

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 8 月 29 日現在

機関番号：32660

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23658061

研究課題名（和文）

オートファジーを介したイネの新規種子形成制御機構の解明とその応用

研究課題名（英文）

Roles of autophagy during male reproductive development in rice

研究代表者 朽津 和幸 (KUCHITSU KAZUYUKI)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：50211884

研究成果の概要（和文）：

多くの真核生物において、発生の様々な段階でオートファジーが重要な役割を果たすが、植物の発生における役割は未解明の点が多い。イネのオートファジー動態の可視化実験系を確立し、イネのオートファジー欠損変異体を単離した。ホモ変異体は、シロイヌナズナの同様の変異体と異なる表現型を示すことを見出し、電子顕微鏡法等による解析の結果、オートファジーがイネの雄性生殖器官の発生過程で重要な役割を果たすことを発見した。

研究成果の概要（英文）：

Autophagy, one of the major catabolic pathways in eukaryotic cells, plays roles in recycling of proteins and metabolites by delivering cytoplasmic components and organelles to the degradation compartments such as lysosomes and the vacuole. In many eukaryotes, autophagy has also been shown to be essential for growth and development. However, direct involvement of autophagy during plant developmental process had not yet been addressed. We here isolated a rice retrotransposon-insertional mutant defective in an autophagy-related gene. We also established an *in vivo* imaging system of the dynamics of autophagy in rice, and found that autophagy is impaired in the mutant. Morphological and molecular genetic analyses suggest that autophagy plays critical roles during anther development in rice.

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	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：植物分子細胞生物学・農学

科研費の分科・細目：農芸化学・植物栄養学・土壌学

キーワード：オートファジー、イネ、花粉、雄性生殖器官、発生、オートファゴソーム、不稔、穀物

1. 研究開始当初の背景

オートファジー(自食作用)は、細胞質成分を細胞内分解コンパートメントである液胞に輸送して分解する、真核細胞に普遍的な細胞内分解システムの1つである。近年のシロイヌナズナに代表される植物 ATG 因子群(オートファジー実行因子)の解析により、栄養飢餓や老化過程、プログラム細胞死等の多様な生理現象に関与することが判明している。しかしながら、哺乳動物と異なり、植物の生活

環に対する直接的な影響は全く報告されていない。多くの真核生物において、発生や分化の様々な段階でオートファジーが重要な役割を果たすことが報告されているが、植物の発生や分化におけるオートファジーの役割についてはほとんど全く未解明であった。

2. 研究の目的

オートファジーが栄養の供給源としての役割を有していることを踏まえ、農業上重要

でありながら、未解明な部分が多いイネ種子の形成及び発達過程に関与する新規栄養供給源としてのオートファジー機構の役割を明らかにする。

イネに代表される穀物の種子形成過程においては、種子へのエネルギー供給が重要であることは周知の事実である。実際、低温に代表されるようなストレス影響下においては、エネルギー供給不足により、種子の稔実率が著しく低下することが、大きな農業上の問題となっている。しかしながら、抜本的な対策は開発されていない。酵母や動物細胞研究で、オートファジーの主要な機能はタンパク質及びエネルギーの大規模なリサイクルであることが明らかになっている。イネにおいて、オートファジーを介した穂へのエネルギー輸送(物質輸送含む)が種子形成過程に重要な役割を担うとの作業仮説を検証する。

3. 研究の方法

イネのレトロトランスポゾン挿入による *ATG* 遺伝子群の破壊株を単離した。*OsATG8* と *GFP* との融合タンパク質を発現させたイネ培養細胞株を作成し、イネのオートファジー過程の解析系を構築した。オートファジー能を欠損していることが明らかになった変異体について、遺伝学的、形態学的、細胞生物学的解析を進め、その表現型を解析した。

