

---

## 共感性の進化・神経基盤

---

領域番号 : 4501

平成 25 年度～平成 29 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

平成 31 年 5 月

領域代表者 長谷川 寿一（東京大学・大学院総合文化研究科・教授）

## はしがき

共感性は、自己と他者との協力や協調、相互理解を成立させる上でかけがえのない要件であり、人間社会における法制度や納税、チャリティなどに関連することから、社会科学においてその意義が注目されてきた。他方、近年の乳幼児を対象とした発達科学研究からは、共感性に関わるような行動が発達初期から認められることが明らかになり、ヒトの生得的な特質であることが示唆されている。また、ヒト以外の霊長類を含めた他の動物でも援助行動など共感性の起源といえるような行動が多数報告されつつあり、共感性に関与する神経回路やそれを調節する分子の存在の探求も進展している。

本研究領域の課題は、共感性の起源をヒト以外の動物にも見出すと同時に、進化過程におけるヒト特有の共感性の成立機構を明らかにすることであった。健全で持続可能な社会基盤を支える共感性の機能やメカニズムを科学的に理解するためには、共感性の進化的起源の解明に加え、動物とヒトにおける共感性の脳機能の解明とその背景にある遺伝子や分子、神経回路の特定が必要不可欠である。以上より、本領域では、共感性には種を超えて社会集団を安定化・発展させ、個体の生存と適応度を上昇させる機能があり、ヒト特有の高次な共感性も原初的な共感性を元に発展を遂げたものである、との仮説に基づき、1) 共感性の共通神経基盤と社会機能の解明、2) 共感性の進化と遺伝基盤の解明、3) 共感性の分子・回路探索の解明を目指した。

## 研究組織

### 計画研究

領域代表者 長谷川 寿一（東京大学・総合文化研究科・教授）

（総括班）

研究代表者 長谷川 寿一（東京大学・総合文化研究科・教授）

研究分担者 駒井 章治（奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授）

研究分担者 村山 美穂（京都大学・野生動物研究センター・教授）

（国際活動支援班）

研究代表者 長谷川 寿一（東京大学・総合文化研究科・教授）

研究分担者 菊水 健史（麻布大学・獣医学部・教授）

研究分担者 駒井 章治（奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授）

（渡辺班）

研究代表者 渡辺 茂（慶応義塾大学・文学部・教授）

研究分担者 藤田 和生（京都大学・文学部・教授）

研究分担者 伊澤 栄一（慶応義塾大学・文学部・准教授）

（長谷川班）

研究代表者 長谷川 寿一（東京大学・総合文化研究科・教授）

研究分担者 橋彌 和秀（九州大学・人間環境学研究院・准教授）

研究分担者 齋藤 慈子（武蔵野大学・教育学部・講師）

（亀田班）

研究代表者 亀田 達也（東京大学・人文社会系研究科・教授）

研究分担者 山岸 俊男（一橋大学・国際企業戦略研究科・特任教授）

研究分担者 清成 透子（青山学院大学・社会情報学部・准教授）

研究分担者 樋口 さとみ（岩手医科大学・医学部・助教）

（村山班）

研究代表者 村山 美穂（京都大学・野生動物研究センター・教授）

- 研究分担者 井上 英治 (東邦大学・理学部・講師)  
 研究分担者 今野 晃嗣 (帝京科学大学・生命環境学部・講師)  
 (大槻班)  
 研究代表者 大槻 久 (総合研究大学院大学・先導科学研究科・講師)  
 (菊水班)  
 研究代表者 菊水 健史 (麻布大学・獣医学部・教授)  
 研究分担者 茂木 一孝 (麻布大学・獣医学部・准教授)  
 (尾仲班)  
 研究代表者 尾仲 達史 (自治医科大学・医学部・教授)  
 研究分担者 高柳 友紀 (自治医科大学・医学部・講師)  
 研究分担者 吉田 匡秀 (自治医科大学・医学部・助教)  
 (駒井班)  
 研究代表者 駒井 章治 (奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授)  
 研究分担者 池田 和司 (奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授)

## 公募研究

### (前期)

- 研究代表者 開 一夫 (東京大学・総合文化研究科・教授)  
 研究代表者 中尾 央 (山口大学・国際総合科学部・助教)  
 研究代表者 山本 真也 (京都大学・高等研究院・准教授)  
 研究代表者 幸田 正典 (大阪市立大学・理学研究科・教授)  
 研究代表者 横山 ちひろ (国立研究開発法人理化学研究所・上級研究員)  
 研究代表者 山田 真紀子 (国立研究開発法人放射線医学総合研究所・プロジェクトリーダー)  
 研究代表者 古藤 日子 (国立研究開発法人産業技術総合研究所・主任研究員)  
 研究代表者 片平 健太郎 (名古屋大学・環境学研究科・准教授)  
 研究代表者 野村 真 (京都府立医科大学・医学系研究科・准教授)  
 研究代表者 瀧 靖之 (東北大学・加齢医学研究所・教授)  
 研究代表者 岡沢 秀彦 (福井大学・高エネルギー医学研究センター・教授)  
 研究代表者 犬東 歩 (自治医科大学・医学部・助教)  
 研究代表者 中村 和宏 (名古屋大学・医学系研究科・教授)  
 研究代表者 松永 昌宏 (愛知医科大学・医学部・講師)  
 研究代表者 佐藤 暢哉 (関西学院大学・文学部・教授)

### (後期)

- 研究代表者 岡ノ谷 一夫 (東京大学・総合文化研究科・教授) (H28年度のみ)  
 研究代表者 開 一夫 (東京大学・総合文化研究科・教授)  
 研究代表者 服部 裕子 (京都大学・霊長類研究所・助教)  
 研究代表者 横山 ちひろ (国立研究開発法人理化学研究所・上級研究員)  
 研究代表者 古藤 日子 (国立研究開発法人産業技術総合研究所・主任研究員)  
 研究代表者 吉田 隆行 (北海道大学・医学系研究科・助教)  
 研究代表者 西森 克彦 (東北大学・連合農学・教授)  
 研究代表者 岡沢 秀彦 (福井大学・高エネルギー医学研究センター・教授)  
 研究代表者 田邊 宏樹 (名古屋大学・環境学研究科・教授)  
 研究代表者 犬東 歩 (自治医科大学・医学部・助教)

研究代表者 佐藤 暢哉 (関西学院大学・文学部・教授)  
 研究代表者 小出 剛 (国立遺伝学研究所・准教授)  
 研究代表者 横田 晋務 (九州大学・基幹教育院・准教授)  
 研究代表者 正水 芳人 (東京大学・医学系研究科・助教)

