

平成 22 年 8 月 20 日現在

研究種目：特定領域研究
 研究期間：2005～2009
 課題番号：17075001
 研究課題名（和文）環境に適応するための高次行動を制御する神経生理機構のシステムの理解
 研究課題名（英文）Systematic understanding of neuronal mechanisms for adaptive behavior in changing environment
 研究代表者
 青沼 仁志 (AONUMA HITOSHI)
 北海道大学・電子科学研究所・准教授
 研究者番号：20333643

研究成果の概要（和文）：社会環境への適応のメカニズムを明らかにするため、コオロギの闘争経験に基づく行動の選択の神経メカニズムを調査したところ、脳内の一酸化窒素・生体アミン系の働きが重要であることを突き止めた。また、行動と神経修飾機構を説明するモデルを構築し、シミュレーション実験と行動検定によりモデルの妥当性を検証した。その結果、個体間相互作用による部状態を更新するメカニズムが社会適応の実現に重要であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We have investigated the design principle of neuronal mechanisms for social adaptation in animals, by focusing on how animals determine their behavior depending on previous social experiments. We focused on cricket agonistic behavior that is released by cuticle pheromones. We are to reveal behavioral and physiological aspects of socially adaptive behaviors. Nitric oxide system and octopamine system in the central nervous system could mediate aggressive behavior of the crickets. Based on our experimental results, we establish dynamic behavior models and neurophysiological models. We found one of important structure that maintains social adaptive behaviors, that is multiple feedback structure which is composed of feedback loop in nervous systems and through social interactions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	22,200,000	0	22,200,000
2006 年度	22,100,000	0	22,100,000
2007 年度	21,600,000	0	21,600,000
2008 年度	10,800,000	0	10,800,000
2009 年度	8,500,000	0	8,500,000
総計	85,200,000	0	85,200,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：動物生理・行動

キーワード：行動生理

1. 研究開始当初の背景

生物の適応行動は、迅速な適応と進化的な適応に大別できる。どちらの適応行動も、生物が、長い進化の過程で獲得した適応機構のひとつである神経系の働きによる。特に、複雑に変化する環境下では、迅速な適応行動が

重要であるが、その行動を決定する環境要因には様々なものがある。個体が複数集まると個体間の相互作用が生じ、その状況に応じた行動を発現する。即ち、社会はひとつの環境要因として捉えることができる。我々は、生物の社会的適応行動の発現メカニズムを明

らかにすることで、環境が他者の存在する環境である時の移動知の発現メカニズムの解明を目指す。

2. 研究の目的

社会をひとつの環境要因として捉え、個体間相互作用や社会的経験に基づいて、個体が実時間で行動を決定し発現する神経生理機構を明らかにする。

動物が刻々と変わる状況に応じて適切に行動パターンの切替えをする神経制御機構を解明するためには、行動発現に関わる神経回路網の同定と神経伝達の修飾作用、神経の可塑的な性質を作る神経生理機構を解明することが必須である。

昆虫の身体は脊椎動物などに比べ小さく、微小な脳神経系はわずか 10^6 個程の細胞からなるが、優れた感覚受容機構、情報処理機構、運動発現機構をもち環境に適応している。本研究では、昆虫のフェロモン情報処理と行動発現に関わる神経回路網を調査し、社会適応にかかわる脳内の神経伝達物質・修飾物質を明らかにする。特に、一酸化窒素シグナルと生体アミンによる神経修飾に注目し、個体間相互作用による行動の発現機構を調査する。また、昆虫の神経系における行動プログラムの実時間選択の神経機構を明らかにすることで、動物がいかんして社会環境の変化に対して適応的な行動を発現するのかを理解し、神経系の設計原理や動作原理の解明にせまる。

