asymmetry hidden in birds' tracks reveals wind, heading, and orientation ability over the ocean. *Science Advances* 3, e1700097. 査読有
- 39) \*Yoda, K., Yamamoto, T., Suzuki, H., Matsumoto, S., Müller, M., Yamamoto, M. (2017) Compass orientation drives naïve pelagic seabirds to cross mountain ranges. *Current Biology* 27, R1152-1153. 査読有
- 40) \*Fujioka, E., Fukushiro, M., Ushio, K., Kohyama, K., Habe, H. and Hiryu, S. (2021). Three-dimensional trajectory construction and observation of group behavior of wild bats during cave emergence. *Journal of Robotics and Mechatronics* 33, 556-563. 査読有
- 41) \*Yamada, Y., Mibe, Y., Yamamoto, Y., Ito, K., Heim, O., and Hiryu, S. (2020). Modulation of acoustic navigation behaviour by spatial learning in the echolocating bat *Rhinolophus ferrumequinum nippon*. *Scientific reports* 10, 1-15. 査読有
- 42) Simmons, J. A., Hiryu, S., and Shriram, U. (2019). Biosonar interpulse intervals and pulse-echo ambiguity in four species of echolocating bats. *Journal of Experimental Biology*, jeb. 195446. 査読有
- 43) Maitani, Y., Hase, K., Kobayasi, K. I., and Hiryu, S. (2018). Adaptive frequency shifts of echolocation sounds in *Miniopterus fuliginosus* according to the frequency-modulated pattern of jamming sounds. *Journal of Experimental Biology* 221, jeb188565. 査読有
- 44) \*Hase, K., Kadoya, Y., Maitani, Y., Miyamoto, T., Kobayasi, K., Hiryu, S. (2018) Bats enhance their call identities to solve the cocktail party problem. *Communications Biology* 1:39. 査読有
- 45) \*Tochigi, K., Masaki, T., Nakajima, A., Yamazaki, K., Inagaki, A., Koike, S. (2018) Detection of arboreal feeding signs by Asiatic black bears: effects of hard mast production at individual tree and regional scales. *Journal of Zoology*, 305(4):223-231. 査読有
- 46) Nagloo, N., Kinoshita, M., \*Arikawa, K. (2020) Spectral organization of the compound eye of a migrating butterfly *Parantica sita*. *Journal of Experimental Biology*. 223, jeb.217703 査読有
- 47) \*Ai, H., Okada, R., Sakura, M., Wachtler, T., Ikeno, H. (2019) Neuroethology of the waggle dance: how followers interact with the waggle dancer and detect spatial information. *Insects* 10, 336. 査読有
- 48) Kobayashi, N., Okada, R., \*Sakura, M. (2020) Orientation to polarized light in tethered flying honeybees. *Journal of Experimental Biology* 223, jeb228254. 査読有
- 49) Matsumura, K., \*Miyatake T. (2018) Responses to relaxed and reverse selection in strains artificially selected for duration of death-feigning behavior in the red flour beetle, *Tribolium castaneum*. *Journal of Ethology* 36:pages161–168. 査読有



