

令和 4 年 4 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02508

研究課題名(和文)「普通」の生態系での植物食動物のナトリウム獲得戦略

研究課題名(英文) Sodium acquisition by herbivores in 'ordinary' ecosystems

研究代表者

半谷 吾郎 (Hanya, Goro)

京都大学・霊長類研究所・准教授

研究者番号：40444492

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：(1)森林内ナトリウムの利用可能性、(2)野生植食動物の食物のナトリウム含有量、(3)野生および飼育植食動物の、ナトリウム摂取レベルの変化に応じた、ナトリウム再吸収ホルモンであるアルドステロン濃度の変化について研究を進めた。海岸から数百メートルから7kmの範囲にある屋久島の海岸部と上部域では、海岸から20キロメートルほど離れた本土の森林よりも、生葉中のナトリウム濃度が高い傾向が見られた。野生個体の食物の中には、ほかよりもナトリウム濃度が高いものが存在した。海水を常習的に摂取する野生個体及び飼育個体で、アルドステロン濃度が低かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の動物生態学では、蛋白質や炭水化物などのマクロ成分の役割にのみ着目する者が多く、ミクロ成分であるナトリウムの摂取という観点から採食生態を見直すことで、蛋白質などのマクロ成分だけでは見えなかった、動物の生存条件についての新たな側面を明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：We evaluated (1) sodium availability in the forests, (2) sodium content of foods of wild herbivorous animals and (3) aldosterone (a hormone which enhances reabsorption of sodium from urine) level of wild and captive herbivorous animals. Sodium content of live leaves was higher in Yakushima highland and lowland (distance from the seas: 100 m-7 km) than in mainland forests (>20 km). Some foods eaten by herbivorous animals contained more sodium than others. Captive animals and wild herbivorous animals habitually contacting with sea water showed higher concentration of fecal aldosterone than other wild populations.

研究分野：動物生態学

キーワード：ナトリウム ミネラル 植食動物 海塩粒子 ニホンザル ニホンジカ アルドステロン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

植物食動物には、蛋白質が多く難消化性の炭水化物が少ない食物を選択するという、普遍的傾向がある。動物はミネラルも必要とするが、多くは植物組織中に豊富で、蛋白質などのマクロ栄養成分が十分量摂取されれば、自動的に摂取される。ナトリウム(以下 Na)は、細胞の能動輸送(ナトリウムポンプ)のため、動物には必要不可欠だが、植物の生存には不要で、含有量は動物組織よりずっと少ない。つまり、森林には、通常、マクロ栄養成分と Na の両方が豊富な「ポテトチップス」のような食物はない。

陸上生態系への主要な Na 供給源は海塩粒子で、Na 濃度は海岸から離れると指数関数的に減少する。内陸にも塩水の泉のような特異的に Na 濃度の高い場所(以下、ホットスポット)がある場合があるが、Na ホットスポットが存在しないと思われる生態系も多い。そのような生態系での動物の Na 確保方法は不明である。また、物質循環の観点から立てば、動物は Na ホットスポットから Na を散布する役割を担っている(Doughty et al., 2016 Ecography)。森林全体の Na の循環まで視野に入れると、移動能力の高い大型動物の Na 獲得戦略の研究が重要である。

### 2. 研究の目的

本研究の問いは、「『普通』の生態系で、野生動物は Na を確保できるのか?」である。まず、日本の森林でどの程度の Na が動物にとり利用可能かを、海からの距離に着目して明らかにする。その上で、植物食の野生哺乳類が採食する食物に、どの程度 Na 含まれているのかを明らかにし、その確保のためどのような生理応答を行うのかを解明することを目的とする。動物の Na 摂取についての生態学的研究は、これまでは Na が動物の分布や数に影響することを、野外での給餌実験や分布パターンの観察から示したものが多く、これらの研究は Na の重要性を示すものの、実際の野生動物の Na 確保方法や、不足する場合の対処法は分らない。実際の採食行動に焦点を当てた研究も、塩場利用など、Na ホットスポットの利用に集中しており、そのような場所のない「普通」の生態系での研究が必要である。

