

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19380109

研究課題名 (和文) 魚類の浸透圧調節機構における鰓、腸、腎臓の相互作用および内分泌系による機能の統合

研究課題名 (英文) Interaction of the gill, intestine and kidney and integration by endocrine systems in fish osmoregulation

研究代表者

金子 豊二 (KANEKO TOYOJI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号：70221190

研究成果の概要 (和文)：魚類の浸透圧調節機構を包括的に理解するため、鰓 (塩類細胞)、腸および腎臓における浸透圧調節機能の分子機構の解明を目指した結果、両浸透圧調節器官の分子・細胞レベルでのイオン輸送機能の一端を解明した。また、浸透圧調節器官の自律性とホルモン依存性という 2 面からその機能調節機構を捉え、体液浸透圧が浸透圧感知機構を備えた統合されたシステムによって調節されていることを示した。

研究成果の概要 (英文)：For a comprehensive understanding of osmoregulatory mechanisms in teleosts, we attempted to clarify cellular and molecular mechanisms of osmoregulation in the gill (chloride cells), intestine and kidney. Considering possible autonomous and hormone-dependent regulations, we indicated that body fluid osmolality in teleosts was controlled by integrated systems equipped with osmosensory mechanisms.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2008年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2009年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
年度			
年度			
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：ウナギ・ティラピア・浸透圧調節・鰓・塩類細胞・腎臓・腸

## 1. 研究開始当初の背景

魚類の浸透圧調節は体内環境の恒常性の維持に重要であり、その機構の解明は魚類の健全な育成を目指す上で水産学的な意義は大きい。水圏に生息する魚類では、体表を介

して外界と体内との間で各種のイオンや水が受動的に移動するが、これは陸上動物には見られない特徴である。海産魚では塩類の流入と水の流出、また淡水魚では塩類の流出と水の流入の危険に常にさらされているにも

関わらず、実際には淡水、海水を問わず、体液の浸透圧は海水の約 1/3 に保たれている。特にティラピアやウナギなどの広塩性魚は、同一の個体が淡水、海水の双方に適応する能力を有している。一般に、海水中では体内に過剰となる塩類を鰓の塩類細胞から排出し、淡水中で不足する塩類を塩類細胞から取込むことで、いずれの環境でも体内のイオン濃度を生理的範囲内に保っている。また、淡水中で体内に流入する水は薄い尿として排出され、海水中で脱水により不足する水は海水を飲むことで補っている。

これまでの魚の浸透圧調節研究は、1) 鰓に存在する塩類細胞のイオン輸送機能、および 2) 内分泌系による体液浸透圧の調節、の 2 点を中心に進められてきた。近年の目覚ましい分子生物学の発展とその手法の普及により、塩類細胞におけるイオン輸送機能の分子メカニズムの解明が断片的ではあるが、ここ数年で飛躍的に進展した。また共焦点レーザーキャノン顕微鏡および各種蛍光プローブの開発は、塩類細胞のイオン輸送機能の多様性とその機能の可塑性に関する知見をもたらしたが、申請者の研究グループがこの分野の発展に大きく貢献してきた。一方、浸透圧調節器官の水やイオンの輸送機能は、淡水適応ホルモンであるプロラクチンおよび海水適応ホルモンである成長ホルモンとコルチゾルにより一義的に調節されていると信じられてきた。しかし浸透圧調節器官はホルモンの指令に従って忠実に機能するというよりも、特に鰓では内分泌系の影響を受けつつ自律的に調節されていることが我々の研究により明らかとなってきた。

