

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：82609

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23790120

研究課題名（和文）脂質栄養状態を制御する分泌性ホスホリパーゼ A<sub>2</sub> の新しいパラダイム研究課題名（英文）New paradigm for secreted phospholipase A<sub>2</sub> to control lipid metabolism and obesity.

研究代表者

佐藤 弘泰（SATO HIROYASU）

公益財団法人東京都医学総合研究所・生体分子先端研究分野・研究員

研究者番号：50546629

研究成果の概要（和文）：

肥満、インスリン抵抗性などのメタボリックシンドロームは脂質代謝異常や慢性炎症に起因する。我々は肥満マウスのマイクロアレイ解析により、二種の分泌性ホスホリパーゼ A<sub>2</sub>（sPLA<sub>2</sub>-V, IIE）が脂肪細胞に著しく発現誘導されることを見出した。sPLA<sub>2</sub>-V は脂質運搬に関わるリポタンパク質（LDL）中のホスファチジルコリンを分解して高脂血症を改善し、さらに Th2 優位の免疫応答を促進して脂肪組織の炎症を抑制することで、メタボリックシンドロームに対して防御的に作用した。本研究は、過栄養により脂肪細胞に誘導され、全身の代謝状態を制御する「metabolic sPLA<sub>2</sub>s」を発見した初めての成果である。

研究成果の概要（英文）：

Metabolic disorders including obesity and insulin resistance have their basis on dysregulated lipid metabolism and low-grade inflammation. In a microarray search of unique lipase-related genes whose expressions are associated with obesity, we found that two secreted phospholipase A<sub>2</sub> (sPLA<sub>2</sub>) enzymes, PLA2G5 and PLA2G2E, were robustly induced in adipocytes of obese mice. Analyses of *Pla2g5*<sup>-/-</sup> and *Pla2g2e*<sup>-/-</sup> mice revealed distinct and previously unrecognized roles of these sPLA<sub>2</sub>s in diet-induced obesity. PLA2G5 protects from obesity-associated metabolic disorders by normalizing phosphatidylcholine in fat-overladen low-density lipoprotein and by tipping the immune balance toward a Th2-M2 state that counteracts adipose tissue inflammation. Collectively, the identification of “metabolic sPLA<sub>2</sub>s” adds this gene family to a growing list of lipolytic enzymes that act as metabolic coordinators.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：生物系薬学

キーワード：メタボリックシンドローム、ホスホリパーゼ A<sub>2</sub>、リポタンパク質、リン脂質

## 1. 研究開始当初の背景

膜グリセリン脂質から脂肪酸とリゾリン脂質を生成する酵素 PLA<sub>2</sub> には多数の分子種が同定されており、細胞膜中のリン脂質の分解を制御することによりアラキドン酸代謝物に代

表される脂質メディエーターの産生や細胞膜の新陳代謝に関わるものと認識されてきた。しかしながら、細胞膜リン脂質代謝における細胞内 PLA<sub>2</sub> の重要性が広く認知されつつあるのに対し、細胞外に分泌される sPLA<sub>2</sub> 群が実

際に生体内でどのような存在状態のリン脂質を基質としているのか、どのような生体応答に関わるのかについては、ごく最近まで殆ど未解明であった。

古典的な sPLA<sub>2</sub> アイソザイムである sPLA<sub>2</sub>-IIA は、炎症刺激により強く発現誘導される性質から一般に「inflammatory sPLA<sub>2</sub>」と呼ばれ、その主たる機能は感染細菌膜のリン脂質分解による抗細菌作用である (*J Immunol.* 162:7402, 1999)。このことから、他の sPLA<sub>2</sub> アイソザイムについても「inflammatory sPLA<sub>2</sub>」の概念に準じ、炎症や感染防御との関連が主に注目されてきた (*J Exp Med.* 204:865, 2007, *J Immunol.* 179:4800, 2007)。しかしながら、sPLA<sub>2</sub>-IIA 以外のアイソザイムが炎症刺激により顕著に誘導されるという普遍的証拠はなく、如何なる条件で各アイソザイムの発現が制御され、如何なる機能を持つのかについての定見は得られていなかった。

