

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23380106

研究課題名(和文)サケの母川水ニオイに対する嗅覚記憶脳内分子に関する研究

研究課題名(英文)Studies on olfactory memory molecules to natal stream odors in the brain of salmon

研究代表者

上田 宏 (UEDA, Hiroshi)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・特任教授

研究者番号：00160177

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：サケの生まれた川(母川)のニオイに対する嗅覚記憶脳内分子に関する研究を行い、シロザケ稚魚がふ化場から川に放流されると脳-下垂体-甲状腺(BPT)ホルモンが活性化し、その後にNMDA受容体必須サブユニットNR1遺伝子発現量が増加すること、およびシロザケ親魚がベーリング海からふ化場までの母川回帰する時は、脳-下垂体-生殖腺(BPG)ホルモンが活性化し、NR1遺伝子発現量も遡河回遊に伴い増加することを明らかにした。サケの母川記憶・回帰は、BPT・BPGホルモンにより制御され、母川水ニオイの記憶・想起脳内分子としてNR1を分子指標として用い得ることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Olfactory memory formation during juvenile salmon imprinting migration and retrieval during adult homing migration were investigated. In the brain of hatchery-reared underyearling juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*), thyrotropin-releasing hormone (TRH) gene expression increased immediately after release from a hatchery into the natal stream, and the expression of the essential NR1 subunit of the N-methyl-D-aspartate receptor increased during downstream migration. Gene expression of salmon gonadotropin-releasing hormone (sGnRH) and NR1 increased in the adult chum salmon brain during homing from the Bering Sea to the natal hatchery. Thyroid hormone treatment in juveniles enhanced NR1 gene activation, and GnRHa treatment in adults improved stream odor discrimination. Olfactory memory formation during juvenile downstream migration and retrieval during adult homing migration of chum salmon might be controlled by endocrine hormones and could be clarified using NR1 as a molecular marker.

研究分野：魚類生理学

キーワード：サケ 母川記憶 母川回帰 嗅覚記憶 NMDA受容体 甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン 生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン 嗅電図

1. 研究開始当初の背景

我国の重要な水産資源であるサケは、親魚が繁殖のため生まれた川（母川）に回帰する母川回帰性を利用した人工孵化放流事業により増産されている。サケの母川回帰は、稚魚が降河時に母川水のニオイを記憶（記銘）し、親魚が繁殖のための遡河時に降河時に記銘した母川水のニオイを想起して母川を選択して回帰する。高等脊椎動物の記憶に関連する脳内分子としては、グルタミン酸受容体の一種である N-methyl-D-aspartate 型グルタミン酸受容体（NMDA 受容体）が精力的に研究されている。しかし、サケの嗅覚記憶（母川記銘・想起）に NMDA 受容体および神経ホルモンである甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン（TRH）およびサケ型生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン（sGnRH）がどのように関与しているかは、国内外でほとんど研究されていない。サケは、稚魚が降河時に母川記銘し、親魚が遡河時に母川想起するため、脳内分子（NMDA 受容体・TRH・GnRH）がどのように機能し、嗅覚記憶（母川記銘・想起）が形成されるかを実験的に解析することが可能である。

2. 研究の目的

我国の重要な水産資源であるシロザケの母川水ニオイに対する嗅覚記憶機構の解明を最終目的とするが、シロザケの採集可能時期が限定されるため北大洞爺臨湖実験所で飼育しているヒメマスも併用し、サケの嗅覚記憶関連脳内分子を下記の5点に着目して解析する。

- (1) シロザケ脳の NMDA 受容体必須サブユニット NR1 遺伝子の発現部位を解析する。
- (2) シロザケ稚魚の降河回遊に伴う母川記銘時の TRH・NR1 の変化を解析する。
- (3) シロザケ親魚の母川回帰に伴う母川想起時の sGnRH・NR1 変化を解析する。
- (4) NMDA 受容体阻害剤 MK-801 の投与がヒメマスの嗅覚記憶に及ぼす影響を電気生理学的手法により解析する。
- (5) シロザケ稚魚の降河回遊および親魚の遡河回遊に伴う嗅覚機能を電気生理学的手法により解析する。