4. 研究成果

イネの *OsATG7* 破壊株を単離した。イネにおけるオートファジー動態の可視化実験系を確立した。*Osatg7* 欠損変異体においてオートファジー機構が欠損していることを確認した。オートファジー欠損ホモ変異体は、シロイヌナズナと同様の変異株と異なり、不稔の表現型を示した。交雑実験により、雄性不稔であることが示された。電子顕微鏡法等による、野生型株とオートファジー欠損変異体における、雄性生殖器官の発生過程の各組織のオートファジー動態の比較解析を進めた結果、オートファジーがイネの雄性生殖器官の発生過程において決定的に重要な役割を果たすことを発見した。

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 27 件)

1) Kurusu T, Saito K, Horikoshi S, Hanamata S, Negi J, Yagi C, Kitahata N, Iba K, Kuchitsu K (2013) An S-type anion channel *SLAC1* is involved in cryptogein-induced ion fluxes and

modulates hypersensitive responses in tobacco BY-2 cells. *PLOS ONE* 8(8):e70623. doi:

10.1371/journal.pone.0070623

- 2) Kawarazaki T, Kimura S, Iizuka A, Hanamata S, Nibori H, Michikawa M, Imai A, Abe M, Kaya H, Kuchitsu K (2013) A low temperature-inducible protein *AtSRC2* enhances the ROS-producing activity of NADPH oxidase *AtRbohF*. *Biochim Biophys Acta-Mol. Cell Res.* 1833: 2775-2780. doi: 10.1016/j.bbamcr
- 3) Dadacz-Narloch B, Kimura S, Kurusu T, Farmer EE, Becker D, Kuchitsu K, Hedrich R (2013) On the cellular site of two-pore channel *TPC1* action 1 in the Poaceae. *New Phytologist in press*. doi: 10.1111/nph.12402.
- 4) Oka K, Amano Y, Katou S, Seo S, Kawazu K, Mochizuki A, Kuchitsu K, Mitsuhara I (2013) Tobacco MAP kinase phosphatase (*NtMKP1*) negatively regulates wound response and induced resistance against necrotrophic pathogens and lepidopteran herbivores. *Mol. Plant-Microbe Interact* 26(6):668-75. doi: 10.1094/MPMI-11-12-0272-R
- 5) Drerup M, Schlücking K, Hashimoto K, Manishankar P, Steinhilber L, Kuchitsu K, Kudla J. (2013) The calcineurin B-like calcium sensors *CBL1* and *CBL9* together with their interacting protein kinase *CIPK26* regulate the Arabidopsis NADPH oxidase *RBOHF*. *Mol. Plant* 6(2): 559-569. doi: 10.1093/mp/sst009
- 6) Suzuki N, Imai LF, Kato K, Nagata K, Ohashi Y, Kuchitsu K, Tanokura M, Sakamoto A, Nara M, Nakano M, Yonezawa N (2013) Coordination structures of Mg^{2+} and Ca^{2+} in three types of tobacco calmodulins in solution: Fourier-transform infrared spectroscopic studies of side-chain COO^- groups. *Biopolymers* 99(7):472-83. doi: 10.1002/bip.22203.
- 7) Kurusu T, Kuchitsu K*, Nakano M, Nakayama Y, Iida H* (2013) Plant mechanosensing and Ca^{2+} transport. *Trends in Plant Sci.* 18: 227-233. (*co-corresponding authors) DOI: 10.1016/j.tplants.2012.12.002
- 8) Kimura S[#], Kawarazaki T[#], Nibori H, Michikawa M, Imai A, Kaya H*, Kuchitsu K* (2012) The CBL-interacting protein kinase *CIPK26* is a novel interactor of Arabidopsis NADPH oxidase *AtRbohF* that negatively modulates its ROS-producing activity in a heterologous expression system.

