

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24620004

研究課題名(和文)新規硬組織モデルを用いた微小重力・過重力下での骨吸収及び骨形成の機構解析

研究課題名(英文) Analysis of bone metabolism in micro- and hypergravity using a novel hard-tissue model

研究代表者

鈴木 信雄 (Suzuki, Nobuo)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・准教授

研究者番号：60242476

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：重力に対する骨吸収及び骨形成機構は良いモデル系が無いため、不明な点が多い。そこで、骨芽細胞と破骨細胞が共存する魚のウロコを骨モデルとして用いてアッセイ系を開発し、骨代謝に対する作用を解析した。その結果、ウロコは、感度よく重力に反応して、遺伝子レベルのみならず形態学的な変化も伴って反応することが判明し、重力反応の機構解明に貢献できる成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：Because there is no suitable in vitro assay system, the detailed mechanism of bone resorption and formation in gravity has not yet been elucidated. Therefore, we have developed an in vitro assay system and examined bone metabolism using a fish scale that contains osteoblasts and osteoclasts in the calcified tissue. As a result, the scale sensitively responded to gravity. It became clear that this occurred not only at the gene level but also caused morphologic change. This result appears to provide the knowledge that elucidates the mechanism for this response to gravity.

研究分野：宇宙生物学

キーワード：微小重力 過重力 骨芽細胞 破骨細胞 魚類のウロコ

## 1. 研究開始当初の背景

重力及び微小重力応答は、様々な遺伝子やタンパク質（接着に関与するタンパク質や細胞骨格に関するタンパク質等）が複雑に相互作用しており、ある特定の遺伝子をノックアウトするという手法を用いることができない。また、骨芽細胞については培養株があり、培養系は確立されている。しかし破骨細胞は、骨芽細胞との共存培養あるいはホルモン等を添加して単核の血球系の細胞から多核の活性型に誘導しないと骨を溶かすことができない。したがって、地上でも破骨細胞に関する研究が少なく、宇宙実験という制限された環境下での培養は非常に難しいという現状である。

以下に国内外の地上実験及び宇宙実験の結果を示す。

### 1) *in vivo* の地上実験及び宇宙実験（ヒトあるいはネズミを用いた実験）

ベッドレスト (Bed Rest) (長期間ベッドに寝た状態のヒト)、後肢懸垂ラット (後ろ足を上げて宙に吊った状態にしたラット等) を用いた地上実験や、宇宙飛行士及びラットによる宇宙実験では、骨芽細胞は常に活性低下を示すが、破骨細胞については結果に一致を欠いている。

### 2) *in vitro* の地上実験及び宇宙実験

骨芽細胞を中心に、過重力実験や 3 次元クリノスタットを用いた擬似微小重力に対する応答、さらに宇宙実験の実施例もある。しかし、破骨細胞に対する応答に関しては地上実験においても研究例が少ない。破骨細胞の単独培養した破骨細胞にメカニカルストレスをかけると、活性が低下せず、逆に活性化するという報告もある。したがって、骨芽細胞と破骨細胞の共存培養が必須であり、良いモデルシステムの欠如がこれまでの研究の進展を遅らせてきた。

一方ウロコには骨芽細胞と破骨細胞が共存していることに着目して、申請者らは、魚のホルモンの骨に対する作用を調べるため、世界初のウロコの培養・評価システムを開発した。このシステムを用いて、様々なホルモンの作用を解析した結果、哺乳類における作用と一致した。さらに、副甲状腺ホルモンの破骨細胞に対する作用を解析した結果が国際骨代謝学会の学会誌「Bone」に掲載された。以上のように、ウロコはヒトの骨モデルとなる可能性が高く、微小重力及び過重力の応答を解析するのにとても適しており、本研究を計画するに至った。

