

機関番号：82502

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21790053

研究課題名 (和文) 抗酸化物質によるプロオキシダント効果の分子機構解明

研究課題名 (英文) Mechanistic Study on the Pro-oxidant Effects by Antioxidants

研究代表者

中西 郁夫 (NAKANISHI IKUO)

独立行政法人放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター・主任研究員

研究者番号：70356137

研究成果の概要 (和文)：金属イオン存在下や塩基性条件下における抗酸化物質による活性酸素種生成 (プロオキシダント効果) 機構について検討した。ポリフェノール系抗酸化物質ケルセチンは、分子内のカルボニル酸素を介して金属イオンと錯形成することによりプロオキシダント効果を示す可能性が示唆された。また、ビタミンEのモデル化合物は、塩基性条件下、強力な還元能をもつフェノレートアニオンに変わり、分子状酸素を電子移動還元して活性酸素種を生成することがわかった。

研究成果の概要 (英文)：The mechanism of generation of reactive oxygen species (ROS) by antioxidants as pro-oxidants was investigated in the presence of a metal ion or under basic conditions. Quercetin, one of polyphenolic antioxidants, was suggested to show the pro-oxidant activity via a complex formation between its carbonyl oxygen and a metal ion. The phenolate anion derived from a vitamin E model in the presence of a strong base showed a strong electron-donating ability to reduce molecular oxygen to produce ROS.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：生命物理化学

科研費の分科・細目：薬学・物理系薬学

キーワード：活性酸素種・抗酸化物質・薬学・有機化学・反応機構・ラジカル・プロオキシダント・金属イオン

## 1. 研究開始当初の背景

近年、高齢化社会の進展に伴い、健康に対する関心がこれまで以上に高まっている。特に、がんや動脈硬化等の生活習慣病の発症や老化に、活性酸素種やフリーラジカルによる酸化ストレスが関与していること明らかとなり、優れた活性酸素種・フリーラジカル消去活性をもつビタミン類やポリフェノール類等の抗酸化物質のサプリメントが注目を集めている。一方、これらの抗酸化物質は、金属イオンの存在下や塩基性条件下では、逆に活性酸素種やフリーラジカルを生成し、

DNA に酸化的損傷を与えることが知られている。このような作用は、抗酸化物質のプロオキシダント効果と呼ばれているが、分子レベルにおける詳細な反応機構はほとんど明らかとなっていない。これは、反応中間体として生成するフリーラジカルや抗酸化物質の金属錯体が極めて不安定なためと考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、金属イオン存在下や塩基性条

件下における抗酸化物質による活性酸素種・フリーラジカル生成（プロオキシダント効果）の反応機構を分子レベルで解明する。抗酸化物質としては、すでにプロオキシダント効果を示すことが報告されているケルセチンなどのポリフェノール類をはじめとするフェノール系抗酸化物質を用いる。これらの化合物は、分子内に複数のフェノール性水酸(OH)基をもつため、金属イオンと錯形成する可能性がある。フェノール性 OH 基が金属イオンと錯形成すると、金属イオンの一電子酸化電位が正側にシフトし、その還元能が増強され、分子状酸素( $O_2$ )を電子移動還元して活性酸素種の1つであるスーパーオキシドアニオン( $O_2^{\cdot-}$ )を生成する可能性がある。本研究では、ポリフェノール系抗酸化物質のどのフェノール性 OH 基と金属イオンが錯形成するかを明らかにする。また、塩基性条件下では、フェノール性抗酸化物質は、脱プロトン化を受け、対応するフェノレートアニオンが生成すると考えられる。このフェノレートアニオンも元の抗酸化物質よりも還元能が顕著に増強され、 $O_2$ を電子移動還元して  $O_2^{\cdot-}$ を生成する可能性がある。そこで、塩基性条件下、フェノール性抗酸化物質から生成するフェノレートアニオンの電子移動特性についても検討する。

### 3. 研究の方法

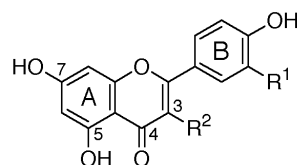
(1)アセトニトリル中、25°Cで、ポリフェノール系抗酸化物質の1つであるケルセチンに金属イオン源としてスカンジウムトリフラートを加え、アジレント 8453 フォトダイオードアレー分光光度計を用いて紫外可視吸収スペクトル変化を追跡した。ケルセチンとフェノール性 OH 基の数が異なるルテオリン、ケンフェロール、アピゲニンおよび(+)-カテキンについても同様の測定を行い、ポリフェノール系抗酸化物質と金属イオンとの錯形成について検討した。

