

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K15096

研究課題名（和文）一次繊毛における新規機構「分子コンバータ」システムの解明

研究課題名（英文）Elucidation of novel mechanism of "Molecular converter" in primary cilia

研究代表者

加藤 孝信 (Kato, Takanobu A.)

東京大学・大学院医学系研究科（医学部）・助教

研究者番号：80844935

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：細胞の内と外との生体情報の伝達はさまざまな生命現象に必須であり、一次繊毛はその情報を受容する重要な細胞小器官である。一次繊毛では細胞外流れ刺激により、繊毛の膜に局在するチャネルが活性化されて、細胞内Ca²⁺流入が起こることが知られているが、その詳細な機構は未解明であった。本研究では、培養細胞にフローを与えるハイスループットシステムによるスクリーニングと、繊毛内での1分子動態観察により、マウスノード不動繊毛において一次繊毛が向きを感知しているという、新たな機能を発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一次繊毛の異常は、繊毛病に総称される重篤な症状を引き起こすことが知られる。ほぼ全ての哺乳類細胞において一次繊毛が存在することが知られている一方で、繊毛の流れ刺激受容に関しては、技術的障壁から研究が進んでいない。

本研究において、一次繊毛の流れ刺激研究に適応可能な2つの技術開発（培養細胞にフローを与えるハイスループットシステム及び繊毛内での1分子動態観察技術）により、今後の一次繊毛のメカノバイオロジー研究の進展が期待される。

さらに、ノード一次繊毛における向き感知機構の発見は、左右軸決定機構の異常に直結することから、内臓逆位

研究成果の概要（英文）：The transmission of biological information between the inside and outside of a cell is essential for various life phenomena, and the primary cilium is a vital organelle that receives this information. It is known that in the primary cilium, the channels located on the ciliary membrane are activated by extracellular flow stimuli, leading to the influx of Ca²⁺ into the cell, but the detailed mechanism of this process remained unclear.

In this study, through screening with a high-throughput system that applies flow to cultured cells and single-molecule dynamics observation within the cilium, we discovered a new function of the primary cilium in mouse nodal immotile cilia, where it senses direction.

研究分野：生物物理学

キーワード：一次繊毛 メカノバイオロジー 左右軸決定 シグナル伝達 カルシウムイメージング

1. 研究開始当初の背景



細胞の内と外との生体情報の伝達はさまざまな生命現象に必須であり、一次繊毛はその情報を受容する重要な細胞小器官である。一次繊毛では細胞外フロー刺激により、繊毛の膜に局在する Ca^{2+} チャンネルが活性化されて、繊毛内 Ca^{2+} 流入が起こることが知られている。特に間接的な状況証拠より、繊毛に流入した Ca^{2+} がそのまま細胞質に流れ込み、細胞内の遺伝子発現制御などの多様な生化学的シグナル活性を制御すると考えられてきた (図 1)。

しかし、このモデルは繊毛という体積わずか 300 aL (アトリットル: 10^{-18} L) の微小空間に集積した Ca^{2+} が、その 1 万倍大きい細胞質に流入して直接シグナル活性を制御するという、情報理論的な矛盾を抱えている。水たまりにインクを一滴たらしても変化が起こらないように、 Ca^{2+} 濃度の高-低という「アナログ情報」は広い空間で希釈され、情報を伝達することはできない。

そこで、一次繊毛の Ca^{2+} 濃度の高-低という「アナログ量」を「生化学的シグナル活性の ON/OFF というデジタル信号」に変換する「分子コンバータ」システムが一次繊毛内に存在するという着想に至った (図 2)。



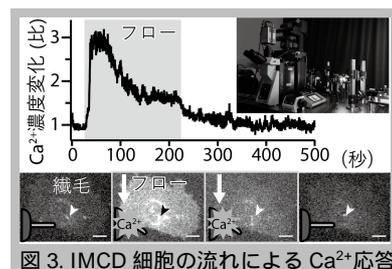
2. 研究の目的

ヒトを含むすべての脊椎動物に保存されている「一次繊毛を介する生体情報伝達」において、「分子コンバータ」という一次繊毛の新たな役割を提唱することを最終目標とする。その第一段階として、本研究ではマウス初期胚と腎臓由来培養細胞の一次繊毛において、「分子コンバータ」システムの実態解明を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、培養細胞にフローを与えるハイスループットシステムを用いた、「分子コンバータ」関連の候補因子スクリーニングを行い、分子コンバータの候補因子を求めた (図 3)。

