

研究種目：基盤研究(B)
研究期間：2006～2008
課題番号：18370011
研究課題名(和文) バイオスフェア／複雑適応系理論の展開
研究課題名(英文) Theory of biosphere-complex adaptive system

研究代表者 巖佐 庸
(IWASA YOHI)
九州大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号：70176535

研究成果の概要：

バイオスフェア(生物圏)とは、生物とそれらが息息するための環境とを合わせた系のことである。それには微生物から植物、大型動物などにいたるさまざまな生物だけでなく、個体の適応から個体群の変動、空間構造の自律形成、そして生態系機能の出現とさまざまなレベルを同時に考慮にいれて把握しないといけない。そのようなバイオスフェアのありかたを理解するための基本的な概念、モデリング、そして扱うための数理的手法を開発することが本申請の目的であった。以下の示すようにさまざまな面での成果があがった。とくに人間社会の意思決定と切り離して生態系を理解することはできないことがはっきりし、それらを一つのものとしてとらえるための数理的基盤が整備できたことが大きい。今後この路線にそって生態学の重要な一分野が展開して行くことを期待している。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,200,000	0	5,200,000
2007年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2008年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	2,820,000	17,420,000

研究分野：生態学

科研費の分科・細目：基礎生物学、生態・環境

キーワード：生態系、数理モデル、社会／生態結合動態、複雑適応系

1. 研究開始当初の背景

地球上には非常に多様な生物が棲み、競争や、捕食、共生などのさまざまな関係を結ぶ。生息地の間を移動や分散し、個体数変動やときには局所的絶滅を示す。そしてその生活の結果、土壌をつくり気候を穏やかにし、水や元素などの循環をもたらす。生物がその生活を通じてつくりあげるシステムの全体を、生態系もしくはバイオスフェア(生物圏)という。

ここで以下の2つの点がこれまでの生態学に欠けていた。

第1に、生態系のはたらきを知り、適切に管理するには、時間にも空間的にも大きく異なるスケールの現象を同時に把握せね

ばならない。個体の行動選択が、群れの動きをつくり、病原体など個々の種の進化が群集構造を変え、ある種の個体数変動が地球生態系に変化をもたらすことなど、生態系に生じるさまざまな現象は、近距離での簡単な相互作用からより大きなスケールでのパターンや秩序が自律的につくり出される現象として把握することができる。

第2に、他の種や環境に大きな影響を与える種のことをエコシステムエンジニアというが、ヒトはその代表的な例である。各個体は、自らの適応度の高い挙動を選択し、その行動選択が生態系を大きく改変し、それが個体の決定にフィードバックする。森林

伐採や漁業資源の乱獲、湖沼の水質維持などいずれを考えても、ヒトの影響は生態系の動態を考える上に切り離せない。他方でヒトの意思決定には生態系のあり方が影響する。そのため従来のように自然生態系だけを考えるのでは不十分で、ヒトの意思決定と生態系のダイナミクスが分かちがたく結びついたシステムの研究が必要である。

2. 研究の目的

以上の認識にもとづいて、本申請では、バイオスフェアのはたらきについての基本的理解を確立するための理論的研究を展開し、多様な解析手法を進展させる。次の3つの視点を中心に行う。

[1] 空間生態学の展開

これまで生態系とは元素などの物質循環にもとづいてとらえる面が強調されてきた。近年、リモートセンシングや長期の大面積生態調査プロットなどが得られ、地図上での生態系の把握が可能になり、それらを扱う景観生態学が発展した。それに対応して、地理的な配置や時空間動態が、種の共存、絶滅、生態的相互作用などおよび影響を及ぼす手法の研究を推進する。

具体的には、次の3つをサブテーマとする：

- 1-1 空間的に異質な場における個体群および群集動態
- 1-2 森林空間データにもとづいたスケールフリーからの逸脱の研究
- 1-3 格子モデルにおける時空間ダイナミクスの新しい近似法
(サブテーマの詳細については、研究計画を参照)