## 2. 研究の目的

魚類浸透圧調節研究の包括的発展を期するためには、以下の 2 点に的を絞った研究を遂行することが急務である。第 1 に、研究の進んでいる鰓および塩類細胞に加え、腸や腎臓における浸透圧調節機能の分子機構の解明を目指し、これまで個別に捉えられてきた各浸透圧調節器官の分子・細胞レベルでの機能を相互作用として捉え直し、水やイオンの個体レベルでのフラックスを明らかにすること、そして第 2 に浸透圧調節器官の自律性とホルモン依存性という 2 面からその機能調節機構を捉え、統合されたシステムの全貌を把握することである。特に鰓の塩類細胞は内部環境の浸透圧変化を直接感知する機構を備えており、その機能は細胞外液とそれによって運ばれる各種ホルモンの影響下にあると言える。本研究は、外部環境、浸透圧調節器官および内分泌系の相互作用を念頭に置き、従来の考えを拡張した枠組みのもとで、浸透圧調節の斬新なコンセプトを構築しよ

うとするものである。

## 3. 研究の方法

### (1) 塩類細胞の機能的分類

塩類細胞のイオン輸送機能は、その頂端膜に発現するイオン輸送タンパクによって規定されるので、頂端膜のタンパクにもとづいてサブタイプに分類するのが合理的である。本研究では、ティラピアの鰓でこれまでに同定されたイオン輸送に関与する可能性の高い輸送タンパクを免疫染色によって検出し、それらの発現パターンを基準にティラピア鰓の塩類細胞をサブタイプに分類することを試みた。候補タンパクおよび輸送されるイオンとして、NKCC ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ )、NCC ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ )、NHE ( $\text{Na}^+$ )、 $\text{Na}^+$ チャンネル ( $\text{Na}^+$ )、AE ( $\text{Cl}^-$ ) に着目した。

### (2) 腸における炭酸塩形成による 2 価陽イオンの除去メカニズム

海水に適応した魚は海水を飲むことで不足する水分を補給する。飲み込まれた海水中の 1 価イオンは体内に取り込まれるが、2 価陽イオン (特に  $\text{Ca}^{2+}$ ) はカルシウムケーキと呼ばれる白い炭酸塩を形成し不溶化することで除去され、腸液の浸透圧を低下させる。まずマイクロ X 線分析を行い、この沈殿物の元素組成を明らかにした上で、 $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Mg}^{2+}$  の含量を定量化した。2 価陽イオンの炭酸塩が腸管内で形成されるためには  $\text{HCO}_3^-$  (重炭酸イオン) が腸内腔に分泌されている可能性が高い。一般に  $\text{HCO}_3^-$  は上皮細胞の頂端膜に分布する anion exchanger (AE) を介して分泌されるので、腸上皮における AE を免疫染色 (市販のほ乳類の AE に対する抗体を利用) によって検索すると同時に、cDNA クローニングを行なった。さらに  $\text{HCO}_3^-$  の分泌部位を明らかにし、炭酸塩形成への関与を実験的に示した。

### (3) 腎臓におけるネフロン立体構造

細尿管の詳細な形態を把握するため光学顕微鏡および電子顕微鏡を用いて観察を行った。また細尿管における NKA の局在を明らかにするため、免疫組織化学的観察を行った。淡水・海水ウナギの細尿管構造および NKA の免疫反応性を比較することで、浸透圧調節機構について検討した。さらにレーザーキャノン顕微鏡を用いた立体再構築、連続切片の観察を行うことで細尿管の立体構造を検証した。

### (4) 下垂体プロラクチン (PRL) 細胞における浸透圧変化感知機構

本研究ではまず、ティラピアにおける下垂体プロラクチン (PRL) 細胞の浸透圧変化感知機構に水チャンネル分子 AQP3 が関与するかに

について検討した。次にプロラクチン産生細胞の細胞培養系を確立し、培養液の浸透圧を変化させた際の細胞体積変化を顕微鏡下で連続的に観察・写真撮影した。また培養液の浸透圧を僅かに低下させると細胞内外で浸透圧差が生じ、プロラクチン細胞の細胞膜に AQP 分子が高密度で存在すれば AQP を介して細胞内に水が流入し、その結果、細胞体積が増加すると予想される。一方で、AQP の阻害剤である水銀を添加した培養液では、低浸透圧下での細胞体積の増加が抑制されるはずである。上記の一連の実験により、プロラクチン細胞には体液の浸透圧変化を細胞体積変化として捉えるメカニズムが存在することを示した。さらにプロラクチン細胞の上位中枢である視床下部から分泌されるプロラクチン放出ペプチド (PrRP) に着目し、同様な浸透圧感知機構を備えている可能性を検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 塩類細胞の機能的分類

ティラピアを脱イオン淡水 (DFW)、淡水 (FW)、1/3 海水 (1/3SW)、海水 (SW) に一週間馴致し、走査型電子顕微鏡を用いて鰓表面に存在する塩類細胞の開口部を観察するとともに、塩類細胞のマーカーとして知られる  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase に対する抗体を用いて免疫染色を行い、塩類細胞の形態を比較した。DFW では微絨毛が密に存在する開口部が大きく広がり、イオンを取り込むための表面積を広げている様子が観察された。一方、SW では塩類細胞の大きさが有意に大きくなることから、側底膜の表面積を広げていることが確認された。次に、real-time PCR 法により、塩類細胞のイオン輸送を担っていると考えられているイオン輸送タンパク  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $2\text{Cl}^-$ -共輸送体 1a (NKCC1a)、 $\text{Na}^+/\text{H}^+$  交換輸送体 3 (NHE3)、 $\text{H}^+$ ポンプ ( $\text{V-ATPase}$ )、さらに近年新たに発見された  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ -共輸送体 (NCC) の mRNA 発現量を比較した。外界の浸透圧上昇に伴って NKCC1a の発現量が、また浸透圧低下に伴って NHE3、NCC の発現量が高くなった。この結果から、NKCC1a は高浸透圧適応 (海水適応)、NHE3、NCC は低浸透圧適応 (淡水適応) に重要なタンパクであることが示唆された。また、免疫染色の結果より、高浸透圧環境下では NKCC1a が側底膜上に存在する塩類細胞が、低浸透圧環境下では NHE3 もしくは NCC が頂端膜上に存在する塩類細胞が多く存在した。これらの結果より、NKCC1a が側底膜上に存在する塩類細胞 (淡水型) がイオンを排出し、NHE3 もしくは NCC が頂端膜上に存在する塩類細胞 (海水型) がイオンを取り込むと考えられた。また、体液と等張な 1/3SW では、淡水型と海水型の両方の塩類細胞が存在し

たことから、浸透圧調節を行う必要がない等張な環境でも、ティラピアは低浸透圧適応と高浸透圧適応の両方の機構を有し、環境水の浸透圧変化に備えていることが示された。

##### (2) 腸における炭酸塩形成による 2 価陽イオンの除去メカニズム

カルシウム沈殿は粘液に包まれた直径 1-5  $\mu\text{m}$  の球状構造の集合体であった。構成元素は Ca, Mg, C, O, P, S であり、主要元素 Ca, Mg は全体の 77.0%, 22.5% を占めていた。さらに結晶構造解析、分子構造解析を行った結果、カルシウム沈殿は一部がマグネシウムカルサイト (炭酸マグネシウムと炭酸カルシウムの混合物) として結晶化し、残りは水分子を含む非晶質であることが分かった。

次にウナギを低  $\text{Ca}^{2+}$ 、低  $\text{Mg}^{2+}$  海水で飼育したところ、カルシウム沈殿量は減少した。これよりカルシウム沈殿は外部環境である海水の  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  に由来することが強く示唆された。さらに重炭酸イオンの由来を検討するため、重炭酸イオン分泌器官候補の膵臓および胆嚢の除去個体を作成し、カルシウム沈殿量を測定した。膵臓除去個体で顕著にカルシウム沈殿量が減少したことよりカルシウム沈殿形成に必要な重炭酸イオンは、腸の他に膵臓からも分泌されることが示唆された。

以上の結果を踏まえ、膵臓、腸の上皮細胞から重炭酸イオン輸送体 solute carrier (SLC) 4 および 26 ファミリー、 $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$  チャネル (cystic fibrosis transmembrane conductance regulator: CFTR) を網羅的にクローニングし、得られた遺伝子配列をもとに作製した遺伝子特異的プライマーを用いて組織別発現解析を行った。膵臓では Slc4a8, Slc26a1, Slc26a6A, CFTR が発現し、腸では Slc4a2, Slc26a1, Slc26a3, Slc26a6B, Slc26a11, CFTR が発現していた。さらにリアルタイム PCR により海水適応下で発現が上昇した輸送体を選別した。膵臓において Slc26a1, Slc26a6A、腸において Slc26a1, Slc26a3 が海水適応下で重炭酸イオン分泌に関与することが示された。

以上の結果、魚類の腸管内で形成されるカルシウム沈殿について、生理学的観点より包括的な理解が得られた。

##### (3) 腎臓におけるネフロン立体構造

ウナギの細尿管は近位細尿管前節・後節および遠位細尿管の 3 つの部位から構成される。近位細尿管細胞は頂端部に微絨毛を備え、特に前節の細胞内にはリソソームが多く存在した。遠位細尿管細胞は他の部位に比べてミトコンドリアが多く、細胞基底部の陥入が顕著であった。細胞内の構造に関して淡水・海水で差異はないが、遠位細尿管と集合管における NKA 免疫反応は海水ウナギよりも淡水

ウナギで顕著であった。このことは、淡水ウナギの遠位細尿管と集合管において能動的なイオン輸送が盛んに行われていることを示唆する。次に、淡水ウナギをモデルとして細尿管の空間的配置解析を行った。複数の細尿管が並行して配置されるような特殊な構造は観察されなかったことから、細尿管における相互作用は考えにくい。また、同一ネフロン内の細尿管は規則的な構造を示さず、蛇行した形状で存在した。

#### (4) 下垂体プロラクチン(PRL)細胞における浸透圧変化感知機構

PRL細胞におけるAQP3の発現動態を定量PCRによって解析したところ、PRLと同様、淡水飼育魚において高いことが示された。また免疫染色によりPRL細胞において細胞膜上および核周辺部にAQP3の局在が確認されたが、その反応性も淡水個体において強く、これらより淡水個体のPRL細胞の方が高い水透過性を有する細胞膜を持つことが示唆された。このことは淡水および海水個体PRL細胞の低浸透圧刺激時細胞体積変化の解析結果と一致し、PRL細胞の浸透圧変化に対する細胞体積変化の応答性にAQP3が関与していることが示唆された。さらにAQP3の阻害剤である水銀処理によって淡水PRL細胞の低浸透圧刺激時細胞体積変化は抑制され、低浸透圧刺激時PRL分泌促進も阻害された。以上の結果からAQP3がPRL細胞の浸透圧変化感知機構の高感度化に寄与していることが示された。

次にPRL細胞の活性制御メカニズムについて調べたところ、PRL細胞の浸透圧変化感知機構はPRLの遺伝子発現制御には関与しないことが示された。また単離培養条件下で淡水と海水個体間のPRL発現活性の差は保たれることからPRL発現調節は継続的な制御を必要としないことも示された。さらにPRL分泌ペプチド(PrRP)の関与を検討した結果、PRL発現上昇作用が海水個体由来PRL細胞において示された。そこでPrRPレセプターをPRL細胞より同定したところ、下垂体を含む様々な組織に発現が確認され、PRL細胞においてはその発現量は飼育環境によって変動しないことが示された。これらの結果より、PrRPが海水個体においてPRL発現活性の上昇に関与することが示唆された。

以上のことから、これまで考えられてきた中枢神経系に端を発する統合的浸透圧調節制御カスケードに加えて、体液浸透圧を直接感知することでカスケードの各段階に自己機能を調整する機構が存在すると考えられた。

#### 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20件)

- ① Choi, J.H., Lee, K.M., Inokuchi, M., and Kaneko, T. (2010). Acute responses of gill mitochondria-rich cells in Mozambique tilapia *Oreochromis mossambicus* following transfer from normal freshwater to deionized freshwater. *Fish. Sci.* 76, 101-109. 査読有
- ② Mekuchi, M., Hatta, T., and Kaneko, T. (2010). Mg-calcite, a carbonate mineral, constitutes Ca precipitates produced as a byproduct of osmoregulation in the intestine of seawater-acclimated Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.* 76, 199-205. 査読有
- ③ Furukawa, F., Watanabe, S., Kaneko, T., and Uchida, K. (2010). Changes in gene expression levels of somatolactin in the pituitary and morphology of gill mitochondria-rich cells in Mozambique tilapia after transfer to acidic freshwater (pH 3.5). *Gen. Comp. Endocrinol.* (in press) 査読有
- ④ Watanabe, S, and Kaneko, T. (2010). Prolactin-releasing peptide receptor expressed in the pituitary in Mozambique tilapia *Oreochromis mossambicus*: an aspect of prolactin regulatory mechanisms. *Gen. Comp. Endocrinol.* (in press) 査読有
- ⑤ Teranishi, K., and Kaneko, T. (2010). Spatial, cellular and intracellular localization of Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase in the sterically-disposed renal tubules of Japanese eel. *J. Histochem. Cytochem.* (in press) 査読有
- ⑥ Watanabe, S., Hirano, T., Grau, E.G., and Kaneko, T. (2009). Osmosensitivity of prolactin cells is enhanced by the water channel aquaporin-3 in a euryhaline Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 296, R446-R453. 査読有
- ⑦ Tseng, D.Y., Chou, M.Y., Tseng, Y.C., Hsiao, C.D., Chang-Jen Huang, C.J., Kaneko, T., and Hwang, P.P. (2009). Effects of stanniocalcin 1 on calcium uptake in zebrafish (*Danio rerio*). *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 296, R549-R557. 査読有
- ⑧ Inokuchi, M., Hiroi, J., Watanabe, S., Hwang, P.P., and Kaneko, T. (2009). Morphological and functional classification of ion-absorbing mitochondria-rich cells in the gills of Mozambique tilapia. *J. Exp. Biol.* 212,1003-1010. 査読有

- ⑨ Tsukamoto, K., Yamada, Y., Okamura, A., Kaneko, T., Tanaka, H., Miller, M.J., Horie, N., and Mikawa, N., Utoh, T., and Tanaka, S. (2009). Positive buoyancy in eel leptocephali: an adaptation for life in the ocean surface layer. *Mar. Biol.* 156, 835–846. 査読有
- ⑩ Kakumura, K., Watanabe, S., Bell, J.D., Donald, J.A., Toop, T., Kaneko, T., and Hyodo, S. (2009). Multiple urea transporter proteins in the kidney of holocephalan elephant fish (*Callorhynchus milii*). *Comp. Biochem. Physiol. B* 154, 239–247. 査読有
- ⑪ Yanagie, R., Lee, K.M., Watanabe, S., and Kaneko, T. (2009). Ontogenic change in tissue osmolality and developmental sequence of mitochondria-rich cells in Mozambique tilapia developing in freshwater. *Comp. Biochem. Physiol. A* 154, 263–269. 査読有
- ⑫ Seo, M.Y., Lee, K.M., Kaneko, T. (2009). Morphological changes in gill mitochondria-rich cells in cultured Japanese eel *Anguilla japonica* acclimated to a wide range of environmental salinity. *Fish. Sci.* 75, 1147–1156. 査読有
- ⑬ Watanabe, S., Niida, M., Maruyama, T., and Kaneko, T. (2008). Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> exchanger isoform 3 expressed in the apical membrane of gill mitochondrion-rich cells in Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Fish. Sci.* 74, 813–821. 査読有
- ⑭ Hiroi, J., Yasumasu, S., McCormick, S.D., Hwang, P.P., and Kaneko, T. (2008). Evidence for an apical Na-Cl cotransporter involved in ion uptake in a teleost fish. *J. Exp. Biol.* 211, 2584–2599. 査読有
- ⑮ Inokuchi, M., Hiroi, J., Watanabe, S., Lee, K.M., Kaneko, T. (2008). Gene expression and morphological localization of NHE3, NCC and NKCC1a in branchial mitochondria-rich cells of Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) acclimated to a wide range of salinities. *Comp. Biochem. Physiol. A* 151, 151–158. 査読有
- ⑯ Kim, Y.K., Ideuchi, H., Watanabe, S., Park, S.L., Huh, M.D., Kaneko, T. (2008). Rectal water absorption in seawater-adapted Japanese eel *Anguilla japonica*. *Comp. Biochem. Physiol. A* 151, 533–541. 査読有
- ⑰ Kaneko, T., Watanabe, S., and Lee, K.M. (2008). Functional morphology of mitochondrion-rich cells in euryhaline and stenohaline teleosts. *Aqua-BioSci. Monogr. (ABSM)* 1, 1–62. 査読有
- ⑱ Sasai, S., Katoh, F., Kaneko, T., and Tsukamoto, K. (2007). Ontogenic change of gill chloride cells in leptocephalus and glass eel stages of the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Mar. Biol.* 150, 487–492. 査読有
- ⑲ Hyodo, S., Bell, J.D., Healy, J.M., Kaneko, T., Hasegawa, S., Takei, Y., Donald, J.A., and Toop, T. (2007). Osmoregulation in elephant fish, *Callorhynchus milii* (Holocephali), with special reference to the rectal gland. *J. Exp. Biol.* 210, 1303–1310. 査読有
- ⑳ Yan, J.J., Chou, M.Y., Kaneko, T., and Hwang, P.P. (2007). Gene expression of Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> exchanger in zebrafish H<sup>+</sup>-ATPase-rich cells during acclimation to low-Na<sup>+</sup> and acidic environments. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 293, C1814–C1823. 査読有
- [学会発表] (計 19 件)
- ① 寺西慶太郎・金子豊二:魚類の細尿管構造と Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase の局在. 平成 22 年度日本水産学会春季大会, 藤沢, 2010 年 3 月 26 日–30 日.
- ② 崔 丁玄・李 慶美・井ノ口 繭・金子豊二: ティラピアを淡水から脱イオン水に移行後した際の鰓塩類細胞の経時的変化. 平成 22 年度日本水産学会春季大会, 藤沢, 2010 年 3 月 26 日–30 日.
- ③ 徐 美暎・李 慶美・金子豊二. 様々な塩分環境に馴致したウナギにおける鰓の塩類細胞の形態変化. 平成 22 年度日本水産学会春季大会, 藤沢, 2010 年 3 月 26 日–30 日.
- ④ 古川史也・渡辺壮一・井ノ口繭・金子豊二: 酸性環境に曝露したティラピアにおける塩類細胞の応答. 平成 22 年度日本水産学会春季大会, 藤沢, 2010 年 3 月 26 日–30 日.
- ⑤ 馬久地みゆき・金子豊二: 魚類が海水適応時に排出する炭酸塩の形成機構. 平成 22 年度日本水産学会春季大会, 藤沢, 2010 年 3 月 26 日–30 日.
- ⑥ 馬久地みゆき・八田珠郎・金子豊二: 海産魚が形成する炭酸塩は高浸透圧適応において腸内で二価イオンの除去に寄与する. 平成 21 年度日本水産学会春季大会, 東京, 2009 年 3 月 27 日–31 日.
- ⑦ 角村佳吾・渡邊壮一・金子豊二・兵藤 晋: 新しい軟骨魚類研究のモデル: ゴウギンザメ. 平成 21 年度日本水産学会春季大会, 東京, 2009 年 3 月 27 日–31 日.
- ⑧ 渡邊壮一・平野哲也・E.Gordon Grau・金子豊二: 浸透圧応答性プロラクチン分泌調節における浸透圧変化感知機構の解明. 平

成 21 年度日本水産学会春季大会, 東京, 2009 年 3 月 27 日-31 日.