3. 研究の方法

- (1) サケ脳の NR1 遺伝子の発現部位の解析
シロザケの NR1 遺伝子の塩基配列情報を基にプライマーを作製し、稚魚の脳における NR1 遺伝子の発現部位を *in situ* ハイブリダイゼーション法により観察した。
- (2) サケ稚魚の降河回遊に伴う母川記銘時の TRH・NR1 の変化の解析
水産研究総合センター北海道区水産研究所千歳さけます事業所（千歳ふ化場）から千歳川・石狩川を経て石狩湾までの降河回遊に伴う、TRH・甲状腺刺激ホルモン(TSHβ)・NR1 遺伝子の発現動態をリアルタイム定量 PCR、および甲状腺ホルモン (T4・T3) の分泌動態、時

間分解蛍光免疫測定法により分析した。また、シロザケ稚魚に T4 を経口投与し NR1 遺伝子発現量の変化を解析した。

- (3) サケ親魚の母川回帰に伴う母川想起時の sGnRH・NR1 の変化の解析
ベーリング海から石狩湾を経て千歳ふ化場までの母川回帰に伴う、sGnRH・NR1 遺伝子の発現動態をリアルタイム定量 PCR により分析した。
- (4) NMDA 受容体阻害剤 MK-801 の投与がヒメマスの嗅覚記憶に及ぼす影響の解析
ヒメマス1歳魚の母川記銘時に MK-801 (0.1μg / g 体重、1日おき4回) を腹腔内注射して2年間飼育し、3歳魚の母川想起時に母川水に対する嗅電図 (EOG) を測定した。
- (5) シロザケ稚魚の降河回遊および親魚の遡河回遊に伴う嗅覚機能の解析
シロザケ稚魚の千歳ふ化場から石狩湾までの降河回遊に伴う河川水に対する EOG、および千歳川に回帰したシロザケ親魚の河川水に対する EOG を測定した。また、石狩湾にて捕獲したシロザケ親魚に GnRH アナログ (GnRH_a) を投与し、耳石温度標識により正確に母川回帰した個体と他河川に迷入した個体の河川水に対する EOG を測定した。

4. 研究成果

- (1) サケ脳の NR1 遺伝子の発現部位の解析
シロザケ稚魚の千歳ふ化場で飼育されていた放流直前の個体と千歳川に放流され釜加で捕獲された個体を比較すると、釜加の個体が嗅球からの神経が投射する終脳腹側野において NR1 遺伝子の発現が顕著に増加していた (図1)。NR1 遺伝子は放流後に、嗅球からのニオイ情報が投射する部位で増加することが明らかになった。

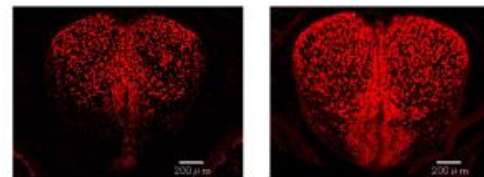


図1. シロザケ稚魚終脳における NR1 遺伝子の発現部位

- (2) サケ稚魚の降河回遊に伴う母川記銘時の TRH・NR1 の変化の解析
シロザケ稚魚を千歳ふ化場で飼育されていた1月~4月の個体 (A1~A4)、および千歳川に放流された降河回遊中に第二千歳橋 (B)・釜加 (C)・旧夕張川分岐点 (D)・石狩川河口 (E)・石狩湾 (F) において捕獲された個体の TRH_a/b・TSHβ・NR1 遺伝子発現量および T4・T3 量を解析した。千歳ふ化場から千歳川に放流された直後に、TRH_a/b 遺伝子発現量が急増し、それ後の降河回遊にともない TSHβ 遺伝子発現量と T4・T3 量が増加した。NR1 遺伝子は、千歳ふ化場で飼育されている期間に脳

の発達に伴い増加し、放流直前には低下するが、千歳川に放流された釜加から石狩川河口まで増加した(図2)。ふ化場から河川に放流された環境変化が刺激となり、TRHa/bが活性化され、その刺激によりNR1が活性化されて母川記憶能を獲得することが明らかになった。

