

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04497

研究課題名(和文) 過酸化脂質の生成機序、疾病への関与機構および食品成分による抑制効果の解明

研究課題名(英文) Elucidation of the mechanism for lipid hydroperoxide generation, its involvement in diseases, and its suppression by dietary components

研究代表者

仲川 清隆 (Kiyotaka, Nakagawa)

東北大学・農学研究科・教授

研究者番号：80361145

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：我々は生体内過酸化脂質の分析法を開発し、脂質過酸化と疾患の関係解明に取り組んできた。本研究では、脂肪酸ヒドロペルオキシドの様々な分子種の高感度・選択的な解析法を確立し、さらに、リン脂質ヒドロペルオキシドの立体異性体解析を初めて達成した。本法の活用により、高脂肪食が誘発する脂質過酸化の機構の一端を動物実験により明らかにした。また、過酸化脂質による細胞機能低下に新規の細胞死であるフェロトーシスが関与し、抗酸化物質である α -トコフェロールによりその細胞死がキャンセルされることを実証した。

研究成果の概要(英文)：We have developed analytical methods of measuring lipid hydroperoxides in vivo and elucidated the link between lipid hydroperoxides and several diseases. In this study, sensitive and selective methods were established for detection of individual molecular species of fatty acid hydroperoxides and stereoisomer of phospholipid hydroperoxides. Using these methods, we clarified the mechanism for lipid oxidation induced by high-fat diet in animal study, and also revealed that ferroptosis, a newly discovered type of programmed cell death, is involved in deterioration of cell function by lipid hydroperoxides and the cell death is attenuated by α -tocopherol treatment.

研究分野：食品科学

キーワード：過酸化脂質 疾病 食品機能 LC-MS/MS

1. 研究開始当初の背景

従来、過酸化脂質は食品油脂の酸化劣化として国内外で研究されてきている。生体過酸化脂質の研究は、ヒトの加齢老化による細胞機能の低下、各種疾病とくに老化性疾患の発症や進行に関わるとして、各領域から注目され広範な研究が進められている。また、食品抗酸化成分による生体脂質過酸化の抑制効果が検証されている。世界的にも食品学、栄養学、薬学、医学の領域で活発に過酸化脂質研究がなされてきているが、過酸化脂質研究の根幹をなす分析手法については、通常、過酸化脂質（一次生成物の脂質ヒドロペルオキシド）の直接分析は困難なため、専ら過酸化脂質の分解物（アルデヒドなどの二次生成物）を検出対象とした TBARS 法や ELISA 法にたよっている。TBARS 法は古くから検出感度と選択性が疑問視されている。ELISA 法は、昨今、エピトープの選択性と検出精度が問題視されている。

このような背景から、解析機能の向上が著しい質量分析法（MS/MS）など、新たな先端分析技術の活用による過酸化脂質“一次生成物”と“二次生成物”のより定量的な解析と、過酸化脂質の生成原因の解明、そしてヒト疾病への関与分子機構（病態増悪化メカニズム）の究明が求められている。我々は過酸化脂質生成の原因（生体酵素、ラジカル、一重項酸素）を特定でき得る高精度な分析法を確立しつつあり（図1）、これにより過酸化脂質の生成原因を特定できれば、それを軽減する食品を選択し活用することで、より効果的な酸化ストレスの低減が実現され、疾病予防に繋がると期待される。