3. 研究の方法

研究材料として昆虫のコオロギやカイコを使い、フェロモン行動を題材に、実時間適応を実現する神経生理機構について、薬理行動学実験、生理学実験、生化学実験を行う。

闘争行動の発現と、闘争経験にもとづく構想選択のメカニズム解明にはコオロギを用いる。まず、コオロギの攻撃行動を誘発する物質について、生化学分析と行動検定を行い、化学物質の同定と化学合成を行う。また、その化学物質の情報が昆虫の脳でどのような経路で処理されるのかを明らかにするため、細胞内染色法を使って、化学感覚情報処理経路の3次元構造を解剖学的に明らかにする。行動実験は、コオロギを一定時間隔離し、社会的経験の条件をそろえたうえで行う。薬理的に神経修飾物質の働きを阻害・賦活することで神経修飾物質の行動選択に及ぼす効果を調査する。また、それらの物質が作用する脳領域について、免疫組織化学実験で明らかにする。さらに、それらの物質がどのようなダイナミクスで機能するか高速液体クロマトグラフィー法で調べる。

行動学実験をもとに、闘争行動と群行動を説明するモデルを構築し、その評価を行動検

定で行う。また、生理学・薬理学研究から、神経作用物質の働きを説明するモデル構築し、モデルのシミュレーション結果と実際の神経細胞の動作を比較し、評価する。

コオロギの喧嘩経験に基づく適応的な行動選択の神経機構を明らかにするため、脳を構成する細胞レベルでの研究を展開し、細胞から個体の行動や群（社会）の振る舞いといった各階層での知見を統合し、動的なマルチモデルを構築する。

4. 研究成果

(1) 攻撃誘発フェロモンと闘争行動の発現にかかわる脳領域：オスは他個体に遭遇すると互いに威嚇し、相手が退かなければ、次第に激しい攻撃へと進展し闘争が始まる。攻撃は、相手のオス体表物質を受容すると誘発される。この化学成分について、生化学分析と行動検定を行い、特定の炭化水素が攻撃の誘発にかかわることを突き止めた。また、解剖学実験により、コオロギの脳内で体表炭化水素の情報が処理される経路の空間的な配置を調べた。その結果、触角からの情報は、脳内で化学感覚情報と機械感覚情報に分かれ別々の経路で処理されることが分かった。また、触角用では49個ある糸球体の形態に個体差や雌雄差が少なく、上位中枢への経路となる投射ニューロンでは、触角葉由来の投射ニューロンはキノコ体傘部の上方端と側角に、腹側域由来の投射ニューロンはキノコ体傘部や前大脳側部下側と上側に投射していることが分かった。即ち、触角葉の時空間的な活動パターンで表現される化学情報と、腹側域で表現される機械情報が、高次中枢においても時空間的な活動パターンとして表現されることが示唆された。

(2) 闘争経験による行動選択と異種感覚入力の役割：オス同士の闘争が終結すると、勝者では闘争性は維持されるが、敗者では、闘争性が減退し、他個体に対して忌避行動を示す。この忌避行動は、勝敗が決まってから比較的長い時間続く。また、この間、敗者は、他個体から抽出された体表物質を提示するだけでも忌避行動を示すことから触角で受容する感覚が攻撃や忌避を引き起こす重要な鍵刺激であることが判明した。一方、闘争の際に触角が果たす役割を明らかにするため、左右両方の触角を切除した個体同士で対戦させると、攻撃を示す個体の割合が優位に減少した。即ち、オスが攻撃を仕掛けるには触角から入ってくる情報が必要である。次に、触角を切除した個体では闘争性が減少しているのか確認すると、闘争行動の激しさは、正常個体同士の闘争行動と有意な差が見られなかった。即ち、触角からの入力情報は、相手を検知し、攻撃を仕掛ける際には必要だが、相手から仕掛けられた攻撃に対する応戦