#### 交付決定額 (配分額)

	合計	直接経費	間接経費
平成 25 年度	¥201,240,000	¥154,800,000	¥46,440,000
平成 26 年度	¥232,570,000	¥178,900,000	¥53,670,000
平成 27 年度	¥249,210,000	¥191,700,000	¥57,510,000
平成 28 年度	¥240,370,000	¥184,900,000	¥55,470,000
平成 29 年度	¥231,920,000	¥178,400,000	¥53,520,000
総計	¥1,155,310,000	¥888,700,000	¥266,610,000

#### 研究発表

#### 主な論文

#### 【A01】

渡辺班：(下記を含む全 68 報 全て査読付き)

- ▲\*Watanabe S. Social inequality aversion in mice: Analysis with stress-induced hyperthermia and behavioral preference. *Learn Motiv.* (2017) 59: 38-46.
- ▲\*Kosaki Y, Watanabe S. Conditioned social preference, but not place preference, produced by intranasal oxytocin in female mice. *Behav Neurosci.* (2016) 130: 82-195.
- ◎▲\*Watanabe S, Shinozuka K, Kikusui T. Preference for and discrimination of videos of conspecific social behavior in mice. *Anim Cogn.* (2016) 19: 523-531. (菊水計画班との共著論文)
- ▲\*Watanabe S. Common experience modifies the reinforcing properties of methamphetamine-injected cage mates but not morphine-injected cage mates in C57 mice. *Behav Pharmacol.* (2015) 26:636-641.
- ▲\*Watanabe S. The dominant/subordinate relation between mice modifies the approach behavior toward a cage mate experiencing pain. *Behav Processes* (2014) 103:1-4.
- ▲\*Anderson JR, Bucher B, Kuroshima H, Fujita K. Evaluation of third-party reciprocity by squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) and the question of mechanisms. *Anim Cogn.* (2016) 19:813-818.
- ▲\*Chijiwa H, Kuroshima H, Hori Y, Anderson JR, Fujita K. Dogs avoid people who behave negatively to their owner: third-party affective evaluation. *Anim Behav.* (2015) 106:123-127.
- ◎▲\*Nomura T, Izawa E-I. Avian brains: insights from development, behaviors and evolution. *Dev Growth Differ.* (2017) 59: 244-257. (野村公募班との共著論文)
- ▲\*Yuko I, Watanabe S, Izawa E-I. Reconciliation and third-party affiliation in pair-bond budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). *Behaviour* (2016) 153:1173-1193.
- ◎▲\*Ode M, Asaba A, Miyazawa E, Mogi K, Kikusui T, Izawa E-I. Sex-reversed correlation between stress levels and dominance rank in a captive non-breeder flock of crows. *Horm Behav.* (2015) 73: 131-134. (菊水計画班との共著論文)

長谷川班 (下記を含む全 45 報 3 報を除き全て査読付き)

- ▲\*Nakamura K, Takimoto A, Hasegawa T. Cross-modal perception of human emotion in the domestic horse (*Equus caballus*) *Scientific Reports* (in press)
- ▲\*Akechi H, Kikuchi Y, Tojo Y, Hakarino K, Hasegawa T. Mind perception and moral judgment in autism. *Autism Research* (2018) (in press)
- ◎▲Inoue Y, Takahashi T, Burriss RP, Arai S, Hasegawa T, Yamagishi T, \*Kiyonari T. Testosterone promotes either dominance or submissiveness in the Ultimatum Game depending on players' social rank. *Scientific Reports* (2017) 7: e5335 (亀田計画班との共著論文)
- \*Meng X, Uto Y, Hashiya K. Observing Third-Party Attentional Relationships Affects Infants' Gaze Following: An Eye-Tracking Study. *Front. Psychol.* (2016) 7: 02065
- \*Akechi H, Stein T, Kikuchi Y, Tojo Y, Osanai H, Hasegawa T. Preferential awareness of protofacial stimuli in autism. *Cognition* (2015) 143 : 129-134 (国際共著論文)
- ◎\*Romero T, Nagasawa M, Mogi K, Hasegawa T, Kikusui T. Intranasal administration of oxytocin promotes social play in domestic dogs. *Communicative & Integrative Biology* (2015) 8 (3): e1017157 (菊水計画班との共著論文)
- \*Romero T, Ito M, Saito A, Hasegawa T. Social Modulation of Contagious Yawning in Wolves. *PLoS ONE* (2014) 9 (8): e105963.
- ◎\*Saito A, Hamada H, Kikusui T, Mogi K, Nagasawa M, Mitsui S, Higuchi T, Hasegawa T, Hiraki K. Urinary oxytocin positively correlates with performance in facial visual search in unmarried males, without specific reaction to infant face. *Frontiers in Neuroscience* (2014.7) 29: 217. (菊水計画班、開公募班との共著論文)
- ◎\*Romero T, Nagasawa M, Mogi K, Hasegawa T, Kikusui T. Oxytocin promotes social bonding in dogs. *Proc Natl Acad Sci U S A.* (2014.6) 111(25): 9085-9090. (菊水計画班との共著論文)
- \*Usui S, Senju A, Kikuchi Y, Akechi H, Tojo Y, Osanai H, Hasegawa T. Presence of contagious yawning in children with autism spectrum disorder, *Autism research and treatment* (2013): 971686 (8 pages) (国際共著論文)