(2)アルゴンでバブリングすることにより  $O_2$ を除去したアセトニトリル中、ビタミン E ( $\alpha$ -トコフェロール)のモデル化合物である 2, 2, 5, 7, 8-pentamethylchroman-6-ol (PMC)に強塩基である水酸化テトラブチルアンモニウムを加えて対応するフェノレートアニオン(PMC アニオン)を発生させた。PMC アニオンと電子受容体である種々の *p*-ベンゾキノン類との反応は、ユニソク RSP-1000-02NM 型ストップフロー分光測定装置で追跡した。

### 4. 研究成果

(1)ポリフェノール系抗酸化物質と金属イオ

ンとの相互作用について分光学的に検討した。抗酸化物質として、フラボン構造を基本骨格とし、分子内のフェノール性 OH 基の数が異なるケルセチン、ルテオリン、ケンフェロールおよびアピゲニンを用いた(図 1)。アセトニトリル中、これらの抗酸化物質にスカンジウムイオン( $Sc^{3+}$ )を加え、その溶液の紫外可視吸収スペクトルを観測した。その結果、いずれの場合にも抗酸化物質に由来する吸収の長波長シフトが観測され(図 2)、これらの抗酸化物質が  $Sc^{3+}$ と 1:1 の錯体を形成していることがわかった。B 環のカテコール構造の有無および 3 位の OH 基の有無に関わらず錯体の形成が観測されたことから、 $Sc^{3+}$ との錯形成には、4 位のカルボニル酸素が関与していることが示唆された。実際、4 位にカルボニル酸素をもたない(+)-カテキンに  $Sc^{3+}$ を加えても、吸収の変化は観測されなかった。ポリフェノール系抗酸化物質の金属イオン錯体と  $O_2$ との反応による活性酸素種およびフリーラジカルの生成については、現在検討中である。



ケルセチン:  $R^1 = R^2 = OH$   
 ルテオリン:  $R^1 = OH, R^2 = H$   
 ケンフェロール:  $R^1 = H, R^2 = OH$   
 アピゲニン:  $R^1 = R^2 = H$

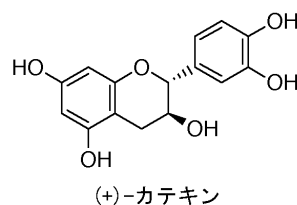


図 1. ポリフェノール系抗酸化物質

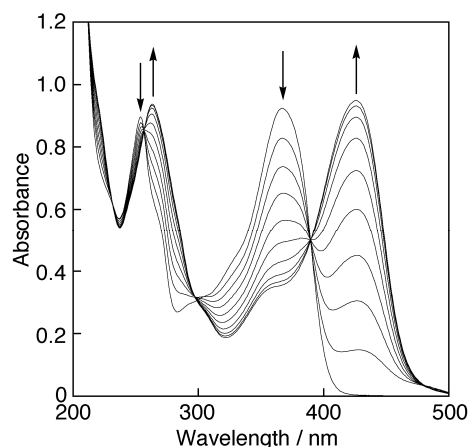


図 2. ケルセチンと  $Sc^{3+}$ との反応における吸収スペクトル変化

(2) 塩基性条件下におけるフェノール系抗酸化物質による活性酸素種やフリーラジカル生成の分子機構について検討した。フェノール系抗酸化物質としてビタミンE ( $\alpha$ -トコフェロール)のモデル化合物である 2,2,5,7,8-pentamethylchroman-6-ol (PMC)を用いた。酸素非存在下、アセトニトリル中、25°Cで、PMC に強塩基である水酸化テトラブチルアンモニウムを加えると、PMC のフェノール性 OH 基が脱プロトン化を受け、対応するフェノレートアニオン (PMC アニオン) が生成した。この溶液に  $O_2$  を吹き込むと、PMC アニオンによる  $O_2$  の電子移動還元により  $O_2^{\cdot-}$  が生成した。これは、PMC アニオンが非常に強力な還元力を有することを示唆している。そこで、PMC アニオンの電子移動特性について検討するために、PMC アニオンと種々の置換基をもち、一電子酸化電位 ( $E_{ox}^0$ ) (表 1) の異なる *p*-ベンゾキノン類 (Q: *p*-benzoquinone, MeQ: methyl-*p*-benzoquinone, Me<sub>2</sub>Q: 2,6-dimethyl-*p*-benzoquinone, Me<sub>4</sub>Q: tetramethyl-*p*-benzoquinone) との反応を行った。その結果、いずれの場合にも PMC アニオンから *p*-ベンゾキノン類への電子移動反応が観測され、対応するセミキノンラジカルアニオンが生成した (図 3)。PMC アニオンと Q との反応は非常に速く、ストップフロー法でも追跡できなかった。PMC アニオンと他の *p*-ベンゾキノン類との反応をストップフロー法で追跡し、生成するセミキノンラジカルアニオンに由来する吸光度の経時変化から、PMC アニオンから *p*-ベンゾキノン類への電子移動の二次反応速度定数 ( $k_{et}$ ) を得た (表 1)。電子受容体の  $E_{ox}^0$  値が低いほど  $k_{et}$  値が小さくなったが、PMC アニオンは非常に低い  $E_{ox}^0$  値をもつ Me<sub>4</sub>Q や  $O_2$  を電子移動還元できることから、極めて強力な還元能を有することがわかった。

表 1. PMC アニオンから電子受容体の電子移動の二次反応速度定数 ( $k_{et}$ ) および電子受容体の一電子酸化電位 ( $E_{ox}^0$ )

acceptor	$k_{et}/M^{-1} s^{-1}$	$E_{ox}^0/V$ vs. SCE
Q	— <sup>a</sup>	-0.50
MeQ	$2.5 \times 10^3$	-0.58
Me <sub>2</sub> Q	$2.2 \times 10^2$	-0.67
Me <sub>4</sub> Q	3.7	-0.84
$O_2$	1.6	-0.87

<sup>a</sup>Too fast to be determined.

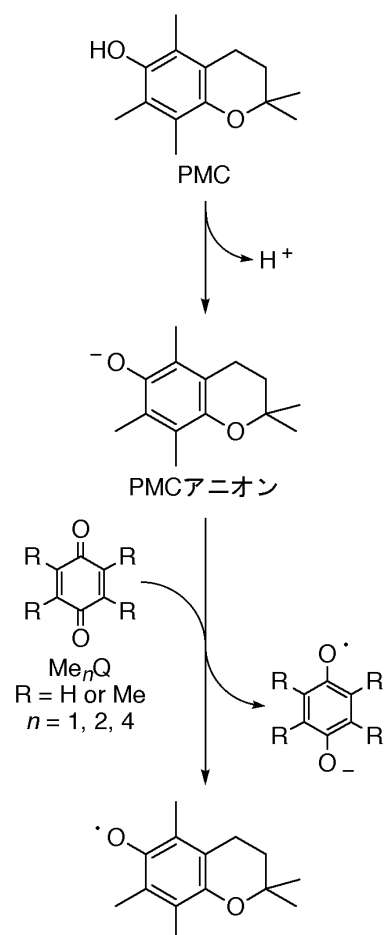


図 3. PMC アニオンと *p*-ベンゾキノン類との反応

## 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 13 件)

- ① 松本謙一郎、乳井美奈子、上林将人、小澤俊彦、中西郁夫、安西和紀、Temperature-Dependent Free Radical Reaction in Water, *J. Clin. Biochem. Nutr.* **2011**, 印刷中、査読有
- ② 小林茂樹、和気 司、中西郁夫、松本謙一郎、安西和紀、Potent 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl Radical-Scavenging Activity of Novel Antioxidants, Double-Stranded Tyrosine Residues Conjugating Pyrocatechol, *Chem. Pharm. Bull.* **2010**, *58*, 1442-1446、査読有
- ③ 松本謙一郎、青木伊知男、中西郁夫、松本厚子、乳井美奈子、遠藤和豊、安西和紀、Distribution of Hydrogen Peroxide-Dependent Reaction in a Gelatin Sample Irradiated by Carbon Ion Beam, *Magn. Reson. Med. Sci.* **2010**, *9*,

- 131-140、査読有
- ④ 中西郁夫、大久保 敬、川島知憲、稲見圭子、松本謙一郎、福原 潔、奥田晴宏、望月正隆、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、Electron-Transfer Properties of the Phenolate Anion Derived from a Vitamin E Model in the Presence of a Strong Base in an Aprotic Medium、*Free Radical Biol. Med.* **2010**, *49*, S213-S214、査読有
  - ⑤ 松本謙一郎、中西郁夫、ムラリ・クリシュナ、Reaction of Nitroxyl Radicals and GSH; pH Dependence、*Free Radical Biol. Med.* **2010**, *49*, S212、査読有
  - ⑥ 川島知憲、大久保 敬、福住俊一、中西郁夫、Electron Transfer from Stable Superoxide Complex to Electron Acceptors as Benzoquinone Derivatives、*Free Radical Biol. Med.* **2010**, *49*, S211、査読有
  - ⑦ 今井耕平、中西郁夫、安西和紀、小澤俊彦、奥田晴宏、中村朝夫、福原 潔、Synthesis of Conformationally Constrained Epigallocatechin Analogues as a Promising antioxidant、*Free Radical Biol. Med.* **2010**, *49*, S185、査読有
  - ⑧ 福原 潔、大野晶子、中西郁夫、今井耕平、中村朝夫、安西和紀、宮田直樹、奥田晴宏、Novel Ninhydrin Adduct of Catechin with Potent Antioxidative Activity、*Tetrahedron Lett.* **2009**, *50*, 6989-6992、査読有
  - ⑨ 福原 潔、中西郁夫、大久保 敬、小原義紀、多田文子、今井耕平、大野晶子、中村朝夫、浦野四郎、斎藤慎一、福住俊一、安西和紀、宮田直樹、奥田晴宏、Intramolecular Base-Accelerated Radical-Scavenging Reaction of a Planar Catechin Derivative Bearing a Lysine Moiety、*Chem. Commun.* **2009**, 6180-6182、査読有
  - ⑩ 松本謙一郎、岡城 彩、永田 桂、ウィリアム・デグラフ、乳井美奈子、上野恵美、中西郁夫、小澤俊彦、ジェームズ・ミッチェル、ムラリ・クリシュナ、山本晴彦、遠藤和豊、安西和紀、Detection of Free Radical Reactions in an Aqueous Sample Induced by Low Linear-Energy-Transfer Irradiation、*Biol. Pharm. Bull.* **2009**, *32*, 542-547、査読有
  - ⑪ 岡城 彩、宇井伊織、スシュマ・マンダ、中西郁夫、松本謙一郎、安西和紀、遠藤和豊、Intracellular and Extracellular Redox Environments Surrounding Redox-Sensitive Contrast Agents under Oxidative Atmosphere、*Biol. Pharm. Bull.* **2009**, *32*, 535-541、査読有
  - ⑫ 中西郁夫、宇都義浩、大久保 敬、松本謙一郎、堀 均、福原 潔、奥田晴宏、伊古田

暢夫、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、Radical-Scavenging Activity of Biosynthetic Precursors of Vitamin E and Their Derivatives、*Free Radical Biol. Med.* **2009**, *47*, S191、査読有

- ⑬ 松本謙一郎、乳井美奈子、上林将人、小澤俊彦、中西郁夫、安西和紀、Temperature Depending Free Radical Reaction in Water、*Free Radical Biol. Med.* **2009**, *47*, S190、査読有

[学会発表] (計 20 件)

- ① 中西郁夫、稲見圭子、大久保 敬、川島知憲、松本謙一郎、福原 潔、奥田晴宏、望月正隆、伊古田暢夫、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、ビタミンEおよび6-クロマンオール誘導体のラジカル消去反応における構造活性相関、日本薬学会第 131 年会、2011 年 3 月 31 日、静岡
- ② 中西郁夫、カビル・ソーダー、川島知憲、上林将人、松本謙一郎、大久保 敬、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、メラトニンのラジカル消去機構、日本化学会第 91 春季年会、2011 年 3 月 26 日、横浜
- ③ 中西郁夫、稲見圭子、大久保 敬、川島知憲、松本謙一郎、福原 潔、奥田晴宏、望月正隆、伊古田暢夫、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、Molecular Design of Novel Vitamin E Analogues with Enhanced Radical-Scavenging Activity Based on Density Functional Theory Calculations、International Conference on Biomaterials Science、2011 年 3 月 15-18 日、つくば
- ④ 中西郁夫、カビル・ソーダー、上林将人、大久保 敬、川島知憲、松本謙一郎、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、Reaction of Melatonin with Free Radicals in a Protic Medium and the Mechanism、International Symposium on Free Radical Research: Contribution to Medicine、2011 年 1 月 21 日、京都
- ⑤ 中西郁夫、大久保 敬、川島知憲、稲見圭子、松本謙一郎、望月正隆、福原 潔、奥田晴宏、伊古田暢夫、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、Electron-Transfer Oxidation of the Phenolate Anion Derived from a Vitamin E Model、PACIFICHEM2010、2010 年 12 月 19 日、米国ハワイ州ホノルル
- ⑥ 中西郁夫、上林将人、大久保 敬、川島知憲、松本謙一郎、稲葉知輝、川崎郁勇、山下正行、伊古田暢夫、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、Redox Chemistry of Antioxidative Dihydropyridine Derivatives Bearing a Pyrazole Moiety、PACIFICHEM2010、2010 年 12 月 19 日、米国ハワイ州ホノルル