[2] 変動環境での進化と生活史の多様性の解明

時間的・空間的変動のもとで、生物の適応と進化がどのような生活史をつくりだすのか。その結果、維持される種の多様性にどのような影響があるかを知る。

- 2-1 動物のホーミングの進化
- 2-2 複合生活史の進化

[3] ヒトによる行動選択動態と生態系動態とのカップリング

個人による行動の適応的な選択が、社会全体の全員に不利な結果をもたらすことは社会的ジレンマとして知られ、乱獲の規制や絶滅危惧種の保全、森林などの保護、といった生態系管理においても基本的課題である。これまでの経済学における扱いは、生態系の動態が入っていない。本申請では、生態系動態と社会/経済的選択の動態が密接に関連した新しいモデリングを開発する。

以下の3つのサブテーマでの研究を進める。

- 3-1 陸域生態系の土地利用変化を表すモデリング
- 3-2 湖の水質の管理と社会的レジームシフトの研究
- 3-3 社会的規範のあり方による環境政策の実現可能性の理論的研究

3. 研究の方法

研究開始の初年度には、後の年度における融合を可能にするように、それぞれのサブテーマについての研究をすすめる。3つのテーマについて述べる。

[1] 空間生態学の展開

1-1 空間的に異質な場における個体群および群集動態

これまでのモデルは格子モデルですべてのサイトが基本的に均一な状況を仮定していた。現実的な空間ヘテロジェネティをモデル化するために、中点変位法にもとづいたフラクタル地形により土地の生産性や資源分布が表されるとして、集団の存続確率や競争種の共存条件を求める。

1-2 森林空間データにもとづいたスケールフリーからの逸脱の研究

異なる空間スケールの変動に分解することによって、生物個体群や群集を支配する要因を探る研究をすすめる。フラクタル地形

はいろいろなスケールでの変動が同等に含まれている状況(スケールフリー)を表すモデルである。これに対して現実の生態系のバイオマス分布が、スケールフリーかどうかを判定する統計的手法を開発する。

予備的研究によると、小川学術参考林およびパロコロラド島での森林長期プロットのデータは、スケールフリーから有為にずれている。それに代わる標準的空間ヘテロジェネティモデルを開発する。

1-3 格子モデルにおける時空間ダイナミクスの新しい近似法

長年開発してきたペア近似を進展させて、ペアエッジ近似などさらに有力な近似法を開発する。さらには時空間動態のデータの解析法を開発し、景観変遷のデータを解析する。

[2] 変動環境での進化と生活史の多様性の解明。

2-1 動物のホーミングの進化

サケの母川回帰などは有名だが、渡りを行う鳥類でもまたカエルなど、運動能力のある動物では、繁殖期になると自らの出生した生息場所に帰ることが幅広くみられる。繁殖場所による成功率の違いがあり、それが見かけでは判断ができない状況ではホーミングが必ず進化することを示す。環境変動の影響を考慮するとホーミングが不利になると予測されるがそれを確率最適化により解析する。

2-2 複合生活史の進化

空間的な異質性が存在するときに、多数の種がどのようにして共存するのか、またプランクトン生活をする幼生と固着性の成体というふうにならざるを得ない異なる生息地を利用する複合生活史の進化条件をさぐる。

[3] ヒトによる行動選択動態と生態系動態とのカップリング

3-1 陸域生態系の土地利用変化を表すモデリング

森林を念頭に、陸域生態系に対して土地利用の変化を表すモデリングを行う。サイトベースモデルにし、それぞれのサイトの状態が、森林、農耕地、放棄林、居住地などのいくつかの状態を動くマルコフモデルとする。そのときに変化は、生態遷移、自然撓乱などによる状態遷移と、土地所有者の意思決定による開発、放棄、植林などの人為的変化をともに取り込む。

後者は所有者にとってのコストや利益を考慮して遷移確率が決まり、また近隣の所有者からの社会的圧力を受けるとする。東南アジア熱帯での土地利用変化のデータを解析する予定。

プリンストン大学の Simon Levin 教授、中静透東北大学教授および佐竹暁子博士との共同研究としてすすめる。

3-2 湖の水質の管理と社会的レジームシフトの研究

湖の水質に対して多数の事業者もしくは住民が、リンの流出量の異なる複数のオプションのうちいずれを選ぶ状況を考える。これは、農耕のやり方、もしくは畜産の管理、下水道を接続するか