**亀田班** (下記を含む全 41 報 全て査読付き)

- ▲Jayles B, Kim H, Escobedo R, Cezera S, Blanchet A, Kameda T, Sire C, \*Theraulaz G. How social information can improve estimation accuracy in human groups. *Proc Natl Acad Sci.* (2017) 114: 12620-12625. (国際共著論文)
- Tindale RS, \*Kameda T. Group decision-making from an evolutionary/adaptationist perspective. *Group Process Interg.* (2017) 20: 669-680. (国際共著論文)
- ▲Toyokawa W, Saito Y, \*Kameda T. Individual differences in learning behaviours in humans: Asocial exploration tendency does not predict reliance on social learning. *Evol Hum Behav.* (2017) 38: 325-333.
- \*Wu J, Balliet D, Tybur JM, Arai S, Van Lange PAM, Yamagishi T. Life history strategy and human cooperation in economic games. *Evol. Hum. Behav.* (2017) 38: 496-505. (国際共著論文)
- Fermin ASR, Sakagami M., Kiyonari T, Li Y, Matsumoto Y, \*Yamagishi T. Representation of economic preferences in the structure and function of the amygdala and prefrontal cortex. *Sci Rep.* (2016) 6: 20982.
- ◎▲\*Kameda T, Inukai K, Higuchi S, Ogawa A, Kim H, Matsuda T, Sakagami M. Rawlsian maximin rule operates as a common cognitive anchor in distributive justice and risky decisions. *Proc Natl Acad Sci.* (2016) 113: 11817-11822.
- Matsumoto Y, \*Yamagishi T, Li Y, Kiyonari T. Prosocial behavior increases with age across five economic games. *PLoS ONE* (2016) 11: e0158671
- ▲Murata A, Saito H, Schug J, Ogawa K, \*Kameda T. Spontaneous facial mimicry is enhanced by the goal of inferring emotional states: Evidence for moderation of “automatic” mimicry by higher cognitive processes. *PLoS ONE* (2016) 11: e0153128.
- \*Yamagishi T, Takagishi H, Fermin ASR, Kanai R, Li Y, Matsumoto Y. (2016). Cortical thickness of the dorsolateral prefrontal cortex predicts strategic choices in economic games. *Proc Natl Acad Sci.* (2016) 113: 5582-5587.
- ◎▲Nishina K, Takagishi H, Inoue-Murayama M, Takahashi H, \*Yamagishi T. Polymorphism of the oxytocin receptor gene modulates behavioral and attitudinal trust among men but not women. *PLoS ONE.* (2015) 10: e0137089. (村山計画班との共著論文)
- Toyokawa W, Kim H, \*Kameda T. Human collective intelligence under dual exploration-exploitation dilemmas. *PLoS ONE.* (2014) 9: e95789.

**公募班** (下記を含む全 59 報 2 報を除き全て査読付き)

- ◎▲\*Kanakogi Y, Inoue Y, Matsuda G, Butler D, Hiraki K, Myowa-Yamakoshi M. Preverbal infants affirm third-party interventions that protect victims from aggressors. *Nature Human Behaviour* (2017.1.30)1:0037
- ▲\*Ohki T, Gunji A, Takei Y, Takahashi H, Kaneko Y, Kita Y, Hironaga N, Tobimatsu S, Inagaki M, Kamio Y, Hanakawa T, Hiraki K. Neural oscillations in the temporal pole for a temporally congruent audio-visual speech detection task. *Scientific Reports* (2016) 6:37973.
- ▲Yamamoto S. Primate empathy: three factors and their combinations for empathy-related phenomena. *WIREs Cognitive Science* (2017) 8(3): e1431
- ▲板倉昭二、關 一夫 乳児における共感の発達 -その認知基盤と神経基盤- *心理学評論*(2015) 58(3) 345-356.
- \*Masataka N, Perlovsky L, Hiraki K. Near-infrared spectroscopy (NIRS) in functional research of prefrontal cortex. *Frontiers in Human Neuroscience* (2015) 9: 274. (国際共著論文)
- 中尾 央 共感・共感的配慮と道徳性. *心理学評論* (2015) 58 (2): 236-248.
- 瀧本彩加、\*山本真也 共感関連現象を説明する組み合わせモデルとヒト以外の霊長類における事例 *心理学評論* (2015) 58 (3) 255-270. (in Japanese with English Summary)
- \*Yamamoto, S. Non-reciprocal but peaceful fruit sharing in the wild bonobos of Wamba. *Behaviour* (2015) 152: 335-357.
- \*Hare B, Yamamoto S. Moving bonobos off the scientifically endangered list. *Behaviour* (2015) 152: 247-258. (国際共著論文)
- Susaki EA, Tainaka K, Perrin D, Kishino F, Tawara T, Watanabe TM, Yokoyama C, Onoe H, Eguchi M, Yamaguchi S, Abe T, Kiyonari H, Shimizu Y, Miyawaki A, Yokota H, \*Ueda HR. Whole-brain imaging with single-cell resolution using chemical cocktails and computational analysis. *Cell*. (2014.4) 157(3): 726-739.

## 【B01】

村山班 (下記を含む全 41 報 全て査読付き)

- ◎▲Inoue-Murayama M, Yokoyama C, Yamanashi Y, \*Weiss A: Common marmoset (*Callithrix jacchus*) personality, subjective well-being, hair cortisol level and *AVPR1a*, *OPRM1*, and *DAT* genotypes. *Scientific Reports* (in press) (国際共著論文)
- ◎▲\*Konno A, Inoue-Murayama M, Yabuta S, Tonoike A, Nagasawa M, Mogi K, Kikusui T. Effect of Canine Oxytocin Receptor Gene Polymorphism on the Successful Training of Drug Detection Dogs, *Journal of Heredity* (2018) (in press)
- ◎▲\*Wilson VAD, Inoue-Murayama M, Weiss A. A Comparison of Common and Bolivian Squirrel Monkey Personality. *J Comp Psychol*. (2018) 132(1): 24-39. (国際共著論文)
- ▲\*Abe H, Aoya D, Takeuchi H, Inoue-Murayama M. Gene expression patterns of chicken. *Neuregulin 3* in association with copy number variation and frameshift deletion. *BMC Genetics* (2017) 18(1): 69.
- ◎▲\*Arahoiri M, Inoue-Murayama M, Fujita K. Cat breed differences in microsatellites adjacent to oxytocin receptor gene (*OXTR*) and vasopressin receptor gene (*AVPR1A*). *Frontiers in Psychology* (2017) 8: 2165.
- ◎▲\*Wilson V, Weiss A, Humle T, Morimura N, Udono T, Idani G, Matsuzawa T, Hirata S, Inoue-Murayama M: Chimpanzee Personality and the Arginine Vasopressin Receptor 1A Genotype. *Behavior Genetics* (2017) 47(2): 215-226. (国際共著論文)
- ▲\*Konno A, Romero T, Inoue-Murayama M, Saito A, Hasegawa T. Dog Breed Differences in Visual Communication with Humans. *PLoS ONE* (2016) 11(10): e0164760.
- ▲Abe H, \*Inoue-Murayama M. Structural variation of G protein-coupled receptor in birds. *Receptors & Clinical Investigation* (2014)1: 200-207.

大槻班 (以下を含む全 23 報 全て査読付き)

- ▲\*Ohtsuki H. Evolutionary dynamics of coordinated cooperation. *Front Ecol Evol*. (2018) (in press)
- ▲\*Nakahashi W, Ohtsuki H. Evolution of emotional contagion in group-living animals. *J Theor Biol*. (2018) 440:12-20.
- ▲\*Oya G, Ohtsuki H. Stable polymorphism of cooperators and punishers in a public goods game. *J Theor Biol*. (2017) 419:243-253.
- ◎▲\*Inaba M, Takahashi N, Ohtsuki H. Robustness of linkage strategy that leads to large-scale

cooperation. *J Theor Biol.* (2016) 409:97-107.

