

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04423

研究課題名(和文) バイオスフェア=生態系の数理的探求

研究課題名(英文) Mathematical study of biosphere=ecosystem theory.

研究代表者

巖佐 庸 (Iwasa, Yoh)

九州大学・理学研究院・教授

研究者番号：70176535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：生態系の構造と動態の理解をすすめるために、数理的研究を進めた。[1]適応進化を考えるに、これまで無視されてきた遺伝子発現やホルモンダイナミクスを考慮することで、新たな視点にたつ数理モデリングをすすめた。それは爬虫類の温度性決定、サンゴ礁の魚の双方向性転換、バッタやアブラムシの密度依存的な移動分散などがある。[2]種分化の速度を決定する理論を展開した。[3]人間社会の決定と生態系の結合ダイナミクスにもとづき、熱帯林の違法伐採抑制、モンゴルの遊牧民移動、などを取り上げた。

研究成果の概要(英文)：In order to understand the structure and function of ecosystems, we developed diverse mathematical modeling. [1] Considering gene-expression and hormonal dynamics, we explored new models of adaptation and evolution, including those on temperature dependent sex determination of reptiles, rarity of bidirectional sex change, density-dependent migration of insects. [2] We developed a series of models for the rate of speciation in geographically structured habitats. [3] We studies coupled social/ecological dynamics on mitigation of illegal logging in tropical forests by profit-sharing, and long-range migration of Mongolian herders.

研究分野：生態学・数理生物学

キーワード：生理メカニズムと進化温度性決定 双方向性転換 生理機構と適応進化 種分化 熱帯林の違法伐採  
モンゴル遊牧民の移動 間接互惠 免疫緩和療法

### 1. 研究開始当初の背景

従来の生態系の研究は、物質循環に着目したもの、空間構造に着目したものなどが中心であった。申請者は構成する種が適応進化することにより形成される側面や、人間社会のダイナミクスを積極的に取り込むことによって、新しい生態系理論を展開できると感じた。

### 2. 研究の目的

生物は、野外において競争者や餌、捕食者などさまざまな他種と相互作用をし、進化・表現型可塑性・行動選択によって適応し、また環境を自らに適応的なものへと改変する。生物群とそれらの物理環境とは互いに深く関連し、それらを含めたシステムがバイオスフェア=生態系である。

生態系の構造と動態の理解をすすめるために、次の3つの視点に立った研究を集中的に行った：

- (1) 生態系を構成するそれぞれの種の適応進化とそのインパクト：
- (2) 種の多様性の生成と喪失の速度に関する数理：
- (3) 人間社会の選択動態と生態系動態の結合システム：

### 3. 研究の方法

数理モデル構築と数理解析、およびシミュレーションが中心であった。

### 4. 研究成果

主要な成果をまとめると以下のようになる。

それぞれの種の適応現象：

[1] 爬虫類では、卵の孵化温度によって性が決まるという温度性決定をとるものが多い。それを雄性および雌性の性ホルモンと後者を生成するアロマテースを入れた力学モデルにおいて、酵素反応が温度とともに上昇するときに、性ホルモンの切り替えが生じることで説明できるかどうかを調べた。その結果、化学反応速度がアレニウス則を満たしているとする、低温で雄、高温で雌のパターンや逆に低温で雌、高温で雄のパターンは作り出せるが、中間の温度で雄で低温と高温で共に雌というパターンは作り出せないことを発見した。これはアロマテース生成速度やその反応速度が、高温においてさらに強い依存性を示すような特別なメカニズム(温度依存スライジングなど)があると結論した。

[2] サンゴ礁の魚には性転換をする種が多数いる。そのとき1週間程度の短い時間で性が転換する種と、性転換に数ヶ月を要する種とがいる。これらが、今使用していない性の生殖巣を維持しているか、社会的状況が変わった時に生殖巣を1から作り直すか、ということの説明し、使用し

ていない性の生殖巣を維持することが有利になる条件を求めた。

[3] アブラムシやバッタで密度によって飛翔能力の大きな違いをもつものがある。それが進化の結果生じた場合を解析した。またホルモンによる生理的な基盤を取り込んだ適応モデルを展開した。