には必要ない。これらの結果から、攻撃行動の発現には、触角からの化学感覚入力や機械感覚入力を介する経路と触角からの入力を介さない経路が存在することが示唆された。さらに、触角切除個体は正常個体に対して、明条件下でも暗条件下でも同様な攻撃行動を示すことから、触角を介さない経路には、相手個体の触角による体表面への機械感覚刺激が重要と考えられる。次に、左右の触角を切除した個体で、敗退経験と忌避行動の関係を調べた。触角を除去した個体と正常な個体とを対戦させて、その闘争で触角を除去した個体が負けた場合、それぞれの個体を隔離後、同じ相手と再び対戦させたところ、触角を除去した個体では正常個体に比べ2度目の対戦で攻撃を示す割合が有意に増えた。即ち、闘争経験に基づく行動の切り替えには、触角を介する経路が関与することが示唆された。

(3) 社会的順位の形成にかかわる NO/cGMP シグナル: 行動決定の神経機構には、神経伝達や神経修飾の働きが重要である。薬理行動学実験から、闘争行動の発現には、NO/cGMP シグナル系が重要な役割を担うことを示した。闘争開始前に予め NOS 阻害剤 L-NAME を頭部に注入し対戦させると、通常と同様に闘争が観察できる。ところが、対戦後隔離してから再び両者を対戦させると、敗者は再び相手を攻撃することが分かった。同様の結果は、sGC の阻害剤 ODQ を頭部に注入しても観察され、NO/cGMP シグナル伝達系が、闘争行動に深くかかわることがわかった。

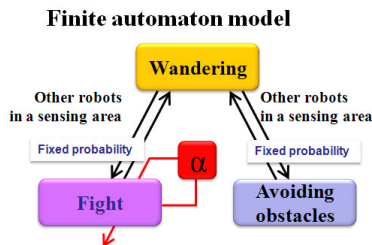
コオロギの脳内における NO/cGMP シグナル伝達系が、闘争の発現に関与する。最初の対戦では NO/cGMP シグナル伝達系を阻害しても闘争は起こる。ところが、闘争に敗れた個体は、2度目の対戦でも攻撃を行う。一方、触角を除去した個体では、敗者が2度目の対戦で攻撃をする割合が増えることから、触角を介して攻撃を発現する経路に NO がかわることが示唆された。そこで、NO が、闘争行動のどの段階で機能的に働くのか調べるために、L-NAME を最初の対戦前、もしくは、対戦後に投与し、NO 産生のタイミングと闘争により敗退した後の行動決定の関係を調べた。最初の対戦直後に NOS の活性を阻害したところ、敗者個体は攻撃行動を示さなかったことから、NO は、最初の対戦時に働くことで、敗者は、闘争における敗退経験を記憶し、他個体に対する忌避行動を示すようになることが示唆された。オスは、他のオス体表物質による刺激で脳の触角葉から NO が放出されることから、触角で他個体を感知して威嚇や攻撃行動を始める時に放出される NO が、敗者では敗退経験によるオスに対する忌避行動を持続的に発現することにかかわる

と考えられる。

(4) 闘争行動の発現にかかわるオクトパミンの働き: 生体アミンは、闘争行動や生殖行動の発現に深く関与する。中でもオクトパミン(OA)は、闘争行動の発現に深く関与する。生化学実験から NO は、脳内 OA レベルを低下させる働きをもつことを示し、また、闘争前後で、コオロギの脳内の生体アミンレベルの変化を比較し、闘争終結直後に OA レベルが低下することを示した。この低下は、勝者と敗者の両者で見られるが、敗者ではより顕著に低下した。さらに、低下した OA レベルは敗者ではおよそ1時間程度で、もとの状態に回復し、勝者では敗者に比べて比較的早く回復することがわかった。次に、OA が攻撃行動の発現や闘争性の強さにどのように影響するのか調べるため、薬理的に OA 阻害剤を投与し行動観察した。その結果、OA 阻害剤であるミアンセリンは有意に攻撃性を低下させた。闘争時、NO は OA の働きを抑制する作用し、攻撃行動の発現が抑えられ、敗者では他個体に対して忌避行動を発現することが示唆された。さらに、NO 供与剤と OA 阻害剤を同時に投与し、攻撃行動の発現や、敗者の忌避行動への行動切り替えにかかわる影響を調べた。OA 阻害剤ミアンセリンやエピナスチンを頭部に投与すると、攻撃行動の回復には有意に長い時間がかかるようになったが、これらの薬物はどれも闘争の直後に投与してもその効果は現れなかった。ところが、NOS 阻害剤の L-NAME とミアンセリンを同時に投与すると、それぞれの薬物の効果が打ち消されることが分かった。即ち、中枢神経系で、NO と OA が協調して働くことで、攻撃性を調節していることが示唆された。