- ▲\*Nakamura M, Ohtsuki H. Optimal decision rules in repeated games where players Infer an opponent's mind via simplified belief calculation. *Games.* (2016) 7(3):19.
- ◎▲Tanaka H, Ohtsuki H, \*Ohtsubo Y. The price of being seen to be just: an intention signalling strategy for indirect reciprocity. *Proc Biol Sci.* (2016) 283(1835):20160694.
- ◎▲Tonoike A, \*Nagasawa M, Mogi K, Serpell JA, Ohtsuki H, Kikusui T. Comparison of owner-reported behavioral characteristics among genetically clustered breeds of dog (*Canis familiaris*). *Sci Rep.* (2015) 5:17710
- ▲\*Sekiguchi T, Ohtsuki H. Effective group size of majority vote accuracy in sequential decision-making. *Jpn J Ind Appl Math.* (2015) 32(3):595-614.
- ▲\*Nakahashi W, Ohtsuki H. When is emotional contagion adaptive? *J Theor Biol.* (2015) 380: 480-488.
- ◎\*So KHZ, Ohtsuki H, Kato T. Spatial effect on stochastic dynamics of bistable evolutionary games. *J Stat Mech.* (2014) P10020.

公募班 (下記を含む全 16 報 内 2 報を除き全て査読付き)

- ◎\*Mizoguchi H, Katahira K, Inutsuka A, Fukumoto K, Nakamura A, Wang T, Nagai T, Sato J, Sawada M, Ohira H, Yamanaka A, Yamada K. Insular neural system controls decision-making in healthy and methamphetamine-treated rats. *Proc Natl Acad Sci.* (2015)112 (29): E3930-E3939 (B01片平班、C01犬東班他による共著論文)
- ▲\*Koto A, Mersch D, Hollis B, Keller L. Social isolation causes mortality by disrupting energy homeostasis in ants. *Behavioral Ecology and Sociobiology* (2015) 69 (4) : 583-591. (国際共著論文)

## 【C01】

菊水班 (下記を含む全 54 報 全て査読付き)

- ◎▲Kikusui T, Kajita M, Otsuka N, Hattori T, Kumazawa K, Watarai A, Nagasawa M, Inutsuka A, Yamanaka A, Matsuo N, Covington HE 3rd, \*Mogi K. Sex differences in olfactory-induced neural activation of the amygdala. *Behav Brain Res.* (2018) 346:96-104.
- ▲Hattori T, Osakada T, Masaoka T, Ooyama R, Horio N, Mogi K, Nagasawa M, Haga-Yamanaka S, Touhara K, \*Kikusui T. Exocrine Gland-Secreting Peptide 1 Is aKey Chemosensory Signal Responsible for the Bruce Effect in Mice. *Curr Biol.* (2017) 27(20):3197-3201
- ◎▲Nagasawa M, Ogawa M, Mogi K, \*Kikusui T. Intranasal Oxytocin Treatment. Increases Eye-Gaze Behavior toward the Owner in Ancient Japanese Dog Breeds. *Front Psychol.* 2017 Sep 21;8:1624.
- Inokuchi K, Imamura F, Takeuchi H, Kim R, Okuno H, Nishizumi H, Bito H, Kikusui T, \*Sakano H. Nrp2 is sufficient to instruct circuit formation of mitral-cells to mediate odour-induced attractive social responses. *Nat Commun.* (2017) 21; 8:15977.
- Saito H, Nishizumi H, Suzuki S, Matsumoto H, Ieki N, Abe T, Kiyonari H, Morita M, Yokota H, Hirayama N, Yamazaki T, Kikusui T, Mori K, \*Sakano H. Immobility responses are induced by photoactivation of single glomerular species responsive to fox odour TMT. *Nat Commun.* (2017) 8:16011.
- ◎Okabe S, Tsuneoka Y, Takahashi A, Ooyama R, Watarai A, Maeda S, Honda Y, Nagasawa M, Mogi K, Nishimori K, Kuroda M, Koide T, \*Kikusui T. Pup exposure facilitates retrieving behavior via the oxytocin neural system in female mice. *Psychoneuroendocrinology.* (2017) 79: 20-30. (菊水班、西森班、小出班との共著論文)
- ◎▲Mogi K, Takakuda A, Tsukamoto C, Ooyama R, Okabe S, Koshida N, Nagasawa M, \*Kikusui T. Mutual mother-infant recognition in mice: The role of pup ultrasonic vocalizations. *Behav Brain Res.* (2017) 325:138-146.
- ▲Hattori T, Osakada T, Matsumoto A, Matsuo N, Haga-Yamanaka S, Nishida T, Mori Y, Mogi K, Touhara K, \*Kikusui T. Self-Exposure to the Male Pheromone ESP1 Enhances Male Aggressiveness in Mice. *Curr Biol.* (2016) 26:1229-34.
- ◎▲Katayama M, Kubo T, Mogi K, Ikeda K, Nagasawa M, \*Kikusui T. Heart rate variability predicts the emotional state in dogs. *Behav Processes.* (2016) 128:108-12.
- ◎▲Tonoike A, Nagasawa M, Mogi K, Serpell JA, Ohtsuki H, \*Kikusui T. Comparison of owner-reported behavioral characteristics among genetically clustered breeds of dog (*Canis familiaris*). *Sci Rep.* (2015) 5:17710.

Takahashi T, Okabe S, Broin PÓ, Nishi A, Ye K, Beckert MV, Izumi T, Machida A, Kang G, Abe S, Pena

JL, Golden A, Kikusui T, \*Hiroi N. Structure and function of neonatal social communication in a genetic mouse model of autism. *Mol Psychiatry*. (2016) 21(9):1208-14.

◎▲Nagasawa M, Mitsui S, En S, Ohtani N, Ohta M, Sakuma Y, Onaka T, Mogi K, \*Kikusui T. Social evolution. Oxytocin-gaze positive loop and the coevolution of human-dog bonds. *Science*. (2015) 348(6232):333-6.

▲Mogi K, Ooyama R, Nagasawa M, \*Kikusui T. Effects of neonatal oxytocin manipulation on development of social behaviors in mice. *Physiol Behav*. (2014) 133:68-75.