- J. Biochem.* (2013) 153 (2): 191-195. doi: 10.1093/jb/mvs132
- 9) Hanamata S, Kurusu T, Okada M, Suda A, Kawamura K, Tsukada E, Kuchitsu K (2013) *In vivo* imaging and quantitative monitoring of autophagic flux in tobacco BY-2 cells. *Plant Signal. Behav.* 8(1): e22510. doi: 10.4161/psb.22510.
 - 10) Kurusu T, Hamada H, Koyano T, Kuchitsu K (2012) Intracellular localization and physiological function of a rice Ca²⁺-permeable channel OsTPC1. *Plant Signal. Behav.* 7(11): 1428-1430. DOI: 10.4161/psb.22086
 - 11) Takahashi S[#], Kimura S[#], Kaya H[#], Iizuka A, Wong HL, Shimamoto K, Kuchitsu K (2012) Reactive oxygen species production and activation mechanism of the rice NADPH oxidase OsRbohB. *J. Biochem.* 152(1):37-43 DOI:10.1093/jb/mvs044
 - 12) Morita Y, Saito R, Ban Y, Tanikawa N, Kuchitsu K, Ando T, Yoshikawa M, Habu Y, Ozeki Y, Nakayama M. (2012) Tandemly arranged chalcone synthase A genes contribute to the spatially regulated expression of siRNA and the natural bicolor floral phenotype in *Petunia hybrida*. *Plant J.* 70(5): 739-749 doi: 10.1111/j.1365-313X.2012.04908.x.
 - 13) Kurusu T, Iida H, Kuchitsu K (2012) Roles of a putative mechanosensitive plasma membrane Ca²⁺-permeable channel OsMCA1 in generation of reactive oxygen species and hypo-osmotic signaling in rice. *Plant Signal. Behav.* 7(7): 796 - 798. DOI 10.4161/psb.20521
 - 14) Hamada H[#], Kurusu T[#], Okuma E, Nokajima H, Kiyoduka M, Koyano T, Sugiyama Y, Okada K, Koga J, Saji H, Miyao A, Hirochika H, Yamane H, Murata Y, Kuchitsu K (2012) Regulation of a proteinaceous elicitor-induced Ca²⁺ influx and production of phytoalexins by a putative voltage-gated cation channel, OsTPC1, in cultured rice cells. *J Biol. Chem.* 287(13): 9931–9939. DOI 10.1074/jbc.M111.337659
 - 15) Kurusu T, Nishikawa D, Yamazaki Y, Gotoh M, Nakano M, Hamada H, Yamanaka T, Iida K, Nakagawa Y, Saji H, Shinozaki K, Iida H, Kuchitsu K (2012) Plasma membrane protein OsMCA1 is involved in regulation of hypo-osmotic shock-induced Ca²⁺ influx and modulates generation of reactive oxygen species in cultured rice cells. *BMC Plant Biology* 12:e11 doi:10.1186/1471-2229-12-11