### 3. 研究の方法

#### (1) 広域スケールでの森林のナトリウムの利用可能性

中部地方は日本列島で最も幅広く、海塩粒子の影響がないとされる(Doughty et al., 2016)海から 100km 程度離れた場所もある。この中の 7 つの県(石川、福井、岐阜、長野、山梨、静岡、愛知)で、既存のトレイルに添って、10 メートルおきに一番近くの樹木から生葉を 1 - 2 枚採取した。調査は 7 月から 9 月に行った。京都大学霊長類研究所で乾式灰化処理を実施した後、総合地球環境学研究所の ICP 発光分光分析装置(ICP-AES)で、ナトリウム、カルシウム、鉄、カリウム、リンの含有量を分析した。

#### (2) 植食動物の生息地での森林のナトリウム利用可能性

鹿児島県屋久島の西部海岸部および海岸から 7km 離れたヤクスギ林、および石川県白山、宮崎県幸島で、それぞれ 1 年に複数回、上記広域スケールでの調査と同様に生葉の採取を行った。屋久島と白山では 150 本、幸島では 50 本の樹木について採取を行った。屋久島と白山では、生葉に加えて落葉も採取した。得られた試料は、(1)と同様に分析を行った。

#### (3) 野生植食動物の食物のナトリウム含有量

屋久島西部海岸部で、野生ニホンジカの行動観察中に、シカが食べたのと同じ品目を採取し、(1)(2)と同様に分析を行った。また、同じく屋久島西部海岸部の野生ニホンザルの栄養分析用にかつて採取した品目について、同様に分析を行った。

#### (4) 野生植食動物の生理的特性

鹿児島県屋久島の西部海岸部および海岸から 7km 離れたヤクスギ林、および石川県白山、宮崎県幸島で、野生のニホンザルの新鮮な糞便を採取し、100%エタノールに保存した。エタノールを全量揮発させた後、糞便とエタノールの重量比が一定になるようにエタノールを入れ、糞便を粉碎、遠心分離し、上清を取って希釈した。この溶液中の、ナトリウムを再吸収するホルモンであるアルドステロンの濃度を DetectX® Aldosterone Chemiluminescent Immunoassay Kit で定量した。鹿児島県屋久島の西部海岸部のニホンジカについても、同様の試料採取を行った。

#### (5) 飼育植食動物のナトリウム給餌に対する生理的反応

霊長類研究所で飼育している 6 頭のニホンザルを対象に、塩化ナトリウム水溶液を与えた場合と与えない場合について、それぞれ 1 週間、すべての排泄物と食べ残しを回収して計量することで、ナトリウムの収支を測定するとともに、糞の一部をアルドステロン(ナトリウムを尿か

ら再吸収するホルモン)の測定のために採取した。京都市動物園および豊橋総合動植物公園で飼育している合計5頭のニホンジカについて、排泄直後の新鮮な糞を採取し、アルドステロンの測定を行った。