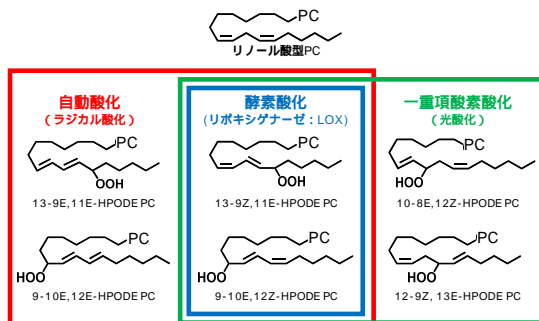


図1. 生体酵素、ラジカル、一重項酸素による酸化過程で生じるリノール酸ヒドロペルオキシドの異性体

2. 研究の目的

これまでに構築してきた過酸化脂質分析法（とくに LC-MS/MS 法）のさらなる高度化を図り、**過酸化脂質分子種・異性体の解析法の向上**を目指す。すなわち、細胞障害や疾病に深く関与する生体過酸化脂質を最先端の質量分析装置を駆使して、分子種レベル（構成脂肪酸ヒドロペルオキシドの種類の違い）、さらには異性体レベル（ヒドロペルオキシドの結合位置や立体異性体の違い）での精密解析と定量を実現する。過酸化脂質の

分子種・異性体レベルの解析は困難なため未だ達成されていないため、この実現により、脂質過酸化の原因（生体酵素、ラジカル、一重項酸素）を詳細に解明でき、細胞障害・疾病発症への過酸化脂質の関与分子機構を理解できるようになる。

確立した分析法を駆使して、疾患の進行・増悪化と脂質過酸化の関与を動物試験により明らかにする。本研究では特に、種々の疾患の原因となる肥満・メタボリックシンドロームに着目し、**肥満・メタボリックシンドロームの進行における生体内の脂質過酸化機構の評価**を実施する。さらに、過酸化脂質による細胞機能の低下の機構解明と食品成分を用いたその抑制効果を細胞実験で検証し、**抗酸化物質が過酸化脂質に誘導される細胞死に与える影響の評価**を目指し、過酸化脂質の生成制御と疾病予防の基盤的解明を図る。以て、高齢社会における老化の予防、加齢や生活習慣による疾病の予防に本研究成果を役立たせ、食品による人々の健康増進を効果的に推進できるようにする。

3. 研究の方法

過酸化脂質分子種・異性体の解析法の向上 -1 脂肪酸ヒドロペルオキシドの異性体解析

これまでに構築してきた過酸化脂質の分子種・異性体解析法をさらに高度化させた。過酸化脂質はもともとなる脂質ごとに様々な種類の分子種が存在する。その中で脂肪酸ヒドロペルオキシド（FAOOH）は種々の過酸化脂質分子種の構成因子であるため、FAOOH の異性体解析法は、種々の過酸化脂質の解析に応用が可能と考えられた。そこで、代表的な FAOOH であるリノール酸ヒドロペルオキシド（HPODE）およびアラキドン酸ヒドロペルオキシド（HPETE）異性体を瞬時に解析できる分析法の開発に取り組んだ。

-2 リン脂質ヒドロペルオキシドの異性体解析

申請者らはすでに、LC-MS/MS 分析によりリン脂質ヒドロペルオキシド（PCOOH）の位置異性体と cis-trans 異性体の分析を可能としている。しかしながら、酵素酸化の関与を評価するために重要な PCOOH の立体異性体（RS 異性体）解析は（図2）、世界的にみても未だ達成されていない。そこで、大豆リポキシゲナーゼとリノール酸を用いて 13(S)-9Z, 11E-HPODE を、リノール酸を自動酸化（40 °C、48 h）させて 13(RS)-9Z, 11E-HPODE を調製し、lysoPC と合成することで酵素酸化由来の 16:0/13(S)-9Z, 11E-HPODE PC と自動酸化由来の 16:0/13(RS)-9Z, 11E-HPODE PC を合成した。これらの標品を用いて、立体異性体の解析に有用と考えられた種々のキラルカラムを用いて PCOOH の RS 異性体解析が可能な LC-MS/MS 分析法の構築を目指した。