**尾仲班** (下記を含む全 30 報 内 19 報査読付き)

◎▲Nasanbuyan N, Yoshida M, Takayanagi Y, Inutsuka A, Nishimori K, Yamanaka A, \*Onaka T. Oxytocin-oxytocin receptor systems facilitate social defeat posture in male mice. *Endocrinology* (2018) 159(2) :763-775. (犬束公募班、西森公募班他との共著論文)

▲Takayanagi Y, Yoshida M, Takashima A, Takanami K, Yoshida S, Nishimori K, Nishijima I, Sakamoto H, Yamagata T, \*Onaka T. Activation of supraoptic oxytocin neurons by secretin facilitates social recognition. *Biol Psychiatry*. (2017) 81(3): 243-251.

▲Okabe S, Yoshida M, Takayanagi Y, \*Onaka T. Activation of hypothalamic oxytocin neurons following tactile stimuli in rats. *Neuroscience Letters* (2015) 600: 22-27.

◎Nagasawa M, Mitsui S, En S, Ohtani N, Ohta M, Sakuma Y, Onaka T, Mogi K, \*Kikusui T. Oxytocin-gaze positive loop and the coevolution of human-dog bonds. *Science* (2015) 348(6232): 333-336. (菊水班との共著論文)

▲Yoshida M, Takayanagi Y, \*Onaka T. The medial amygdala - medullary PrRP-synthesizing neuron pathway mediates neuroendocrine responses to contextual conditioned fear in male rodents. *Endocrinology* (2014) 155(8): 2996-3004.

**駒井班** (下記を含む全 20 報 全て査読付き)

Lissek T, Adams M, Komai S, \*Mazahir TH, et al. Building Bridges through Science. *Neuron*. (2017) 96(4): 730-735. (国際共著論文)

▲Yokota S, Suzuki Y, Hamami K, Harada A, \*Komai S. Sex differences in avoidance behavior after perceiving potential risk in mice. *Behav Brain Funct*. (2017) 13(1): 9.

▲Furusho Y, Kubo T, \*Ikeda K. Roles of pre-training in deep neural networks from information theoretical perspective. *Neurocomputing* (2017) 248: 76-79.

▲Arai MD, Zhan B, Maruyama A, Harada AM, Horinouchi K, \*Komai S. Enriched Environment and Mash 1 Suppress the Differentiation of Neural Stem Cells into Inhibitory Neurons after transplantation into the Adult Somatosensory Cortex. *J. Neurol. Sci*. (2017) 373: 73-80

van Welie I, Roth A, Ho SSN, Komai S, \*Hausser M. Conditional spike transmission mediated by electrical coupling ensures millisecond precision correlated activity among interneurons in vivo. *Neuron* (2016) 90: 810-823 (国際共著論文)

▲\*Burdelis M, \*Ikeda K. Estimating passive dynamics distributions and state costs in linearly solvable Markov decision processes during Z learning execution, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration* (2014.1) 7: 148-154.

**公募班** (以下を含む全 60 報 内 8 報を除き全て査読付き)

Galbusera A, De Felice A, Stefano G, Bassetto G, Maschietto M, Nishimori K, Chini B, Papaleo F, Vassanelli S, \*Gozzi A. Intranasal Oxytocin and Vasopressin Modulate Divergent Brainwide Functional Substrates. *Neuropsychopharmacology* (2017) 42: 1420-1434 (国際共著論文)

Inutsuka A, Yamashita A, Chowdhury S, Naka J, Ohkura M, Taguchi T, \*Yamanaka A. The integrative role of orexin/hypocretin neurons in nociceptive perception and analgesic regulation. *Scientific Reports* (2016) 1-15

Miyamoto D, Hirai D, Chung C, Fung A, Inutsuka A, Odagawa M, Suzuki T, Boehringer R, Adaikkan CK, Matsubara C, Matsuki N, Fukai T, McHugh TJ, Yamanaka A, \*Murayama M. Top-down cortical input during NREM sleep consolidates perceptual memory. *Science* (2016) 352:1315-1318.

▲\*Matsunaga M, Kawamichi H, Umemura T, Hori R, Shibata E, Kobayashi F, Suzuki K, Ishii K, Ohtsubo Y, Noguchi Y, Ochi M, Yamasue H, Ohira H. Neural and Genetic Correlates of the Social Sharing of Happiness. *Front. in Neurosci*. (2017) 11:718.

\*Kawamichi H, Yoshihara K, Sugawara SK, Matsunaga M, Makita K, Hamano YH, Tanabe HC, Sadato N. Helping behavior induced by empathic concern attenuates anterior cingulate activation in response to others' distress. *Social Neuroscience*. (2016) 11(2):109-22.

\*Komeda H, Kosaka H, Saito DN, Mano Y, Jung M, Fujii T, Yanaka HT, Munesue T, Ishitobi M, Sato M,



- Okazawa H. Autistic empathy toward autistic others. *Soc Cogn Affect Neurosci.* (2015) 10(2): 145-152.
- \*Mizoguchi H, Katahira K, Inutsuka A, Fukumoto K, Nakamura A, Wang T, Nagai T, Sato J, Sawada M, Ohira H, Yamanaka A and Yamada K, Insular neural system controls decision-making in healthy and methamphetamine-treated rats. *Proc Natl Acad Sci.* (2015) 112 (29): E3930-E3939 (片平班、犬東班他による共著論文)
- Kato HE, Kamiya M, Sugo S, Ito J, Taniguchi R, Orito A, Hirata K, Inutsuka A, Yamanaka A, Maturana AD, Ishitani R, Sudo Y, \*Hayashi S, \*Nureki O. Atomistic design of microbial opsin-based blue-shifted optogenetics tools. *Nat Commun.* (2015) 6:7177.
- \*Sato N, Tan L, Tate K, Okada M. Rats demonstrate helping behavior toward a soaked conspecific. *Animal Cognition* (2015) 18(5): 1039-1047. (国際共著論文)
- \*Ohtsubo Y, Matsunaga M, Komiya A, Tanaka H, Mifune N, Yagi A. Oxytocin receptor gene (OXTR) polymorphism and self-punishment after an unintentional transgression. *Personality and Individual Differences* (2014.10) 69: 182-186.