[4] 有性生殖の進化的維持に関する兄弟姉妹競争モデルの解析、

有性生殖の適応的有利さをもたらす要因として、不均一な環境のそれぞれに適応するためにさまざまな遺伝子型を作り出せる効果が、兄弟姉妹での競争が強い状況についてのモデルがあったが、その効果が長らく否定されていた。詳細な理論解析を行うことによって、結構強力に働く可能性を明らかにし、またその際のさまざまなプロセスを理解する枠組みを明確にした。

### 種分化速度と多様性のモデリング

[5] 地理的に隔離された複数の集団の間でそれぞれに突然変異が蓄積し稀に移住が生じることによって、新たな種が作られていく。その速度を計算する一連の理論的研究を行った。種の生成速度が中間の移住率で最大になることを導き、その予測が鳥類での系統樹データの結果と合うことを示した。また、3以上の島の場合の計算方法の開発などを行った。加えて、生態系を縮小した時、当初の喪失に加えて、その後長い時間をかけてさらに種を喪失していく絶滅負債を種分化が起きる場合に解析した。

### 社会 / 生態系結合ダイナミクス：

[6] インドネシアの熱帯林は違法伐採が横行するために経済的にたたなくなっていた。政府は国有林において樹木の売却益のある割合(25%)を地元住民に配分することによって、住民より監視の協力を得ることができるようになり、違法伐採をうまく抑制できた。これを管理者と住民とのダイナミックなゲームとして定式化し、最適な配分率がどのように決まるかを明らかにした。

[7] モンゴル草原南部地域の遊牧民は乾燥が強くなりグラスの生物体量が低下するとより雨量が安定した北部に移動をする。このことをグラスのダイナミクスと遊牧民の場所の選択のダイナミクスをモデルとして、それらの結果、グラス量の大きく異なる複数状態へと、初期値に依存して収束する(多重安定)ことや一定環境下で大きな自立的変動が生じることを示した。

### さまざまな生命現象の数理解析：

[8] 免疫緩和療法モデリング:

花粉症は無害な物質への過剰な免疫反応、つまりアレルギーの典型である。その対策として、少しずつ花粉を経口摂取することによって制御性T細胞を活性化し、花粉を浴びた時にアレルギーを起こさないようにする免疫緩和療法がある。この療法がどのような条件の時に有効かを明らかにした。