## 2. 研究の目的

膜リン脂質代謝に関わる酵素ホスホリパーゼ A<sub>2</sub> (PLA<sub>2</sub>) には 30 種類以上の分子種が同定されており、このうち約 3 分の 1 は細胞外に分泌される sPLA<sub>2</sub> (secreted PLA<sub>2</sub>) に属する。sPLA<sub>2</sub> は従来、炎症刺激により誘導される性質が強調され、それ故「inflammatory sPLA<sub>2</sub>」の概念が一般に認識されてきた。申請者はごく最近、一部の sPLA<sub>2</sub> アイソザイムが高脂肪食負荷を施したマウスや先天的肥満モデルマウスの脂肪細胞において著しく発現誘導されることを見出した。本研究は、脂肪過栄養により誘導される sPLA<sub>2</sub> の新しい一群「metabolic sPLA<sub>2</sub>」に着目し、メタボリックシンドロームの成因における sPLA<sub>2</sub> の新しい機能とその作用機序を解明することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、metabolic sPLA<sub>2</sub> のメタボリックシンドロームにおける機能ならびに作用メカニズムを解明する。①脂質過栄養により脂肪組織発現変動する脂質代謝酵素を一括同定するために高脂肪食負荷 (HFD) および低脂肪食負荷したマウス内臓脂肪組織のマイクロアレイ解析を行った。②各 sPLA<sub>2</sub> 遺伝子改変マウス (欠損および過剰発現) に HFD を施し、メタボリックシンドロームの表現型を精査する。脂肪細胞で誘導される sPLA<sub>2</sub>-V と -IIE については、リポタンパク質の代謝ならびに脂肪組織の慢性炎症に焦点を当て、メタボリックシンドロームへの寄与を解析する。もって、metabolic sPLA<sub>2</sub> の病態生理学的意義と概念を確立する。

## 4. 研究成果

(1) sPLA<sub>2</sub>-V と sPLA<sub>2</sub>-IIE は肥満マウスの脂肪

細胞に著しく発現誘導される

肥満に伴い発現変動する脂質代謝酵素を一括同定する目的で、HFD および LFD 負荷マウス間で内臓脂肪組織のマイクロアレイ解析を行った。その結果、リパーゼ関連分子群のうち、*Pla2g5*、*Pla2g2e* が HFD 負荷群の脂肪組織に最も著しく発現誘導される遺伝子として同定された。脂肪組織の細胞分画、定量的 PCR、免疫組織染色の結果、両酵素ともに肥大化した脂肪細胞に発現が誘導されることがわかった。

### (2) *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスの解析

HFD 負荷 *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスは肥満が増悪する：HFD 負荷した *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスは WT マウスに比べて体重が有意に増加し、さらに CT Scan の結果、*Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスでは内臓脂肪が増加していた。HFD 負荷 *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスでは WT と比較して血漿インスリン、レプチン濃度が高く、またインスリン抵抗性試験の結果、インスリン感受性が増悪していた。

HFD 負荷 *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスは脂肪細胞肥大化と脂肪肝が増悪する：HFD 負荷 *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスの脂肪細胞は WT マウスよりも肥大化していた。しかしながら、脂肪組織における脂肪分化、脂肪合成、脂肪分解に関わる分子群の遺伝子発現は *Pla2g5* 欠損の影響を受けておらず、*Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスの脂肪細胞肥大化は別の要因に起因することが示唆された。また HFD 負荷 *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスの肝臓では脂肪滴の貯留が WT マウスと比較して顕著であり、脂肪合成および炎症に関わる遺伝子の発現が有意に上昇していた。

HFD 負荷 *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスでは血漿リポ蛋白質の異常蓄積を生じる：脂肪細胞肥大化の要因の一つとして組織間脂質輸送に影響を及ぼすリポ蛋白質の解析を行った。HFD 負荷 *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスでは LDL の脂質成分 (リン脂質、コレステロール、トリグリセリド) が増加していた。質量分析により LDL リン脂質プロファイリングを行った結果、*Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスの LDL では WT よりもオレイン酸またはリノール酸含有ホスファチジルコリン (PC) が多いことが判明した。このことから、肥満により脂肪組織に誘導された sPLA<sub>2</sub>-V は LDL 中の過剰 PC を分解して組織間脂質輸送を正常化しているものと考えられた。