否かなども当てはめることができる。意思決定は経済効率だけでなく社会的な圧力による。予備的研究によると多くの事業者が環境を考慮したオプションを採る状態と逆にほとんど環境に考慮しない状態とが、それぞれ安定になることがある。湖のリンについては、湖底からの巻き上げや水草などとの関係から富栄養の状態と貧栄養の状態とがともに安定になり（双安定）、カストロフィックレジームシフトと呼ばれる現象が生じる。この湖の陸学的なレジームシフトと、ここで始めて提唱される社会的選択にもつづいたレジームシフトとが絡み合う様を明らかにする。また水質の悪化は、湖全体の水質管理に影響するプレイヤーの数によって異なることが予想される。

国立環境研究所総合研究官高村典子博士との共同研究としてすすめる。最終的には日本の湖沼データに適用しモデルを検証する。本申請によって雇用する研究員が本格的なモデリングにあたる予定。

3-3 社会的規範のあり方による環境政策の実現可能性の理論的研究

上記の2つのモデル系を一般化し、多数のプレイヤーがいて、それぞれに戦略を選ぶゲームを考える。そこで得点が環境に協力的なプレイヤーが近隣に多いほど得点が高いとする。また生態系の劣化の及ぶ範囲や社会的な制裁（圧力）の範囲の違い（集団全体でおきるか近隣だけでおきるか）の影響、最終的に達成される協力レベル、生態系の健全度、監視や処罰のための管理コストについての一般的な法則を導く。またプレイヤーの行動変化のルール（将来を推測して利得の高い戦略を選ぶか、現在までに高い利得を得た近隣のプレイヤーの戦略を採用するか）によって大きくことなる結果が得られることを予備的調査で得ている。Martin Nowak（ハーバード大学教授）や中丸麻由子博士（東工大常勤講師）との共同研究。

4. 研究成果

上記に示した個々の項目に着いて進展があった。それらは多くの物が論文業績として出版されている。とくに特筆すべきものとしては次の物を取り上げたい。

[1] 利他行動進化にかかわる間接互恵生における処罰の効果 (Ohtsuki, Iwasa and Nowak, 2009年1月Natureに掲載)。人以外の動物の利他行動は血縁淘汰や互恵的利他主義によって理解されてきた。人間社会もそれと基本的には変わらないという認識がなされてきた。ところが人間社会では他人の行為に対して互いに第3者が評価をし「よい」「わるい」などの評判が他の人の行為者に対する対応に影響することによって、協力を強制するというシステム、間接互恵が成立する。それは人間には言語があるためである。その結果としてヒトは他人に良く見られるように、道徳的に振る舞うことに気を配り、また常に他人の行動を評価しまたその評価を第3者と交換することで社会的合意を形成している。このような社会においてどのような行為をよい、もしくはわるいとラベリングすることによって協力的な社会が維持できるのかについて申請者は数年前から数理的研究をすすめてきた。今年成って出版された論文では、悪いと考えられる他人を処罰する、つまりコストを支払って適応度を低下させるこういが、社会全体

としての協力を維持する上に効かないことを数理的に証明したものである。

[2] 他人の評判にひきづられるために、結果として共同体の中における協力行動が維持されるという機構が環境問題を解決する上にも重要であることが明らかになってきている。その原理にもとづいて、湖沼の富栄養化対策に対して地域社会がどの程度協力的になれるのかを考える、社会/生態系結合モデリングを行った。その結果、共同体が2つの集団に別れて合意が難しくなる状況を解析できた。また補助金で協力のコストを低くすることや、環境教育で協力を促すことに比べて、共同体を強化することがもっとも効率的であることを示した。またリンを湖水から除去することでむしろ湖水の富栄養化がつよまる危険があることを示した。これらは、人々の環境への関心の度合いを高めることが環境問題の解決にとって重要であることを示している。論文は Ecological Economics などに数編印刷された。

[3] 森林の一斉開花結実の進化条件。

森林の樹木が一斉開花する機構についてカオス結合系としての挙動を調べてきたが、その基本と成る資源消費係数 k が進化することによってどのような条件で一斉開花が進化するかを議論した。その結果、樹木が枯死した後のギャップにどのように更新するかについての過程が大きな影響を与えることがわかった。たとえばギャップが開いたときに当年に作られた種子から1つが選ばれて埋めるとするモデルでは、たとえ一斉開花することが種子の生産量や生存率では有利であっても、進化しないことが示された。これは生存発芽種子のなかでギャップを埋めることができる比率が厳しくなるために、有利さがうちけされるためである。そこでギャップはすべてがつくられた年のうちに埋められるのではなくある程度が翌年まで持ち越されるとするモデルを考えたところ、一斉開花結実が進化できることがわかった。さらに樹木の生活史ではより現実的なモデルとして、種子は発芽したあと実生として数年間に渡って林床で生存し、樹木が倒れたときにはこの実生プールにいるものから選ばれて埋めるとする場合にも一斉開花が進化できることがわかった。一斉開花結実の進化を考えるにあたって樹木更新過程が関与することを見いだしたのは我々が初めてであった。