[9] 間接互惠における私的と公的状況における社会規範の違い、など数理生物学の様々な話題について研究をすすめた。

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 38 件) 以下全て査読あり

- (1) Kubo, Y., J.-H. Lee, T. Fujiwara, Ratih Madya Seotiana, and Y. Iwasa. 2018. Profit sharing and agroforestry: a theoretical study of potential conflicts in managing illegal logging risk in tropical forests. *Theoretical Ecology* (in press)
- (2) Yamaguchi, S. and Y. Iwasa. 2018. Temperature-dependent sex determination, realized by hormonal dynamics with enzymatic reactions sensitive to ambient temperature. *Journal of Theoretical Biology* 53: 145-155.
- (3) Yamaguchi, S. and Y. Iwasa. 2018. Why is bidirectional sex change rare? *Journal of Theoretical Biology* (in press)
- (4) Booton, R., R. Yamaguchi, and Y. Iwasa. 2018. A population model for diapausing multivoltine insects under asymmetric cannibalism. *Population Ecology* (in press)
- (5) Horita, J., Y. Iwasa, and Y. Tachiki. 2018. To remain in the natal stream or migrate to the ocean—density-dependent growth of juvenile salmonids could lead to fluctuating populations and evolutionary bistability. *Journal of Theoretical Biology* (in press)
- (6) Lee, Joung-Hun, Y. Kubo, T. Fujiwara, Ratih Madya Seotiana, Slamet Riyanto, and Y. Iwasa. 2018. Optimal management of state teak plantation with high risk of illegal logging: role of agroforestry and profit sharing *Ecological Economics* 149:140-148.
- (7) Booton, Ross D., R. Yamaguchi, J. A. R. Marshall, D. Z. Childs, and Y. Iwasa. 2018. Interactions between immunotoxicants and parasite stress: implications for host health. *Journal of Theoretical Biology* 445, 120-127.
- (8) Douge, M. and Y. Iwasa. 2017b. Advantage of sexual reproduction resulting from sibling diversity: the effects of selection intensity, environmental variance, and reduced genetic diversity. *Evolutionary Ecology Research* 18: 677-691.
- (9) Kamioka, T. and Y. Iwasa. 2017b. Evolution of the density-response of the juvenile hormone level which controls the wing type fraction. *Evolutionary Ecology Research* 18: 621-636.
- (10) Lee, Joung-Hun, M. Jusup, Y. Iwasa. 2017. Games of corruption in controlling the overuse of common pool resources. *Journal of Theoretical Biology* 428:76-86.
- (11) Ito, Y., A. Remion, A. Tazuin, K. Ejima, Y. Iwasa, S. Iwami, & F. Mammano. 2017. Number of infection events per cell during cell-free HIV-1 infection obeys negative-binomial distribution. *Scientific Reports* 7: 6559. DOI:10.1038/s41598-017-03954-9
- (12) Hara, A. and Y. Iwasa. 2017. When is allergen immunotherapy effective? *Journal of Theoretical Biology* 425:23-42.
- (13) Douge, M. and Y. Iwasa. 2017a. Sibling diversity gives sexual reproduction the advantage in a changing environment. *Evolutionary Ecology Research* 18:459-475.
- (14) Sawada, K., S. Yamaguchi, and Y. Iwasa. 2017. Be a good loser: a theoretical model for subordinate decision making about bi-directional sex change among harem fish. *Journal of Theoretical Biology* 420:213-219.
- (15) Booton, R., Y. Iwasa, J. A. Marshall, D. Z. Childs. 2017. Stress-Mediated Allee Effects Can Cause the Sudden Collapse of Honey Bee Colonies. *Journal of Theoretical Biology* 420:213-219. doi: 10.1016/j.jtbi.2017.03.009.
- (16) Wang, Z., M. Jusup, R-W Wang, L. Shi, Y. Iwasa, Y. Moreno, and J. Kurths. 2017. Onymity promotes cooperation in social dilemma experiments. *Science Advances* 2017;3: e1601444
- (17) Yamaguchi, R. and Y. Iwasa. 2017. A tipping point in parapatric speciation. *Journal of Theoretical Biology* 421:81-92
- (18) Yamaguchi, R. and Y. Iwasa. 2017. Parapatric speciation in three islands: dynamics of Geographic Configurations. *Royal Society Open Science* 4:160819. DOI: 10.1098/rsos.160819
- (20) Kamioka, T. and Y. Iwasa. 2017a. Evolution of density-dependent wing polymorphisms in insects. *Evolutionary Ecology Research*