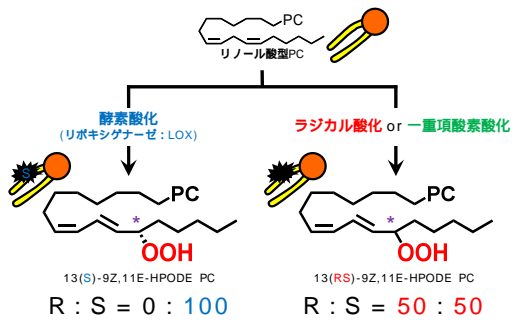


図2. 過酸化脂質の立体異性体解析

肥満・メタボリックシンドロームの進行における生体内の脂質過酸化機構の評価

を含め、申請者らがこれまでに構築してきた過酸化脂質の解析手法を用いて、様々な疾患の原因となる肥満・メタボリックシンドロームと生体内の脂質過酸化機構の解明を目指した。C57BL/6J マウスを普通食で飼育するコントロール群 (CO) と、肥満・メタボリックシンドロームを誘導するために高脂肪食を摂取させた群 (HF) に分け、肥満・メタボリックシンドロームに関連する種々のパラメータと血漿・肝臓中の PCOOH を測定した。

抗酸化物質が過酸化脂質に誘導される細胞死に与える影響の評価

の結果より、生体内の脂質過酸化が疾患と関与することが示唆された。そのため、過酸化脂質が細胞機能の低下に何らかの影響を与えたことが示唆された。過酸化脂質が細胞機能に与える影響として、申請者はこれまでに、培養細胞試験にて細胞内に取り込まれた PCOOH のほとんどが還元物である PCOH へと還元されて細胞内に蓄積する一方、PCOH に還元されずに残存する微量の PCOOH が、細胞死を誘導すること、さらにグルタチオン合成酵素阻害剤 (BSO) により細胞内の抗酸化を抑制することで、この細胞死が顕著となることを明らかにしてきた。また、と関連して過酸化脂質が細胞機能を低下させる可能性があることから、抗酸化物質による酸化抑制が重要であると考えられた。そこで、培養細胞試験により、PCOOH による細胞死に対する、代表的な食品抗酸化物質である γ -Toc の影響を評価した。さらに、PCOOH が誘導する細胞死のメカニズムも検討した。

4. 研究成果

過酸化脂質分子種・異性体の解析法の向上 -1 脂肪酸ヒドロペルオキシドの異性体解析

従来まで FAOOH の解析に広く用いられてきた negative mode では、構造解析に有用な特徴的なフラグメントイオンは検出されなかったが、ナトリウムイオンを活用した positive mode では、特徴的なフラグメントイオンが検出された。これらのフラグメントイオンを詳細に検討し、FAOOH の位置異性体

の解析に有用なフラグメントイオンを同定した(図3)。このフラグメンテーションは、HPODE と HPETE といった脂肪酸種の異なる FAOOH にも有効であることが確認できた。このことから、FAOOH の位置異性体を高感度・高選択的に解析可能な新規解析法を構築した。