## 2. 研究の目的

2010 年実施した宇宙実験ではウロコの形態学的な解析を終え、微小重力下では破骨細胞が活性化してウロコの骨吸収が進行することを証明した。

そこで本研究では、申請者が独自に開発した魚のウロコを骨のモデルとした評価システムを用いて、微小重力下での骨吸収と過重力下での骨形成のメカニズムの解明を目指す。

平成 24 年度は、静的な過重力実験を宇宙実験と同じタイムコースで実施し、遠心機による静的な過重力とバイブレーションによる動的な加重力応答を比較した。

平成 25 年度は、3 次元クリノスタットを用いて擬似微小重力に対する応答を解析して、昨年度行った過重力による応答と比較した。

平成 26 年度は、擬似微小重力に対する応答の詳細な機構に注目して実験を行った。さらに哺乳類の骨芽細胞による解析も実施した。

## 3. 研究の方法

### 静的な過重力と動的な過重力応答の比較

遠心機は、JAXA から借りている低速回転も可能な機器 (LIX-130; Tomy Digital Biology Co., Ltd.) を使用した。一方、動的な過重力の方は、分担者の北村が加速度重力を発生させる機器を自作しており、その機器を用いて実施した。

これらの機器を用いて、20 分間過重力で処理し、その後、15 で 3、6、12 及び 18 時間培養した。培養後、ウロコを 80 で保管した。過重力処理したウロコから mRNA をキットで抽出して、リアルタイム PCR により、ウロコで発現している遺伝子を解析した。

### 過重力応答の形態学的解析

形態学的解析では、酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ (TRAP) 及びアクチン染色を行い、遠心機の過重力による形態学的な変化を調べた。

表皮側の再生ウロコは石灰化しており、その面には複雑な網目状構造をとる溝条が存在している。過重力及び擬似微小重力実験において、6 枚または 8 枚のウロコをランダムに選択し、10 倍率の対物レンズの顕微鏡を用いて、0.31 mm<sup>2</sup> の観察領域を各ウロコにおいて 6 視野ずつ観察した。6 視野における計測の平均値を、それぞれのウロコの代表的なデータとした。

溝条幅は、再生ウロコの各溝条の中間における幅を Image J (NIH) ソフトウェアを用いて計測し、平均値を求めた。アクチンリングのサイズは、溝条に沿ったアクチンリングの長さによって示された。視野領域における再生ウロコの全溝条の長さ、アクチンリングに覆われた溝条長さを Image J ソフトウェアにより計測し、各ウロコにおいて溝条長さに占めるアクチンリングの割合 (%) を求めた。

### 3 次元クリノスタットによる擬似微小重力の応答解析

3 次元クリノスタットを用いて擬似微小重力に対する応答を解析して、で行った過重

力による応答と比較した。3D クリノスタット装置の回転は、X 軸を 11 rpm、Y 軸を 13 rpm に設定した。

再生 14 日目のウロコを採取し、洗浄・滅菌した後、培地に入れ、遠心機および 3 次元クリノスタットで 4 日間培養した。培養後、遺伝子発現解析及び形態学的解析を行った。遺伝子発現解析では、骨芽細胞のマーカー（Ⅰ型コラーゲン及びオステオカルシン）と破骨細胞マーカー（カルシトニン受容体）の発現の解析を行った。形態学的解析では、酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ（TRAP）及びアクチン染色を行い、形態学的な変化を調べた。

#### 擬似微小重力に対する応答機構の解析

3 次元クリノスタットによる擬似微小重力の骨芽細胞及び破骨細胞に対する影響を詳細に調べる為に、シグナル伝達等に関連する遺伝子を調べた。即ち骨芽細胞では、Wnt/ $\beta$ -カテニン経路を負に制御する因子として Wnt inhibitory factor 1 (WIF1) と dickkopf 1 (Dkk1) 及びスクレロステチンの mRNA 発現をリアルタイム PCR で解析した。

一方、破骨細胞では、骨芽細胞で発現して破骨細胞を活性化する因子 (RANKL) を通して、その後破骨細胞で活性化する遺伝子を調べた。

#### 哺乳類の細胞を用いた解析

前骨芽細胞の細胞株である MC3T3-E1 細胞 (RIKEN, RCB1126) は、10% FBS と 1% 抗生物質 (Penicillin-Streptomycin, Wako) を加えた最少必須培地 (MEM, Wako) において培養した。細胞は、37 °C、5% CO<sub>2</sub> 環境下で培養し、72 時間毎に継代培養した。