- 18:335-348.
- (21) Yamaguchi, S. and Y. Iwasa. 2017. Advantage of sex changer who keeps gonad of non-functional sex. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 71:39  
DOI 10.1007/s00265-017-2269-5
- (22) Sgardeli, V., Y. Iwasa, H. Varvoglis, and J. M. Halley. 2017. A forecast for extinction debt in the presence of speciation. *Journal of Theoretical Biology* 415:48-52.  
DOI: 10.1016/j.jtbi.2016.11.004
- (23) Kubo, Y. and Y. Iwasa. 2016. Phase diagram of a fish school model: marches versus cycles determined by the relative strength of alignment and cohesion. *Population Ecology* 58:357-370.  
10.1007/s10144-016-0544-3
- (24) Ema, H., K. Uchinomiya, Y. Morita, T. Suda, and Y. Iwasa. 2016. Repopulation dynamics of single hematopoietic stem cells in mouse transplantation experiments: Importance of stem cell composition in competitor cells. *Journal of Theoretical Biology* 394:57-67.  
DOI: 10.1016/j.jtbi.2016.01.010
- (25) Chou, Chun-Chia, Y. Iwasa, and T. Nakazawa. 2016. Incorporating an ontogenetic perspective into the evolutionary theory of sexual size dimorphism. *Evolution* 70:369-384.  
DOI: 10.1111/evo.12857
- (26) Yamaguchi, R., Y. Iwasa. 2016. Smallness of the number of incompatibility loci may facilitate paramatric speciation. *Journal of Theoretical Biology* 405:36-45.  
DOI:10.1016/j.jtbi.2015.10.024
- (27) Ohtsuki H, Iwasa Y, Nowak MA .2015. Reputation Effects in Public and Private Interactions. *PLoS Computational Biology* 11(11): e1004527.  
doi:10.1371/journal.pcbi.1004527
- (28) Hara, M., J-H. Lee, and Y. Iwasa. 2015. Cultural evolution of *hinoeuma* superstition controlling human mate choice: The role of half-believer. *Journal of Theoretical Biology* 385:40-49.  
DOI: 10.1016/j.jtbi.2015.08.016
- (29) Bessho, K., Y. Iwasa, and T. Day. 2015. The evolutionary advantage of haploid versus diploid microbes in nutrient-poor environments. *Journal of Theoretical Biology* 383:116-129.  
DOI: 10.1016/j.jtbi.2015.07.029
- (30) Satoi, S. and Y. Iwasa. 2015. When should faster moving animals have better visual ability?-- Computational study of Leuckart's law. *Evolutionary Ecology Research* 16: 649-661.
- (31) Iwami, S., K. Sato, S. Morita, H. Inaba, T. Kobayashi, J. S Takeuchi, Y. Kimura, N. Misawa, Fenrong Ren, Y. Iwasa, K. Aihara, and Y. Koyanagi. 2015. Pandemic HIV-1 Vpu overcomes intrinsic herd immunity mediated by tetherin. *Scientific Reports* 5:12256  
doi:10.1038/srep12256
- (32) Hadjivasiliou, Z., Y. Iwasa, & A. Pomiankowski. 2015. Cell-cell signaling in sexual chemotaxis: a biophysical basis for the evolution of different sexes. *Journal of the Royal Society Interface* 12: 20150342. doi: 10.1098/rsif.2015.0342
- (33) Foo, J., L.L. Liu, K. Leder, M. Riester, Y. Iwasa, C Lengauer, and Franziska Michor. 2015. An evolutionary approach for identifying driver mutations in cancer. *PLoS Computational Biology* 11: e1004350. doi: 10.1371/journal.pcbi.1004350
- (34) Yamaguchi, R. and Y. Iwasa. 2015. Reproductive interference can promote recurrent speciation. *Population Ecology* 57:343-346. doi: 10.1007/s10144-015-0485-2
- (35) Lee, J-H., M. Jusup, B. Podobnik, and Y. Iwasa. 2015. Agent-based mapping of credit risk for sustainable microfinance. *PLoS ONE* 10(5): e0126447. doi: 10.1371/journal.pone.0126447
- (36) Lee, J-H., K. Kakinuma, T. Okuro and Y. Iwasa. 2015. Coupled social and ecological dynamics for herders in Mongolian rangeland. *Ecological Economics* 114: 208-217.  
DOI: 10.1016/j.ecolecon.2015.03.003
- (37) Yamaguchi, S., and Y. Iwasa. 2015. Phenotype adjustment promotes adaptive evolution in a game without conflict. *Theoretical Population Biology* 102: 16-25.  
DOI: 10.1016/j.tpb.2015.03.004
- (38) Lee, J-H., K. Sigmund, U. Dieckmann, and Y. Iwasa. 2015. Games of corruption: how to suppress illegal logging *Journal of Theoretical Biology* 367:1-13.  
doi:10.1016/j.jtbi.2014.10.037
- [学会発表] (計 33 件)
- (1) 2018 Iwasa, Y. Lecture on the JSPS research fellowship for young scientists. Okinawa Institute of Science and Technology. January 12.
- (2) 2018 Iwasa, Y. Plenary speaker, 2018 *International Workshop on Mathematical Biology*. (orgs. Aurelio de los Reyes V et al.), "Coupled social-economic and ecological