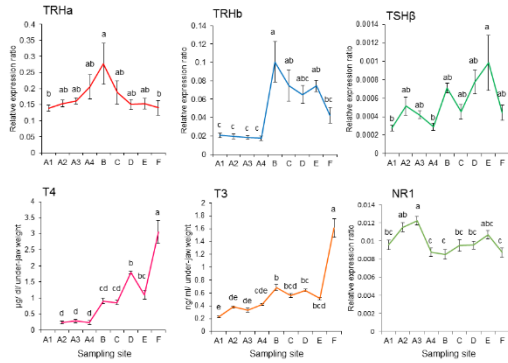


図2. シロザケ稚魚の降河回遊に伴うTRHa/b・TSHβ・T3・T4・NR1の変化

千歳ふ化場で飼育されたいた放流前のシロザケ稚魚にT4(2mg/g飼料)を2週間経口投与し、NR1遺伝子およびT4・T3量を解析した。T4・T3量は2週間増加したが、NR1遺伝子発現量は投与4日目には有意に増加したがその後減少した(図3)。母川記憶能の臨界期は1週間以内であることが明らかになった。

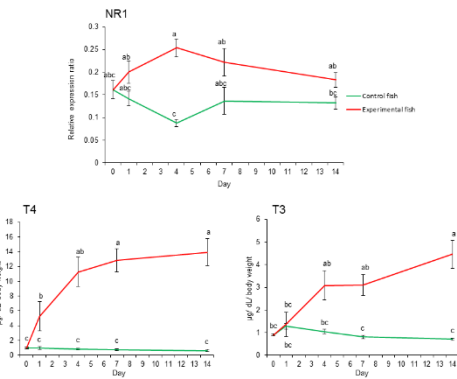


図3. T4経口投与したシロザケ稚魚のNR1・T4・T3の変化

(3) サケ親魚の母川回帰に伴う母川想起時のsGnRH・NR1の変化の解析

シロザケ親魚雌雄のベーリング海(G)から石狩湾(F)・千歳川インディアン水車(J)・千歳ふ化場(A)までの母川回帰に伴う、脳のsGnRH-I/II・NR1遺伝子発現量の変化を嗅球と終脳で解析した。雌雄差はあるが、sGnRH-I/II遺伝子発現量は母川回帰に伴い増加し、NR1遺伝子発現量も遡河回遊に伴い増加した(図4)。ベーリング海での産卵回遊の開始および母川回帰に、sGnRHが脳部位特異的に活性化され、その刺激によりNR1が活性化されて母川回帰することが明らかになった。

(4) NMDA受容体阻害剤MK801の投与がヒメマスの嗅覚記憶に及ぼす影響の解析

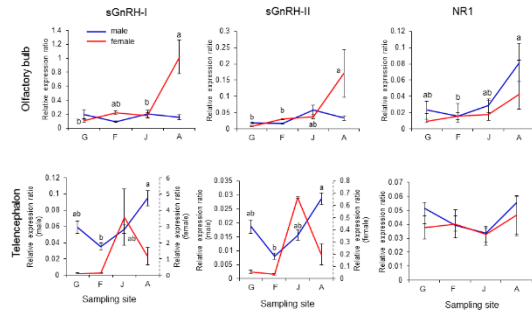


図4. シロザケ親魚の母川回帰に伴うsGnRH-I/II・NR1の変化

ヒメマス1歳魚の母川記憶時にNMDA受容体の阻害剤MK-801を投与して2年間飼育し、3歳魚の母川想起時に母川水に対するEOGを比較すると、MK-801群のEOGが対照群に比し有意に低下した(図5)。NMDA受容体が母川水ニオイの母川記憶・想起に作用していることが明らかになった。

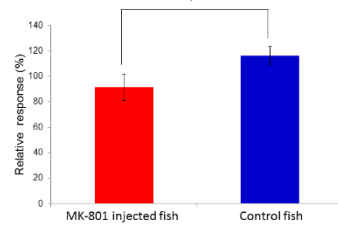


図5. NMDA受容体阻害剤MK-801がヒメマスの嗅覚機能に及ぼす影響

(5) シロザケ稚魚の降河回遊および親魚の遡河回遊に伴う嗅覚機能の解析

シロザケ稚魚の千歳ふ化場(A)で飼育されていた個体、および千歳川に放流された降河回遊中に第二千歳橋(B)・釜加(C)・旧夕張川分岐点(D)・石狩川河口(E)・石狩湾(F)において捕獲された個体の千歳川・石狩川・豊平川の河川水に対するEOGを測定した。BとD地点において石狩川河川水に対する嗅覚応答が上昇した(図6)。シロザケ稚魚は、ふ化場では河川水に対する識別能力が無く、降河回遊中に新たな河川水に遭遇すると嗅覚識別能力を高めることが明らかになった。