細胞を  $1.0 \times 10^5$  cells/ml の濃度に希釈し、OptiCell (Nunc) に 10 ml 播種した。24 時間培養した後、上記の培地に 0.3 mM アスコルビン酸 (Sigma-Aldrich) と 10 mM  $\beta$ -グリセロリン酸 (Sigma-Aldrich) を加えた培地に交換し、48 時間培養した。その後、再び同じ培地で交換して 24 時間培養した後、3D クリノスタット装置に固定し、96 時間の培養を行った。培養は全て 37 °C、5% CO<sub>2</sub> 条件下にて行い、3D クリノスタット装置の回転は、X 軸を 11 rpm、Y 軸を 13 rpm に設定した。

## 4. 研究成果

#### 静的な過重力と動的な過重力応答の比較

遠心機による静的な加重力とバイブレーションによる動的な加重力の比較は、ゲノム解析が終了しているゼブラフィッシュを用いて行った。本研究では、骨芽細胞と破骨細胞の相互作用に関与する遺伝子 (RANK, OPG 及び Semaphorin 4D) の発現を解析した。その結果、動的及び静的な加重力では、骨芽細胞で発現して破骨細胞を活性化する遺伝子 (RANKL) の発現は、それを抑制する遺伝子

(OPG) よりも有意に低いことがわかった。しかし、破骨細胞で発現して骨芽細胞の活性を低下させる遺伝子 (Semaphorin 4D) の発現は、動的な加重力では変化しなかったのに対し、静的な加重力では有意に上昇していた。したがって、加重力でも骨形成を促進につながるの、動的な加重力である可能性が示された。

#### 過重力応答の形態学的解析

過重力刺激が骨代謝へ与える影響を解析するために、再生ウロコの表面の形態的な変化を調べた。その結果、破骨細胞による骨吸収活性の亢進に伴って、極性化のために形成されるアクチンリングのサイズには変化が見られなかった。

しかしながら、ウロコ表面の全ての溝条長さに対するアクチンリングの長さを合わせた割合 (%) は、過重力により減少した。

#### 3 次元クリノスタットによる擬似微小重力の応答解析

骨芽細胞のマーカーであるオステオカルシン及びⅠ型コラーゲンの発現は、過重力下で増加したが、擬似微小重力下においては低下した。また、破骨細胞のマーカーであるカルシトニン受容体は過重力下において減少傾向にあり、擬似微小重力下では有意に増加した。さらに、骨芽細胞で発現して破骨細胞を活性化する遺伝子である RANKL と RANKL のデゴイレセプターである OPG の比は過重力下において減少傾向にあり、擬似微小重力下においては有意に増加して、擬似微小重力では破骨細胞を活性化していることが判明した。また、擬似微小重力下のウロコの破骨細胞は、無処理のコントロールと比較して、多核化し、TRAP 陽性でアクチンリングの保有数も有意に上昇して、活性化していた。

以上の結果から、過重力下において骨芽細胞は活性化、破骨細胞は抑制され、擬似微小重力下で骨芽細胞は抑制、破骨細胞は活性化され、骨量変化につながる可能性が示された。

#### 擬似微小重力に対する応答機構の解析

骨芽細胞では、Wnt/ $\beta$ -カテニン経路を負に制御する因子として Wnt inhibitory factor 1 (WIF1) と dickkopf 1 (Dkk1) 及びスクレロステチンの mRNA 発現を調べた。これらは全て Wnt 経路を阻害する因子であるが、その作用機序は異なる。そこで、これらの因子を解析した結果、WIF1 の mRNA 発現が 1, 2, 4 日間の擬似微小重力刺激によって有意に増加した。また Dkk1 も 1 日間の刺激において増加したが、Dkk1 の発現は 2 日間の刺激では変化せず、4 日間の刺激では顕著に減少を示した。スクレロステチンの mRNA 発現は 2 日間の刺激では変化しなかったが、1 日間及び 4 日間の刺激においては有意に減少した。したがって、擬似微小重力は WIF1 mRNA の発現を増加させる

ことで骨形成活性を抑制していることが示唆された。

次に破骨細胞形成に対する擬似微小重力刺激の影響を調べた。骨芽細胞で発現している RANKL 刺激を受け取る RANK の発現(破骨細胞で特異的に発現する因子)は、2 日間の擬似微小重力刺激では変化が見られなかったが、4 日間の刺激においては顕著に増加が見られた。続いて RANK に誘導される NFATc1 の発現は、1、2、4 日間の擬似微小重力刺激において増加し、その後の刺激時間に比例してその傾向は強く見られた。NFATc1 の標的遺伝子である DC-STAMP(破骨細胞の活性化因子)の mRNA 発現は、1 日間の刺激では有意に増加した。したがって、RANKL により誘導される経路により破骨細胞は活性化されることが判明した。

#### 哺乳類の細胞を用いた解析

3 次元クリノスタットによる擬似微小重力下でマウスの骨芽細胞(MC3T3 細胞)を培養してマーカー遺伝子の発現を解析した。その結果、RANKL の発現が上昇して、骨吸収が進行する方向で作用している可能性が示された。しかしながら、1 軸で回転した場合において、骨芽細胞のマーカーであるオステオカルシンが有意に上昇しており、哺乳類の細胞を用いた場合は、正確な解析はできない可能性が示された。一方、ウロコは 1 軸で回転しても応答しないことを確かめているので、ウロコは重力応答を解析する非常に優れた材料であると言える。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

- 1) Yachiguchi, K., Sekiguchi, T., Nakano, M., Hattori, A., Yamamoto, M., Kitamura, K., Maeda, M., Tabuchi, Y., Kondo, T., Kamauchi, H., Nakabayashi, H., Srivastav, A.K., Hayakawa, K., Sakamoto, T. and Suzuki, N.: Effect of inorganic mercury and methylmercury on osteoclasts and osteoblasts in the scales of the marine teleost as a model system of bone. *Zool. Sci.*, 31: 330-337 (2014) 査読有  
doi: 10.2108/zs130265.
- 2) Yachiguchi, K., Matsumoto, N., Haga, Y., Suzuki, M., Matsumura, C., Tsurukawa, M., Okuno, T., Nakano, T., Kawabe, K., Kitamura, K., Toriba, A., Hayakawa, K., Chowdhury, V.S., Endo, M., Chiba, A., Sekiguchi, T., Nakano, M., Tabuchi, Y., Kondo, T., Wada, S., Mishima, H., Hattori, A. and Suzuki, N.: Polychlorinated

biphenyl (118) activates osteoclasts and induces bone resorption in goldfish. *Env. Sci. Poll. Res.*, 21: 6365-6372 (2014) 査読有

doi: 10.1007/s11356-012-1347-5.

- 3) Yano, S., Kitamura, K., Satoh, Y., Nakano, M., Hattori, A., Sekiguchi, T., Ikegame, M., Nakashima, H., Omori, K., Hayakawa, K., Chiba, A., Sasayama, Y., Ejiri, S., Mikuni-Takagaki, Y., Mishima, H., Funahashi, H., Sakamoto, T. and Suzuki, N.: Static and dynamic hypergravity responses of osteoblasts and osteoclasts in medaka scales. *Zool. Sci.*, 30: 217-223 (2013) 査読有  
doi: 10.2108/zsj.30.217.
- 4) Kitamura, K., Takahira, K., Inari, M., Satoh, Y., Hayakawa, K., Tabuchi, Y., Ohgai, K., Nishiuchi, T., Kondo, T., Mikuni-Takagaki, Y., Chen, W., Hattori, A. and Suzuki, N.: Zebrafish scales respond differently to *in vitro* dynamic and static acceleration: analysis of interaction between osteoblasts and osteoclasts. *Comp. Biochem. Physiol. Part A*, 166: 74-80 (2013) 査読有  
doi: 10.1016/j.cbpa.2013.04.023.
- 5) Omori, K., Wada, S., Maruyama, Y., Hattori, A., Kitamura, K., Sato, Y., Nara, M., Funahashi, H., Yachiguchi, K., Hayakawa, K., Endo, M., Kusakari, R., Yano, S., Srivastav, A.K., Kusui, T., Ejiri, S., Chen, W., Tabuchi, Y., Furusawa, Y., Kondo, T., Sasayama, Y., Nishiuchi, T., Nakano, M., Sakamoto, T. and Suzuki, N.: Prostaglandin E2 increases both osteoblastic and osteoclastic activities in the scales of goldfish and participates in the calcium metabolism in goldfish. *Zool. Sci.*, 29: 499-504 (2012) 査読有  
doi: 10.2108/zsj.29.499.
- 6) Thamamongood, T.A., Furuya, R., Fukuba, S., Nakamura, M., Suzuki, N. and Hattori, A.: Expression of osteoblastic and osteoclastic genes during spontaneous regeneration and autotransplantation of goldfish scale: A new tool to study intramembranous bone regeneration. *Bone*, 50: 1240-1249 (2012) 査読有

- doi: 10.1016/j.bone.2012.03.021.
- 7) Yano, S., Masuda, D., Kasahara, H., Omori, K., Higashibata, A., Asashima, M., Ohnishi, T., Yatagai, F., Kamisaka, S., Furusawa, T., Higasitani, A., Majima, H., Nikawa, T., Wakabayashi, K., Takahashi, H., Suzuki, H., Shimazu, T., Hattori, A., Tanigaki, F., Shirakawa, M., Takaoki, M., Nakamura, T., Yoshimura, Y., Suzuki, N. and Ishioka, N.: Excellent thermal control ability of cell biology experiment facility (CBEF) on ground basis experiments and board experiments in kibo of the international space station. *Biol. Sci. Space*, 26:12-20 (2012) 査読有  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/bss/26/0/26\\_12/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/bss/26/0/26_12/_article/-char/ja/)
- 8) Kakikawa, M., Yamamoto, T., Chowdhury, V.S., Satoh, Y., Kitamura, K., Sekiguchi, T., Funahashi, H., Omori, K., Endo, M., Yano, S., Yamada, S., Hayakawa, K., Chiba, A., Srivastav, A.K., Ijiri, K., Hattori, A. and Suzuki, N.: Determination of calcium sensing receptor in the scales of goldfish and induction of its mRNA expression by acceleration loading. *Biol. Sci. Space*, 26: 26-31 (2012) 査読有  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/bss/26/0/26\\_42/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/bss/26/0/26_42/_article/-char/ja/)
- 9) Kitamura, K., Satoh, Y., Inari, M., Takahira, K., Okesaku, W., Endo, M., Yano, S., Yamamoto, T., Kaminishi, A., Akatsuka, R., Hattori, A. and Suzuki, N.: Osteoblasts and osteoclasts in goldfish regenerating scales respond to mechanical loading: Analysis of osteoblastic and osteoclastic marker mRNA expression. *Biol. Sci. Space*, 26: 42-46 (2012) 査読有  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/bss/26/0/26\\_26/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/bss/26/0/26_26/_article/-char/ja/)

〔学会発表〕(計 17 件)

- 1) 池亀美華, 田畑 純, 服部淳彦, 鈴木信雄: 宇宙空間における微小重力への金魚再生ウロコ破骨細胞の応答. 宇宙航空環境医学・生物学の最前線, 第 120 回日本解剖学会総会・全国学術集会, 神戸国際会議場, 兵庫県 (2015, 3/21-23) (招待講演)
- 2) 鈴木信雄, 矢野幸子, 大森克徳, 北村敬一郎, 清水宣明, 西内 巧, 染井正徳,