- dynamics: examples from lake water eutrophication, Mongolian rangeland, and illegal logging of tropical forests." Cebu, Philippines. January 8, 2018
- (3) 2017 Iwasa, Y. Annual Meeting of Society for Population Ecology. In, Symposium I "The era of genome imprinting: epigenetic inheritance and a paradigm shift in evolutionary ecology", (org. Kenji Matsuura). "Genomic imprinting in mammals: success and failure of conflict theory" October 13, 2017. Nishijin Plaza
- (4) 2017 巖佐 庸. 日本数理生物学会大会、北海道大学、「温度性決定をもたらす生理機構について」10月7日-8日
- (5) 2017 巖佐 庸. 進化経済学会オースタムコンフェレンス「学際シンポジウム: 利己性・利他性をめぐって」「協力行動の維持メカニズムに関する数理生物学」(司会依田高典)9月23日九州大学経済学棟
- (6) 2017 Iwasa, Y. Plenary speaker, International Society for Ecological Modelling Global Conference 2017. (orgs. T-S Chon, Y-S Park). "Coupled social-economic and ecological dynamics: examples from lake water eutrophication, Mongolian rangeland, and illegal logging of tropical forests." September 17-21, Jeju, Republic of Korea
- (7) 2017 Iwasa, Y. Mini-symposium "Synchrony across space in ecology: mathematical issue, challenges, and progress" (org. A. Hastings), Annual meeting of Society for Mathematical Biology. "Masting of trees: coupled chaotic systems tested by long-term flowering data." (with A. Satake) Utah, USA. July 17-20.
- (8) 2017 Iwasa, Y. Special seminar, "Will theoretical studies contribute to biology and life sciences?" Max-Planck Institute for Evolutionary Biology. May 24.
- (9) 2017 Iwasa, Y. Groningen Lecture in Theoretical Biology. "Will theoretical studies contribute to biology and life sciences?" Groningen Institute for Evolutionary Life Sciences group University of Groningen. May 18.
- (10) 2017 Iwasa, Y. Lunch-time seminar, Michor group. "Will theoretical studies contribute to biology and life sciences?" Dana-Faber Cancer Institute, Harvard Medical School. May 2.
- (11) 2017 Iwasa, Y. PED seminar. "Will theoretical studies contribute to biology and life sciences?" Program for Evolutionary Biology, Harvard University. May 1.
- (12) 2017 巖佐 庸. 第21回進化経済学会大会招待講演「数理生物学の社会科学への応用」京都大学 3月25日
- (13) 2017 巖佐 庸. 第64回日本生態学会東京大会「モンゴル草原における放牧民の社会・生態結合ダイナミクス」3月16日、「科研費改革について」3月17日、早稲田大学
- (14) 2017 巖佐 庸. 関西四私立大学合同生命科学シンポジウム「数理情報による生命科学の新しい潮流」。「数理モデルをつかって生命現象にせまる」関西学院大学会館、上ヶ原(西宮市)3月7日
- (15) 2017 巖佐 庸. ゲーム理論ワークショップ2017「生態/社会の結合ダイナミクス: モンゴル草原の放牧民の移動と、インドネシア熱帯林での違法伐採圧のもとでのアグロフォレストリーと利益分配の効果」電気通信大学、調布市 3月4日
- (16) 2016 巖佐 庸. 京都大学ウイルス・再生科学研究所統合記念シンポジウム、「生命科学・生物学の推進に、数理モデルによる理論研究はどう貢献できるか?」12月21日京都大学医学部芝蘭会館
- (17) 2016 巖佐 庸. ミニシンポジウム「生命科学と数理」金沢大学理学談話会。「生物学・生命科学の推進に数理モデルにもとづく理論的研究はどう貢献できるか?」12月14日 金沢大学
- (18) 2016 巖佐 庸. プレナリーモーニングセミナー、第39回日本分子生物学会大会「生命科学・生物学において数理モデルによる理論研究はどう貢献できるか?」横浜パシフィコ。12月1日。
- (19) 2016 Iwasa, Y. Collaborative research "Multi-scale modeling of infectious diseases." (org. S Iwami, and S Nakaoka). "Coupled social-economic and ecological dynamics: examples from lake water eutrophication, Mongolian rangeland, and tropical forests." Research Institute of Mathematical Science, Kyoto University. September 26.
- (20) 2016 Iwasa, Y. JSMB2016 Mini-symposium "Modeling socio-economic aspects of resource management" (orgs. Y. Iwasa and JH Lee). "Social sciences and ecology combined for natural resource management." Ito-campus, Kyushu University. September 7.
- (21) 2016 巖佐 庸. 日本学術振興会学術システム研究センター主任研究員会議「発ガン過程を進化として捉える: 数理的アプローチ」東京、8月5日
- (22) 2016 Iwasa, Y. Invited speaker. International Conference: Patterns and Waves 2016 (orgs. Y. Nishiura, M. Nagayama). "Rate of species creation by geographic isolation and recurrent migration." Hokkaido University. August 3.
- (23) 2016 Iwasa, Y. Invited speaker.