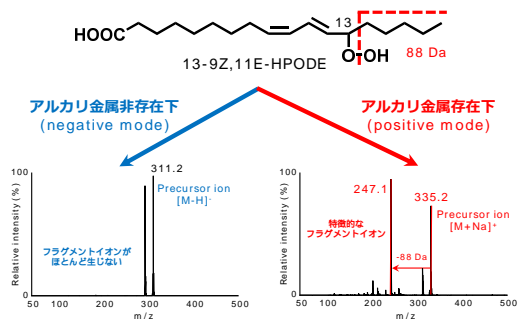


図3. ナトリウムイオン(アルカリ金属イオン)を活用した FAOOH の高感度・高選択的な解析法の構築

-2 リン脂質ヒドロペルオキシドの異性体解析

酵素酸化由来の 16:0/13(S)-9Z,11E-HPODE PC と自動酸化由来の 16:0/13(RS)-9Z,11E-HPODE PC とキラルカラムを用いて、酵素酸化の関与を評価するための立体異性体解析に有用な LC-MS/MS 分析条件を検討した。その結果、16:0/13(RS)-9Z,11E-HPODE PC は CHIRALPAK OP(+)カラムの使用により、明瞭にピーク分割され、PCOOH の立体異性体解析を世界で初めて達成した(図4)。さらに、同条件下において酵素酸化由来の 16:0/13(S)-9Z,11E-HPODE PC を測定すると、確かに S 体の大きなピークが検出された(図4)。本手法をもとに、例えば生体内の PCOOH を本分析法で解析した場合に、リポキシゲナーゼによって酵素的に生じた PCOOH の割合を解析することで、生体における酵素酸化の関与の解明につながると期待される。そこで、本法やこれまでに申請者らが開発してきた過酸化脂質の異性体解析法を駆使して、疾患(肥満・メタボリックシンドローム)と生体の脂質過酸化の関係解明を目指した。

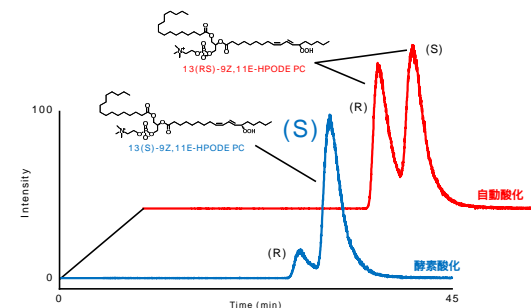


図4. PCOOH の立体異性体解析を達成し、酵素酸化の評価が可能となった

肥満・メタボリックシンドロームの進行における生体内の脂質過酸化機構の評価

これまでの申請者らの開発してきた過酸化脂質の解析手法やでの知見を活用し、肥満・メタボリックシンドロームと生体の脂質過酸化の関係解明を目指した。HF群では内臓脂肪量が顕著に増加し、肥満の発症リスクが増加した。さらに、血中の総コレステロールとリン脂質、グルコース、インスリン濃度が増加した。さらに肝臓でのトリアシルグリセロールや総コレステロール濃度が増加したことから、本研究で作製したモデルは肥満や脂質代謝異常、糖尿病、脂肪肝といった肥満・メタボリックシンドロームモデルとして活用できることが確認できた。そこで、LC-MS/MSを用いて血漿と肝臓おPCOOHを詳細に解析した結果、HF群の血漿と肝臓のいずれでもPCOOHは増加した(図5)。

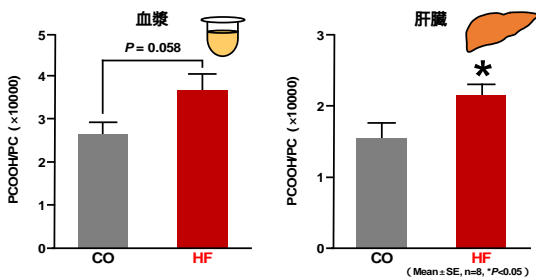


図5. 肥満・メタボリックシンドロームによる生体内の脂質過酸化の亢進

さらに異性体解析により、血中と肝臓では主に自動酸化によって脂質過酸化が亢進していることが示唆された(図6A,B)。さらに肝臓では炎症による一重項酸素酸化も生じていることが明らかとなった(図6C)。このことから、肥満・メタボリックシンドロームにおける酸化ストレス源を代謝物の解析から明らかにすることができた。今後は、脂質過酸化機構を理解することで、それぞれの機構ごとに効果的な食品抗酸化物質を活用することで、過酸化脂質が関与する疾患の予防や改善につながると期待される。特に、肥満・メタボリックシンドロームが危険因子となる動脈硬化症は致死性の高い疾患と知られるとともに、生体の酵素的脂質過酸化が大きく関連すると考えられているが、実際の証明には至っていない。-2で構築した分析手法は酵素酸化の評価に有用であるため、今後-2の手法も活用し、疾患と脂質過酸化のさらなる関係解明が期待される。また、疾患と生体の脂質過酸化が関連することが示唆されたため、細胞実験によってそのメカニズムを明らかにすることを目指した。加えて、過酸化脂質が誘発する細胞機能の低下に対して、抗酸化物質が改善効果を発揮するかを評価した。