- 50) \*Konno, A., Inoue-Murayama, M., Yabuta, S., Tonoike, A., Nagasawa, M., Mogi, K., Kikusui, T. (2018) Effect of canine oxytocin receptor gene polymorphism on the successful training of drug detection dogs. *Journal of Heredity*, 109(5):566-572. 査読有
- 51) \*Ito, K., Watanabe, Y., Kokubun, N., Takahashi, A. (2021) Inter-colony foraging area segregation quantified in small colonies of Adélie Penguins. *Ibis* 163, 90-98. 査読有
- 52) \*Thiebot, J.-B. Arnould, P.Y. J, Gómez-Laich, A., Ito, K., Kato, A., Mattern, T., Mitamura, H., Noda, T., Poupart, T., Quintana, F., Raclot, Y., Ropert-Coudert, Y., Sala, E. S., Seddon, J. P., Sutton, J. G., Yoda, K., Takahashi, A. (2017) Jellyfish and other gelata as food to four penguin species - insights from predator-borne videos. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15, 437-441. 査読有
- 53) \*Tian, Y., Maekawa, T., Hara, T., Yokomori, Y., Kitagawa, T. (2021) NaviMine: A tool for mining trajectories through behavior prediction. 2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops). eCF Paper Id: 1570694231 査読有
- 54) \*Hernandez-Reyes, C. A., Fukushima, S., Shigaki, S., Kurabayashi, D., Sakurai, T., Kanzaki, R., & Sezutsu, H. (2021). Identification of exploration and exploitation balance in the silkworm olfactory search behavior by information-theoretic modeling. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 15: 629380. 査読有
- 55) \*Shigaki, S., Haigo, S., Reyes, C. H., Sakurai, T., Kanzaki, R., Kurabayashi, D., & Sezutsu, H. (2019). Analysis of the role of wind information for efficient chemical plume tracing based on optogenetic silkworm moth behavior. *Bioinspiration & biomimetics*, 14(4), 046006. 査読有
- 56) Kobayashi, A., Hayashi, K., Arata, S., Murakami, S., Xu, G. and \*Niitsu, K. (2019) Design of a Self-Controlled Dual-Oscillator-Based Supply Voltage Monitor for Biofuel-Cell-Combined Biosensing Systems in 65-nm CMOS and 55-nm DDC CMOS. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems (TBioCAS)*, vol.13. 査読有
- 57) Hayashi, K., Arata, S., Xu, G., Murakami, S., C.D. Bui, Kobayashi, A., \*Niitsu, K. (2019) A 385 ×385 μm<sup>2</sup> 0.165V 0.27nW Fully-Integrated Supply-Modulated OOK Transmitter in 65nm CMOS for Glasses-Free, Self-Powered, and Fuel-Cell-Embedded Continuous Glucose Monitoring Contact Lens, *IEICE Trans. Elec*, vol. E102. 査読有
- 58) \*Kawabata, Y., Akada, H., Shimatani, K., Nishihara, G.N., Kimura, H., Nishiumi, N., Domenici, P. (2020) Geometrical model explains multiple preferred escape trajectories of fish. *bioRxiv*, 2020.2004.2027.049833. 査読無
- 59) \*Imai, S., Ito, T. Y., Shinoda, M., Tsunekawa, A., Lhagvasuren, B. (2020) The benefit and strategy of spring movements in Mongolian gazelles. *Journal of Mammalogy* 101, 487-497. 査読有
- 60) \*Nandintsetseg, D., Bracis, C., Leimgruber, P., Kaczensky, P., Buuveibaatar, B., Lkhagvasuren, B., Chimeddorj, B., Enkhtuvshin, S., Horning, N., Ito, T. Y., Olson, K., Payne, J., Walzer, C., Shinoda, M., Stabach, J., Songer, M., Mueller, T. (2019) Variability in nomadism: Environmental gradients modulate the movement behaviors of dryland ungulates. *Ecosphere* 10, e02924. 査読有