Evolutionary Ecology Research に掲載。

[4] 発生における形態形成

これらのほか発生における形態形成を解明するためのさまざまなモデリングと理論的研究をすすめた。

今後、発生学と生態学をつなぐ EcoDevo が本格的に進展するときの基盤と成る成果と考えている。

[5] 体内における発ガン過程および病原体の薬剤耐性獲得過程に関する進化生物学的解析

これは薬剤耐性の出現という基本的な進化現象に対してモデ

リングをおこなったものである。

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 43 件)

次ページ以下を参照

[学会発表] (計 55 件)

次ページ以下を参照

[図書] (計 31 件)

次ページ以下を参照

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://bio-math10.biology.kyushu-u.ac.jp/~iwasa/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

巖佐 庸 (九州大学大学院理学研究院・教授)

研究者番号: 70176535

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

主な発表論文 (研究期間内に発表)

英語の原著論文 (すべて査読あり)

2006

- (1) Michor, F., M.A. Nowak and Y. Iwasa. 2006. Evolution of resistance to cancer therapy. *Current Pharmaceutical Design* **12**:261-271.
- (2) Mochizuki, A., K. Yahara, I. Kobayashi, and Y. Iwasa. 2006. Selfish gene's strategy for symbiosis in the genome. *Genetics* **172**:1309-1323.
- (3) Ohtsuki, H. and Y. Iwasa. 2006. The leading eight: social norms that can maintain cooperation by indirect reciprocity. *Journal of Theoretical Biology* **239**:435-444.
- (4) Zea-Cabrera, E., Y. Iwasa, S. Levin, I. Rodriguez-Iturbe, 2006. Tragedy of the commons of plant water use. *Water Resources Research*, **42**, W06D02, doi:10.1029/2005WR004514.
- (5) Iwasa, Y., M.A. Nowak, and F. Michor. 2006. Evolution of resistance in clonal expansion. *Genetics* **172**:2557-2566.

- (6) Satake, S. and Y. Iwasa. 2006. Coupled ecological and social dynamics in a forested landscape: the deviation of the individual decisions from the social optimum. *Ecological Research* **21**:370-379.
 - (7) Michor, F., M.A. Nowak, and Y. Iwasa. 2006. Stochastic dynamics of metastasis formation. *Journal of Theoretical Biology* **240**:521-530.
 - (8) Nowak, M.A., F. Michor, and Y. Iwasa. 2006. Genetic instability and clonal expansion. *Journal of Theoretical Biology* **241**:26-32.
 - (9) Michor, F. and Y. Iwasa. 2006. Dynamics of metastasis suppressor gene inactivation. *Journal of Theoretical Biology* **241**:676-689.
 - (10) Nakamaru, M. and Y. Iwasa. 2006. The coevolution of altruism and punishment: the role of selfish punishers. *Journal of Theoretical Biology* **240**:475-488.
 - (11) Schlicht, R. and Y. Iwasa. 2006. Direction of regeneration waves in grid-based models for forest dynamics. *Journal of Theoretical Biology* **242**:365-371.
 - (12) Kurosawa, G., K. Aihara, and Y. Iwasa. 2006. A model for circadian rhythm of cyanobacteria, which maintains oscillation without gene expression. *Biophysical Journal* **91**:2015-2025.
 - (13) Schlicht, R. and Y. Iwasa. 2006. Deviation from power-law, spatial data of forest canopy gaps, and three lattice models *Ecological Modelling* **198**:399-408.
 - (14) Michor, F., Y. Iwasa and M.A. Nowak. 2006. The age incidence of chronic myeloid leukemia can be explained by a one-mutation model. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **103**:14931-14934.
 - (15) Feugier, G.F. and Y. Iwasa. 2006. How canalization can make loops: a new model of reticulated leaf vascular pattern formation. *Journal of Theoretical Biology* **243**:235-244.
 - (16) Taylor, C., Y. Iwasa, and M.A. Nowak. 2006. A symmetry of fixation time in evolutionary dynamics. *Journal of Theoretical Biology* **243**:245-251.
 - (17) Iwasa, Y. and G. Wada. 2006. Complex life cycle and the body sizes at life history transitions for macroparasites. *Evolutionary Ecology Research* **8**: 1427-1443.
- 2007
- (18) Yokomizo, H., P. Haccou and Y. Iwasa. 2007. Optimal conservation strategy in fluctuating environments with species interactions: resources enhancement of the native species versus extermination of the alien species. *Journal of Theoretical Biology* **244**:46-58.
 - (19) Ohtsuki, H. and Y. Iwasa. 2007. Global analysis of evolutionary dynamics and exhaustive search for social norms that maintain cooperation by reputation. *Journal of Theoretical Biology* **244**:518-531.
 - (20) Haeno, H. and Y. Iwasa. 2007. Probability of resistance evolution