抗酸化物質が過酸化脂質に誘導される細胞死に与える影響の評価

過酸化脂質(PCOOH)が細胞機能に与える

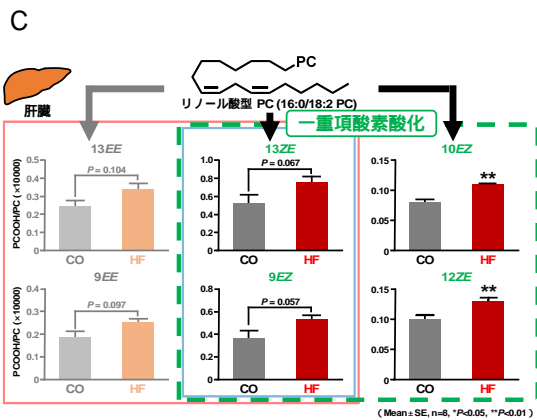
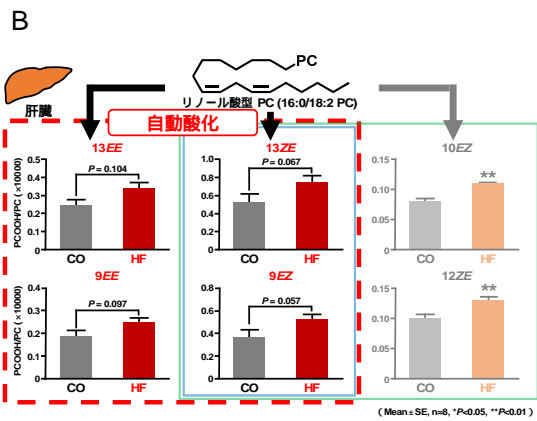
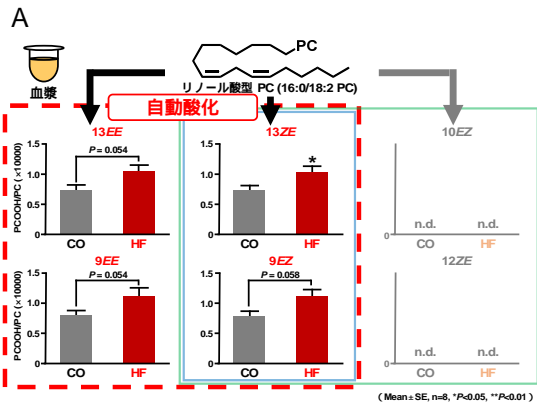


図6. 肥満・メタボリックシンドロームにおける脂質過酸化と自動酸化の関与。血漿での自動酸化由来異性体(A)、肝臓での自動酸化由来異性体(B)、肝臓での一重項酸素酸化由来異性体(C)

影響を評価した。細胞内の抗酸化能を低下させる薬剤であるBSOの存在下ではPCOOHにより顕著な細胞死が誘導された。ここに食品抗酸化物質である-Tocを添加するとこの細胞死は完全にキャンセルされた(図7)。この現象は、ヒト肝癌細胞や内皮細胞などの様々な細胞種においても確認できた。このことから、過酸化脂質によって誘導される細胞死や細胞機能の低下には抗酸化物質が重要であることが示唆された。また、この時の細胞死がアポトーシスと異なる特徴を有していた。そこで、近年新たな細胞死として知られているフェルトーシスと過酸化脂質の関与に着目した。いくつかのフェルトーシスの

阻害剤 (Fer-1、DFO) を同条件で添加したところ、細胞死がキャンセルされた (図7)。すなわち、過酸化脂質が誘導する細胞死にはフェルトーシスが密接に関わっており、今後は -Toc 以外にもこうした細胞死を抑制可能な食品成分を見出し、活用することで脂質過酸化による細胞機能の低下、ひいては、で明らかにしたような生体への悪影響に対する予防法を構築できると期待された。