- 61) \*Takahashi, S., Hombe, T., Takahashi, R., Ide, K., Okamoto, S., Yoda, K., Kitagawa, T., \*Makiguchi, Y. (2021) “Wireless logging of extracellular neuronal activity in the telencephalon of free-swimming salmonids”, *Animal Biotelemetry*, 9:9. 査読有
- 62) Hoshino, S., Takahashi, R., Mieno, K., Tamatsu, Y., Azechi, H., Ide, K., \*Takahashi, S. (2020) “The Reconfigurable Maze Provides Flexible, Scalable, Reproducible, and Repeatable Tests”, *iScience*, 23(1):100787. 査読有
- 63) Ando, N., Shidara, H., Hommaru, N., \*Ogawa, H. (2021) Auditory virtual reality for insect phonotaxis. *Journal of Robotics and Mechatronics* 33,494-504. 査読有
- 64) Hommaru, N., Shidara, H. Ando, N., \*Ogawa, H. (2020) Internal state transition to switch behavioral strategies in cricket phonotaxis behavior. *Journal of Experimental Biology* 223, jeb229732. 査読有
- 65) Sato, N., Shidara, H., \*Ogawa, H. (2019) Trade-off between motor performance and behavioural flexibility in the action selection of cricket escape behaviour. *Scientific Reports* 9,18112. 査読有
- 66) Someya, M., \*Ogawa, H. (2018) Multisensory enhancement of burst activity in an insect auditory neuron. *Journal of Neurophysiology* 120,139-148. 査読有
- 67) Fukutomi, M., \*Ogawa, H. (2017) Crickets alter wind-elicited escape strategies depending on acoustic context. *Scientific Reports* 7, 15158. 査読有
- 68) \*Wen, C., Miura, T., Voleti, V., Yamaguchi, K., Tsutsumi, M., Yamamoto, K., Otomo, K., Fujie, Y., Teramoto, T., Ishihara, T., Aoki, K., Nemoto, T., Hillman, E.M.C., \*Kimura, K.D. (2021) 3DeeCellTracker, a deep learning-based pipeline for segmenting and tracking cells in 3D time lapse images. *eLife* 10: e59187. 査読有
- 69) Voleti, V., Patel, K.B., Li, W., Perez, Campos C., Bharadwaj, S., Yu, H., Ford, C., Casper, M.J., Yan, R.W., Liang, W., Wen, C., Kimura, K.D., Targoff, K.L., \*Hillman, E.M.C. (2019) Real-time volumetric microscopy of in vivo dynamics and large-scale samples with SCAPE 2.0. *Nature Methods* 16: 1054-1062. 査読有
- 70) Yamazaki, S. J., Ohara, K., Ito, K., Kokubun, N., Kitanishi, T., Takaichi, D., Yamada, Y., Ikejiri, Y., Hiramatsu, F., Fujita, K., Tanimoto, Y., Yamazoe-Umemoto, A., Hashimoto, K., Sato, K., Yoda, K., Takahashi, A., Ishikawa, Y., Kamikouchi, A., Hiryu, S., Maekawa, T., \*Kimura, K.D. (2019) STEFTR: A Hybrid Versatile Method for State Estimation and Feature Extraction From the Trajectory of Animal Behavior. *Frontiers in Neuroscience* 13: 970. 査読有
- 71) Hara-Kuge, S., Nishihara, T., Matsuda, T., Kitazono, T., Teramoto, T., Nagai, T., \*Ishihara, T. (2018) An improved inverse-type Ca<sup>2+</sup> indicator can detect putative neuronal inhibition in *Caenorhabditis elegans* by increasing signal intensity upon Ca<sup>2+</sup> decrease. *PLoS One*. 13:e0194707. 査読有
- 72) Tanimoto, Y., Tanimoto, Y., Yamazoe-Umemoto, A., Fujita, K., Kawazoe, Y., Miyanishi, Y., Yamazaki, J. S., Fei, X., Busch, E., K., Gengyo-Ando, K., Nakai, J., Iino, Y., Iwasaki, Y., Hashimoto, K., \*Kimura, K.D. (2017) Calcium dynamics regulating the timing of decision-making in *C. elegans*. *eLife* 6: 13819. 査読有