 - 16) Kurusu T, Yamanaka T, Nakano M, Takiguchi A, Ogasawara Y, Hayashi T, Iida K, Hanamata S, Shinozaki K, Iida H, Kuchitsu K (2012) Involvement of the putative Ca²⁺-permeable mechanosensitive channels, NtMCA1 and NtMCA2, in Ca²⁺ uptake, Ca²⁺-dependent cell proliferation and mechanical stress-induced gene expression in tobacco (*Nicotiana tabacum*) BY-2 cells. *J Plant Res.* 125(4):555-68. DOI: 10.1007/s10265-011-0462-6
 - 17) Kawaguchi Y, Nishiuchi T, Kodama H, Nakano T, Nishimura K, Shimamura K, Yamaguchi K, Kuchitsu K, Shinshi H, Suzuki K (2012) Fungal elicitor-induced retardation and its restoration of root growth in tobacco seedlings. *Plant Growth Regulation* 66(1): 59–68. DOI 10.1007/s10725-011-9629-3
 - 18) Kimura S, Kaya H, Kawarazaki T, Hiraoka G, Senzaki E, Michikawa M, Kuchitsu K (2012) Protein phosphorylation is a prerequisite for the Ca²⁺-dependent activation of Arabidopsis NADPH oxidases and may function as a trigger for the positive feedback regulation of Ca²⁺ and reactive oxygen species. *Biochimica et Biophysica Acta -Molecular Cell Research* 1823(2):398-405. doi: 10.1016/j.bbamcr.2011.09.011
 - 19) Dadacz-Narloch B, Beyhl D, Larisch C, López-Sanjurjo EJ, Reski R, Kuchitsu K, Müller T, Becker D, Schoenknecht G and Hedrich R (2011) A novel calcium binding site in the slow vacuolar cation channel TPC1 senses luminal calcium level. *Plant Cell* 23(7): 2696-2707. doi:10.1105/tpc.111.086751
 - 20) Nambara E, Kuchitsu K (2011) Opening a New Era of ABA Research. *J. Plant Res.* 124(4): 431-435 (DOI 10.1007/s10265-011-0437-7)
 - 21) Ohno R, Kadota Y, Fujii S, Sekine M, Umeda M, Kuchitsu K (2011) Cryptogein-induced cell cycle arrest at G2 phase is associated with inhibition of cyclin-dependent kinases, suppression of expression of cell cycle-related genes and protein degradation in synchronized tobacco BY-2 cells. *Plant Cell Physiol.* 52(5): 922-932 doi:10.1093/pcp/pcr042.
 - 22) Higaki T, Kurusu T, Hasezawa S, Kuchitsu K (2011) Dynamic reorganization and function of the cytoskeleton and vacuoles in defense responses and programmed cell death. *J. Plant Res.* 124(3):315-324 DOI: 10.1007/s10265-011-0408-z
 - 23) Kurusu T, Hamada H, Sugiyama Y, Yagala T, Kadota Y, Furuichi T, Hayashi T, Umemura K, Komatsu S, Miyao A, Hirochika H, Kuchitsu K (2011) Negative Feedback Regulation of