HFD 負荷 *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスでは脂肪組織の炎症が亢進する：インスリン抵抗性は脂肪組織の慢性炎症に起因する。脂肪組織の定量的 PCR および FACS 解析の結果、HFD 負荷 *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスでは炎症性 M1 マクロファージが増加し、抗炎症性 M2 マクロファージが減少していた。更に、HFD 負荷 *Pla2g5*<sup>-/-</sup>マウスの脂肪組織ではマクロファージによる死細胞のクリア

ランスが損なわれており、これが炎症亢進の一因であることが示唆された。このことから sPLA<sub>2</sub>-V は脂肪組織の炎症に対して抑制的に作用することがわかった。

sPLA<sub>2</sub>-V は「Th2/M2-prone sPLA<sub>2</sub>」である：Pla2g5<sup>-/-</sup>マウスは喘息モデルにおいて Th2 応答が低減することが報告されており、一方で Th2 サイトカインはマクロファージの M2 polarization を促進し、脂肪組織の炎症やインスリン抵抗性を抑制することが知られている。マウス骨髄由来マクロファージにおける sPLA<sub>2</sub>-V の発現は、M2 polarization 誘導因子である IL-4, IL-13 により著しく誘導され、逆に M1 polarization 誘導因子 (TLR アゴニスト, Th1 サイトカイン) により抑制された。T 細胞サブセットのうち、sPLA<sub>2</sub>-V は IL-4 により Th2 細胞に発現誘導された。卵白アルブミン (OVA) 感作により Th2 免疫応答を誘導すると、WT リンパ節における sPLA<sub>2</sub>-V の発現は増加し、Pla2g5<sup>-/-</sup>マウスでは血中の総 IgE と OVA 特異的 IgE が WT と比べて減少した。Pla2g5<sup>-/-</sup>マウスの脂肪組織では Th2-M2 誘導サイトカインである IL-33 の発現が低下した。M1 polarization したマクロファージに sPLA<sub>2</sub>-V を添加すると、M2 マーカー Arg1 の発現が増加した。以上より、sPLA<sub>2</sub>-V は Th2 サイトカインにより Th2 細胞や M2 マクロファージに発現誘導され、Th2 免疫応答や M2 polarization を促進し、Th2-M2 優位な免疫環境を生み出す「Th2/M2-prone sPLA<sub>2</sub>」であることが判明した。更に、Pla2g5<sup>-/-</sup>マウスの骨髄移植実験の結果、免疫細胞ではなく非免疫細胞に発現している sPLA<sub>2</sub>-V が肥満の表現型に重要であることがわかった。したがって肥満のプロセスにおいては、sPLA<sub>2</sub>-V は脂肪細胞から分泌され、マクロファージの M2 polarization を促進することで、脂肪組織の炎症に対して抑制的に作用するものと結論した。

#### (3) 脂肪組織特異的 Pla2g5 トランスジェニックマウス (Fabp4-Pla2g5<sup>tg/+</sup>) の解析

sPLA<sub>2</sub>-V は HFD 負荷した脂肪細胞で顕著に発現が誘導されることから、脂肪細胞特異的に sPLA<sub>2</sub>-V を過剰発現させたマウス (Fabp4-Pla2g5<sup>tg/+</sup>) を作製した。Fabp4-Pla2g5<sup>tg/+</sup> は WT と比較して脂肪蓄積が軽微で体重が軽く、LDL のリン脂質が減少し、脂肪組織の炎症マーカー発現が低下しており、Pla2g5<sup>-/-</sup>マウスと逆の表現型を示した。

#### (4) Pla2g2e<sup>-/-</sup>マウスの解析

HFD 負荷 Pla2g2e<sup>-/-</sup>マウスでは脂肪の蓄積、脂肪肝が改善される：HFD 負荷 Pla2g2e<sup>-/-</sup>マウスは WT マウスと比べて体重が減少傾向を示し、