- 73) \*Oda, S., Toyoshima, Y., \*Bono, de M. (2017) Modulation of sensory information processing by a neuroglobin in *C. elegans*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114, E4658-E4665. 査読有
- 74) Toyoshima, Y., Wu S., Kanamori M., Sato H., Jang M.S., Oe S., Murakami Y., Teramoto T., Park C., Iwasaki Y., Ishihara T., \*Yoshida R., \*Iino Y. (2020) Neuron ID dataset facilitates neuronal annotation for whole-brain activity imaging of *C. elegans*. *BMC biology* 18, 30. 査読有
- 75) Umaba, R., \*Kitanishi, T., \*Mizuseki, K. (in press) Monosynaptic connection from the subiculum to medial mammillary nucleus neurons projecting to the anterior thalamus and Gudden's ventral tegmental nucleus. *Neuroscience Research*. 査読有
- 76) \*Kitanishi, T., Umaba, R., \*Mizuseki, K. (2021) Robust information routing by dorsal subiculum neurons. *Science Advances*, 7:eabf1913. 査読有
- 77) \*Muto, A., Kawakami, K. (2018) Ablation of a neuronal population using a two-photon laser and its assessment using calcium imaging and behavioral recording in zebrafish larvae. *Journal of Visualized Experiments*, 136: e57485. 査読有
- 78) \*Sato, M., Mizuta, K., Islam, T., Kawano, M., Sekine, Y., Takekawa, T., Gomez-Dominguez, D., Schmidt, A., Wolf, F., Kim, K., Yamakawa, H., Ohkura, M., Lee, M. G., Fukai, T., Nakai, J., \*Hayashi, Y. (2020) Distinct mechanisms of over-representation of landmarks and rewards in the hippocampus. *Cell Reports* 32(1), 107864. 査読有
- 79) \*Sato, M., Kawano, M., Mizuta, K., Islam, T., Lee, M. G., Hayashi, Y. (2017) Hippocampus-dependent goal localization by head-fixed mice in virtual reality. *eNeuro*, 4 (3) e0369-16.2017. 査読有
- 80) Middleton, S. J., Kneller, E. M., Chen, S., Ogiwara, I., Montal, M., Yamakawa, K., \*McHugh, T. J. (2018) Altered hippocampal replay is associated with memory impairment in mice heterozygous for the *SCN2A* gene. *Nature Neuroscience*, 21:996-1003. 査読有
- 81) Kim, H., Horigome, M., Ishikawa, Y., Li, E., Lauritzen, J.S., Card, G., Bock, D.D., \*Kamikouchi, A. (2020) Wiring patterns from auditory sensory neurons to the escape and song-relay pathways in fruit flies. *The Journal of Comparative Neurology*. 24877: 1-31. 査読有
- 82) \*Ishimoto, H., \*Kamikouchi, A. (2020) A feedforward circuit regulates action selection of pre-mating courtship behavior in female *Drosophila*. *Current Biology* 30: 396-407. 査読有
- 83) \*Tsujioka, M., Uyeda, T.Q.P., Iwadate, Y., Patel, H., Shibata, K., Yumoto, T. and Yonemura, S. (2019). Actin-binding domains mediate the distinct distribution of two *Dictyostelium* Talins through different affinities to specific subsets of actin filaments during directed cell migration. *PloS one* 14: e0214736. 査読有

## 学会発表

- 1) \*Tsuchiya, K., Suzuki, A., Tsumaki, Y., Mori, K. (2018) Whale rover for bio-logging. *Proc. of IEEE Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics*. 査読有

- 2) \*Iwatani, Y. (2021) High-speed servosphere. IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 613-618. 査読有
- 3) Duy N.L.V., Toda H., Sugiyama R., \*Takeuchi I. (2020) Computing Valid p-value for Optimal Change-point by Selective Inference using Dynamic Programming. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS2020). 査読有
- 4) Ndiaye Y., Le T., Fercoq O., Salmon J., \*Takeuchi I. (2019) Safe Grid Search with Optimal Complexity. Proceedings of Machine Learning Research (ICML2019) Vol.97, pp.4771-4780. 査読有
- 5) Araki, T., Hamada, R., Ohno, K. & Yanai, K.(2019) Dog-Centric Activity Recognition by Integrating Appearance, Motion and Sound, Proc. of ICCV Workshop on Egocentric Perception, Interaction and Computing (EPIC) 査読有
- 6) \*Gao, R., Zha A., Shigenaka S., Onishi M. (2021) Hybrid Modeling and Predictive Control of Large-Scale Crowd Movement in Road Network, Proceeding of HSCC 2021: 24th ACM International Conference on Hybrid Systems: Computation and Control. 査読有
- 7) \*Okukubo T., Bando Y., Onishi M., Ando H. (2021) Foot Traffic Prediction for Large-Scale Events Based on Pattern-Aware Neural Regression, AAAI-21 Workshop on AI for Urban Mobility. 査読有
- 8) Nishiumi, N. (2020) Tactics research in predators and prey by quantitative and kinematic measurement. The 43th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society. 査読無
- 9) Nishiumi, N., Fujioka, E., Hiryu, S. (2019) Tactics used by bats when pursuing prey: predictive control of echolocation sonar direction and flight course. A joint meeting of the 56th Annual Conference of the Animal Behavior Society and the 36th International Ethological Conference. 査読無
- 10) \*Takahashi, S., Hoshino, S., Ide, K., (2019) “The Next Phase for Tracking and Predicting the Navigational Behavior Using Machine Learning”, IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. 査読有