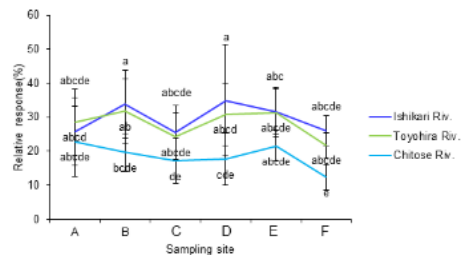


図6. シロザケ稚魚の降河回遊に伴う河川水に対する嗅電図の変化

インディアン水車で捕獲されたシロザケ雄親魚の千歳川・石狩川・豊平川の河川水に対するEOGを測定したところ、非母川水である豊

平川河川水に対する嗅覚応答が有意に低かった(図7)。また、石狩湾に捕獲したシロザケ雄親魚にGnRHアナログ(GnRH_a)を投与し性成熟を促進し、千歳川・石狩川・豊平川の河川水に対するEOGを測定したところ、正確に千歳化場に回帰する個体は千歳川河川水に対して、他ふ化場に回帰する迷入魚を含む場合は石狩川河川水に対する嗅覚応答が高かった(図8)。シロザケ親魚は、母川水に対して高い嗅覚識別能力を発揮し、迷入魚と正確に母川回帰する個体の母川水に対する嗅覚識別能力は異なっていることが明らかになった。