体脂肪率が減少していた。また HFD 負荷 Pla2g2e<sup>-/-</sup>マウスでは WT マウスと比べて肝臓への脂肪滴の貯留が少なく、血清中の ALT や AST が有意に減少しており、脂肪肝が軽減していることがわかった。しかしながら、WAT における脂肪分化・脂肪合成・炎症関連遺伝子の発現は殆ど正常であった。

#### 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 5 件)

1. Miki, Y., Yamamoto, K., Taketomi, Y., Sato, H., Shimo, K., Kobayashi, T., Ishikawa, Y., Ishii, T., Nakanishi, H., Ikeda, K., Taguchi, R., Kabashima, K., Arita, M., Arai, H., Lambeau, G., Bollinger, J.M., Hara, S., Belb, M.K., Murakami, M. Lymphoid tissue phospholipase A<sub>2</sub> group IID resolves contact hypersensitivity by driving anti-inflammatory lipid mediators. *J. Exp. Med.* 210, 1217-1234 (2013). doi: 10.1084/jem.20121887 (査読有り)
2. Taketomi, Y., Ueno, N., Kojima, T., Sato, H., Murase, R., Yamamoto, K., Tanaka, S., Sakanaka, M., Nakamura, M., Nishito, Y., Kawana, M., Kambe, N., Ikeda, K., Taguchi, R., Nakamizo, S., Kabashima, K., Gelb, M.H., Arita, M., Yokomizo, T., Nakamura, M., Watanabe, K., Hirai, H., Nakamura, M., Okayama, Y., Ra, C., Aritake, K., Urade, Y., Morimoto, K., Sugimoto, Y., Shimizu, T., Narumiya, S., Hara, S., Murakami, M. Mast cell maturation is driven via a novel group III phospholipase A<sub>2</sub>-prostaglandin D<sub>2</sub>-DP1 receptor paracrine axis. *Nat. Immunol.* 14, 544-563 (2013). doi: 10.1038/ni.2586 (査読有り)
3. Hwang, S.L., Li, X., Lu, Y., Jin, Y., Jeong, Y.T., Kim, Y.D., Lee, I.K., Taketomi, Y., Sato, H., Cho, Y.S., Murakami, M., Chang, H.W. AMP-activated protein kinase negatively regulates Fc $\cdot$ RI-mediated mast cell signaling and anaphylaxis in mice. *J. Allergy Clin. Immunol.* published online (2013). doi: 10.1016/j.jaci.2013.02.018 (査読有り)
4. Yamamoto, K., Taketomi, Y., Isogai, Y., Miki, Y., Sato, H., Masuda, S., Nishito, Y., Morioka, K., Ishimoto, Y., Suzuki, N., Yokota, Y., Hanasaki, K., Ishikawa, Y., Ishii, T., Kobayashi, T., Fukami,