- ⑦ 中西郁夫、大久保敬、川島知憲、稲見圭子、松本謙一郎、福原 潔、奥田晴宏、望月正隆、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、Electron-Transfer Properties of the Phenolate Anion Derived from a Vitamin E Model in the Presence of a Strong Base in an Aprotic Medium、17th Annual Meeting of the Society for Free Radical Biology and Medicine、2010年11月20日、米国フロリダ州オーランド
- ⑧ 中西郁夫、Metal Ion-Accelerated Radical- Scavenging Reactions of Phenolic Antioxidants 、17th International SPACC Symposium、2010年10月15日、鹿児島
- ⑨ 中西郁夫、カビル・ゾーダー、川島知憲、上林将人、松本謙一郎、大久保 敬、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、プロトン性溶媒中におけるメラトニンのラジカル消去活性、第4回バイオ関連化学シンポジウム、2010年9月25日、大阪
- ⑩ 中西郁夫、ビタミンEによるフリーラジカル消去反応に対する物理化学的アプローチ、第13回Vitamin E Update Forum、2010年8月20日、東京
- ⑪ 中西郁夫、稲見圭子、大久保 敬、川島知憲、松本謙一郎、福原 潔、奥田晴宏、望月正隆、伊古田暢夫、福住俊一、安西和紀、小澤俊彦、第10回AOB研究会、2010年6月4日、神戸
- ⑫ 中西郁夫、薬丸晴子、乳井美奈子、大久保敬、松本謙一郎、福原 潔、奥田晴宏、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、伊古田暢夫、Intramolecular Base-Catalysis in the Radical-Scavenging Reaction by Vitamin E Derivatives Bearing a Pyridine Moiety、Experimental Biology 2010、2010年4月28日、米国カリフォルニア州アナハイム
- ⑬ 今井耕平、中西郁夫、安西和紀、小澤俊彦、宮田直樹、奥田晴宏、中村朝夫、福原 潔、強力なラジカル消去活性を有する天然ポリフェノール誘導体の合成、日本薬学会第130年会、2010年3月29日、岡山
- ⑭ 中西郁夫、カビル・ゾーダー、大久保 敬、稲見圭子、松本謙一郎、望月正隆、福原 潔、奥田晴宏、伊古田暢夫、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、フェノール性抗酸化物質に由来するフェノレートアニオンの電子移動反応、日本薬学会第130年会、2010年3月29日、岡山
- ⑮ 中西郁夫、薬丸晴子、乳井美奈子、大久保敬、松本謙一郎、福原潔、奥田晴宏、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、伊古田暢夫、Intramolecular Base-Accelerated Radical- Scavenging Reaction by Vitamin E Derivatives Bearing a Pyridine Moiety、Oxygen Club of California 2010 World Congress、2010年3月17-20日、米国カリフォルニア州サンタバーバラ
- ⑯ 中西郁夫、カビル・ゾーダー、大久保 敬、稲見圭子、松本謙一郎、望月正隆、福原 潔、奥田晴宏、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、ビタミンE類縁体アニオンによる電子移動還元反応、第21回ビタミンE研究会、2010年1月22日、東京
- ⑰ 今井耕平、中西郁夫、安西和紀、小澤俊彦、奥田晴宏、中村朝夫、福原潔、エビガロカテキン誘導体の合成-高い抗酸化能を示すエピ体への期待-、第24回日本酸化ストレス学会関東支部会、2010年1月9日、つくば
- ⑱ 中西郁夫、宇都義浩、大久保敬、松本謙一郎、堀均、福原潔、奥田晴宏、伊古田暢夫、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、Radical-Scavenging Activity of Biosynthetic Precursors of Vitamin E and Their Derivatives、16th Annual Meeting of the Society for Free Radical Biology and Medicine、2009年11月21日、米国カリフォルニア州サンフランシスコ
- ⑲ 中西郁夫、スピニアナリシスによる抗酸化物質のラジカル消去反応機構解明、第48回電子スピンスイエンズ学会年会、2009年、11月12日、神戸
- ⑳ 中西郁夫、伊古田暢夫、松本茂信、大久保敬、稲見圭子、望月正隆、福原 潔、奥田晴宏、松本謙一郎、福住俊一、安西和紀、小澤俊彦、金属イオン存在下におけるビタミンEモデルに由来するフェノキシラジカルのキャラクタリゼーション、第9回AOB研究会、2009年6月19日、京都

〔図書〕(計10件)

- ① 中西郁夫、大久保 敬、稲見圭子、松本謙一郎、望月正隆、カビル・ゾーダー、福原 潔、奥田晴宏、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、非プロトン性溶媒中におけるビタミンE類縁体アニオンによる電子移動還元反応、ビタミンE研究会、ビタミンE研究の進歩XIV、2011年、6ページ(印刷中)
- ② 中西郁夫、稲見圭子、大久保敬、福原潔、奥田晴宏、伊古田暢夫、福住俊一、小澤俊彦、安西和紀、望月正隆、ラジカル消去活性の増強を目的としたビタミンE誘導体の開発、ビタミンE研究会、ビタミンE研究の進歩XIV、2011年、6ページ(印刷中)
- ③ 中西郁夫、伊古田暢夫、松本茂信、大久保敬、稲見圭子、望月正隆、福原 潔、奥田晴宏、松本謙一郎、福住俊一、安西和紀、小澤俊彦、金属イオン存在下におけるビタミンEモデルに由来するフェノキシラジカルのキャラクタリゼーション、AOB

研究会、抗酸化食品の未来像：第9回AOB研究会プロシーディング、2010年、4ページ (pp. 46-49)

- ④ 松本謙一郎、乳井美奈子、上林将人、小澤俊彦、中西郁夫、安西和紀、加温により水中に生じるフリーラジカル、AOB研究会、抗酸化食品の未来像：第9回AOB研究会プロシーディング、2010年、7ページ (pp. 36-42)
- ⑤ 中西郁夫、宇都義浩、大久保 敬、松本謙一郎、永澤秀子、堀 均、福原 潔、奥田晴宏、伊古田暢夫、福住俊一、安西和紀、小澤俊彦、天然抗酸化物質の生合成前駆体およびその類縁体のフリーラジカル消去活性、AOB研究会、抗酸化食品と疾病の予防改善：第8回AOB研究会プロシーディング、2009年、4ページ (pp. 12-15)
- ⑥ 中西郁夫、大久保 敬、宇都義浩、川島知憲、スシュマ・マンダ、福原 潔、奥田晴宏、堀 均、伊古田暢夫、福住俊一、安西和紀、小澤俊彦、天然フェノール性抗酸化物質を基本骨格にした新規抗酸化物質の開発、AOB研究会、活性酸素と疾患：第7回AOB研究会プロシーディング、2009年、4ページ (pp. 15-18)
- ⑦ 中西郁夫、宇都義浩、大久保 敬、川島知憲、スシュマ・マンダ、松本謙一郎、堀 均、福原 潔、奥田晴宏、伊古田暢夫、福住俊一、安西和紀、小澤俊彦、Structure-Activity Relationship in Radical-Scavenging Reactions of Naturally-Oriented Artepillin C Derivatives、International Proceedings、XII Biennial Meeting of the Society for Free Radical Research International、2009年、4ページ (pp. 125-128)
- ⑧ 松本謙一郎、中西郁夫、安西和紀、重粒子線により水中で生じる活性酸素種の検出とその可視化、放射線生物研究会、放射線生物研究、44巻、2009年、13ページ (pp. 343-355)
- ⑨ 中西郁夫、天然性抗酸化物質の化学修飾による新規活性酸素・フリーラジカル消去物質の開発、独立行政法人放射線医学総合研究所、放射線科学、52巻、2009年、3ページ (pp. 17-19)
- ⑩ 中西郁夫、電子スピン共鳴(ESR)方を用いた生体関連酸化還元反応機構の解明、電子スピンサイエンス学会、電子スピンサイエンス、7巻、2009年、6ページ (pp. 20-25)

〔その他〕

表彰

- ① 先端錯体工学研究会奨励賞、フェノール性抗酸化物質のラジカル消去反応における金属イオンの触媒作用、2010年10月15

日、鹿児島

- ② 第9回AOB研究会奨励賞、金属イオン存在下におけるビタミンEモデルに由来するフェノキシラジカルのキャラクタリゼーション、2009年6月19日、京都

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中西 郁夫 (NAKANISHI IKUO)

独立行政法人放射線医学総合研究所・重粒子医学センター・主任研究員

研究者番号：70356137