## 主な書籍

渡辺班 (下記を含む全13件)

- Watanabe S, Hofman MA, Shimizu T. (Eds) (2017) Evolutionary origin of empathy and inequality aversion. In "Evolution of the Brain, Cognition, and Emotion in Vertebrates." Springer, Japan. (299 pages)

長谷川班 (下記を含む全20件)

- 長谷川寿一 (監訳) 『進化心理学を学びたいあなたへ - パイオニアからのメッセージ』 (2018) 東京大学出版会
- 橋彌和秀 (翻訳) 『ヒトはなぜ協力するのか (Tomasello M (2009) Why we cooperate. The MIT Press)』 (2013) 勁草書房

亀田班 (下記を含む全14件)

- 亀田達也 (著) (2017). 『モラルの起源—実験社会科学からの問い』 岩波新書.
- King A, Kosfeld M, Dall SRX, Greiner B, Kameda T, Khalmetski K, Leininger W, Wedkind C, Winterhalder B. (2017) Exploitative strategies: Consequences for individual behavior, social structure, and design of institutions. (pp.205-214) In L-A Giraldeau, P Hebb, M Kosfeld (Eds.), *Investors and exploiters in ecology and economics.* MIT Press.
- 亀田達也 (編著) (2015) 『「社会の決まり」はどのように決まるか』 (フロンティア実験社会科学 第6巻). 勁草書房.
- Kameda T, Inukai K, Wisdom T, Toyokawa W. (2015). Herd behavior: Its psychological and neural underpinnings. In S Grundmann, F Moeslein, K Riesenhuber (Eds.), *Contract governance* (pp. 61-71). Oxford, UK: Oxford University Press.
- 山岸俊男・亀田達也 (編著) (2014) 『社会のなかの共存』 (岩波講座 コミュニケーションの認知科学 第4巻) 岩波書店

菊水班 (下記を含む全5件)

- 菊水健史, 永澤美保、外池亜紀子、黒井眞器 (著) (2015) 「日本の犬：人とともに生きる」 東京大学出版会
- 菊水健史, 渡辺 茂他 (著) (2015) 「情動の進化」 岩波出版

駒井班 (下記を含む全7件)

- Komai S, (Chapter 20) Activity Regulation in the Study of Neural Plasticity. in *Yawo H, Kandori H, Koizumi A Eds. Optogenetics: Light-Sensing proteins and Their Applications* (2015) Springer Japan

公募班 (下記を含む全14件)

- 瀧本彩加、山本真也 (分担執筆) 「霊長類の利他行動—協力社会を生み出すところの進化」 山岸俊男・亀田達也 (編著) 岩波講座コミュニケーションの認知科学4 『社会のなかの共存』 pp.59-95 岩波書店

## 受賞・特許取得など

- 孟 憲巍 (計) 2017年度 (第8回) 日本学術振興会育志賞
- 渡辺 茂 (計) 2017年度日本心理学会国際賞特別賞
- 山本真也 (公) 2015年度日本心理学会国際賞奨励賞
- 中村和弘 (公) 第11回 (平成26年度) 日本学術振興会賞
- 中村和弘 (公) 2014 American Physiological Society (米国生理学会) Henry Pickering Bowditch Award
- 開 一夫 (公) 2014年度 GUGEN2014 大賞 赤ちゃん研究から生まれたおしゃぶりセンサのこれから

- 山岸俊男（計） 平成 25 年日本心理学会国際賞特別賞
- 山岸俊男（計） 平成 25 年文化功労者顕彰

## 研究成果

領域では、共感性を支える分子・神経機構の研究者から、共感性の進化基盤に関する比較認知・遺伝学研究者、数理生物学・情報科学のモデル研究者、人間社会における共感性機能を実証する人文社会科学研究者まで幅広く結集し、以下の 3 つの基本戦略に基づき、領域交叉的なプロジェクトを精力的に展開した。チーム間での活発なコラボレーションは本領域の最大・最重要の特徴であり、真の意味で複合的・学際的な新学術領域を創出し、当初の予想を上回る成果を得た。

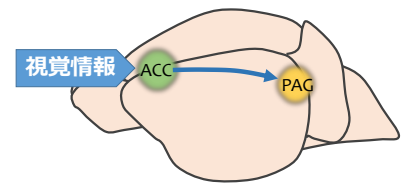
### 基本戦略① 共感性の共通神経基盤と社会機能の解明

次の 2 点を中心に、哺乳類に共通する共感性の神経機構とその社会的機能を解析すると共に、比較認知科学の手法に基づきヒト特有の共感性を明らかにした。

#### 1) 「痛み情動伝染」を支える共通の神経機構の検討

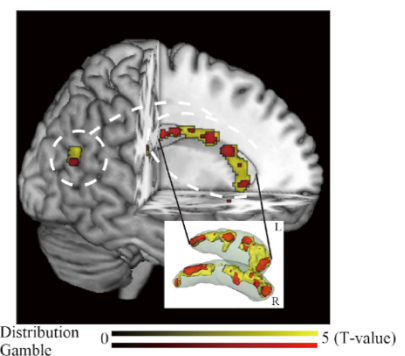
ヒト、イヌ、マウスを含む哺乳類、ニワトリを含む鳥類を対象に、共感性の基礎としての「痛み情動伝染」を用いた実験評価系を確立し、痛み情動伝染に関わる種を超えた共通の神経回路を同定することに成功した。まず、ヒトでは、他者の痛みを観察したときに前帯状回(ACC)と島皮質(IC)が活性化することが fMRI、PET などの脳画像解析から確認され、この回路が自閉症児では異なる反応パターンを示すこと、他者の快不快の判断や視線共有でも重要な機能を果たすことを見出した（山田班、田邊班、岡沢班）。

マウスではデモンストレーターの痛み反応を観察したときに ACC における神経活性が上昇すること、この神経細胞は中脳水道灰白質（PAG）に投射することを明らかにした（菊水班）。ACC の神経細胞は自身の痛みにも、他個体の痛みにも同じような反応を示した。このことから、ACC の神経細胞に自己を他個体に投影する共通機能の存在が示唆された。さらに、ニワトリの恐怖情動伝染のモデル作成にも世界で初めて成功した。ニワトリのヒナでは、恐怖が伝染し、パニックに陥り圧死する事故が多発している。この現象を定量的に操作する実験系を確立した。情動伝染による逃避行動が多い個体では、哺乳類の ACC に相当する脳部位で特異的な遺伝子の発現上昇が確認された（村山班、駒井班、菊水班）。さらに、情動伝染において、ヒト、イヌ、マウス、ニワトリのいずれでも他個体の苦痛を視覚的にとらえることが不可欠で、視覚を介した情動認知への神経応答がこの現象の本質であることを見出した。以上のように、チーム間で共通の実験系を確立し領域交叉的な検討を組織的に行うことで、脊椎動物における情動伝染には、視覚系で処理された情報が ACC を中心とした神経回路に入力される共通の基礎原理が作用していることを世界で初めて明らかにした。