- K., Ikeda, K., Nakanishi, H., Taguchi, R., Murakami, M. Hair follicular expression and function of group X secreted phospholipase A<sub>2</sub> in mouse skin. *J. Biol. Chem.* 286, 11616-11631 (2011). doi: 10.1074/jbc.M110.206714 (査読有り)
5. Sato, H., Isogai, Y., Masuda, S., Taketomi, Y., Miki, Y., Kamei, D., Hara, S., Kobayashi, T., Ishikawa, Y., Ishii, T., Ikeda, K., Taguchi, R., Ishimoto, Y., Suzuki, N., Yokota, Y., Hanasaki, K., Suzuki-Yamamoto, T., Yamamoto, K., Murakami, M. Physiological roles of group X-secreted phospholipase A<sub>2</sub> in reproduction, gastrointestinal phospholipid digestion, and neuronal function. *J. Biol. Chem.* 286, 11632-11648 (2011). doi: 10.1074/jbc.M110.206755 (査読有り)
- [学会発表] (計 22 件)
1. 佐藤弘泰, 武富芳隆, 山本圭, 小島卓巳, 原俊太郎, 村上誠: メタボリックシンドロームにおける X 型分泌型ホスホリパーゼ A<sub>2</sub> の役割. 第 85 回日本生化学会大会. 2012. 12. 14-16, 福岡. 【鈴木紘一メモリアル賞 (優秀プレゼンテーション賞) 受賞】
  2. 牛田絢子, 佐藤弘泰, 武富芳隆, 山本圭, 小島卓巳, 三木寿美, 小林哲幸, 村上誠: メタボリックシンドロームにおける IID 型、IIE 型分泌型ホスホリパーゼ A<sub>2</sub> の役割. 第 85 回日本生化学会大会. 2012. 12. 14-16, 福岡.
  3. 上野紀子, 武富芳隆, 小島卓巳, 田中智之, 依田恵美子, 佐藤弘泰, 平林哲也, 山本圭, 原俊太郎, 村上誠: マスト細胞を制御するホスホリパーゼ A<sub>2</sub> 分子群の網羅的解析. 第 85 回日本生化学会大会. 2012. 12. 14-16, 福岡.
  4. 山本圭, 佐藤弘泰, 佐藤真利子, 三木寿美, 武富芳隆, 村上誠: 皮膚病態生理機能における IIE 型分泌型ホスホリパーゼ A<sub>2</sub> の役割. 第 85 回日本生化学会大会. 2012. 12. 14-16, 福岡.
  5. Sato H, Taketomi Y, Kojima T, Ushida A, Yamamoto K, Ikeda K, Hara S, Miyata K, Oike Y, Murakami M. PLA2G5, a secreted phospholipase A<sub>2</sub> induced in hypertrophic adipocytes, regulates systemic lipid metabolism and obesity. IEIIS2012. 2012. 10. 23-26, Tokyo, Japan.
  6. Taketomi Y, Ueno N, Kojima T, Tanaka S, Sato H, Nishito Y, Yamamoto K, Sugimoto Y, Hara S, Murakami M. PLA2G3, a mammalian homolog of anaphylactin secreted phospholipase A<sub>2</sub> in bee venom, facilitates proper maturation of mast cells through the paracrine PGD<sub>2</sub> loop. The 12<sup>th</sup> Annual International Endotoxin & Innate Immunity Society (IEIIS) Meeting. 2012. 10. 23-26, Tokyo, Japan.
  7. 武富芳隆, 上野紀子, 小島卓巳, 田中智之, 佐藤弘泰, 山本圭, 有竹浩介, 裏出良博, 杉本幸彦, 成宮周, 原俊太郎, 村上誠: マスト細胞を制御する新しい脂質マシナリー. 第 33 回日本炎症・再生医学会. 2012. 7. 5-6, 福岡.
  8. 武富芳隆, 上野紀子, 小島卓巳, 田中智之, 佐藤弘泰, 西藤泰昌, 山本圭, 有竹浩介, 裏出良博, 杉本幸彦, 成宮周, 原俊太郎, 村上誠: マスト細胞を制御する新しい脂質マシナリー. 第 54 回脂質生化学会. 2012. 6. 7-8, 福岡.
  9. 佐藤弘泰, 武富芳隆, 山本圭, 池田和貴, Arm, J.P., 村上誠: sPLA<sub>2</sub> とメタボリックシンドローム. 新学術領域領域「生命応答を制御する脂質マシナリー」若手ワークショップ. 2012. 2. 2-3, 東京.
  10. 武富芳隆, 小島卓巳, 上野紀子, 佐藤弘泰, 山本圭, 有竹浩介, 裏出良博, 杉本幸彦, 成宮周, 原俊太郎, 村上誠: sPLA<sub>2</sub> とアナフィラキシー. 新学術領域領域「生命応答を制御する脂質マシナリー」若手ワークショップ. 2012. 2. 2-3, 東京.
  11. Sato, H., Taketomi, Y., Yamamoto, K., Ikeda, K., Arm, J.P., Murakami, M.: Secreted phospholipase A<sub>2</sub>s in metabolic syndrome. 第 10 回 JBS バイオフロンティア国際シンポジウム New Aspects of Phospholipid Biology and Medicine 2011. 2011. 11. 14-16, 福岡.
  12. Ushida, A., Sato, H., Yamamoto, K., Ikeda, K., Kobayashi T., Murakami, M.: Secreted phospholipase A<sub>2</sub>s in male reproduction. 第 10 回 JBS バイオフロンティア国際シンポジウム New Aspects of Phospholipid Biology and Medicine 2011. 2011. 11. 14-16, 福岡.
  13. Taketomi, Y., Kojima, T., Ueno, N., Sato, H., Yamamoto, K., Aritake, K., Urade, Y., Sugimoto, Y., Narimiya, S., Murakami, M.: Secreted phospholipase A<sub>2</sub>s in anaphylaxis. 第 10 回 JBS バイオフロンティア国際シンポジウム New Aspects of Phospholipid Biology and Medicine 2011. 2011. 11. 14-16, 福岡.
  14. Yamamoto, K., Taketomi, Y., Miki, Y., Sato, H., Ikeda, K., Nakanishi, H., Taguchi, R., Murakami, M.: Hair follicular expression and function of group X secreted phospholipase A<sub>2</sub> in