- in the host by the exponentially growing virus. *Journal of Theoretical Biology* 246: 323–331.
- (21) Schlicht, R., and Y. Iwasa. 2007. Spatial pattern analysis in forest dynamics: Deviation from power law and direction of regeneration waves. *Ecological Research* 22:197–203.
- (22) Iwasa, Y., T. Uchida, and H. Yokomizo. 2007. Nonlinear behavior of the socio-economic dynamics for lake water pollution control. *Ecological Economics* 63: 219–229.
- (23) Shudo, E., J. Yang, A. Yoshimura, and Y. Iwasa. 2007. Robustness of the signal transduction system of the mammalian JAK/STAT pathway and dimerization steps. *Journal of Theoretical Biology* 246:1–9.
- (24) Satake, A., H.M. Leslie, Y. Iwasa, and S.A. Levin. 2007. Coupled ecological-social dynamics in a forested landscape: spatial interactions and information flow. *Journal of Theoretical Biology* 246:695–707.
- (25) Uehara, T., Y. Iwasa, and H. Ohtsuki. 2007. ESS distribution of display duration in animal contests to assess an opponent before fighting or fleeing. *Evolutionary Ecology Research* 9:395–408.
- (26) Satake, A., M. Janssen, S.A. Levin, and Y. Iwasa. 2007. Synchronized deforestation induced by social learning under uncertainty of forest-use value *Ecological Economics* 63:452–467.
- (27) Taylor, C., J. Chen, and Y. Iwasa. 2007. Cooperation maintained by fitness adjustment. *Evolutionary Ecology Research* 9: 1023–1041.
- (28) Traulsen, A., Y. Iwasa, and M.A. Nowak. 2007. The fastest evolutionary trajectory. *J. theor. Biol.* 249: 617–623.
- (29) Kon, R. and Y. Iwasa. 2007. Single class orbits in nonlinear Leslie matrix models for semelparous populations. *Journal of Mathematical Biology* 55:781–802.
- (30) Uriu, K. and Y. Iwasa. 2007. Turing pattern formation with two kinds of cells and a diffusive chemical. *Bulletin of Mathematical Biology* 69 (8): 2515–2536
- (31) Haeno, H., Y. Iwasa, and F. Michor. 2007. The evolution of two mutations during clonal expansion. *Genetics* 177:2209–2221.
- 2008
- (32) Hirashima, T., Y. Iwasa, and Y. Morishita. 2008 Feedback loop between the AER and ZPA activities stabilizes their spatial position in the limb bud formation. *Bulletin of Mathematical Biology* 70:438–459.
- (33) Muko, S. and Y. Iwasa. 2008. Spatial heterogeneity of mortality and temporal fluctuation in fertility promote coexistence but not vice versa: a random-community approach. *Journal of Theoretical Biology* 253:593–600.
- (34) Morishita, Y. and Y. Iwasa. 2008. Optimal placement of multiple morphogen sources. *Physical Review E* 77, 041909
- (35) Morishita, Y. and Y. Iwasa. 2008. Growth based morphogenesis in vertebrate limb bud. *Bulletin of Mathematical Biology* 70, 1957–1978.
- (36) Tachiki, Y. and Y. Iwasa. 2008. Role of gap dynamics in the evolution of masting of trees. *Evolutionary Ecology Research*. 10: 893–905.