- Microbe-Associated Molecular
Pattern-Induced Cytosolic Ca²⁺ Transients
by Protein Phosphorylation. *J. Plant Res.*
124(3): 415-424. DOI:
10.1007/s10265-010-0388-4
- 24) 松井藤五郎, 賀屋秀隆, 大和田勇人, 朽
津和幸 (2012) プロファイル HMM に
基づくタンパク質相同性検索システム
HMMER の複数ドメインへの拡張. 第
74 回情報処理学会全国大会講演論文集,
第 4 分冊, pp. 489-490.
- 25) 朽津和幸 (2011) 植物の生き方と情
報ネットワーク 素粒子論研究
10(1): 210-217
- 26) 来須孝光, 朽津和幸 (2011) 植物の免疫
力を高め病気に強くする 科学フォー
ラム 328: 15-17.
- 27) 来須孝光, 朽津和幸 (2011) 植物の免疫
制御機構-情報素子としてのカルシウム
イオンの役割- 科学フォーラム 322:
44-49.
- [学会発表] (計 82 件;以下主要なもののみ)
- 1) Puli MR, Okada M, Kurusu T, Saito K,
Raghavendra AS, Kuchitsu K (2012).
Involvement of reactive oxygen species,
nitric oxide and intracellular pH change in
stress signal transduction of plants. "RNA
Research Symposium" Noda, Chiba,
Japan. June 18, 2012.
- 2) Murakawa H, Kuchitsu K, Ishikawa M
Effect of abscisic acid on freezing
behavior in rice seedlings. Plant and
Microbe Adaptations to Cold: Toward risk
assessment and management of
sustainable agriculture in the cool and cold
regions. Hokkaido University June
24-28, 2012
- 3) 朽津和幸 「植物の Ca²⁺-活性酸素シグ
ナルネットワークと RNA 発現の制御」
シンポジウム「RNA 科学の現状と将来」
2012年6月18日 東京理科大学 招待
講演
- 4) Kuchitsu K Regulation and physiological
significance of production of reactive
oxygen species mediated by multiple
isozymes of NADPH oxidases in plants.
The 33rd Naito Conference on Oxygen
Biology: Hypoxia, Oxidative Stress and
Diseases. 2012.6.26~29 シャトレーゼ
ガトーキングダムサッポロ
- 5) M. Okada, S. Hanamata, T. Kurusu, K.
Kawamura, K. Kuchitsu Suppression of
autophagosome formation by cryptogein, a
proteinaceous elicitor from an oomycete,
in tobacco BY-2 cells. XV International
Congress on Molecular Plant-Microbe
Interactions 国立京都国際会館 2012年
7月29日~8月2日
- 6) T. Kurusu, K. Saito, S. Horikoshi, S.
Hanamata, J. Negi, K. Iba, K. Kuchitsu
Roles of an S-type anion channel SLAC1
in the regulation of cryptogein-induced
initial responses and hypersensitive cell
death in tobacco BY-2 cells. XV
International Congress on Molecular
Plant-Microbe Interactions 国立京都国際
会館 2012年7月29日~8月2日
- 7) K.Kuchitsu, H. Hamada, T. Kurusu, E.
Okuma, Y. Murata, K. Okada, H. Yamane
Regulation of elicitor-induced Ca²⁺ influx
and phytoalexin production by a
voltage-gated Ca²⁺ permeable channel
OsTPC1 in rice. XV International
Congress on Molecular Plant-Microbe
Interactions 国立京都国際会館 2012年
7月29日~8月2日
- 8) 朽津和幸 植物の活性酸素-Ca²⁺シグナ
ルネットワーク 植物バイオサイエン
スサマーセミナー 大阪府立大学
2012.8.24
- 9) 小谷野智子, 来須孝光, 花俣繁, 八
木智華子, 池田晃子, 野口祐平, 永田
典子, 朽津和幸 イネにおけるオートフ
ァジー動態の可視化と生理機能の解析
第21回日本バイオイメージング学会学
術集会 国立京都国際会館 2012年8
月26日~8月28日
- 10) Koyano T, Kurusu T, Hanamata S, Kubo
T, Noguchi Y, Yagi C, Nagata N, Ohnishi
T, Kinoshita T, Kurata N, Kuchitsu K.
Roles of autophagy in male reproductive
development and fertilization in rice.
International Symposium on the
Mechanisms of Sexual Reproduction in
Animals and Plants. 名古屋市
2012.11.12-11.16 招待講演
- 11) Kuchitsu K Ca²⁺-ROS Signaling Network
Regulating Innate Immunity, Programmed
Cell Death and Development in Plants.
International Marchantia Workshop 2012,
Aso, Kumamoto 2012.11.15-11.17 招待
講演
- 12) Yabuta S, T. Yamada, S. Kimura, T.
Kawarazaki, A. Iizuka, H. Kaya,
T. Kurusu, K. Ishizaki, R. Nishihama, T.
Kohchi, K. Kuchitsu Regulation and
physiological roles of NADPH
oxidase-mediated production of reactive
oxygen species in angiosperms and
bryophytes. International Marchantia
Workshop 2012, Aso, Kumamoto
2012.11.15-11.17