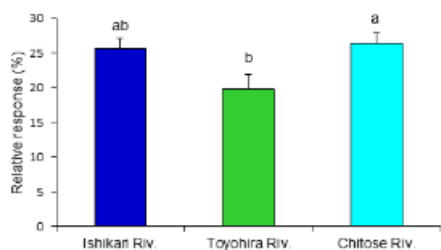


図7. シロザケ雄親魚の3河川水に対する嗅電図の比較

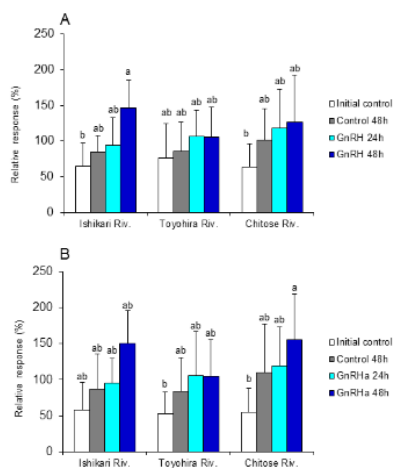


図8. GnRH_a投与された迷入(A)と母川回帰(B)シロザケ雄親魚の3河川水に対する嗅電図の比較

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計22件) 査読有*

- ① [Ueda H](#), Nakamura S, Nakamura T, Inada K, Okubo T, Furukawa N, Murakami R, Tsuchida S, Zohar Y, Konno K, Watanabe M. Involvement of hormones in olfactory imprinting and homing in chum salmon. *Scientific Reports*, 6, 21102 (2016). doi: 10.1038/srep21102*
- ② Makiguchi Y, Nii H, Nakao K, [Ueda H](#). Sex difference in metabolic rate and swimming performance in pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*): the effect of male secondary sexual traits. *Ecology of Freshwater Fish*, 2016, 1-11 (2016). doi: 10.1111/eff.12278*
- ③ Palstra AP, Fukaya K, Chiba H, Dirks RP, Planas JV, [Ueda H](#). The olfactory transcriptome and progression of sexual maturation in homing chum salmon *Oncorhynchus keta*. *PLoS ONE*, 10, e0137404 (2015). doi: 10.1371/journal.pone.0137404*
- ④ Haraguchi S, Yamamoto Y, Suzuki Y, Change JH, Koyama T, Sato M, Mita M, [Ueda H](#), Tsutsui K. 7 α -Hydroxypregnenolone, a key neuronal modulator of locomotion, stimulates upstream migration by means of the dopaminergic system in salmon. *Scientific Reports*, 5, 12546 (2015). doi: 10.1038/srep12546*
- ⑤ Sweke EA, Su y, Baba S, Denboh T, [Ueda H](#), Sakurai Y, Matsuishi T. Catch per unit effort estimation and factors influencing it from recreational angling of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) and management implications for Lake Toya, Japan. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 20, 264-274 (2015). doi: 10.1111/Ire.12115*
- ⑥ [Ueda H](#). The current propagation systems and physiological studies of Japanese chum salmon. *Fisheries Science*, 81, 219-228 (2015). doi: 10.1007/s12562-014-0847-2*
- ⑦ [上田 宏](#). 太平洋サケの母川記録・回帰行動の生理機構. *海洋と生物*, 221, 37 (6), 563-568 (2015).
- ⑧ [上田 宏](#). 総説特集 嗅覚シンポジウム「嗅覚と内分泌機能」. 太平洋サケの嗅覚による母川記録・回帰に関する神経内分泌機能. *日本味と匂学会誌*, 22, 119-123 (2015)*
- ⑨ Miyoshi K, Hayashida K, Sakashita T, Fujii M, Nii H, Nakao K, [Ueda H](#). Comparison of the swimming ability and upstream-migration behavior between chum salmon and masu salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71, 217-225 (2014). doi: 10.1139/cjfas-2013-0480*
- ⑩ [Ueda H](#). Homing ability and migration success in Pacific salmon: mechanistic insights from biotelemetry, endocrinology, and neurophysiology. *Marine Ecology Progress Series*, 496, 219-232 (2014). doi: 10.3354/meps10636*
- ⑪ Shin HS, Choi YJ, Kim NN, Lee J, [Ueda H](#), Choi CY. Effects of exogenous cortisol and seawater adaptation on thyroid hormone receptors in the smolt stage of the sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. *Ichthyological Research*, 61, 9-16 (2014). doi: 10.1007/s10228-013-0365-8*
- ⑫ Yu JN, Ham SH, Lee SL, Jin HJ, [Ueda H](#), Jin DH. Cloning and characterization on the N-methyl-D-aspartate receptor subunit NR1 gene from chum salmon, *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792). *Springer Plus*, 3, 9 (2014). doi: 10.1186/2193-1801-3-9*
- ⑬ Miles NG, Walsh CT, Butler G, [Ueda H](#), West RJ. Australian diadromous fishes-challenges and solutions for understanding migrations in the 21st century. *Marine and Freshwater Research*,

65, 12-24 (2013). doi: 10.1071/MF12340*

- ⑭ Fukaya K, Amano M, Ueda H. Diurnal changes in salmon GnRH secretion in the brain of masu salmon (*Oncorhynchus masou*). *General and Comparative Endocrinology*, 192, 77-80 (2013). doi: 10.1016/j.yggen.2013.02.027*
- ⑮ Yamamoto Y, Shibata H, Ueda H. Olfactory homing of chum salmon to stable compositions of amino acids in natal stream water. *Zoological Science*, 30, 607-612 (2013). doi: 10.2108/zsj.30.607*
- ⑯ Hayashida K, Nii H, Tsuji T, Miyoshi K, Hamamoto S, Ueda H. Effects of anesthesia and surgery on Ucrit performance and MO2 in chum salmon, *Oncorhynchus keta*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 39, 907-915 (2013). doi:10.1007/s10695-012-9750-x*
- ⑰ 上田 宏. サケの母川記銘・回帰メカニズムに関する生理学的研究. 科研費 NEWS, 2013 年度 Vol. 1: 14 (2013).
- ⑱ Lee S, Ueda H. Effects of aggressive interaction on downstream movement and olfactory function in masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *Aquaculture*, 362-363, 167-171 (2012). doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.012*
- ⑲ Mizuno S, Urabe H, Aoyama T, Omori H, Iijima A, Kasugai K, Torao M, Misaka N, Koide N, Ueda H. Changes in activity and transcript level of liver and gill metabolic enzymes during smoltification in wild and hatchery-reared masu salmon (*Oncorhynchus masou*). *Aquaculture*, 362-363, 109-120 (2012). doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.10.034*
- ⑳ Ueda H. Physiological mechanisms of imprinting and homing migration in Pacific salmon *Oncorhynchus* spp. *Journal of Fish Biology*, 81, 543-558 (2012). doi: 10.1111/j.1095-8649.2012.03370.x*
- ㉑ Bando H, Kida I, Ueda H. Olfactory responses to natal stream water in sockeye salmon by BOLD fMRI. *PLoS ONE*, 6(1), e16051 (2011). doi: 10.1371/journal.pone.001605*
- ㉒ Ueda H. Physiological mechanisms of homing migration in Pacific salmon from behavioral to molecular biological approaches. *General and Comparative Endocrinology*, 170, 222-232 (2011). doi: 10.1016/j.ygen.2010.02.003*