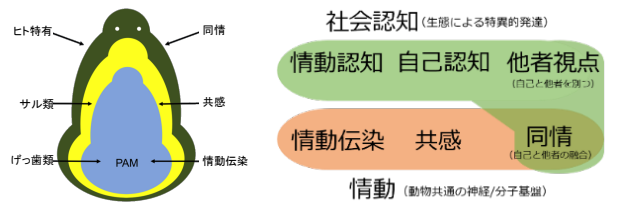
#### 2) ヒト特異的な共感性機能の検討

本領域の最大の発見の 1 つは、渡辺班、長谷川班、亀田班の連携研究により、de Waal らが提唱し、これまで共感性の進化・発達研究に関する基礎モデルとされてきた“マトリョーシカモデル”が不適切であることを見出したことである。このモデルでは、「情動伝染」から「共感」、さらにヒトに特異的とされる「同情」への進化過程は単線的な推移であると考えられてきた。しかし、渡辺班の研究から、マウスでも共感に近い行動を示すことが確認され、長谷川班の研究から、ヒト幼児の発達過程では共感と同情の間に大きなギャップがあり、両者は機能的に異なることを示すデータが得られた。また開班は、弱者を助ける「正義の行為」への共感傾向が発達初期から存在することを、幼児の視線活動の観測により明らかにした（*Nature Hum Behav*, 2017）。ヒト成人を対象とする亀田班の研究では、「共感＝他者の痛みへの思いやり」という素朴信念に反して、社会的な認知を伴う共感性は、先述の「痛み情動伝染」とはまったく異なる脳活動を伴うことが示された。具体



RTPJ は社会的分配場面で「最不遇の他者」への共感的配慮と関与する

的には、一連の行動・認知・fMRI 実験と計算論モデルから、①競争的場面で相手の行動を予測するための戦略的認知モデルの形成に関わる脳部位として右側頭頭頂接合部 (RTPJ) を同定し、②同じ脳部位が社会的分配における「最不遇の他者」への共感的配慮とも関与することを明らかにした (Proc



Natl Acad Sci, 2016)。この成果は、人文社会科学の規範的正義論と経験科学をつなぐ“文理融合の模範例”として、経済学・政治学・心理学・哲学倫理学・神経科学等の学会やメディアで注目された。これらの連携研究により、情動伝染と共感とは同一の進化軸上にある機能であるが、ヒトに特異的な同情は他者視点を起点とする認知的理解に伴う情動変化であり異なる脳機能・進化的起源をもつことを見出し、「2つの起源がヒトにおいて合流する」というモデル (Two-origin confluence model) を新たに提唱するに至った。本領域の先端的成果が次々と公刊されていくに伴い、この新たなモデルは、世界における共感性研究にパラダイム・シフトをもたらすだろう。

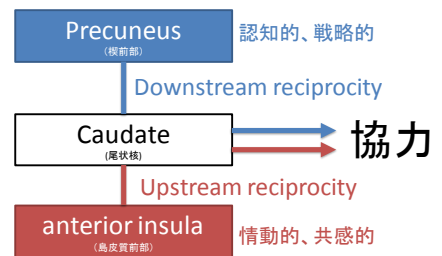
Perception-action model  
de Waal, Behav Brain Sci. 2002  
本領域が世界発信した  
二源合流モデル (Two-origin  
confluence model)

## 基本戦略② 共感性の進化・遺伝基盤の解明

実験動物で得られた知見と共感性の進化モデルに基づき、ヒト共感性の特異的進化に関与する遺伝的多様性とその機能を解明した。

### 1) 進化モデルによる情動伝染の適応基盤の検討

情動伝染の適応的意義を理論的に探るため、母子のような血縁ペアではなく、非血縁の多個体からなる集団における情動伝染の進化可能性を、進化ゲームモデルにより検討した。数理解析の結果、情動伝染という反応特性はグループサイズが小さい時に限って進化可能であり、グループサイズの増大は情動伝染が集団に定着後に生じるという進化的予測が得られた。また、情動伝染の進化において、個体間の血縁度の影響は限定的であり、むしろ生活環境の共有が重要要件であることが示された (大槻班)。この進化モデルの含意の一部をヒト・イヌの異種間での情動伝染現象において検証し、飼育期間の長期化により生活環境が共有されるに連れて、ヒトからイヌへの情動伝染が高まるといった実験的知見を得た (菊水班)。情動伝染の進化モデルの構築とそれに基づく実証は世界初の成果である。

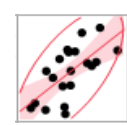
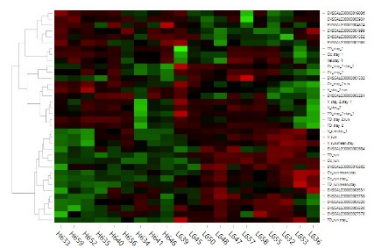


ヒト社会における協力行動の発現  
に関わる2つのシステム

ヒトの共感性の適応的基盤については、「自分が協力されたのでほかの相手に恩を送る (協力する)」というヒトに特徴的な恩送り行動 (upstream reciprocity) を正の共感性の1つの発現と捉え、その進化条件を数理的に検討した。解析から、「以前に協力された恩を長く覚えている」という戦略は進化不可能で、「恩義を覚えている期間は短く冷めやすい」タイプの共感性のみが進化可能であることを見出した。また協力行動と罰行動がどのように集団内秩序を作るかに関する解析では、集団内に空間構造があり適度な突然変異率がある時に限って、両行動の社会的分業が生じることを見出した (大槻班、亀田班)。

### 2) 動物モデルの共感性に関わる遺伝子/分子の多様性と機能の解明

共感性を二個体間の情動 (快・不快) とその一致・不一致という4種に定義・分類したうえで、それぞれの生起因子を進化系統樹的に解析した。マウスでは薬物強化による条件性場所選好やサーモグラフによる生理測定を用いて4種分類のすべてを確認し、マウスでも情動伝染のみならず、相手に応じた共感の区分が存在することを明らかにした。次に、共感性の機能としての「慰め・宥め」や食物分配行動の進化的生態因を探求し、一夫一妻が慰め行動の、協同繁殖が食物分配行動の生態進化因であることを明らかにした。また、霊長類を対象にした研究では、非協力的な行動を第三者として観察した場合の嫌悪 (第三者としての評価能力) がオマキザルでも観察され、高次の認知的共感がヒト以外の動物種にも原初的な形で存在することを世界で初めて見出した。