- 13) Kimura S, Kaya H, Kuchitsu K Regulation of ROS-producing activity of NADPH oxidases by binding of Ca^{2+} , phosphorylation and novel interacting proteins in Arabidopsis and rice. The 4th NIBB-MPIPZ-TLL Symposium "Arabidopsis and emerging model systems" 岡崎コンファレンスセンター 2012.11.19-11.21
- 14) Iizuka A, Kawarazaki T, Kimura S, Kaya H, Kuchitsu K Comparative characterization of 10 isozymes of Arabidopsis thaliana NADPH oxidase AtRbohA-J. The 4th NIBB-MPIPZ-TLL Symposium "Arabidopsis and emerging model systems" 岡崎コンファレンスセンター 2012.11.19-11.21
- 15) N. Ito, T. Kubota, H. Hamada, R. Tamauchi, Y. Sakakibara, K. Miyanabe, T. Kinoshita, K. Kuchitsu Elicitor-induced defense responses involve inactivation of the plasma membrane H^+ -ATPase and cellular pH changes in tobacco and rice cultured cells. The 4th NIBB-MPIPZ-TLL Symposium "Arabidopsis and emerging model systems" 岡崎コンファレンスセンター 2012.11.19-11.21
- 16) Horikoshi S, T. Kurusu, K. Saito, S. Hanamata, J. Negi, K. Iba, K. Kuchitsu An S-type anion channel SLAC1 is involved in cryptogein-induced Cl^- efflux and modulates immune responses and hypersensitive cell death in tobacco BY-2 cells. The 4th NIBB-MPIPZ-TLL Symposium "Arabidopsis and emerging model systems" 岡崎コンファレンスセンター 2012.11.19-11.21
- 17) 朽津和幸 「植物のオートファジー(細胞内自食作用)動態の可視化解析」イメージングフロンティアシンポジウム 2012 東京理科大学 2012.12.22 招待講演
- 18) 花俣 繁、来須孝光、岡田全朗、朽津和幸 「タバコ培養細胞 BY-2 におけるオートファジーフラックスの *in vivo* イメージングと定量的モニタリング」イメージングフロンティアシンポジウム 2012 東京理科大学 2012.12.22 招待講演
- 19) 岡田全朗、花俣繁、林彰吾、曾我公平、朽津和幸 「植物の自家蛍光フリー *in vivo* 近赤外蛍光イメージング: 蛍光ナノ粒子動態の観察」イメージングフロンティアシンポジウム 2012 東京理科大学 2012.12.22
- 20) 北畑信隆、来須孝光、八木智華子、朽津和幸 植物の免疫力を高める化合物の探索 平成 24 年度次世代データマイニング研究フォーラム 東京理科大学 2013.3.14 招待講演
- 21) 朽津和幸 植物のシグナルネットワークを視る TX Alliance Imaging Symposium 2013 筑波大学 2013.3.19 招待講演
- 22) 鈴木石根、朽津和幸 進化的視点からシグナル伝達系を考える—シアノバクテリアから高等植物まで シンポジウム 日本植物生理学会 岡山大学 2013.3.21-3.23 招待講演
- 23) 朽津和幸、来須孝光、北畑信隆、木村幸恵、河原崎朋子、賀屋秀隆 植物のシグナル伝達系におけるイオン・活性酸素種の役割 シンポジウム「進化的視点からシグナル伝達系を考える—シアノバクテリアから高等植物まで」日本植物生理学会 岡山大学 2013.3.21-3.23 招待講演
- 24) Kazuyuki Kuchitsu, Shigeru Hanamata, Masaaki Okada, Takamitsu Kurusu Dynamics of Autophagy in Defense Responses in Tobacco BY-2 Cells Revealed by *in vivo* Imaging and Quantitative Monitoring of Autophagic Flux. International Workshop on Plant Membrane Biology 倉敷 2013.3.26-3
- 25) Kuchitsu K, Hamada H, Kurusu T REGULATION OF ROS PRODUCTION IN EARLY SIGNALING NETWORK IN INNATE IMMUNITY IN CULTURED PLANT CELLS. 10th International Conference on Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Plants July 5-8, 2011, Budapest, Hungary. 招待講演
- 26) 朽津和幸 シグナルネットワークの制御による植物免疫の活性化 日本農芸化学会藪田セミナー 東京大学 2011.7.14 招待講演
- 27) 朽津和幸、花俣繁、来須孝光 植物免疫の制御とオートファジー—培養細胞からのアプローチ— 日本植物細胞分子生物学会シンポジウム「植物のオートファジーと老化プロセス」九州大学 2011.9.6-8 招待講演
- 28) 朽津和幸、濱田晴康、来須孝光、賀屋秀隆 植物の Ca^{2+} -活性酸素シグナルネットワーク 日本植物学会第 75 回大会シンポジウム「植物の Ca^{2+} シグナリング—園芸学への展開—」東京大学 2011.9.17-19 招待講演

- 29) Kazuyuki Kuchitsu, Eiji Nambara
Opening a New Era of ABA Research
日本植物学会シンポジウム「Opening a
New Era of ABA Reserch～Journal of
Plant Research 特集号の出版を記念して
～」 東京大学 2011.9.17-19 招待講演
- 30) 朽津和幸 植物の生老病死の化学制御
第84回日本生化学会大会 シンポジウ
ム「植物の生老病死の化学制御」
2011.9.21-24 国立京都国際会館 招待
講演
- 31) 朽津和幸、来須孝光 シグナルネット
ワークの制御による植物免疫の活性化
第84回日本生化学会大会シンポジウム
2011.9.21-24 国立京都国際会館 招待
講演
- 32) 朽津 和幸, 来須 孝光 Chemical
regulation of defense signaling network and
immune responses in plants 2012.3.17 日本
植物生理学会シンポジウム 招待講演

〔図書〕(計5件)

- 1) Koyano K, Kurusu T, Hanamata S, Kuchitsu K (2013) Regulation of vacuole-mediated programmed cell death during innate immunity and reproductive development in plants. In: Sawada H, Inoue N, Iwano M (Eds.) Sexual Reproduction in Animals and Plants, Springer, *in press*.
- 2) Kurusu T, Kimura S, Tada Y, Kaya H, Kuchitsu K (2013) Plant signaling networks involving reactive oxygen species and Ca²⁺. In Reactive Oxygen Species (ROS): Formation Mechanisms, Physiological Roles and Common Harmful Effects. Nova Science Publishers, Inc. NY, USA, *in press*
- 3) Kuchitsu K (2013) Signaling Networks involving reactive oxygen species and Ca²⁺ in Plants. In: *QUANTUM BIO-INFORMATICS V* Accardi L, Freudenberg W, Ohya M (Eds.), World Scientific, pp. 403-407.
- 4) Kurusu T, Kuchitsu K (2011) Signaling Network of Environmental Sensing and Adaptation in Plants: Key roles of Calcium Ion., In: *QUANTUM BIO-INFORMATICS IV From Quantum Information to Bio-Informatics*. edited by Accardi, L., Freudenberg, W., Ohya, M., World Scientific, pp. 427-436
- 5) 朽津和幸、来須孝光、濱田晴康 (2011) 植物の免疫制御における情報素子とシグナルネットワーク 量子論から見る情報と生命の研究 2011 pp. 102-107

〔産業財産権〕

○出願状況 (計2件)

1) 名称 : METHOD OF SCREENING FOR PLANT DEFENSE ACTIVATORS, PLANT DEFENSE ACTIVATORS, AND METHOD OF ENHANCING IMMUNE RESPONSE.

発明者 : Kuchitsu K, Kurusu T

権利者 : 東京理科大学

種類 : PCT 出願

番号 : PCT JP2011/068585

出願年月日 : 2011年8月10日

国内外の別 : 国際

2) 名称 : 植物免疫調節剤

発明者 : 朽津和幸、北畑信隆

権利者 : 東京理科大学

種類 :

番号 : 特願 2013-041221

出願年月日 : 2013年3月1日

国内外の別 : 国内

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

http://www.tus.ac.jp/fac_grad/p/intro.php?32ee

<http://www.facebook.com/pages/KuchitsuLab>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

朽津 和幸 (KUCHITSU KAZUYUKI)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号 : 50211884

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者

来須 孝光 (KURUSU TAKAMITSU)

東京理科大学・総合研究機構・研究員 (-2012.9)

東京工科大学・応用生物学部・助教 (2012.10-)

研究者番号 : 50422499