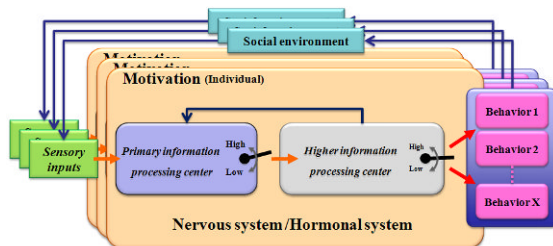
(5) モデル構築とシミュレーション: 社会をひとつの環境要因として捉え、動物がどのように実時間で状況に応じた行動を決定し発現するのかを、昆虫のコオロギの闘争行動を題材に調べた。生理・生化学実験と行動学実験を組み合わせ、闘争での勝敗結果によって、闘争後に接触する他個体に対する行動の変化を調べたところ、ON/cGMP シグナル伝達系と、OA をはじめとしたアミン系の働きが重要な役割を担っていることを示した。これらの知見をもとに、工学系の研究グループ(C02 班)と共同で、動的行動モデルと神経生理学モデルの構築を行い、その計算機シミュレーションで妥当性を検討してきた。また、実際のコオロギの行動とシミュレーション結果を比較しながらモデルの改良を共同で進めた。また、その過程で、個体密度にもなって闘争性が変化する行動発現のメカニズムについて、内部状態として働く NO や OA の役割を仮説として想定し、内部状態の形成過程について考察した。行動モデ

ルから、個体密度を変化させた時に起こる個体行動の挙動が、実際のコオロギを使い行動実験した時と似た挙動を示すのかを検証実験したところ、コオロギの集団では、構築したモデルと同様に、それぞれの個体が他個体と接触し、その相互作用で常に内部状態が更新されることが適応的な行動の発現に重要であることが示唆された。



闘争行動と群行動を説明する行動モデル。

同様に、NO/OA系の働きをもとに構築した神経生理学モデルでも、オープンループモデルでは高密度状態の行動の挙動が説明できず、脳内での情報処理過程でのフィードバックと、他個体との接触による社会環境を通じたフィードバックという多重フィードバック構造が社会適応を創り出す上で重要なメカニズムであることが理解できた。



社会適応を創り出す重フィードバック構造。脳神経系におけるフィードバック構造は、神経系と液性系が関与していると考えられる。社会環境を通じたフィードバック構造は、他個体との相互作用や個体群間の相互作用などで形成される。

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 60 件)

1. Guerra R.D., Aonuma H., Hosoda K. and Asada M. (2010 *in press*) Behavior change of crickets in a robot-mixed society, *J. Rob. Mech.*
2. Guerra R.D., Aonuma H., Hosoda K. and Asada M. (2010) Semi-automatic behavior analysis using robot/insect mixed society and video tracking, *J. Neurosci. Methods.* 191: 138-144
3. Okada R., Ikeno H., Ohashi M., Kimura T., Aonuma H. and Ito E. (2010) Markov model of

honeybee social behavior, *Information.*13:1115-1130.