トリ ACC における情動伝染に関連性の高い遺伝子発現パターンと其中で最も情動伝染と相関が高かった Klhdc8a

共感性に関わる遺伝基盤については、まず、本領域で確立した情動伝染モデルを用い、ニワトリとマウスの責任遺伝子の同定を目指した。扁桃体と帯状回に相当する脳領域

から mRNA を抽出、RNA シークエンシングを実施して、発現量の異なるゲノム領域を探索し、行動スコアと発現量に有意な相関のある遺伝子のリストを作成した。15,000 遺伝子のリスト中には、神経伝達や脂肪代謝に関わる遺伝子が含まれていた。特に *Klhdc8a* と *Nrxn3*, *NRXN* などの自閉症や統合失調症のリスク遺伝子が強い関連性を示し、重要な候補遺伝子が絞り込めた。また、霊長類や食肉目、ウマ、鳥類を対象に、共感性行動とオキシトシン、バソプレシンの受容体など、ヒトで関連が報告されている候補遺伝子の個体差を解析し、これらの遺伝子が種を超えて共感性行動に影響することを見出した。特にヒトでは、信頼行動に関わる遺伝子としてオキシトシン受容体遺伝子 *OXTR rs53576* の特定に成功した。また関連遺伝子の種間比較を通して、共感性の進化を解明した。例として、犬のヒトとの意図理解（学習成績）やニホンザルの融和的毛づくろい行動にオキシトシン受容体遺伝子が関連することを見出した

### 基本戦略③ 共感性の分子・回路探索

共感性を支える遺伝子、分子、回路を探索し、その作動メカニズムを検討した。

#### 1) 共感性に関する神経回路の同定

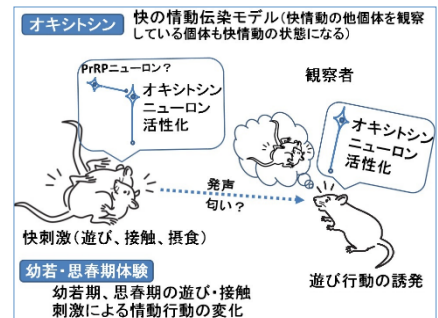
①-1)で述べた痛み情動伝染モデルを用い、ヒトおよびマウスにおいて前帯状皮質 (ACC) から中脳水道灰白質に至る回路が重要な機能を果たすことを見出した (菊水班)。またラットでは、水に溺れそうな他個体に対する援助行動を見出し (佐藤班)、助けるラットの ACC で神経活性が上昇することを確認した。さらに、一夫一妻制のプレーリーハタネズミでは、パートナーのストレス経験に応じて慰め行動が発現し、この場面でも慰め行動と ACC の神経活性が関連した。逆行性トレーサーにより ACC の投射先が PAG であること、ACC-PAG を薬理遺伝学的に抑制すると情動伝染が抑制されることから、げっ歯類の痛み情動伝染には ACC-PAG が関わることを明らかにした (菊水班、犬東班、尾仲班)。さらにマウスの慰め行動ではこれらの回路に加え、視床下部室傍核-視床下部腹内側核腹外側部、視床下部室傍核-腹外側中心灰白質回路の関与の可能性を新たに見出した (尾仲班、犬東班)。またラットでは遊び行動の伝染を見出した。また、他個体の快の情動発現に対して妬みに似た不快音声を発することを見出した (尾仲班、犬東班)。この「妬み行動」を見せるラットでは島皮質の活性が上昇し、ヒトの痛み体験でも同じく島皮質が賦活することから (山田班)、哺乳類に共通して、認知的不快情動には島皮質が関わることを世界で初めて明らかにした。

#### 2) 共感性の神経回路に關与する遺伝子/分子群の解明

TRPV1 は感覚神経細胞で発現し、痛みを中枢に伝えるチャネル分子である。自己の痛み分子である TRPV1 が、社会的痛み (他個体の痛みへの応答) にも関わるかを調べた。TRPV1 は運動野ならびに感覚野に発現し、また痛みに関与することが知られている縫線核にも発現が認められた。TRPV1 欠損マウスでは、他個体の痛みに伴う、観察個体の痛み閾値の低下 (より痛がる行動の上昇) が抑制された (菊水班)。これらのことから、TRPV1 が社会的痛みにも関与することが示唆された。

上述のように、オキシトシンは哺乳類に共通して認められる共感性関与分子である。オキシトシン受容体欠損マウスでは、情動に関わる涙の産生が低下し、また ACC でオキシトシン受容体を阻害することで、社会認知機能が低下した (菊水班、西森班)。さらに、マウスの慰め行動はオキシトシン神経系の阻害により低下した (尾仲班、犬東班)。ラットでも援助行動の発現に ACC のオキシトシン受容体の関連が見出された (佐藤班、犬東班)。オキシトシン受容体を遺伝的に欠損したプレーリーハタネズミでは慰め行動が消失した (西森班)。このように、オキシトシン神経系は、ACC で作用することで情動伝染や援助行動、慰め行動の発現に関与する。本領域の研究により、オキシトシンやバソプレシンが社会性に関与する脳部位で作用し共感性の発動に寄与することが明確に示された。

また、機能進化の観点から、オキシトシン神経系が共感性を発動させる役割をさらに検討するため、ヒト-イヌの「異種間の絆形成」に注目した。げっ歯類から、鳥類、ヒトに至るまで、共感性の発動は、個体間の親和

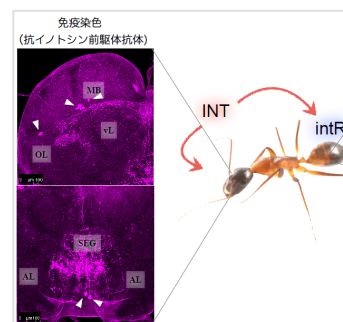


オキシトシンの快情動への機能



ヒト-イヌのオキシトシンを介した絆形成

性や絆の程度によって強く規定される。菊水班と尾中班の共同研究から、①イヌとヒトの見つめ合いが両者のオキシトシン分泌を促進すること、②このオキシトシン分泌機能はオオカミでは認められずイヌがヒトとの長い共生によって獲得した能力であること、が初めて見出された (Science, 2015)。社会性昆虫であるアリでは、①オキシトシンやバソプレシンのホモログであるイノトシンの発現が社会的階級によって異なり、とくに労働アリで高いこと、②イノトシンは群れのラベルとなる炭化水素の合成を促進し、「内集団」形成機能を担っていることを見出した (古藤班)。マウスでもオキシトシン神経系が内集団びいきに関与すること (菊水班)、ヒトでも同様にバソプレシンが内集団結束を高める一方、外集団への先制攻撃傾向を促進することを見出した (亀田班、菊水班)。本領域の共同研究により、広範な動物種に共通して、オキシトシンとバソプレシンのような神経ペプチドが二者間の絆形成や集団の連合を促進し、「内集団」メンバーへの情動的共感を支える機能をもつことが明らかになった。



アリのイノトシン  
発現細胞の同定

以上