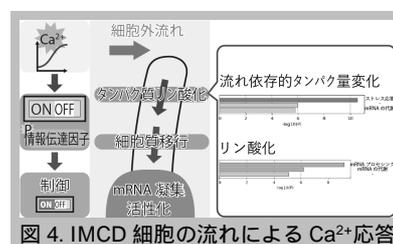
さらに、新規顕微鏡法による、培養細胞繊毛内での「分子コンバータ」因子の 1 分子動態観察により、その詳細の観察を行った。



4. 研究成果

【結果 1】培養細胞にフローを与えるハイスループットシステムの構築と、「分子コンバータ」関連の候補因子スクリーニング

研究代表者らは、スピニングディスク共焦点顕微鏡にフローチャンバーを組み合わせた上で (図 4)、繊毛内プロテオーム技術 (Cilia-APEX 法; Mick et al., Dev. Cell., 2015) を適用することにより、繊毛内で流れに応答する因子の同定を行った。その結果、100 因子以上が同定され、現在詳しい解析を行っている。



【結果 2】新規顕微鏡法による、培養細胞繊毛内での「分子コンバータ」因子の 1 分子動態観察

研究代表者らは、得意とする 1 分子光学顕微鏡技術を生かして [文献 8]、繊毛内分子コンバータの 1 分子動態観察を目指した。まず初めに、マウスノード不動繊毛において、左右軸決定に重要な機能を果たす Pkd2 タンパク質の詳細な観察を行った。その結果、Pkd2 タンパク質は特定の方向に偏って局在していることを発見した (図 5 中央)。繊毛内の断面方向におけるタンパク質の局在の異方性を発見したのは研究代表者らが初めてである [文献 2, 4, 5]。

さらに、独自の mRNA イメージング [文献 3, 7] や、Ca²⁺ イメージング同時 3 次元マニピュレーション技術 [文献 1, 2, 4, 5] を組み合わせることにより、一次繊毛が、流れの向きを感じているという驚くべき発見を行った (図 5)。こうした結果を、筆頭・責任著者として Science 誌を始め [文献 4]、研究期間内に 8 報の論文として発表した [文献 1-8]。

< 引用文献 >

[文献 1] **Takanobu A. Katoh***, Tim Lange, Yoshiro Nakajima, Kenta Yashiro, Yasushi Okada, Hiroshi Hamada
BMP4 regulates asymmetric Pkd2 distribution in mouse nodal immotile cilia and ciliary mechanosensing required for left-right determination
bioRxiv, 2024

[文献 2] **Takanobu A. Katoh***, Yohsuke T Fukai*, Tomoki Ishibashi*
Optical microscopic imaging, manipulation, and analysis methods for morphogenesis research
Microscopy, dfad059, 2023

[文献 3] Benjamin Rothé, Yayoi Ikawa, Zhidian Zhang, **Takanobu A. Katoh**, Eriko Kajikawa, Katsura Minegishi, Sai Xiaorei, Simon Fortier, Matteo Dal Peraro, Hiroshi Hamada, Daniel B. Constam
Bicc1 ribonucleoprotein complexes specifying organ laterality are licensed by ANKS6-induced structural remodeling of associated ANKS3
PLOS BIOLOGY, 21(9), e3002302, 2023

[文献 4] **Takanobu A. Katoh***, Toshihiro Omori*, Katsutoshi Mizuno, Xiaorei Sai, Katsura Minegishi, Yayoi Ikawa, Hiromi Nishimura, Takeshi Itabashi, Eriko Kajikawa, Sylvain Hiver, Atsuko H. Iwane, Takuji Ishikawa, Yasushi Okada, Takayuki Nishizaka, Hiroshi Hamada*
Immotile cilia mechanically sense the direction of fluid flow for left-right determination
Science, 379(6627), pp. 66-71, 2023

[文献 5] **Takanobu A. Katoh***, Toshihiro Omori*, Takuji Ishikawa, Yasushi Okada, Hiroshi Hamada,
Biophysical Analysis of Mechanical Signals in Immotile Cilia of Mouse Embryonic Nodes Using Advanced Microscopic Techniques
Bio-protocol, 13(14), e4715, 2023

[文献 6] Xiaorei Sai, Yayoi Ikawa, Hiromi Nishimura, Katsutoshi Mizuno, Eriko Kajikawa, **Takanobu A. Katoh**, Toshiya Kimura, Hidetaka Shiratori, Katsuyoshi Takaoka, Hiroshi Hamada, Katsura Minegishi,
Planar cell polarity-dependent asymmetric organization of microtubules for polarized positioning of the basal body in node cells,
Development, 149(9), dev.200315, 2022

[文献 7] Katsura Minegishi, Benjamin Rothé, Kaoru R. Komatsu, Hiroki Ono, Yayoi Ikawa, Hiromi Nishimura, **Takanobu A. Katoh**, Eriko Kajikawa, Xiaorei Sai, Emi Miyashita, Katsuyoshi Takaoka, Kana Bando, Hiroshi Kiyonari, Tadashi Yamamoto, Hirohide Saito, Daniel B. Constam, Hiroshi Hamada,
Fluid flow-induced left-right asymmetric decay of Dand5 mRNA in the mouse embryo requires a Bicc1-Ccr4 RNA degradation complex,
Nature Communications, 12, 4071, 2021

[文献 8] **Takanobu A. Katoh***, Takashi Daiho, Kazuo Yamasaki, Stefania Danko, Shoko Fujimura, Hiroshi Suzuki*,
Angle change of the A-domain in a single SERCA1a molecule detected by defocused orientation imaging,
Scientific Reports, 11, 13672, 2021



図 4. IMCD 細胞の流れによる Ca²⁺ 応答

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Sai Xiaorei, Ikawa Yayoi, Nishimura Hiromi, Mizuno Katsutoshi, Kajikawa Eriko, Katoh Takanobu A., Kimura Toshiya, Shiratori Hidetaka, Takaoka Katsuyoshi, Hamada Hiroshi, Minegishi Katsura	4. 巻 149
2. 論文標題 Planar cell polarity-dependent asymmetric organization of microtubules for polarized positioning of the basal body in node cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Development	6. 最初と最後の頁 dev.200315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/dev.200315	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Katoh Takanobu A., Omori Toshihiro, Mizuno Katsutoshi, Sai Xiaorei, Minegishi Katsura, Ikawa Yayoi, Nishimura Hiromi, Itabashi Takeshi, Kajikawa Eriko, Hiver Sylvain, Iwane Atsuko H., Ishikawa Takuji, Okada Yasushi, Nishizaka Takayuki, Hamada Hiroshi	4. 巻 379
2. 論文標題 Immotile cilia mechanically sense the direction of fluid flow for left-right determination	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 66 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abq8148	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Minegishi Katsura, Rothe Benjamin, Komatsu Kaoru R., Ono Hiroki, Ikawa Yayoi, Nishimura Hiromi, Katoh Takanobu A., Kajikawa Eriko, Sai Xiaorei, Miyashita Emi, Takaoka Katsuyoshi, Bando Kana, Kiyonari Hiroshi, Yamamoto Tadashi, Saito Hirohide, Constam Daniel B., Hamada Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Fluid flow-induced left-right asymmetric decay of Dand5 mRNA in the mouse embryo requires a Bicc1-Ccr4 RNA degradation complex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-24295-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Katoh Takanobu A., Daiho Takashi, Yamasaki Kazuo, Danko Stefania, Fujimura Shoko, Suzuki Hiroshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Angle change of the A-domain in a single SERCA1a molecule detected by defocused orientation imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-92986-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 NISHIZAKA Takayuki、KATOH Takanobu A.、NAKANE Daisuke	4. 巻 61
2. 論文標題 Novel Applications of 3D Localization Microscopy to a Variety of Molecular Motors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Seibutsu Butsuri	6. 最初と最後の頁 395 ~ 397
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophys.61.395	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kato Takanobu、Omori Toshihiro、Ishikawa Takuji、Okada Yasushi、Hamada Hiroshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Biophysical Analysis of Mechanical Signals in Immotile Cilia of Mouse Embryonic Nodes Using Advanced Microscopic Techniques	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 BIO-PROTOCOL	6. 最初と最後の頁 e4715
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21769/BioProtoc.4715	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Rothe Benjamin、Ikawa Yayoi、Zhang Zhidian、Kato Takanobu A.、Kajikawa Eriko、Minegishi Katsura、Xiaorei Sai、Fortier Simon、Dal Peraro Matteo、Hamada Hiroshi、Constam Daniel B.	4. 巻 21
2. 論文標題 Bicc1 ribonucleoprotein complexes specifying organ laterality are licensed by ANKS6-induced structural remodeling of associated ANKS3	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS Biology	6. 最初と最後の頁 e3002302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pbio.3002302	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kato Takanobu A、Fukai Yohsuke T、Ishibashi Tomoki	4. 巻 dfad059
2. 論文標題 Optical microscopic imaging, manipulation, and analysis methods for morphogenesis research	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 dfad059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jmicro/dfad059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 加藤 孝信	4. 巻 95
2. 論文標題 からたの左右軸決定におけるノード繊毛の機能	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 生化学	6. 最初と最後の頁 670 ~ 675
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14952/SEIKAGAKU.2023.950670	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計27件(うち招待講演 16件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Takanobu A. Katoh
2. 発表標題 Immotile cilia of the mouse node sense a fluid flow induced mechanical force for left-right symmetry breaking
3. 学会等名 40th BSCB GenSoc UK Cilia Network e-symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 孝信, 大森 俊宏, 水野 克俊, 石川 拓司, 濱田 博司
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する: 非対称性を生み出すメカニカルな機構
3. 学会等名 第55回日本発生生物学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 孝信, 大森 俊宏, 水野 克俊, 石川 拓司, 濱田 博司
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する: 非対称性を生み出すメカニカルな機構
3. 学会等名 日本細胞生物学会 第74回年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 孝信*, 大森 俊宏, 水野 克俊, 板橋 岳志, 岩根 敦子, 石川 拓司, 岡田 康志, 西坂 崇之, 濱田 博司
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する: 非対称性を生み出すメカニカルな機構
3. 学会等名 日本生物物理学会 第60回年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takanobu A Kato, Toshihiro Omori, Katsutoshi Mizuno, Takeshi Itabashi, Atsuko H. Iwane, Takuji Ishikawa, Yasushi Okada, Takayuki Nishizaka, Hiroshi Hamada
2. 発表標題 Mouse nodal immotile cilia sense bending direction for left-right determination: Mechanical regulation in initiation of symmetry breaking
3. 学会等名 19th International Congress of Developmental Biology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 孝信, 大森 俊宏, 水野 克俊, 板橋 岳志, 岩根 敦子, 石川 拓司, 岡田 康志, 西坂 崇之, 濱田 博司
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する: 非対称性を生み出すメカニカルな機構
3. 学会等名 日本分子生物学会 第45回年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takanobu A Kato, Toshihiro Omori, Katsutoshi Mizuno, Takeshi Itabashi, Atsuko H. Iwane, Takuji Ishikawa, Yasushi Okada, Takayuki Nishizaka, Hiroshi Hamada
2. 発表標題 Mouse nodal immotile cilia sense bending direction for left-right determination: Mechanical regulation in initiation of symmetry breaking
3. 学会等名 Cell Bio 2022-An ASCB EMBO Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takanobu A Kato, Toshihiro Omori, Katsutoshi Mizuno, Takeshi Itabashi, Atsuko H. Iwane, Takuji Ishikawa, Yasushi Okada, Takayuki Nishizaka, Hiroshi Hamada
2. 発表標題 Mouse nodal immotile cilia sense bending direction for left-right determination: Mechanical regulation in initiation of symmetry breaking
3. 学会等名 第75回山田コンファレンス Origin of left-right asymmetry in animals (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takanobu A Kato, Toshihiro Omori, Katsutoshi Mizuno, Takeshi Itabashi, Atsuko H. Iwane, Takuji Ishikawa, Yasushi Okada, Takayuki Nishizaka, Hiroshi Hamada
2. 発表標題 Mouse nodal immotile cilia sense bending direction for left-right determination: Mechanical regulation in initiation of symmetry breaking
3. 学会等名 Biophysical Society 67th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takanobu A Kato, Toshihiro Omori, Katsutoshi Mizuno, Takeshi Itabashi, Atsuko H. Iwane, Takuji Ishikawa, Yasushi Okada, Takayuki Nishizaka, Hiroshi Hamada
2. 発表標題 Mouse nodal immotile cilia sense bending direction for left-right determination: Mechanical regulation in initiation of symmetry breaking
3. 学会等名 Cold Spring Harbor Asia Conference CILIA & CENTROSOMES (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤孝信、水野克俊、大森俊宏、石川拓司、濱田博司
2. 発表標題 左右軸決定における、マウスノード不動繊毛への機械刺激依存的なCer12 mRNA分解の活性化
3. 学会等名 第11回 繊毛研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 孝信
2. 発表標題 Defocus imaging法による SERCA1aの Aドメインの角度変化検出
3. 学会等名 日本生体エネルギー研究会 第47回討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 孝信, 大森 俊宏, 水野 克俊, 石川 拓司, 濱田 博司
2. 発表標題 左右軸決定における、マウスノード不動繊毛への機械刺激依存的なCer12 mRNA 分解の活性化
3. 学会等名 日本生物物理学会 第59回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 孝信, 大森 俊宏, 水野 克俊, 石川 拓司, 濱田 博司
2. 発表標題 左右軸決定における、マウスノード不動繊毛への機械刺激依存的なCer12 mRNA分解の活性化
3. 学会等名 第44回 日本分子生物学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤孝信, 大森俊宏, 水野克俊, 板橋岳志, 岩根敦子, 石川拓司, 岡田康志, 西坂崇之, 濱田博司
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する: 非対称性を生み出すメカニカルな機構
3. 学会等名 2023年 生体運動研究合同班会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takanobu A. Katoh
2. 発表標題 Mouse nodal immotile cilia sense bending direction for left right determination: Mechanical regulation in initiation of symmetry breaking
3. 学会等名 Yamada Conference LXXV Origin of left-right asymmetry in animals (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takanobu A. Katoh, Toshihiro Omori, Katsutoshi Mizuno, Takeshi Itabashi, Atsuko H. Iwane, Takuji Ishikawa, Yasushi Okada, Takayuki Nishizaka, Hiroshi Hamada
2. 発表標題 MOUSE NODAL IMMOTILE CILIA SENSE BENDING DIRECTION FOR LEFT-RIGHT DETERMINATION: MECHANICAL REGULATION IN INITIATION OF SYMMETRY BREAKING
3. 学会等名 BPS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takanobu A. Katoh, Toshihiro Omori, Katsutoshi Mizuno, Takeshi Itabashi, Atsuko H. Iwane, Takuji Ishikawa, Yasushi Okada, Takayuki Nishizaka, Hiroshi Hamada
2. 発表標題 Mouse nodal immotile cilia sense bending direction for left-right determination; Mechanical regulation in initiation of symmetry breaking
3. 学会等名 CSHA CILIA & CENTROSOMES (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤 孝信
2. 発表標題 先進的光学顕微鏡と超解像顕微鏡によって明らかになった、体の左右軸を決定するノード不動繊毛の生物物理的メカニズム
3. 学会等名 第75回 日本細胞生物学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤孝信
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する：非対称性を生み出すメカニカルな機構
3. 学会等名 第12回 分子モーター討論会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤孝信
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する：非対称性をみ出すメカニカルな機構
3. 学会等名 第13回 繊毛研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takanobu A. Katoh, Toshihiro Omori, Katsutoshi Mizuno, Takeshi Itabashi, Atsuko H. Iwane, Takuji Ishikawa, Takayuki Nishizaka, Hiroshi Hamada, Yasushi Okada
2. 発表標題 Immotile cilia mechanically sense the direction of fluid flow for left-right determination
3. 学会等名 第61回生物物理学学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takanobu A. Katoh
2. 発表標題 Mouse nodal immotile cilia sense bending direction for left-right determination: Mechanical regulation in initiation of symmetry breaking
3. 学会等名 ASB2023（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤孝信
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する：非対称性を生み出すメカニカルな機構
3. 学会等名 第46回日本分子生物学会年会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤孝信
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する：非対称性を生み出すメカニカルな機構
3. 学会等名 定量生物学の会 第11回年会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤孝信
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する：非対称性を生み出すメカニカルな機構
3. 学会等名 第8回日本メカノバイオロジー学会学術総会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤孝信、濱田博司
2. 発表標題 マウスノード不動繊毛は変形の向きを感知して左右軸を決定する：非対称性を生み出すメカニカルな機構
3. 学会等名 第129回日本解剖学会総会・全国学術集会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Takanobu A Katoh's Website
[https://sites.google.com/view/
Takanobu A Katoh's Website
\[6. 研究組織\]\(https://sites.google.com/view/</p></div><div data-bbox=\)](https://sites.google.com/view/Takanobu-A-Katoh's-Website/)

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------