- ⑨ 金子豊二: 魚類の浸透圧調節研究と里山温泉トラフグ. 国際水産養殖技術研究者セミナー, 東京ビックサイト, 東京, 2009 年 7 月 23 日.
- ⑩ 倉持麻未・金子豊二・大谷-金子律子. ティラピア脳の GnRH3 産生ニューロンに対するステロイドホルモンの影響. 日本動物学会第 80 回大会, 静岡, 2009 年 9 月 17 日-20 日.
- ⑪ 岡村明浩・山田祥朗・三河直美・堀江則行・金子豊二・田中 悟・塚本勝巳: ウナギ仔魚の低塩分環境での飼育: 成長と生残. 平成 21 年度日本水産学会秋季大会, 盛岡, 2009 年 9 月 30 日-10 月 3 日.
- ⑫ Kaneko, T. Recent advances in chloride cell research. Pauley Summer Program, July 24, 2008, Hawaii Institute of Marine Biology, Coconut Island, Hawaii, USA.
- ⑬ Mekuchi, M., Hatta, T., and Kaneko, T. Seawater-acclimated Japanese eel produce carbonate mineral in the intestine for osmoregulation. 5th World Fisheries Congress, October 20-25, 2008, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan.
- ⑭ Lee, K. M., Kaneko, T., Yamada, Y., Okamura A., Tanaka, S., and Tsukamoto, K. Eel leptocephali regulate ion and water balances. 5th World Fisheries Congress, October 20-25, 2008, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan.
- ⑮ Niida-Inokuchi, M., Watanabe, S., and Kaneko, T. Morphofunctional classification of mitochondria-rich cells in the gills of Mozambique tilapia. 5th World Fisheries Congress, October 20-25, 2008, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan.
- ⑯ 新居田 繭・渡辺壮一・廣井準也・金子豊二: ティラピア鰓塩類細胞のイオン取り込み機構の解明. 平成 19 年度日本水産学会秋季大会, 函館, 2007 年 9 月 25 日-28 日.
- ⑰ 渡辺壮一・Gordon E. Grau・平野哲也・金子豊二: 硬骨魚類における低浸透圧適応機構としてのプロラクチン分泌および発現調節機構. 平成 19 年度日本水産学会秋季大会, 函館, 2007 年 9 月 25 日-28 日.
- ⑱ Kaneko, T. Development and differentiation of chloride cells during early life stages of fish. The 7th International Symposium on Developmental Biotechnology. October 26-27, 2007, Jeju National University, Jeju, Korea.
- ⑲ 金子豊二: 魚類のイオン・浸透圧調節: 機能形態学的アプローチ. 魚類の適応と進

化の統合生物学: 遺伝子から行動まで. 東京大学海洋研究所, 東京, 2007 年 11 月 15 日-16 日.

〔図書〕 (計 2 件)

- ① 金子豊二・塚本勝巳・津田 敦・鈴木讓・佐藤克文 (2009): 水圏の生物と生態系, 水圏生物学入門 (会田勝美編), 30-83 頁, 恒星社厚生閣, 東京.
- ② Kaneko, T., and Hiroi, J. (2008). Osmo- and ionoregulation. In "Fish Larval Physiology" (Finn, R.N. and Kapoor, B.G. Eds), Science Publisher Inc., Enfield, pp. 163-183.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

金子 豊二 (KANEKO TOYOJI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号: 70221190