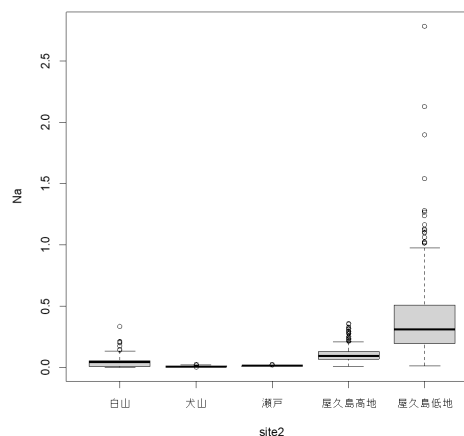
#### 4. 研究成果

##### (1) 広域スケールでの森林のナトリウムの利用可能性

測定は、多くの調査地について、研究期間終了直前の2022年3月に終了したばかりであり、まだ分析を行っていない。そのうちの一部については、(2)で報告する。

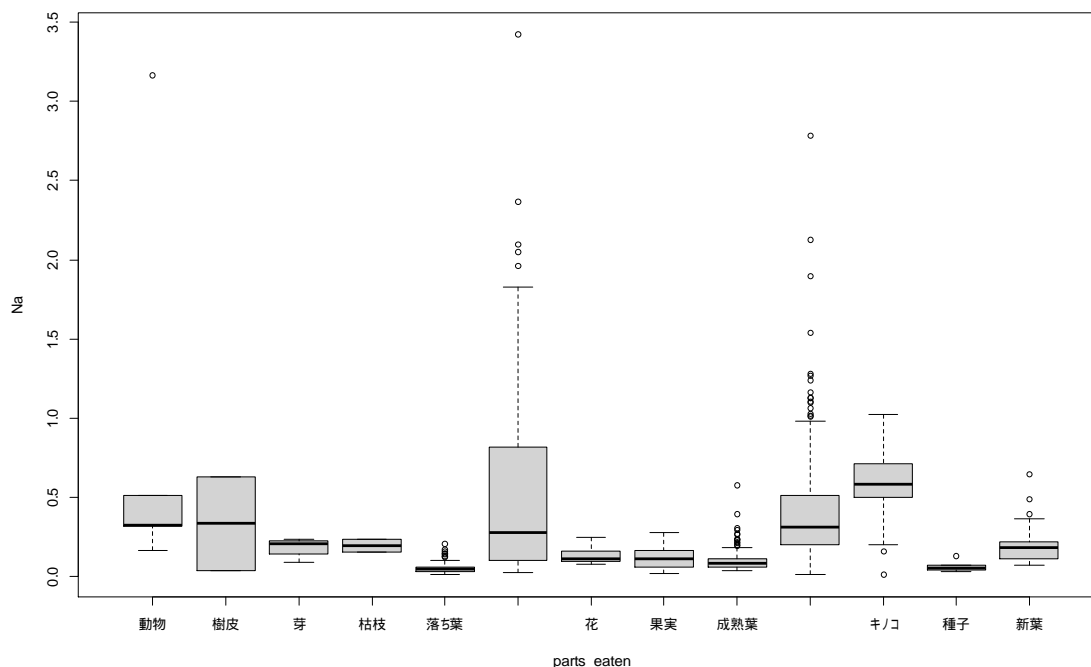
##### (2) 植食動物の生息地での森林のナトリウム利用可能性

生葉のナトリウム含有量は、屋久島海岸部が高く、屋久島上部域がそれに次ぎ、白山など本土で低かった(右図)。



##### (3) 野生植食動物の食物のナトリウム含有量

屋久島海岸部のシカやサルが採食した食物、および(2)で調べた、ランダムに集めた森林内の生葉と落葉のナトリウム含有量を比較した。キノコ、昆虫をはじめとする無脊椎動物のナトリウム含有量が高いことが分かった(下図)。今後、それらの食物の実際摂取量の資料と照らし合わせることで、野生個体の実際のナトリウムの摂取レベルを明らかにしていきたい。