4. Ashikaga M., Sakura M., Kikuchi M., Hiraguchi T., Chiba R., Aonuma H. and Ota J. (2009) Establishment of social status without individual discrimination in the cricket, *Advanced Robotics.* 23: 563-578.
5. Aonuma H., Kitamura Y., Niwa K., Ogawa H. and Oka K. (2008) Nitric oxide-cGMP signaling in the local circuit of the cricket abdominal nervous system. *Neuroscience.* 157: 749-761.
6. Okada R., Ikeno H., Aonuma H. and Ito E. (2008) Biological insights into robotics: Honeybee foraging behavior by waggle dance, *Advanced Robotics.* 22(15): 1665-1681.
7. Ishikawa Y., Aonuma H. and Miura T. (2008) Soldier-specific modification of the mandibular motor neurons in termites, *PLoS ONE.* 3 (7): e2617: 1-8.
8. Yono O. and Aonuma H. (2008) Cholinergic neurotransmission from mechanosensory afferents to giant interneurons in the terminal abdominal ganglion of the cricket, *Gryllus bimaculatus.* *Zool. Sci.* 25: 517-525.
9. Funato T., Kurabayashi D., Nara M. and Aonuma H. (2008) Switching mechanism of sensor-motor coordination through oscillator network model. *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics - Part B.* 38 (3):764-770.
10. Okada R., Ikeno H., Sasayama N., Aonuma H., Kurabayashi D., and Ito E. (2008) The dance of the honeybee: how do they dance to transfer the food information effectively? *Acta Biol. Hung.*, 59:157-162.
11. Sakura M., Hiraguchi T., Ohkawara K., and Aonuma H. (2008) The Compartment structures of the antennal lobe in the ant *Aphaenogaster smythiesi japonica.* *Acta Biol. Hung.* 59: 183-187.
12. Ott S. R., Aonuma H., Newland P.L. and Elphick M.R. (2007) Nitric oxide synthase in crayfish walking leg ganglia: segmental differences in chemo-tactile centers argue against a generic role in sensory integration. *J. Comp. Neurol.*, 501: 381-399.
13. Seki Y. and Kanzaki R. (2008) Morphological classification of antennal lobe local interneurons in *Bombyx mori* by the intracellular staining under visual control method. *J Comp Neurol* 506: 93-107.
14. Hatakeyama D., Aonuma H., Ito E. and Elekes K. (2007) Localization of glutamate-like immunoreactive neurons in the central and peripheral nervous system of the adult and developing pond snail, *Lymnaea stagnalis* L. *Biol. Bull.*, 213: 172-186.