[学会発表] (計 25 件)

- ① Ueda H. Physiological mechanism of imprinting and homing migration of Pacific salmon. 52nd Annual Meeting of Oregon Chapter of the American Fisheries Society, Fish Orientation Symposium, Seaside Civic & Convention Center, Seaside, Oregon, USA, March 4 (2016).
- ② Ueda H. Physiological mechanisms of olfactory imprinting and homing in Pacific

salmon. 145th Annual Meeting of American Fisheries Society, Symposia: The physiology, behavior, and ecology of fish navigation, Oregon Convention Center, Portland, Oregon, USA, August 17 (2015).

- ③ 上田 宏. サケの母川記銘・回帰機構. 第 9 回サケ学研究会特集「サケの回遊とそのメカニズム」, 北海道大学国際本部 (北海道札幌市), 2015 年 12 月 20 日.
- ④ 上田 宏. サケが生まれた川に帰る謎. 平成 27 年度北海道大学大学院地球環境科学研究公開講座. 北海道大学院地球環境科学研究院 (北海道札幌市), 2015 年 9 月 9 日.
- ⑤ Ueda H, Chen EY, Nii H, Nakao K, Hayashida K, Misaka N, Koide N. Large and small scale Pacific salmon homing behavior using the PIT tag system. 3rd International Conference on Fish Telemetry, World Trade and Convention Centre, Halifax, Canada, July 16 (2015).
- ⑥ Ueda H. Neuroendocrine control mechanisms of imprinting and homing migration in chum salmon. International Symposium on Advances in the Population Ecology of Stream Salmonids IV. University of Girona, Girona, Spain, May 26 (2015).
- ⑦ 上田 宏. 太平洋サケの母川記銘・回帰行動の生理機構. 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学 (東京都港区), 2015 年 3 月 27 日.
- ⑧ Ueda H. Neuroendocrine control mechanisms of imprinting and homing migration in Pacific salmon. International Conference on Frontiers in Comparative Endocrinology and Neurobiology-2014, University of Hyderabad, Hyderabad, India, November 27 (2014).
- ⑨ Ueda H. The current propagation system and physiological studies of imprinting and homing migration of Japanese chum salmon. 2nd FitFish Workshop on the Swimming Physiology of Fish, Institut d'Estudis Catalans (IEC), Barcelona, Spain, October 10 (2014).
- ⑩ 上田 宏. 太平洋サケの嗅覚による母川記銘・回帰に関する神経内分泌機能. 日本味と匂学会第 48 回大会, 嗅覚シンポジウム「嗅覚と内分泌機能」, 静岡市清水文化会館マリナート (静岡県静岡市), 2014 年 10 月 3 日.
- ⑪ Ueda H. Physiological mechanism of olfactory imprinting and homing in Pacific salmon. The 2nd International Symposium on Frontier Science in Ecology, Genetics and Genomics, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido, Japan, July 10 (2014).
- ⑫ Ueda H. Neuroendocrine control mechanisms of imprinting and homing migration in Pacific salmon. 10th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, Olhão Municipal Auditorium, Olhão, Portugal, May 28 (2014).