##### (4) 野生植食動物の生理的特性および(5) 飼育植食動物のナトリウム給餌に対する生理的反応

ニホンザルでは、幸島および飼育個体のアルドステロン濃度が他(屋久島海岸部、屋久島上部域、白山)より有意に低く、ニホンジカでは、飼育個体が屋久島海岸部の野生個体より低かった。今後、飼育ニホンザルについて、排泄物と食物に含まれるナトリウムの含有量を分析して、ナトリウムの摂取と排出のバランスと、アルドステロンレベルとの関連について明らかにする予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 8件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hanya G, Morishima K, Koide T, Otani Y, Hongo S, Honda T, Okamura H, Higo Y, Hattori M, Kondo Y, Kurihara Y, Jin S, Otake A, Shiroishi I, Takakuwa T, Yamamoto H, Suzuki H, Kajimura H, Hayakawa T, Suzuki-Hashido N, Nakano T	4. 巻 34
2. 論文標題 Host selection of hematophagous leeches ( <i>Haemadipsa japonica</i> ): Implications for iDNA studies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 842 ~ 855
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Lee Wanyi, Hayakawa Takashi, Kiyono Mieko, Yamabata Naoto, Hanya Goro	4. 巻 81
2. 論文標題 Gut microbiota composition of Japanese macaques associates with extent of human encroachment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 American Journal of Primatology	6. 最初と最後の頁 e23072
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajp.23072	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kurihara Yosuke, Hanya Goro	4. 巻 89
2. 論文標題 Within-Population Variations in Home Range Use and Food Patch Use of Japanese Macaques: A Perspective of Intergroup Hostility	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Folia Primatologica	6. 最初と最後の頁 397 ~ 414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1159/000493574	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sha John Chih Mun, Kurihara Yosuke, Tsuji Yamato, Take Makiko, He Tianmeng, Kaneko Akihisa, Suda-Hashimoto Naoko, Morimoto Mayumi, Natsume Takayoshi, Zahariev Alexandre, Blanc Stéphane, Hanya Goro	4. 巻 76
2. 論文標題 Seasonal variation of energy expenditure in Japanese macaques ( <i>Macaca fuscata</i> )	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Biology	6. 最初と最後の頁 139 ~ 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtherbio.2018.07.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hayakawa Takashi, Sawada Akiko, Tanabe Akifumi S., Fukuda Shinji, Kishida Takushi, Kurihara Yosuke, Matsushima Kei, Liu Jie, Akomo-Okoue Etienne-Francois, Gravena Waleska, Kashima Makoto, Suzuki Mariko, Kadowaki Kohmei, Suzumura Takafumi, Inoue Eiji, Sugiura Hideki, Hanya Goro, Agata Kiyokazu	4. 巻 59
2. 論文標題 Improving the standards for gut microbiome analysis of fecal samples: insights from the field biology of Japanese macaques on Yakushima Island	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 423 ~ 436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10329-018-0671-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Otani Yosuke, Sawada Akiko, Hanya Goro	4. 巻 61
2. 論文標題 Spatial position-associated mating strategies employed by male Japanese macaques ( <i>Macaca fuscata yakui</i> ) in Yakushima	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 415 ~ 426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10329-020-00792-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kurihara Yosuke, Kinoshita Kodzue, Shiroishi Izumi, Hanya Goro	4. 巻 61
2. 論文標題 Seasonal variation in energy balance of wild Japanese macaques ( <i>Macaca fuscata yakui</i> ) in a warm-temperate forest: a preliminary assessment in the coastal forest of Yakushima	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 427 ~ 442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10329-020-00797-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hanya Goro, Tackmann Janko, Sawada Akiko, Lee Wanyi, Pokharel Sanjeeta Sharma, de Castro Maciel Valdevino Gisele, Toge Akito, Kuroki Kota, Otsuka Ryoma, Mabuchi Ryoma, Liu Jie, Hatakeyama Masaomi, Yamasaki Eri, von Mering Christian, Shimizu-Inatsugi Rie, Hayakawa Takashi, Shimizu Kentaro K., Ushida Kazunari	4. 巻 80
2. 論文標題 Fermentation Ability of Gut Microbiota of Wild Japanese Macaques in the Highland and Lowland Yakushima: In Vitro Fermentation Assay and Genetic Analyses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microbial Ecology	6. 最初と最後の頁 459 ~ 474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00248-020-01515-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hanya Goro, Kanamori Tomoko, Kuze Noko, Wong Siew Te, Bernard Henry	4. 巻 82
2. 論文標題 Habitat use by a primate community in a lowland dipterocarp forest in Danum Valley, Borneo	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Journal of Primatology	6. 最初と最後の頁 e23157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajp.23157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hanya Goro, Yoshihiro Shin ichi, Hayaishi Shuhei, Takahata Yukio	4. 巻 82
2. 論文標題 Ranging patterns of Japanese macaques in the coniferous forest of Yakushima: Home range shift and travel rate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Journal of Primatology	6. 最初と最後の頁 e23185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajp.23185	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 半谷吾郎、好廣眞一、YANG Danhe, WONG Christopher Chai Thiam, 岡桃子、楊木萌、佐藤侑太郎、大坪卓、櫻井貴之、川田美風、F. FAHRI, SIWAN Elangkumaran Sagtia, HAVERCAMP Kristin、余田修助、GU Ningxin, LOKHANDWALA Seema Sheesh、中野勝光、瀧雄渡、七五三木環、本郷峻、澤田晶子、本田剛章、栗原洋介	4. 巻 36
2. 論文標題 Island-wide Distribution of Japanese Macaques in Yakushima Revealed by Census Targeting Feces on Roads in 2017-2018	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Primate Research	6. 最初と最後の頁 23 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2354/psj.36.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Otani Yosuke, Bernard Henry, Wong Anna, Tangah Joseph, Tuuga Augustine, Hanya Goro, Matsuda Ikki	4. 巻 10
2. 論文標題 Factors influencing riverine utilization patterns in two sympatric macaques	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 15749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-72606-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ito Tsuyoshi, Hayakawa Takashi, Suzuki Hashido Nami, Hamada Yuzuru, Kurihara Yosuke, Hanya Goro, Kaneko Akihisa, Natsume Takayoshi, Aisu Seitaro, Honda Takeaki, Yachimori Syuji, Anezaki Tomoko, Omi Toshinori, Hayama Shin ichi, Tanaka Mikiko, Wakamori Hikaru, Imai Hiroo, Kawamoto Yoshi	4. 巻 48
2. 論文標題 Phylogeographic history of Japanese macaques	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Biogeography	6. 最初と最後の頁 1420 ~ 1431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jbi.14087	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Lee Wanyi, Hayakawa Takashi, Kurihara Yosuke, Hanzawa Maho, Sawada Akiko, Kaneko Akihisa, Morimitsu Yoshiki, Natsume Takayoshi, Aisu Seitaro, Ito Tsuyoshi, Honda Takeaki, Hanya Goro	4. 巻 83
2. 論文標題 Stomach and colonic microbiome of wild Japanese macaques	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Journal of Primatology	6. 最初と最後の頁 e23242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajp.23242	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 He Tianmeng, Lee Wanyi, Hanya Goro	4. 巻 83
2. 論文標題 Effects of diet and age?sex class on the fecal particle size of wild Japanese macaques ( <i>Macaca fuscata yakui</i> )	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Journal of Primatology	6. 最初と最後の頁 e23245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajp.23245	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hanya Goro, Bernard Henry	4. 巻 42
2. 論文標題 Interspecific Encounters Among Diurnal Primates in Danum Valley, Borneo	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Primatology	6. 最初と最後の頁 442 ~ 462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10764-021-00211-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakabayashi Miyabi, Kanamori Tomoko, Matsukawa Aoi, Tengah Joseph, Tuuga Augustine, Malim Peter T., Bernard Henry, Ahmad Abdul Hamid, Matsuda Ikki, Hanya Goro	4. 巻 11
2. 論文標題 Temporal activity patterns suggesting niche partitioning of sympatric carnivores in Borneo, Malaysia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 19819
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-99341-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計5件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 半谷吾郎, 太田民久, 揚妻直樹, 大井徹, 木下こづえ, 加藤正吾, 北村俊平, 揚妻芳美, 近藤崇, 本田剛章, 田伏良幸, 鈴村崇文, HE Tianmeng, 高橋美香, LEENDERS Cliff, 澤田晶子
2. 発表標題 日本の森林でのナトリウム利用可能性と植食動物の生理的反応
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 半谷吾郎, Tackmann Janko, 澤田晶子, Pokharel Sanjeeta Sharma, Valdevino Gisele de Castro Maciel, 大塚亮真, 黒木康太, 峠明杜, 馬淵諒真, Liu Jie, 畠山剛臣, 山崎美紗子, 山崎絵理, 伊津野彩子, Christian von Mering, 清水-稲継理恵, 早川卓志, 清水健太郎, 牛田一成
2. 発表標題 屋久島のニホンザルの腸内細菌の発酵能力: 上部域と海岸部の比較
3. 学会等名 第35回日本霊長類学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 半沢真帆, 栗原洋介, 兼子明久, 夏目尊好, 愛洲星太郎, 伊藤毅, 本田剛章, 半谷吾郎
2. 発表標題 ニホンザルにおける他群個体との距離に応じた行動変化: 接近および回避について
3. 学会等名 第35回日本霊長類学会大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Tianmeng He, Wanyi Lee, Goro Hanya
2. 発表標題 Effects of Food Fracture Toughness on Chewing Efficiency in Yakushima Japanese Macaques
3. 学会等名 第35回日本霊長類学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 李婉儀, 何天萌, 半谷吾郎
2. 発表標題 野生ニホンザルの腸内細菌の発酵能力の季節変化
3. 学会等名 第35回日本霊長類学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 半谷吾郎、松原始	4. 発行年 2018年
2. 出版社 旅するミシン店	5. 総ページ数 320
3. 書名 サルと屋久島 ヤクザル調査隊とフィールドワーク	

〔産業財産権〕

〔その他〕

半谷吾郎 <a href="https://www.pri.kyoto-u.ac.jp/shakai-seitai/ecolcons/hanya/index.html">https://www.pri.kyoto-u.ac.jp/shakai-seitai/ecolcons/hanya/index.html</a> 半谷吾郎 <a href="http://www.pri.kyoto-u.ac.jp/shakai-seitai/ecolcons/hanya/">http://www.pri.kyoto-u.ac.jp/shakai-seitai/ecolcons/hanya/</a>
--

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大井 徹  (Oi Toru)  (10201964)	石川県立大学・生物資源環境学部・教授    (23303)	
研究分担者	加藤 正吾  (Kato Shogo)  (20324288)	岐阜大学・応用生物科学部・准教授    (13701)	
研究分担者	揚妻 直樹  (Agetsuma Naoki)  (60285690)	北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授    (10101)	
研究分担者	太田 民久  (Ota Tamihisa)  (60747591)	富山大学・学術研究部理学系・特命助教    (13201)	

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関