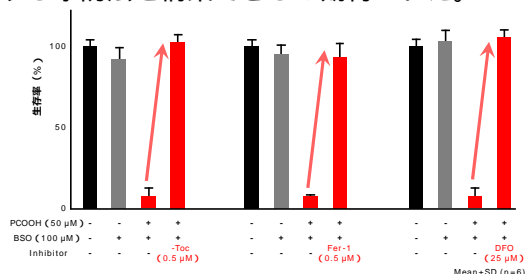


図7. PCOOH がヒト肝癌細胞に誘導する細胞死は -Toc や種々のフェルトーシス阻害剤で緩和される

これらに加え、FAOOHやPCOOH以外にも様々な種類の過酸化脂質の解析手法を構築してきている。今後は、種々の過酸化脂質を生体で解析することで生体老化や疾患と脂質過酸化の関係解明をより詳細に明らかにできると期待される。そして、疾患と過酸化脂質に関するデータベースをさらに充実化させ、データベースの解析から特定の疾病で特徴的に出現する過酸化脂質分子種群を見出すことで、臨床評価指標として活用できるように展開したい。

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9件)

- (1) Kato S, Shimizu N, Hanzawa Y, Otoki Y, Ito J, Kimura F, Takekoshi S, Sakaino M, Sano T, Eitsuka T, Miyazawa T, Nakagawa K. Determination of triacylglycerol oxidation mechanisms in canola oil using liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *npj Sci. of Food*, 2, 1 (2018) 査読有
doi: 10.1038/s41538-017-0009-x
- (2) Ito J, Shimizu N, Kobayashi E, Hanzawa Y, Otoki Y, Kato S, Hirokawa T, Kuwahara S, Miyazawa T, Nakagawa K. A novel chiral stationary phase LC-MS/MS method to evaluate oxidation mechanisms of edible oils. *Sci. Rep.*, 7, 10026 (2017) 査読有
doi: 10.1038/s41598-017-10536-2
- (3) Hayasaka S, Kimura F, Kato S, Shimizu N, Ito J, Higuchi O, Izumisawa K, Miyazawa T, Nakagawa K. High-fat Diet Increases Phospholipid Peroxidation in the Liver of Mature Fischer 344 Rats. *J. Oleo Sci.*, 66, 607-614 (2017) 査読有

doi: 10.5650/jos.ess16225

- (4) Kato S, Iseki T, Hanzawa Y, Otoki Y, Ito J, Kimura F, Miyazawa T, Nakagawa K. Evaluation of the mechanisms of mayonnaise phospholipid oxidation. *J. Oleo Sci.*, 66, 369-374 (2017) 査読有
doi: 10.5650/jos.ess16187
- (5) Shimizu N, Bersabe H, Ito J, Kato S, Towada R, Eitsuka T, Kuwahara S, Miyazawa T, Nakagawa K. Mass spectrometric discrimination of squalene monohydroperoxide isomers. *J. Oleo Sci.*, 66, 227-234 (2017) 査読有
doi: 10.5650/jos.ess16159
- (6) Ito J, Nakagawa K, Kato S, Hirokawa T, Kuwahara S, Nagai T, Miyazawa T. A novel chiral stationary phase HPLC-MS/MS method to discriminate between enzymatic oxidation and auto-oxidation of phosphatidylcholine. *Anal. Bioanal. Chem.*, 408, 7785-7793 (2016) 査読有
doi: 10.1007/s00216-016-9882-4
- (7) Ito J, Nakagawa K, Kato S, Miyazawa T, Kimura F, Miyazawa T. The combination of maternal and offspring high-fat diets causes marked oxidative stress and development of metabolic syndrome in mouse offspring. *Life Sci.*, 151, 70-75 (2016) 査読有
doi: 10.1016/j.lfs.2016.02.089
- (8) Ito J, Mizuochi S, Nakagawa K, Kato S, Miyazawa T. Tandem mass spectrometry analysis of linoleic and arachidonic acid hydroperoxides via promotion of alkali metal adduct formation. *Anal. Chem.*, 87, 4980-4987 (2015) 査読有
doi: 10.1021/acs.analchem.5b00851
- (9) Nakagawa K, Kato S, Miyazawa T. Determination of Phosphatidylcholine Hydroperoxide (PCOOH) as a Marker of Membrane Lipid Peroxidation. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 61, S78-80 (2015) 査読無
doi: 10.3177/jnsv.61.S78

[学会発表](計46件)

- (1) 加藤 俊治, 伊藤 隼哉, 清水 直紀, 宮澤 陽夫, 仲川 清隆 "LC-MS/MS によるリポタンパク脂質の酸化メカニズム" 日本農芸化学会平成29年度大会 (2017年)
- (2) 清水 直紀, 伊藤 隼哉, 加藤 俊治, 永塚 貴弘, 宮澤 陽夫, 仲川 清隆 "ヒト皮脂中のスクアレンヒドロペルオキシド異性体の分析" 第71回日本栄養・食糧学会大会 (2017年)
- (3) 伊藤 隼哉, 三上 優依, 勝野 真美, 加藤 俊治, 永塚 貴弘, 宮澤 陽夫, 仲川 清隆 "リノール酸ヒドロペルオキシドとフェルトーシスの関係解明: 異性体の違いに着目して" 第71回日本栄養・食糧学会

- 大会 (2017 年)
- (4) 小室 麻里菜, 伊藤 隼哉, 加藤 俊治, 宮澤 陽夫, 仲川 清隆 "HPLC-MS/MS を用いたリノール酸エステルヒドロペルオキシド異性体の分析法の構築" 第 71 回日本栄養・食糧学会大会 (2017 年)
 - (5) 伊藤 隼哉, 三上 優依, 勝野 真美, 加藤 俊治, 永塚 貴弘, 宮澤 陽夫, 仲川 清隆 "ビタミン E が過酸化脂質により誘導されるフェロトキシシスに与える影響" 日本ビタミン学会第 69 回大会 (2017 年)
 - (6) 清水 直紀, 伊藤 隼哉, 加藤 俊治, 永塚 貴弘, 宮澤 陽夫, 仲川 清隆 "過酸化脂質の異性体解析を通じた脂質の酸化機構の解明" 第 59 回日本脂質生化学会 (2017 年)
 - (7) 伊藤 隼哉, 三上 優依, 勝野 真美, 加藤 俊治, 永塚 貴弘, 宮澤 陽夫, 仲川 清隆 "過酸化リン脂質 (PCOOH) が誘導する細胞死メカニズムの検証" 第 59 回日本脂質生化学会 (2017 年)
 - (8) 清水 直紀, 伊藤 隼哉, 加藤 俊治, 永塚 貴弘, 宮澤 陽夫, 仲川 清隆 "LC-MS/MS を用いたヒト皮脂中のスクアレン酸化機構の解析" 日本過酸化脂質・抗酸化物質学会第 25 回年会 (2017 年)
 - (9) 加藤 俊治, 清水 直紀, 乙木 百合香, 伊藤 隼哉, 北谷 佳那恵, 永塚 貴弘, 宮澤 陽夫, 竹越 進, 仲川 清隆 "アルカリ金属を使用した脂質過酸化物の解析" 日本過酸化脂質・抗酸化物質学会第 25 回年会 (2017 年)
 - (10) 内野 正, 仲川 清隆, 勝野 真美, 伊藤 隼哉, 永塚 貴弘, 宮澤 陽夫, 秋山 卓美, 五十嵐 良明 "ホスファチジルコリンヒドロペルオキシドの細胞毒性に及ぼす抗酸化物質の影響" 日本過酸化脂質・抗酸化物質学会第 25 回年会 (2017 年)
 - (11) 伊藤 隼哉, 水落 俊介, 加藤 俊治, 仲川 清隆, 宮澤 陽夫 "LC-MS/MS による脂肪酸ヒドロペルオキシドの新規異性体解析法の構築" 日本農芸化学会平成 28 年度大会 (2016 年)
 - (12) 早坂 咲, 加藤 俊治, 木村 ふみ子, 仲川 清隆, 泉澤 勝弘, 宮澤 陽夫 "高脂肪食給与が F344 ラット肝臓過酸化リン脂質 (PCOOH) へ及ぼす影響" 第 70 回日本栄養・食糧学会大会 (2016 年)
 - (13) 三上 優依, 仲川 清隆, 伊藤 隼哉, 鈴木 優里, 内野 正, 宮澤 陽夫 "ヒト肝臓細胞 HepG2 におけるホスファチジルコリンヒドロペルオキシド (PCOOH) の与える影響" 第 70 回日本栄養・食糧学会大会 (2016 年)
 - (14) 伊藤 隼哉, 佐藤 洋介, 加藤 俊治, 木村 ふみ子, 仲川 清隆, 宮澤 陽夫 "生体膜リン脂質過酸化物に着目した肥満における生体内酸化ストレスの評価" 第 70 回日本栄養・食糧学会大会 (2016 年)
 - (15) 加藤 俊治, 佐藤 洋介, 伊藤 隼哉,

- 宮澤 陽夫, 仲川 清隆 "過酸化脂質異性体定量による酸化ストレス発生機序の解明 肥満マウスへの応用" 第 58 回日本脂質生化学会 (2016 年)
- (16) 伊藤 隼哉, 三上 優依, 加藤 俊治, 内野 正, 宮澤 陽夫, 仲川 清隆 "ヒト肝臓癌細胞 HepG2 におけるホスファチジルコリンヒドロペルオキシド (PCOOH) の代謝と生理活性の評価" 第 58 回日本脂質生化学会 (2016 年)
 - (17) 仲川 清隆, 佐藤 洋介, 伊藤 隼哉, 加藤 俊治, 宮澤 陽夫 "肥満マウスにおける酸化ストレス評価: 過酸化リン脂質とビタミン E 分析を通じて" 第 19 回 Vitamin E Update Forum (2016 年)
 - (18) 仲川 清隆, Hannah Bersabe, 清水 直紀, 小舘 愛, 乙木 百合香, 伊藤 隼哉, 加藤 俊治, 宮澤 陽夫 "ナトリウムイオンの付加を利用したヒドロペルオキシドをはじめとする脂質分子の LC-MS/MS 分析" 日本過酸化脂質・抗酸化物質学会 第 24 回年会 (2016 年)
 - (19) Kiyotaka Nakagawa "Phosphatidylcholine hydroperoxide (PCOOH) as a marker of membrane lipid peroxidation" ACN2015 12th Asian Congress of Nutrition (2015 年)
 - (20) 伊藤 隼哉, 仲川 清隆, 加藤 俊治, 永井 利治, 宮澤 陽夫 "ホスファチジルコリンヒドロペルオキシド (PCOOH) の立体選択的解析-PCOOH 生成機序の解明に向けて-" 第 57 回日本脂質生化学会 (2015 年)
- その他学会発表 26 件

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.agri.tohoku.ac.jp/kinoubunshi/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

仲川 清隆 (NAKAGAWA Kiyotaka)
東北大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 80361145

(2) 研究分担者

宮澤 陽夫 (MIYAZAWA Teruo)
東北大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 20157639

内野 正 (UCHINO Tadashi)
国立医薬品食品衛生研究所・生活衛生化学部・主任研究官
研究者番号: 40232863

木村 ふみ子 (KIMURA Fumiko)
尚絅学院大学・健康栄養学科・准教授
研究者番号: 50321980