- (37) Satake, A., S.A. Levin and Y. Iwasa. 2008. Comparison between perfect information and passive-adaptive social learning models of forest harvesting. *Theoretical Ecology* 1:189–197.
- 2009
- (38) Ohtsuki, H., Y. Iwasa, and M.A. Nowak. 2009. Indirect reciprocity provides only a narrow margin of efficiency for the costly punishment. *Nature* 457:179–182.
- 印刷中
- (39) Suzuki, Y., and Y. Iwasa. 2009. The coupled dynamics of human socio-economic choice and lake water system: the interaction of two sources of nonlinearity. *Ecological Research* (in press)
- (40) Suzuki, Y., and Y. Iwasa. 2009. Conflict between groups of players in coupled socio-economic and ecological dynamics. *Ecological Economics* (in press)
- (41) Morishita, Y. and Y. Iwasa. 2009. Estimating the spatio-temporal pattern of volumetric growth rate from fate maps in chick limb development *Developmental Dynamics* (in press)
- (42) Uriu, K., Y. Morishita and Y. Iwasa. 2009. Traveling wave formation in vertebrate segmentation. *Journal of Theoretical Biology* (in press)
- (43) Hirashima, T., Y. Iwasa, and Y. Morishita. 2009. Dynamic modeling of ureteric tube branching in the early kidney development. *Journal of Theoretical Biology* (in press)
- 英文原著論文(審査中)
- (44) Morishita, Y. and Y. Iwasa. Accuracy of positional information provided by multiple chemical gradients with correlated noises.
- (45) Uriu, K., Y. Morishita, and Y. Iwasa. Synchronized oscillation of the segmentation clock gene in vertebrate development.
- (46) Saeki, K., and Y. Iwasa. Advantage of having regulatory T cells requires localized suppression of immune reactions.
- (47) Gokhale, C., Y. Iwasa, M.A. Nowak, and A. Traulsen. The pace of evolution across fitness valleys.
- (48) Uehara, T. and Y. Iwasa. Large mutations and small mutations have very different effects on evolution, illustrated by mixed strategies of asymmetric binary games.
- (49) Iwasa, Y., Y. Suzuki-Ohno, and H. Yokomizo. Paradox of nutrient removal in coupled socio-economic and ecological dynamics for lake water pollution.
- 著書(共著)、プロシーディング、書評
など(英文)
- (1) Iwasa, Y. 2006. Space and society: a preface to special feature "Theoretical Ecology". *Ecological Research* 21: 325–327
- (2) Takeuchi, Y., Y. Iwasa, and K. Sato. 2007. Preface. In "Mathematics for ecology and environmental sciences." (Y. Takeuchi, Y. Iwasa and K. Sato eds.) Springer.
- (3) Sato, K., Y. Iwasa, and Y. Takeuchi. 2007. Ecology as a modern science. in "Mathematics for ecology and environmental sciences." (Y. Takeuchi, Y. Iwasa and K. Sato eds.) Springer, Chapter 1 pp. 1–3.
- (4) Brandt, H., H. Ohtsuki, Y. Iwasa, and K. Sigmund. 2007. A survey on indirect reciprocity. In "Mathematics for ecology and environmental sciences" (eds. Y. Takeuchi, K. Sato and Y. Iwasa eds.) Springer chapter 3, pp.21–49.
- (5) Takeuchi, Y., Iwasa, Y., and K. Sato. 2007. Preface. In "Mathematics for life science and medicine" (Y. Takeuchi, Y.