- ⑬ Ueda H. Current status and future prospects of Pacific salmon propagation systems in Japan. Aquaculture 2013 (Celebrating 40 years of Aquaculture), Palacio de Congresos de Canarias Convention Centre, Gran Canaria, Spain, November 4 (2013).
- ⑭ 上田 宏. サケの嗅覚による母川記銘・回帰行動. 日本学術会議公開シンポジウム「ここまで分かった水生動物行動の謎」, 日本学術会議 (東京都港区), 2013年9月29日.
- ⑮ Ueda H. Olfactory imprinting during smoltification in Pacific salmon. 9th International Workshop on Salmonid Smoltification, Holar University College, Holar, Iceland, August 17 (2013).
- ⑯ 上田 宏. サケの母川回帰の不思議. 平成25年度北海道大学水産学部公開講座, 北海道大学水産学部 (北海道函館市), 2013年7月27日.
- ⑰ Ueda H. Physiological researches on imprinting and homing migration in Pacific salmon. 2nd International Conference on Fish Telemetry, Rhodes University, Grahamstown, South Africa, July 16 (2013).
- ⑱ Ueda H. Physiological mechanisms of olfactory imprinting and homing in salmon. Sensing the Environment: Molecules to Populations. 10th International Congress on the Biology of Fish, Monona Terrace Community and Convention Center, Madison, Wisconsin, USA, July 17 (2012).
- ⑲ Ueda H. Physiological mechanisms of olfactory imprinting and homing in salmon. Eawag Institute Seminar (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology), Kastanienbaum, Switzerland, April 24 (2012).
- ⑳ Ueda H. Mechanism of imprinting and homing migrations in salmon. Symposium: Behavioural Endocrinology. The 7th Asia Oceania Society for Comparative Endocrinology, Sunway Resort Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia, March 5 (2012).
- ㉑ 上田 宏. サケが生まれた川に帰る謎. シンポジウム「沖縄における水棲動物生殖の基礎と応用」市民講座, 海洋博覧会記念公園管理財団総合研究センター (沖縄県国頭郡本部町) 2011年12月10日.
- ㉒ 上田 宏. サケの母川記銘・回帰メカニズム: バイオテレメリー手法による成果および将来展望. 第7回日本バイオリギング研究会シンポジウム, 名古屋大学環境総合館 (愛知県名古屋市), 2011年11月12日.
- ㉓ Ueda H. Mechanisms of imprinting and homing migration in salmon. Symposium. Nature and Nurture: Local adaptation, life history diversity, and salmon conservation. American Fisheries Society 141st Annual Meeting, Washington State Convention Center, Seattle, WA, USA, September 8 (2011).
- ㉔ Ueda H. Mechanisms of olfactory imprinting and homing migration in salmon. Chemical Signals in Vertebrates XII. Zoo and Wildlife Research, Berlin, Germany, August 30 (2011).
- ㉕ Ueda H. Physiological mechanisms of imprinting and homing migration in salmon. 7th International Conference on Animal Navigation, Whiteknights Campus, University of Reading, Reading, UK, April 8 (2011).
- [図書] (計 7件)
- ① 上田 宏編著. “三陸のサケ: 復興のシンボル”, pp. 1-192, 北海道大学出版会, 札幌市 (2015).
- ② Ueda H., Tsukamoto K. eds. “Physiology and Ecology of Fish Migration”, CRC Press, Boca Raton, pp.1-188 (2013).
- ③ 上田 宏. サケの母川記銘・回帰メカニズム, “サケ学大全” (帰山雅秀・永田光博・中川大介編著), 北海道大学出版会, 札幌市, pp.87-90 (2013).
- ④ Hayashida K, Fukaya K, Palstra AP, Ueda H. Salmonid reproductive migration and effects on sexual maturation. In “Swimming Physiology of Fish” (eds. Palstra AP and Plans JV), Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 3-17 (2012). doi: 10.1007/978-3-642.31049-2
- ⑤ 柴田英昭, 上田 宏, イレバ ニーナ, 長尾誠也, 中村洋平, 門谷 茂, 柴沼成一郎. 天塩川—日本最北の大流域. “森と海をむすぶ川” (向井 宏監修), 京都大学出版会, 京都市, pp. 1-21 (2012).
- ⑥ Yamamoto Y, Bando H, Jin DH, Ueda H. Mechanisms of olfactory imprinting and homing in Pacific salmon. In “The Biology of Odors” (eds. Weiss LE and Atwood JM), Nova Science Publishers, New York, pp. 249-262 (2011).
- ⑦ 牧口祐也, 新居久也, 中尾勝哉, 上田 宏. 蛇行復元がサケ科魚類の遡上行動およびエネルギー消費に与える影響. “川の蛇行復元” (中村太士編), 技報堂出版, 東京都, pp. 141-163 (2011).
6. 研究組織
- (1)研究代表者
上田 宏 (UEDA Hiroshi)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・特任教授
研究者番号: 00160177
- (2)研究分担者
飯郷 雅之 (IIGO Masayuki)
宇都宮大学・農学部・教授
研究者番号: 10232109
- 天野 勝文 (AMANO Masafumi)
北里大学・海洋生命科学部・教授
研究者番号: 10296428