- ECMTB/SMB joint meeting 2016.  
Mini-symposium "Modeling socio-economic aspects of resource management" (org. Y. Iwasa and Mark Owen). "Social sciences and ecology combined for natural resource management." University of Nottingham, UK. July 13.
- (24) 2016 Iwasa, Y. EEP Guest Seminar. "Social sciences and ecology combined for natural resource management." International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg, Austria, June 27.
- (25) 2016 Iwasa, Y. Lecture, Dynamical modeling of living systems. Kyoto. "Will theoretical studies contribute to biology and life sciences?" Medical School, Kyoto University. April 22.
- (26) 2016 巖佐 庸. 日本生態学会第 63 回仙台大会「新しい種が次々と創出されるメカニズムの数理的研究」3月21日。「生態学の展望：企画の趣旨」(フォーラム生態学の展望)。3月24日。仙台国際センター
- (27) 2016 巖佐 庸. 基調講演、シンポジウム「世界がかわる数学が変える」(文部科学省委託調査「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」調査報告シンポジウム)。「生物学・生命科学の推進に数学はどう貢献できるか：数理モデルにもとづく理論的研究について」(orgs. 前田吉昭)。東京大学駒場キャンパス数理科学研究科。2月20日。
- (28) 2015 Iwasa, Y. The 22nd East Asia Joint Symposium on Biomedical Research 2015. Special workshop of "Ecology and evolution". "Rate of species creation by geographic isolation and recurrent migration." OIST (Okinawa Institute of science and technology graduate university) (orgs. E. Economo, T. Yamamoto, and I Masai). November 14.
- (29) 2015 Iwasa, Y. The Annual meeting of Japanese Society for Mathematical Biology and China-Japan-Korea Colloquium of Mathematical Biology. "Rate of species creation by geographic isolation and recurrent migration." Doshisha University, Kyoto. August 26
- (30) 2015 Iwasa, Y. 特別講演。第12回日本病理学会カンファレンス。「発ガン過程を進化として捉える：数理的アプローチ」六甲山ホテル。7月24日
- (31) 2015 Plenary Speaker. The 3rd Toulouse Economics and Biology Workshops "Evolution and Morality". "Morality as a mechanism for maintaining cooperative society by indirect reciprocity." Toulouse School of Economics, Toulouse, France. June 4-5.

- (32) 2015 Iwasa, Y. Special seminar. "Rate of species creation by geographic isolation and recurrent migration." Department of Genetics, Evolution and Environment, University College London, UK. May 7.
- (33) 2015 Iwasa, Y. Plenary speaker. International conference "Modelling biological evolution 2015: linking mathematical theories with empirical realities." (org. A. Morozov) "Rate of species creation by geographic isolation and recurrent migration." University of Leicester, UK. April 30.

(図書) (計 5 件)

- (1) 巖佐 庸 2018. 「交尾をめぐる雄と雌の駆け引き」コーディネーターによる解説、『チョウの生態「学」始末』(渡辺守著)。共立スマートセクション 25。共立出版 pp.132-138.
- (2) 巖佐 庸 2017. 「環境中の化学物質の生態リスク評価」コーディネーターによる解説、『生態学と化学物質とリスク評価』(加茂将史著)。共立スマートセクション 18。共立出版 pp.154-159.
- (3) 巖佐 庸 2017. 「昆虫の視覚情報と運動制御を知りロボットの世界に迫る」コーディネーターによる解説、『昆虫の行動の仕組み：小さな脳による制御とロボットへの応用』(山脇兆史著)。共立スマートセクション 13。共立出版 pp.162-168.
- (4) 巖佐 庸 2015. 「海の生物の適応戦略」コーディネーターによる解説、『海の生き物はなぜ多様な性を示すのか：数学で解き明かす謎』(山口幸著)。共立スマートセクション 1。共立出版 pp.155-160
- (5) 巖佐 庸 2015. まえがき、第2章(生物の人口論)、第3章(競争と共存)、第4章(捕食者と被食者の振動)、第6章(捕食行動)、第8章(性と配偶のゲーム)、第9章(生活史の適応)、『集団生物学』(巖佐 庸・舘田英典共編) 共立出版(共編者および執筆者) pp.389

(産業財産権)

出願状況(計 0 件) 取得状況(計 0 件)  
(その他) 該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者  
巖佐 庸 (IWASA, Yoh)  
九州大学・理学研究院・教授  
研究者番号: 70176535

- (2) 研究分担者 該当なし  
(3) 連携研究者 該当なし  
(4) 研究協力者 該当なし