Iwasa and K. Sato eds.) Springer.

- (6) Iwasa, Y., K. Sato, and Y. Takeuchi. 2007. Mathematical studies of dynamics and evolution of infectious diseases. in "Mathematics for life science and medicine" (Y. Takeuchi, Y. Iwasa and K. Sato eds.) Springer, Chapter 1 pp. 1-4.
- (7) Iwasa, Y., F. Michor, and M. A. Nowak. 2006. Directional Evolution of Virus within a Host under Immune Selection. In "Mathematics for life science and medicine" (eds. Y. Takeuchi, K. Sato and Y. Iwasa) Springer, Chapter 7. pp. 155-176.
- (8) Iwasa, Y. 2007. "Forum: ecology and economic -- a preface". *Ecological Research* 22:1-2.
- (9) Satake, A. and Y. Iwasa. 2009. "Preface to Special Feature: Interface between ecology and social sciences in global environmental change" *Ecological Research* (in press)

著書

- (1) 巖佐 庸 2006. 森林動態研究の私にとっての魅力。『森林の生態学:長期大規模研究からみえるもの』(正木隆ほか編)種生物学研究第29号、文一総合出版
- (2) 巖佐 庸 2006. 生態学の数理モデル。『バイオインフォマティクス事典』共立出版 p.326-328.
- (3) 巖佐 庸 2007. ヒトの協力によって環境を守る:ゲーム理論と生態学。『ゲーム理論プラス』(経済学セミナー増刊) pp.68-71.
- (4) 巖佐 庸 2007. 数理モデル「数学辞典」(第4版)岩波書店.
- (5) 巖佐 庸 2008. 『生命の数理』(共立出版)(単著)
- (6) 巖佐 庸 2008. 『環境事典』(日本科学者会議編、旬報社)「群集」「資源」「生態系」「生態系生態学」「生態リスク評価」「生物資源管理」「共生」
- (7) 広中平祐その他編 2009. 『数理科学事典』(丸善)企画委員、第5章 生命の数理の編集を担当、「生命の数理:概要」「発癌の数理」「遺伝子・タンパクダイナミクス」「概日リズム」などを執筆(印刷中)
- (8) 巖佐 庸 2009. 『生物学大辞典』(東京化学同人)「癌の数理モデル」「染色体不安定」「コンパートメント化の効果」「トンネル効果(発癌過程での)」「ツーヒット説」(印刷中)
- (9) 巖佐 庸・望月敦史 2009. 「分岐構造形成の数理モデル:維管束植物の葉脈パターンと神経細胞の樹状突起形成を例に」『数理生物学要諦第2巻:空間の数理生物学』(瀬野裕美ほか編)(共立出版)(印刷中)
- (10) 巖佐 庸・大野ゆかり 2009. 「生態系ダイナミクスと人の選択ダイナミクスのカップリング」『生態系の再生を生態学と社会科学から考える一湖沼を事例として』(高村典子編)共立出版(印刷中)

訳書

- (1) 竹内康博・佐藤一憲・巖佐 庸・中岡慎治監訳 2008. 『進化の

ダイナミクス-生命の謎を解き明かす方程式』(Martin A. Nowak 2006)共立出版

総説・解説など(日本語)

- (1) 巖佐 庸 2006. 生態系における偶然. 数理科学 511: 42-47.
- (2) 巖佐 庸 2006. 化学物質の生態系に対する毒性影響を野生生物の絶滅リスクとして評価する試み. 農業環境科学研究 14: 51-63.
- (3) 巖佐 庸 2006. 石川統先生のご逝去を悼む. 日本進化学会ニューズレターvol.7, 8-9.
- (4) 巖佐 庸 2007. 日本数理生物学会JSMBの会員の皆様へ. 日本数理生物学会ニューズレター 51:2.
- (5) 巖佐 庸 2007. 微生物も血縁びいき:協力のメカニズムの研究. 遺伝61: 6-7.
- (6) 巖佐 庸 2007. 『細胞性粘菌のサバイバル:環境ストレスへの巧みな応答(漆原秀子著、サイエンス社)』書評、遺伝61: 102-103.
- (7) 巖佐 庸 2007. 発ガンプロセス:体内でのミニ進化。「モデルが拓く放射線防護研究の新たな展開」(根井充編)放射線医学総合研究所 p.33-41.
- (8) 巖佐 庸・早坂忠裕・立本成文 2007. 特別鼎談 Humanity & Nature Newsletter 10: 2-4.
- (9) 巖佐 庸 2008. 佐竹暁子受賞論文へのコメント. 日本生態学会誌 57: 299-301.
- (10) 巖佐 庸 2008. 「数理科学は語る:30年前から現代へのメッセージ、特集『生物と数学:数理生物学の新しい展開』(1978年9月号)」。数理科学543: 67.
- (11) 巖佐 庸 2009. シンポジウム報告「協力の進化:社会・脳・ゲーム」進化学会ニューズレター9:21-22.

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://bio-math10.biology.kyushu-u.ac.jp/~iwasa/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

巖佐 庸 (IWASA, Yoh)

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号: 70176535

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし