

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02434

研究課題名(和文) がん細胞特異的な染色体オシレーションの減弱と染色体不安定性の関連の解明

研究課題名(英文) Relationship between cancer cell-specific reduction of chromosome oscillation and chromosomal instability

研究代表者

田中 耕三 (Tanaka, Kozo)

東北大学・加齢医学研究所・教授

研究者番号：00304452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、がん細胞で見られる染色体不安定性に、細胞分裂期における紡錘体上での染色体の振幅運動(オシレーション)の低下が関与していることを明らかにした。染色体オシレーションにより、染色体上の動原体が紡錘体極に近づくと、動原体分子Hec1が紡錘体に局在するAurora Aによってリン酸化され、これにより動原体と微小管の誤った結合の修正が促進される。がん細胞株では、染色体オシレーションの低下によりこの仕組みがうまくはたらかず、染色体分配異常の増加につながることを示唆された。本研究は、多くのがんで見られる染色体不安定性の原因の一端を明らかにしたものであり、新たながん治療戦略の可能性を示すものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多くのがんでは、染色体不安定性、すなわち細胞分裂の際に高率に染色体分配異常が起こる状態が見られる。染色体不安定性は、がん細胞の遺伝的不均一性を引き起こし、転移や薬剤耐性といったがんの悪性化に関与すると考えられるが、その原因については不明な点が多い。本研究は、紡錘体上での染色体の反復運動として知られていた染色体オシレーションが、正確な染色体分配に関与するという新たなしくみを明らかにした。がん細胞では、染色体オシレーションが低下しており、これが染色体不安定性の一因であることが示唆された。本研究は、染色体の動態を制御することによる新たながん治療戦略の可能性を示すものである。

研究成果の概要(英文)：In this project, we revealed the involvement of reduced chromosome oscillation, an iterative chromosome motion on the spindle, in chromosomal instability in cancer cells. When kinetochores get closer to spindle poles through chromosome oscillation, a kinetochore molecule Hec1 is phosphorylated by Aurora A on the spindle, facilitating the correction of erroneous kinetochore-microtubule attachments. In cancer cells, this mechanism is defective due to reduced chromosome oscillation, resulting in the increase in chromosome missegregation. Our study revealed a mechanism of chromosomal instability frequently found in cancer cells, paving a way to a novel anti-cancer strategy.

研究分野：細胞生物学・分子腫瘍学

キーワード：癌 細胞・組織 染色体

1. 研究開始当初の背景

大部分のがん細胞では染色体の数や構造の異常が認められる。その大きな要因として、細胞分裂の際に染色体の不均等分配が高頻度で起こる状態、すなわち染色体不安定性が存在する。しかしこれがどのようにして引き起こされるのかについてはよくわかっていない。染色体分配は、複製されて対になった染色体が紡錘体上で微小管と結合して異なる極へと引っ張られることによって起こる。そのためは、一对の染色体上の動原体がそれぞれ異なる極からの微小管と結合すること(双方向性結合; 図1)が必要である。これに対しメロテリック結合(一つの動原体に両極からの微小管が結合する状態; 図1)をはじめとする誤った結合が形成されると、染色体の不均等分配が起こる。この誤った結合を修正して染色体の安定な維持に寄与しているのが分裂期キナーゼの一つである Aurora B であり、これが微小管との結合に中心的な役割を果たす動原体分子 Hec1 をリン酸化することにより、動原体-微小管結合が不安定化して修正が促進される(図2)。

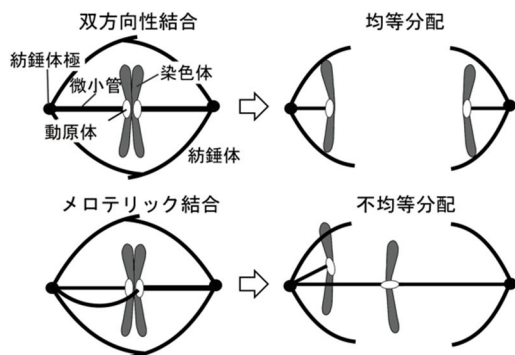


図1 動原体と微小管の結合

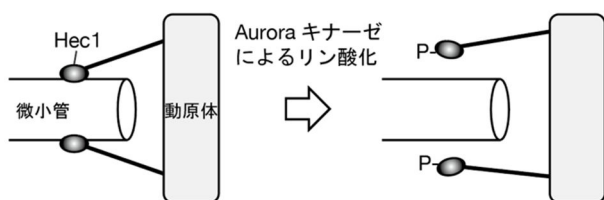


図2 Hec1 のリン酸化による動原体-微小管結合の制御

一方このようにして双方向性結合が成立する過程では、染色体は微小管との相互作用によって紡錘体上をダイナミックに移動する。そのため動原体-微小管結合の不全は染色体動態の異常を引き起こすが、逆に染色体動態の異常が動原体と微小管の誤った結合を引き起こすかどうかは解明されていない。分裂中期に紡錘体中央に整列した染色体は、特徴的な反復運動(オシレーション; 図3)を示すが、その機構や意義については未解明な点が多い。興味深いことに我々は、ヒト正常細胞由来の RPE-1 細胞と比較してヒトがん細胞由来の HeLa 細胞ではこの染色体オシレーションが減弱していること(図3) またこの時動原体上の Hec1 のリン酸化が低下していること(図4)を見出した。そこで本研究

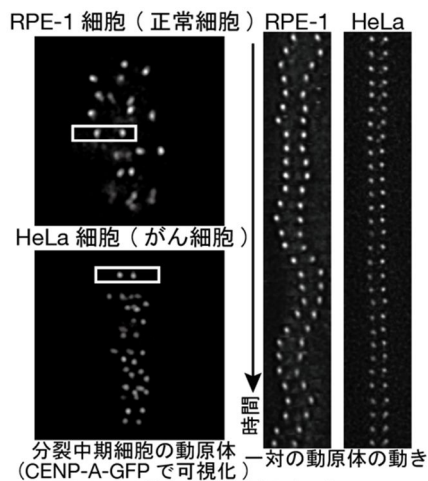


図3 正常細胞とがん細胞での染色体オシレーションの違い

課題では、この2つの現象の関係およびがん細胞の染色体不安定性への関与を検証することにより、染色体動態が染色体安定性に及ぼす影響を明らかにすることを目指した。

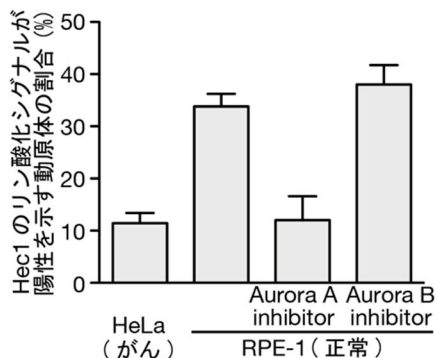


図4 正常細胞とがん細胞での整列した染色体上の Hec1 のリン酸化の違い

2. 研究の目的

本研究では、がん細胞における染色体オシレーションの減弱と染色体不安定性の関連を明らかにすることを目的とした。紡錘体中央に整列した染色体上の Hec1 のリン酸化は、HeLa 細胞以外のがん細胞株でも低下していたことから、がんの染色体不安定性に關与する可能性が考えられる。興味深いことにこの Hec1 のリン酸化は、セントロメアに局在する Aurora B でなく、その

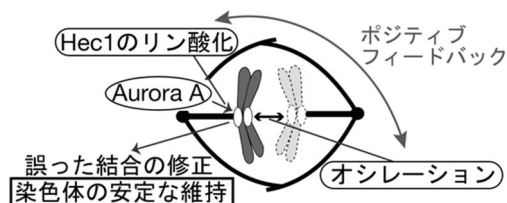


図5 染色体オシレーションと Hec1 のリン酸化のポジティブフィードバックモデル

パラログで紡錘体極および紡錘体に局在する Aurora A に依存することが判明した(図4)。Aurora B による動原体と微小管の誤った結合の修正は主に染色体が整列する前に起こるとされ、整列した染色体での Hec1 のリン酸化は注目されていなかった。本研究では、Aurora A による Hec1 のリン酸化と染色体オシレーションがポジティブフィードバックにより制御されている可能性(図5)という仮説を検証した。

3. 研究の方法

(1) Aurora A のコンディショナルノックアウト細胞での検討

Aurora A 阻害剤を用いて得られた結果を、ジーンターゲットングによって検証した。Aurora A は紡錘体形成に必須であるため、染色体が整列した後でノックアウトする必要がある。そこで Aurora A に auxin 添加によって分解誘導可能な AID(auxin-inducible degenron)タグを CRISPR/Cas9 システムにより付加した RPE-1 細胞を作成し、この細胞で染色体オシレーションおよび Hec1 のリン酸化を調べた。Aurora B についても同様の実験を行った。

(2) Aurora A による Hec1 の異なるリン酸化部位の比較

我々は分裂中期に Hec1 の 55 番目のセリンが Aurora A によってリン酸化されることを見出したが、コロラド州立大学の DeLuca 博士らは、Hec1 の 69 番目のセリンがやはり Aurora A によってリン酸化され、これが染色体オシレーションに関与していることを報告した(*J Cell Biol* 2018)。そこでそれぞれのリン酸化部位に特異的な抗体や、これらのリン酸化部位をアラニンに置換した Hec1 変異体などを用いて、この2つのリン酸化部位の関係を調べた。

(3) 紡錘体上の Aurora A による Hec1 のリン酸化の検討

Aurora A は中央から離れた紡錘体極だけでなく紡錘体にも分布しているため、紡錘体に存在する Aurora A が紡錘体中央の Hec1 のリン酸化に関与するのではないかと考えられる。Aurora A の紡錘体への局在は微小管結合因子 TPX2 に依存するため、TPX2 と結合できない Aurora A 変異体を発現させ、内在性の Aurora A の発現を抑制した際に Hec1 のリン酸化が回復するかどうかを調べた。

(4) 染色体オシレーションと染色体不安定性との関連の解明

正常細胞株とがん細胞株間での、染色体オシレーションおよび Hec1 のリン酸化の違いを検討した。また染色体オシレーションを人為的に操作した状況で、異数体や微小核、メロテリック結合の出現頻度によって染色体不安定性を評価した。

(5) 染色体オシレーションの数学的モデルの構築

染色体オシレーションと Hec1 のリン酸化や動原体と微小管の誤った結合との関連をシミュレートする数学モデルを構築し、図5のモデルの妥当性を検討した。

4. 研究成果

(1) Aurora A のコンディショナルノックアウト細胞での検討

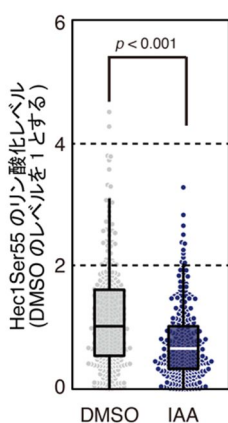


図6 Aurora A の発現抑制による Hec1 のリン酸化の減少
AID タグを付加した Aurora A を IAA (auxin) 添加によって分解した

Aurora A に AID タグを付加した RPE-1 細胞で Aurora A の発現を抑制したところ、染色体オシレーションおよび Hec1 のリン酸化の低下が見られた(図6)。一方 Aurora B に AID タグを付加した RPE-1 細胞で Aurora B を発現抑制しても、染色体オシレーションおよび Hec1 のリン酸化に変化は見られなかった。

(2) Aurora A による Hec1 の異なるリン酸化部位の比較

リン酸化特異的な抗体により、Hec1 の 55 番目と 69 番目のセリンが分裂中期に共に Aurora A によってリン酸化されることを確認した。しかし、69 番目のセリンがセントロメアに局在する Aurora A によってリン酸化されるのに対し、55 番目のリン酸化は紡錘体に局在する Hec1 によってリン酸化されることが示唆された。またこれらのリン酸化部位をアラニンに置換した Hec1 変異体を用いた実験によりこの両者が協同してオシレーションに関与することが明らかになった(図7)。

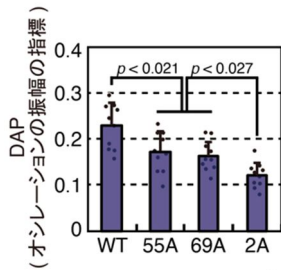


図7 Hec1Ser55, 69の変異による染色体オシレーションの減弱
RPE-1細胞でHec1Ser55, 69の片方または両方をアラニンに置換した

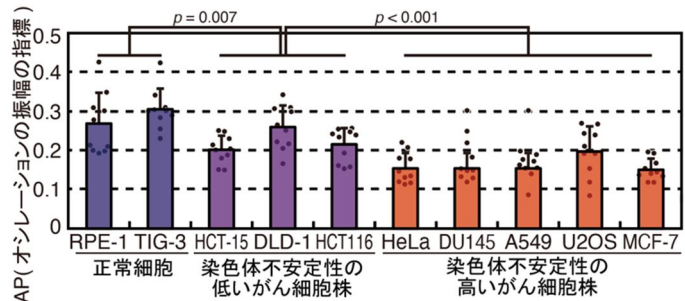


図8 正常細胞株とがん細胞株の染色体オシレーションの振幅の比較

(3) 紡錘体上のAurora AによるHec1のリン酸化の検討

TPX2 と結合できない Aurora A 変異体を発現させても、Hec1 の 55 番目のセリンのリン酸化およびオシレーションの回復は見られなかった。逆に Aurora A と結合できない TPX2 を発現させても同様の結果が得られたことから、Hec1 の 55 番目のセリンのリン酸化には紡錘体に局在する Aurora A が関与することが示唆された。

(4) 染色体オシレーションと染色体不安定性との関連の解明

がん細胞株では、染色体不安定性の程度に応じて染色体オシレーションおよび Hec1 のリン酸化の低下が認められた (図 8, 9)。また HeLa 細胞で染色体オシレーションを増大させると、染色体不安定性が改善することがわかった (図 10)。

(5) 染色体オシレーションの数学的モデルの構築

紡錘体極をピークとする Aurora A の濃度勾配を数学モデルに組み込むことにより、染色体オシレーションを再現することができ、染色体オシレーションの過程で動原体と微小管の誤った結合が修正されることが検証できた。

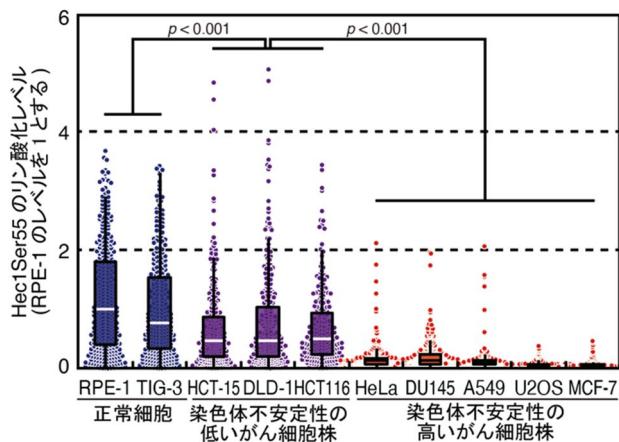


図9 正常細胞株とがん細胞株の Hec1Ser55 のリン酸化レベルの比較

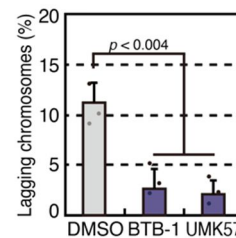


図10 染色体オシレーションの増大による染色体分配異常の減少

HeLa 細胞の染色体オシレーションを BTB-1(Kif18A 阻害剤)、UMK57(MCAK アゴニスト) 添加によって増大させた

以上の研究成果は、論文として *Journal of Cell Biology* 誌に発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Kenji Iemura, Toyooki Natsume, Kayoko Maehara, Masato T. Kanemaki, and Kozo Tanaka	4. 巻 in press
2. 論文標題 Chromosome oscillation promotes Aurora A-dependent Hec1 phosphorylation and mitotic fidelity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cell Biology	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1083/jcb.202006116	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 Nishizawa Hironari, Matsumoto Mitsuyo, Chen Guan, Ishii Yusho, Tada Keisuke, Onodera Masafumi, Kato Hiroki, Muto Akihiko, Tanaka Kozo, Igarashi Kazuhiko	4. 巻 12
2. 論文標題 Lipid peroxidation and the subsequent cell death transmitting from ferroptotic cells to neighboring cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cell Death & Disease	6. 最初と最後の頁 332
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41419-021-03613-y	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 Uchida Kazuhiko S.K., Jo Minji, Nagasaka Kota, Takahashi Motoko, Shindo Norihisa, Shibata Katsushi, Tanaka Kozo, Masumoto Hiroshi, Fukagawa Tatsuo, Hirota Toru	4. 巻 in press
2. 論文標題 Kinetochores stretching-mediated rapid silencing of the spindle-assembly checkpoint required for failsafe chromosome segregation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cub.2021.01.062	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 Ito S, Goto H, Kuniyasu K, Shindo M, Yamada M, Tanaka K, Toh GT, Sawa M, Inagaki M, Bartek J, Masai H.	4. 巻 9
2. 論文標題 Cdc7 kinase stimulates Aurora B kinase in M-phase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sci Rep	6. 最初と最後の頁 18622
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-54738-2.	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 -

1. 著者名 池田真教	4. 巻 131
2. 論文標題 細胞分裂期における染色体と微小管の一過性結合の機能的役割とその制御機構	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 東北医学雑誌	6. 最初と最後の頁 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Kuniyasu K, Iemura K, Tanaka K	4. 巻 9
2. 論文標題 Delayed Chromosome Alignment to the Spindle Equator Increases the Rate of Chromosome Missegregation in Cancer Cell Lines	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biomolecules	6. 最初と最後の頁 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/biom9010010	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 Tanaka K, Goto H, Nishimura Y, Kasahara K, Mizoguchi A, Inagaki M	4. 巻 109
2. 論文標題 Tetraploidy in cancer and its possible link to aging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cancer Science	6. 最初と最後の頁 2632-2640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/cas.13717	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 Konishi M, Shindo N, Komiya M, Tanaka K, Itoh T, Hirota T	4. 巻 39
2. 論文標題 Quantitative analyses of the metaphase-to-anaphase transition reveal differential kinetic regulation for securin and cyclin B1	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biomedical Research	6. 最初と最後の頁 75-85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2220/biomedres.39.75	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39件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 國安絹枝, 家村顕自, 田中耕三
2. 発表標題 がん細胞における染色体整列の遅延が染色体分配異常を引き起こす機構
3. 学会等名 第85回日本生化学会東北支部例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田真教、成田知恕、清水将裕、古寺哲幸、田中耕三
2. 発表標題 ゲノム安定性維持における天然変性タンパク質CAMPの動的制御
3. 学会等名 第19回日本蛋白質科学会年会・第71回日本細胞生物学会大会合同年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田真教、田中耕三
2. 発表標題 体細胞分裂期での染色体分配における動原体サイズの制御とその生物学的意義の解明
3. 学会等名 第56回日本生化学会北海道支部例会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中耕三
2. 発表標題 染色体不安定性の成因とそのがん化への影響
3. 学会等名 第7回がん代謝研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中耕三
2. 発表標題 加齢の細胞文脈におけるがんの発生基盤となる染色体構造および動態の解明
3. 学会等名 新学術領域研究「システム癌新次元」令和元年度班会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田真教、田中耕三
2. 発表標題 体細胞分裂期での動原体サイズを規定する分子ネットワークの解明
3. 学会等名 第92回日本生化学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kozo Tanaka
2. 発表標題 Defective chromosome dynamics as a cause of erroneous kinetochore-microtubule attachment and chromosomal instability in cancer
3. 学会等名 Tohoku Forum for Creativity Thematic Program 2019: Cancer -from Biology to Acceptance- (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中耕三
2. 発表標題 染色体不安定性とがん
3. 学会等名 第78回日本癌学会学術総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masanori Ikeda
2. 発表標題 Dysregulation of kinetochore structure in cancer cells
3. 学会等名 第14回生命医科学研究所ネットワーク国際シンポジウム(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masanori Ikeda, Kozo Tanaka
2. 発表標題 Elucidation of biological significance of kinetochore size regulation in mitosis
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会年会(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永井正義, 家村顕自, 服部聡子, 吉川貴子, 萩原英雄, 安澤隼人, 木下賢吾, 大隅典子, 宮川剛, 田中耕三
2. 発表標題 染色体整列因子CAMP(CHAMP1)欠損による知的障害発症メカニズムの解明
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陳冠, 家村顕自, 田中耕三
2. 発表標題 加齢に伴う初代線維芽細胞の染色体安定性変化の実態とその分子基盤の解明
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 樋野真帆, 家村顕白, 田中耕三
2. 発表標題 新規分子CAMPによる分裂期細胞死制御機構の解明
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陳冠, 家村顕白, 田中耕三
2. 発表標題 加齢に伴う初代線維芽細胞の染色体安定性変化の実態とその分子基盤の解明
3. 学会等名 東北大学大学院医学系研究科第13回リトリート大学院生研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 國安絹枝, 家村顕白, 田中耕三
2. 発表標題 染色体が速やかに赤道面へ整列することの寄与
3. 学会等名 第37回染色体ワークショップ・第18回核ダイナミクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 家村顕白、田中耕三
2. 発表標題 小胞体ストレス応答経路は染色体不安定性がん細胞のクローン進化に寄与する
3. 学会等名 第37回染色体ワークショップ・第18回核ダイナミクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 家村顕白、田中耕三
2. 発表標題 分裂期染色体動態による染色体安定性の維持機構
3. 学会等名 第1回癌学会若手の会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 家村顕白、田中耕三
2. 発表標題 染色体オシレーション運動は染色体均等分配の堅牢性に寄与する
3. 学会等名 第84回日本生化学会東北支部例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中耕三
2. 発表標題 ビッグデータ時代のがん細胞生物学
3. 学会等名 ARLセミナー2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田真教、田中耕三
2. 発表標題 Molecular basis of kinetochore recruitment of the RZZ complex and its roles in the establishment of bi-orientation during mitosis in human cells
3. 学会等名 第70回日本細胞生物学会第51回日本発生生物学会合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 家村顕自, 田中耕三
2. 発表標題 分裂期染色体動態による染色体安定性の維持機構
3. 学会等名 新学術領域研究「システム癌新次元」平成30年度班会議 若いと思っている人の会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中耕三
2. 発表標題 加齢の細胞文脈におけるがんの発生基盤となる染色体構造および動態の解明
3. 学会等名 新学術領域研究「システム癌新次元」平成30年度班会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 家村顕自, 田中耕三
2. 発表標題 分裂期染色体動態による染色体安定性の維持機構
3. 学会等名 第90回日本遺伝学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 國安絹枝, 家村顕自, 田中耕三
2. 発表標題 染色体整列の効率性の低下による高頻度な誤ったキネトコア-微小管結合の形成が染色体安定性を引き起こす
3. 学会等名 第91回日本生化学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 家村顕自, 田中耕三
2. 発表標題 The role of chromosomal instability in cancer cell proloferation
3. 学会等名 第77回日本癌学会学術総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kinue Kuniyasu, Kenji Iemura, Kozo Tanaka
2. 発表標題 Role for efficient chromosome alignment in equal chromosome segregation
3. 学会等名 第13回生命医科学研究所ネットワーク国際シンポジウム(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 國安絹枝, 家村顕自, 田中耕三
2. 発表標題 Role for efficient chromosome alignment in equal chromosome segregation
3. 学会等名 第5回加齢研リトリート
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 家村顕自, 田中耕三
2. 発表標題 中心体キナーゼAurora Aによる染色体振幅運動は染色体均等分配の堅牢性に寄与する
3. 学会等名 第41回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田真教, 田中耕三
2. 発表標題 RZZ複合体のキネトコア局在制御機構とその染色体安定性維持における役割
3. 学会等名 第41回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 國安絹枝, 家村顕白, 田中耕三
2. 発表標題 染色体整列の遅延により染色体不安定性が生じる機構
3. 学会等名 第41回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田拓樹, 池田真教, 宇井彩子, 三上嘉子, 木村泰斗, 菅野新一郎, 安井明, 田中耕三
2. 発表標題 染色体分配関連分子によるDNA二本鎖切断修復機構の解明
3. 学会等名 第41回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kinue Kuniyasu, Kenji Iemura, Kozo Tanaka
2. 発表標題 Defects in efficient chromosome alignment cause chromosomal instability
3. 学会等名 ASCB EMBO 2018 meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 陳冠, 家村顕自, 田中耕三
2. 発表標題 体細胞における加齢に伴う染色体安定性の変化の実態とその分子基盤の解明
3. 学会等名 東北大学大学院医学系研究科 第12回リトリート大学院生研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 家村顕自, 田中耕三
2. 発表標題 がん細胞における染色体不安定性は増殖選択圧を受けた際の増殖優位性獲得に寄与する
3. 学会等名 第36回染色体ワークショップ・第17回核ダイナミクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田真教, 田中耕三
2. 発表標題 RZZ複合体によるキネトコアサイズの制御とその染色体安定性維持における役割
3. 学会等名 第36回染色体ワークショップ・第17回核ダイナミクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永井正義, 家村顕自, 吉川貴子, 服部聡子, 宮川剛, 大隅典子, 田中耕三
2. 発表標題 染色体整列関連因子CAMPは長期記憶の維持に關与する
3. 学会等名 第36回染色体ワークショップ・第17回核ダイナミクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中耕三
2. 発表標題 染色体オシレーションによる染色体安定性制御機構
3. 学会等名 染色体研究の最前線2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Iemura, Kozo Tanaka
2. 発表標題 A novel machinery for maintenance of faithful chromosome segregation
3. 学会等名 The kick-off symposium of advanced graduate program for future medicine & health care (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中耕三
2. 発表標題 がんにおける染色体不安定性の成因とその影響
3. 学会等名 平成30年度「感染・免疫・がん・炎症」シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東北大学加齢医学研究所
http://www.idac.tohoku.ac.jp/site_ja/
 東北大学加齢医学研究所分子腫瘍学研究分野
<http://www2.idac.tohoku.ac.jp/dep/molonc/index.html>

6. 研究組織

	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
---------	---------