15. Watanabe T., Kikuchi M., Hatakeyama D., Shiga T., Yamamoto T., Aonuma H., Takahata M., Suzuki N. and Ito E. (2007) Gaseous neuromodulator-related genes expressed in the brain of honeybee *Apis mellifera*. *Develop. Neurobiol.*, 67: 456-473.
 16. Ashikaga M., Kikuchi M., Hiraguchi T., Sakura M., Aonuma H. and Ota J. (2007) Foraging task of multiple mobile robots in a dynamic environment using adaptive behavior in crickets. *J. Robot. Mech.*, 19(4): 446-473.
 17. Kawabata K., Fujiki T., Ikemoto Y., Aonuma H. and Asama H. (2007) A neuromodulation model for adaptive behavior selection of the cricket. *J. Robot. Mech.*, 19(4): 388-394.
 18. Tsuji E., Aonuma H., Yokohari F. and Nishikawa M. (2007) Serotonin-immunoreactive neurons in the antennal sensory system of the brain in the carpenter ant, *Camponotus japonicus*. *Zool. Sci.*, 24: 836-849.
 19. Iwasaki M., Nishino H., Antonia D. and Aonuma H. (2007) Effects of NO/cGMP signalling on the behavioural change in subordinate male crickets, *Gryllus bimaculatus*. *Zool. Sci.*, 24: 860-868.
 20. Ikeno H., Nishioka T., Hachida T., Kanzaki R., Seki Y., Ohzawa I. and Usui S. (2007) Development and application of CMS based database modules for neuroinformatics. *Neurocomputing* 70: 2122-2128.
 21. Matsumoto Y., Unoki S., Aonuma H. and Mizunami M. (2006) Critical role of nitric oxide-cGMP cascade in the formation of cAMP-dependent long-term memory. *Learn. Mem.*, 13(1): 35-44.
 22. Wagatsuma A., Azami S., Sakura M., Hatakeyama D., Aonuma H. and Ito E. (2006) *De novo* synthesis of CREB in a presynaptic neuron is required for synaptic enhancement involved in memory consolidation. *J. Neurosci. Res.*, 84: 954-960.
 23. Niwa K., Sakai J., Karino T., Aonuma H., Watanabe T., Ohyama T., Inanami O. and Kuwabara M. (2006) Reactive oxygen species mediate shear stress-induced fluid-phase endocytosis in vascular endothelial cells. *Free Radical Res.*, 40 (2): 167-174.
 24. Delago A. and Aonuma H. (2006) Experience based agonistic behavior in female crickets, *Gryllus bimaculatus*. *Zool. Sci.*, 23: 775-783.
 25. Iwasaki M., Delago A., Nishino H. and Aonuma H. (2006). Effects of previous experiences on the agonistic behaviour of male crickets *Gryllus bimaculatus*. *Zool. Sci.*, 23: 863-872.
 26. Wada S and Kanzaki R (2005) Neural control mechanisms of the pheromone-triggered programmed behavior in male silkmoths revealed by double-labeling of descending interneurons and the motor neuron. *J Comp Neurol* 484:168-182
 27. Iwano M and Kanzaki R (2005) Immunocytochemical Identification of Neuroactive Substances in the Antennal Lobe of the Male Silkworm Moth *Bombyx mori*. *Zool Sci* 22: 199-211
 28. Namiki S, Kazawa T and Kanzaki R (2005) Basic characteristics of neuronnetwork components in the antennal lobe of the silkmoth. *Chem Senses* 30: A149-A150
- 他32件
- [学会発表] (計 112 件)
1. Aonuma H., Ota J., Kawabata K., Kurabayashi D., Kanzaki R. and Asama H. (2009 Nov 19-21) Understanding social adaptive functions in animals, The 3rd International Symposium on Mobiligence, Awaji.
 2. Ota J., Aonuma H., and Asama H. (2009 Oct 11-15) Mobiligence: Emergence of adaptive motor function through interaction among the body, brain and environment, IROS 2009: The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent RObots and Systems, St. Louis, MO, U.S.A.
 3. Aonuma H., Sakura M., Ota J. and Asama H. (2009 Oct 11-15) Social adaptive functions in animals -Learning from insect social behaviors-, IROS 2009: The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent RObots and Systems, St. Louis, MO, U.S.A.
 4. Kawabata K., Aonuma H., Ota J. and Asama H. (2009 Oct 11-15) Modeling of neuromodulation for behavior selection of the cricket: Synthetic neuroethology approach, IROS 2009: The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent RObots and Systems, St. Louis, MO, U.S.A.
 5. Guerra RD., Aonuma H., Hosoda K. and Asada M. (2009 Oct 11-15) Using micro-robots as a tool for insect behavior studies, IROS 2009: The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent RObots and Systems, St. Louis, MO, U.S.A.
 6. Aonuma H. (2009 Feb 10-13) Modelling of experience dependent behavior - Fighting among male crickets. International Conference for Nonlinear Sciences Sapporo Winter School Sapporo.
 7. Aonuma H. (2009 Jan 11) Fighting experience dependent behavior selection in the cricket,