## 図書

なし

## 研究成果による産業財産権の出願・取得状況

### 出願

- 1) 「小動物実験用迷路組立キット」、発明者：高橋晋、出願人：学校法人同志社大学（特願2017-252076）登録日：平成29年12月27日、出願中、外国出願無

### 取得

なし

## 研究成果

### (A01 計画班・公募班)

最先端の小型多次元センサデバイスである**ログボット**のハードウェア開発を行い、A02 や B01 班との共同研究により、海鳥やクマなどへの適用を実現した。ログボットはカメラや GPS などのマルチモーダルセンサに加えて省電力なマイコンを備え、デバイス上での高度なセンサ処理による**イベント駆動**を可能とする世界で初めてのデバイスである。*Nature Ecology & Evolution Community* に、紹介記事「AI-assisted Bio-logging」(<https://natureecoevocommunity.nature.com/posts/ai-assisted-bio-logging>) が掲載されたことは、本領域の代表的な活動に関する国際的な注目度を表している。また、ドローンを用いたロガー装着システムとクジラ用ローバーを開発した。さらに海鳥用に火薬を用いない 10g 以下の無線式ロガー分離装置を開発した。以上の取り組みにより、Journal of Robotics and Mechatronics や Advanced Robotics などの成果に繋がった。

### (A02 計画班・公募班)

計測された多次元移動情報からの**データ駆動型分析プラットフォーム群**を開発し、本領域で得られた様々な動物種のデータに適用した。移動に関する単純なイベントの検出手法に加え、統計的信頼度を保証した軌跡データからの**データマイニング手法**、説明可能な深層学習を用いた**軌跡データの分析支援技術**、逆強化学習を用いた動物の**内的な報酬関数推定手法**などを開発することにより、専門家の予備知識無しでも、時空間スケールに依存せずに多数の動物種の移動行動を統一的に解析し、かつ網羅的な検討から行動の特徴を効率的に発見する手法が組織的に整備された。以上の取り組みにより、NeurIPS、IEEE TKDE、Nature Communications などの成果に繋がった。

### (B01 計画班・公募班)

A01、A02 班による最先端の技術開発と連携することで、昆虫、魚類、鳥類、哺乳類(コウモリ、イヌ、クマ)など数十にわたる**多様なナビゲーション行動を大規模に計測、分析**し、その結果、生態学的に重要な新たな発見を数多く得ることができた。A01 班で開発されたログボットが、潜水する海鳥から山林の熊、また飛行するコウモリなど、動物種固有の幅広いニーズに対応した計測に展開可能であることを実証し、バイオロギング研究に大きなインパクトを与えた。一方、A02 班と共同した逆強化学習による**動物の移動経路予測**や、捕食者-被食者間にみられる**追跡・逃避戦術など数理モデル**として生物ナビゲーションを理解する取り組みにも成功し、野外から実験室内の動物のナビゲーションデータの取得からモデル化まで、その方法論を実践と共に確立することができた。以上の取り組みにより、Current Biology や Communications Biology などの成果に繋がった。

### (B02 計画班・公募班)

A01、A02、B01 班との協力などのもと、行動と神経活動の同時計測のための実験系および介入のための実験系を多数開発した。これによる**線虫ナビゲーション中の意思決定のための遺伝子の解明**や**遊泳中のサケ科魚類の神経活動計測**などは画期的な成果である。さらに、機械学習を用いた軌跡の比較分析手法などを多数開発し、従来では得られなかったさまざまな「ナビゲーションのための行動の特徴」が容易に解明できるようになった。以上の取り組みにより、Nature Neuroscience, Nature Methods, Science Advances, PNAS, eLife, Animal Biotelemetry などの成果に繋がった。