関口俊男, 渡辺良成, 池亀美華, 近藤 隆, 田淵圭章, 鈴木 徹, 遠藤雅人, 竹内俊郎, 江尻貞一, 三島弘幸, 嶋津 徹, 関あずさ, 舟橋久幸, 高垣裕子, 笠原春夫, 永瀬 睦, 田谷敏貴, 長野慎太郎, 宮下知之, 服部淳彦: 魚類のウロコを用いた宇宙生物学的研究: キンギョのウロコ及び骨疾患モデルラットの骨代謝に対するプロモメラトニンの新規作用. 第 29 回宇宙環境利用シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 相模原キャンパス, 神奈川県 (2015, 1/24-25)

- 3) 鈴木信雄, 矢野幸子, 大森克徳, 北村敬一郎, 清水宣明, 西内 巧, 染井正徳, 関口俊男, 渡辺良成, 池亀美華, 近藤 隆, 田淵圭章, 鈴木 徹, 遠藤雅人, 竹内俊郎, 江尻貞一, 三島弘幸, 嶋津 徹, 関あずさ, 舟橋久幸, 高垣裕子, 笠原春夫, 永瀬 睦, 田谷敏貴, 長野慎太郎, 宮下知之, 服部淳彦: 宇宙実験を基盤にした骨疾患治療薬の開発. 第 15 回宇宙科学シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 相模原キャンパス, 神奈川県 (2015, 1/6-7)
- 4) 鈴木信雄: 骨モデル(魚のウロコ)を用いて宇宙実験: 骨を壊す細胞の変化. 公開講演会「宇宙ではなぜ骨が弱くなるのか?」, 平成 26 年度日本動物学会中部支部大会, コンセール能登, 石川県 (2014, 11/25) (招待講演)
- 5) 山本 樹, 池亀美華, 田淵圭章, 矢野幸子, 遠藤雅人, 近藤 隆, 北村敬一郎, 関口俊男, 服部淳彦, 鈴木信雄: 破骨細胞及び骨芽細胞の重力応答: 骨モデル(ウロコ)を用いた解析. 平成 26 年度日本動物学会中部支部大会, のと勤労者プラザ, 石川県 (2014, 11/24)
- 6) 山本 樹, 池亀美華, 田淵圭章, 矢野幸子, 遠藤雅人, 近藤 隆, 北村敬一郎, 関口俊男, 服部淳彦, 鈴木信雄: 過重力及び擬似微小重力に対する破骨細胞及び骨芽細胞の応答解析: 骨モデル(ウロコ)を用いた解析. 日本宇宙生物学会第 28 回大会, 大阪府立大学, 大阪府 (2014, 9/22-23)
- 7) Ikegame, M., Hattori, A., Tabuchi, Y., Kitamura, K., Yamamoto, T., Nakano, M., Yano, S., Yamamoto, T. And Suzuki, N.: Response of osteoclasts and receptor activator of nuclear factor kappa-B ligand expression in the regenerating scales of goldfish under microgravity. 2nd International Symposium on Mechanobiology, Okayama Univ., Okayama, Japan (2014, May 20-23) (招待講演)
- 8) 鈴木信雄, 北村敬一郎, 古澤之裕, 田淵圭章, 近藤 隆, 池亀美華, 清水宣

- 明, 和田重人, 服部淳彦: 超音波による機械的刺激の骨芽細胞及び破骨細胞に対する作用: 魚のウロコを用いた解析. シンポジウム: 分子基盤に立った超音波の治療応用, 日本超音波医学会第 87 回学術集会, 横浜国際会議場, 神奈川県 (2014, 5/9-11) (招待講演)
- 9) 山本 樹, 池亀美華, 田淵圭章, 矢野幸子, 遠藤雅人, 近藤 隆, 中野真樹, 北村敬一郎, 関口俊男, 清水宣明, 服部淳彦, 鈴木信雄: 擬似微小重力に対する骨モデル(ウロコ)の破骨細胞及び骨芽細胞の応答解析. 第 38 回日本比較内分泌学会大会, 宮崎市民プラザ, 宮崎県 (2013, 10/24-26)
- 10) 鈴木信雄, 池亀美華, 山本 樹, 北村敬一郎, 田淵圭章, 矢野幸子, 服部淳彦: 微小重力におけるウロコの破骨細胞の応答. 第 84 回日本動物学会, 岡山大学, 岡山県 (2013, 9/26-28)
- 11) 鈴木信雄, 関 あずさ, 関口俊男, 染井正徳, 高垣裕子, 矢野幸子, 服部淳彦: 新規メラトニン誘導體 - 骨粗鬆症の治療に向けて. 第 5 回抗加齢内分泌研究会. 立教大学, 東京 (2013, 9/1) (招待講演)
- 12) Suzuki, N.: Development and application of a fish scale in vitro assay system. The 9th International Satellite Symposium on the Comparative Endocrinology of Calcium Regulation (Second Joint Meeting of the International Bone and Mineral Society, Japanese Society for Bone and Mineral Research), Kobe, Japan (2013, 28 May - 1 June) (招待講演)
- 13) 山本 樹, 池亀美華, 田淵圭章, 矢野幸子, 遠藤雅人, 近藤 隆, 中野真樹, 北村敬一郎, 関口俊男, 関 あずさ, 清水宣明, 服部淳彦, 鈴木信雄: 過重力及び擬似微小重力に対する破骨細胞及び骨芽細胞の応答解析. 平成 24 年度日本動物学会中部支部例会, 信州大学, 長野県 (2012, 11/17-18)
- 14) 鈴木信雄, 池亀美華, 北村敬一郎, 矢野幸子, 服部淳彦: 宇宙空間におけるウロコの破骨細胞の形態及び細胞活性の変化. 平成 24 年度日本動物学会中部支部例会, 信州大学, 長野県 (2012, 11/17-18)
- 15) 鈴木信雄: キンギョのウロコを使って宇宙実験: 宇宙に行くと骨を壊す細胞はどのように変化するのか? 動物学会関東支部公開講演会, 東京医科歯科大学, 東京都 (2012, 7/21) (招待講演)
- 16) 服部淳彦, 池亀美華, 矢野幸子, 鈴木信雄: 宇宙(微小重力)における破骨細胞の亢進とメラトニンによる抑制効果 - 「きぼう」実験棟における研究成

果. 第 12 回日本抗加齢医学会サテライトシンポジウム: 宇宙医学とアンチエイジング医学, パシフィコ横浜, 神奈川県 (2012, 6/23)

- 17) 鈴木信雄: ウロコを用いた宇宙実験. 宇宙メラトニン研究会. 金沢大学 臨海実験施設, 石川県 (2012, 5/18)

〔図書〕(計 1 件)

- 1) Suzuki, N. and Sakamoto, T., Preface: Comparative and general aspects of calcium homeostasis and its hormonal regulations. In "Evolution of calcium homeostasis and its hormonal regulation in vertebrates". Suzuki, N. and Sakamoto, T., eds. Virtual special issues in Zoological Science (2012)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 信雄 (SUZUKI, Nobuo)  
金沢大学・環日本海域環境研究センター・  
准教授  
研究者番号: 6 0 2 4 2 4 7 6

(2) 研究分担者

北村敬一郎 (KITAMURA, Kei-Ichirou)  
金沢大学・保健学系・教授  
研究者番号: 8 0 2 8 3 1 1 7

服部淳彦 (HATTORI, Atsuhiko)  
東京医科歯科大学・教養部・教授  
研究者番号: 7 0 1 8 3 9 0 1

池亀美華 (IKEGAME, Mika)  
岡山大学・医歯(薬)学総合研究科・  
准教授  
研究者番号: 7 0 2 8 2 9 8 6

大森克徳 (OMORI, Katsunori)  
亜細亜大学・経済学部・教授  
研究者番号: 2 0 3 5 8 5 3 4

(3) 連携研究者

なし