- Seminar on Ecological and Physiological Studies about Sociality of Insects, Himeji.
8. Aonuma H. (2008 Sep 26) Modelling of social interaction dependent behavior selection in the cricket. Workshop on Dynamical Circuits in the Brain, Sapporo, Japan.
 9. Ota J., Aonuma H., Asama H., Kawabata K. and Ashikaga M. (2008 Sep 22-26) Multidisciplinary contributions from neuroethology and engineering-Understanding experience dependent behavior selection in crickets. IROS2008: IEEE/RSJ Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems, Acropolis Convention Center, Nice, France.
 10. Aonuma H. (2008 Jun 25-27) Experience dependent behavior selection in the cricket. International Seminar: Evolutionary Studies in Behavioral Neuroscience, Hayama, Japan.
 11. Aonuma H. (2008 Jun 1-6) Synthetic neuronethological approach to understand experience dependent adaptive behavior in the cricket. The 4th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, Cleveland, U.S.A.
 12. Kanzaki R. (2007 Dec 18) Insect-Machine Hybrid System for Evaluating and Understanding an Adaptive Behavior. (Plenary Lecture) IEEE International conference Robotics and Biomimetics (ROBIO 2007). Sanya, China.
 13. Aonuma H. (2007 Aug 12-16) NO/cGMP system and biogenic amine system in agonistic behavior in the cricket. The 7th International Congress of Comparative Physiology and Biochemistry, Salvador, Brazil.
 14. Kanzaki, R. (2007 Aug 12-16) Insect-Machine Hybrid System for Evaluating an Adaptive Behavior. The 7th International Congress of Comparative Physiology and Biochemistry, Salvador, Brazil.
 15. Aonuma H., Sakura M., Kikuchi M., Hiraguchi T., Ashikaga M., Ota J., Kawabata K., Fujiki T., Ikemoto Y. and Asama H. (2007 Jul 18-20) Social experience dependent behavior selection in the cricket -from neuroethological approaches to modeling-. The 2nd International Symposium on Mobiligence, Awaji, Japan.
 16. Aonuma H., Kurabayashi D. and Kanzaki R. (2007 Apr 4-6) Behaviour switching system based on chemical effects in insect brain", International Workshop on Mobiligence. University of Padova , Italy.
 17. Ashikaga M., Kikuchi M., Hiraguchi T., Sakura M., Aonuma H. and Ota J. (2007 Apr 4-6) Modeling of Adaptive Mechanism in Crickets and its Application to Robotics.

International Workshop on Mobiligence,
University of Padova, Italy.

他 95 件

〔図書〕 (計 13 件)

1. 青沼 仁志, 太田 順 (2010年) シリーズ移動知. 第4巻: 社会適応-発現機構と機能障害. 第1章: 生物の社会適応機能の解明に向けて. (太田順・青沼仁志 共編) オーム社 pp. 1-27.
2. 青沼 仁志, 太田 順(2010年) シリーズ移動知. 第4巻: 社会適応-発現機構と機能障害. 第2章: 行動選択-コオロギは集団内でどのように振る舞うか? (太田順・青沼仁志 共編) オーム社 pp. 28-72.
3. 神崎亮平 (2007年) シリーズ21世紀の動物科学 第8巻「行動とコミュニケーション」第2章「昆虫の微小脳による環境情報処理と行動発現」(岡、蟻川編) 培風館.

他10件

〔その他〕

ホームページ等

<http://ncmac2.es.hokudai.ac.jp/index.html>

<http://www.brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp>

<http://www.race.u-tokyo.ac.jp/~ota/mobiligence/research/c.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青沼 仁志 (AONUMA HITOSHI)
北海道大学・電子科学研究所・准教授
研究者番号: 20333643

(2) 研究分担者

神崎 亮平 (KANZAKI RYOHEI)
東京大学・先端科学技術研究センター・
教授 (H17→H19: 分担者)
研究者番号: 40221907

(3) 連携研究者

佐倉 緑 (SAKURA MIDORI)
北海道大学・電子科学研究所・博士研究員
研究者番号: 60421989