- mouse skin. The 8<sup>th</sup> GERLI Lipidomics meeting. 2011.10.26-28, Lyon, France.
15. 佐藤弘泰, 武富芳隆, 池田和貴, 田口良, 山本登志子, 山本圭, 村上誠: X型分泌性ホスホリパーゼ A<sub>2</sub>の消化、神経機能、体毛形成における新規機能. 第84回日本生化学会大会. 2011.9.21-24, 京都.
  16. 牛田絢子, 佐藤弘泰, 池田和貴, 山本圭, 小林哲幸, 村上誠: X型分泌性ホスホリパーゼ A<sub>2</sub>の生殖における新規機能. 第84回日本生化学会大会. 2011.9.21-24, 京都.
  17. Murakami, M., Sato, H., Taketomi, Y., Yamamoto, K.: Getting new insights into the functions of sPLA<sub>2</sub>s. 12<sup>th</sup> International conference "Bioactive lipids in cancer, inflammation, and related diseases" 2011.9.18-21, Seattle, Washington, USA.
  18. Lambeau, G., Jemel, I., Escoffier, J., Ait-Oufella, H., Li, H., Guillaume, C., Gora, S., Surrel, F., Coatrieux, C., Payre, C., Tanemoto, A., Taketomi, Y., Sato, H., Yamamoto, K., Arnoult, C., Mallat, Z., Gelb, M. H., Deregnaucourt, C., Ninio, E., Karabina, S., Muramaki, M.: Biology of group X secreted phospholipase A<sub>2</sub>: from physiology to cancer and inflammatory diseases. 12<sup>th</sup> International conference "Bioactive lipids in cancer, inflammation, and related diseases" 2011.9.18-21, Seattle, Washington, USA.
  19. Sato, H., Taketomi, Y., Ikeda, K., Arm, J. P., Murakami, M.: An adipokine-like phospholipase A<sub>2</sub> from hypertrophied adipocytes controls lipid metabolism and obesity. 12<sup>th</sup> International conference "Bioactive lipids in cancer, inflammation, and related diseases" 2011.9.18-21, Seattle, Washington, USA.
  20. Sato, H., Taketomi, Y., Yamamoto, K., Murakami, M.: Roles of multiple sPLA<sub>2</sub> enzymes in obesity, hepatic steatosis, insulin tolerance, lipoprotein metabolism and adipose inflammation. The 30<sup>th</sup> Naito conference on membrane dynamics and lipid biology [II]: domains, droplets and diseases. 2011.6.28-7.1, 札幌.
  21. 山本圭, 武富芳隆, 三木寿美, 佐藤弘泰, 池田和貴, 中西広樹, 田口良, 村上誠: 外根鞘に局在する sPLA<sub>2</sub>-X は体毛の恒常性維持に関与する. 第53回日本脂質生化学会. 2011.5.12-13, 東京.
  22. 佐藤弘泰, 武富芳隆, 山本圭, 磯貝有紀, 石川由紀雄, 石井壽晴, 原俊太郎, 村上

誠: 脂肪過栄養により誘導される sPLA<sub>2</sub>-V は全身的な脂質代謝異常を制御する. 第53回日本脂質生化学会. 2011.5.12-13, 東京.

[その他]  
ホームページ等  
<http://www.igakuken.or.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 弘泰 (SATO HIROYASU)  
公益財団法人東京都医学総合研究所・  
生体分子先端研究分野・研究員  
研究者番号: 50546629

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし