

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2015～2017

課題番号：15KT0030

研究課題名(和文) 数理解析を基盤とした茶栽培・製造過程での二次代謝産物変動の予測システム化

研究課題名(英文) Mathematical prediction/analysis method on variation of tea-secondary metabolites in the course of cultivation and processing

研究代表者

渡辺 修治 (WATANABE, Naoharu)

静岡大学・創造科学技術大学院・特任教授

研究者番号：90230979

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：環境要因(季節・虫害)、加工条件(温度・時間)の相違による茶香气成分、香气成分配糖体をはじめとする二次代謝産物を化学的に分析した。上記代謝物の生合成遺伝子の発現変動も解析した。本分析結果に基づき、茶香气成分の増減に及ぼす加工条件を検討し、茶香气発揚の至適条件の予測モデルにつながる数理解析を試みた。アルコール系香气成分配糖体の加工時の増加は香气成分の増加に伴い、酵素的に増加すること、低温萎凋工程では複数の香气成分が萎凋開始後10-16時間に最大値に達したことから萎凋温度と時間が香气発揚制御要因であることを確認した。また、収穫時期、虫害の有無と香气成分との関係についても新たな知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Tea-volatile compounds and related secondary metabolites together with the glycoconjugates of alcoholic aroma compounds : GBVs were analyzed during cultivation at different environmental conditions (season, insects attack) and process of manufacturing (temperature, time). Based on the analytical data we have designed mathematical model for prediction of optimal conditions for tea processing. We have clarified that increase in GBVs is ascribed to enzymatic synthesis during the withering process of tea leaves. During the low temperature-withering process, the maximum levels were detected in 10-16 hr during the process, suggesting that temperature and period of withering process are the crucial factors to increase the tea aroma. Volatile constituents were varied by plucking seasons and presence or absence of damages by insects-attacks.

研究分野：生物有機化学

キーワード：チャ栽培 ウンカ 茶加工 プロトプラスト アポプラスト 配糖体合成 DNA-シーケンシング LC-MS/MS

### 1. 研究開始当初の背景

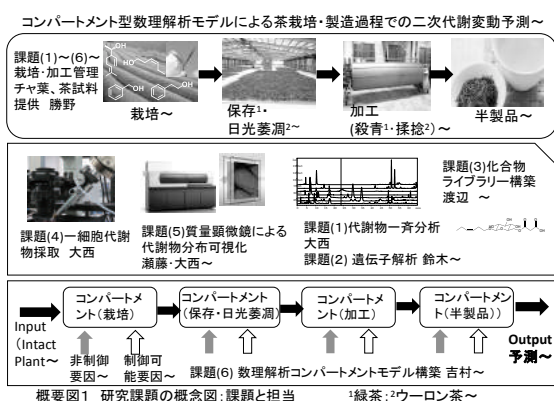
(1) 茶栽培・加工・分析者の連携：緑茶、ウーロン茶製造過程での香气成分生成制御は、チャ葉の状態、環境要因等に応じた職人の経験と勘に裏打ちされており、科学的根拠に乏しい。チャ樹栽培、管理、摘採、保存、加工段階、化学成分分析、遺伝子発現解析はそれぞれ専門分野の研究者により工夫され、報告されてきたが相互連携に乏しく、多様な経験、データの活用はほとんどなされていなかった。

(2) 分析方法の選択・発展：香气成分をはじめとする二次代謝産物は抽出物を GC-MS, LC-MS, LC-MS/MS により分析する方法がほぼ確立されているが、微小組織、細胞内局在は少数例に限定されており、多様な代謝物分析への発展が希求されていた。

(3) データ処理と栽培・加工条件への還元・活用：栽培・加工時の数値と二次代謝化合物、香气成分の数値、種類に関する数値データを結びつけて解析する数理研究者が参画した例はなかった。

### 2. 研究の目的

農産物製造チェーンのモデルとして、静岡県産のチャ葉を取り上げ、「チャ葉の食害管理、収穫後保蔵、製造過程での香气成分関連代謝動態数値データをインプット要因とした数理解析(コンパートメントモデル)を基盤とする代謝変動予測」を目的とした。本課題の推進により、一農産物としてのチャ栽培・茶の製造段階を管理可能なモデルを構築し、要因の変動に伴う茶の香りの変化を予測する。同時に植物液胞の新たな役割・機能解明を達成しようとした。(概要図1参照)



### 3. 研究の方法

概要図1にある課題(1)～(6)の推進によって得られる、チャ栽培現場、保管、加工段階で生成する香气成分、その配糖体:R0-Gly、マロン酸エステル:R0-Gly-Mal への変換反応に関わる数値データ(課題(1), (3), (5)定量、定性、細胞内分布データ)、遺伝子発現データ(課題(2))を用いる。特に液胞、細胞質毎に細胞内代謝物を採取できる細胞内外成分取技術(課題(4))を活用し、LC-MS/MS によってその代謝物分析を試みた。また、細胞内

分布を質量顕微鏡によって可視化する(課題(5))ことにも特徴を有する。化学的に不安定で入手が難しいR0-Gly-Malは課題(3)ライブラリー構築により化学合成し、安定性と分析機器上での感度を詳細に検討する。課題(6)ではすべての数値、解析データが入手できた時点で、制御可能要因(栽培管理、虫害制御、加工温度)と非制御可能要因(外気温、天候等)の変動と各段階(コンパートメント)の数値データの変動による、代謝物動態予測を可能とし、最終的には栽培から加工に至る全段階の予測モデルの構築を目的とした。

### 4. 研究成果

静岡県農業研究センター勝野剛博士(協力研究者)が栽培管理、加工指導をし、茶試料を提供した。これらの茶試料を使用して、香气成分の分析は研究分担者大西が、代謝物、配糖体の分析は研究代表者渡辺、大西が、香气成分配糖体、不安定中間体をはじめとする化合物ライブラリー構築は連携研究者間瀬、協力研究者佐藤が、遺伝子発現解析は研究分担者鈴木、大西が、それぞれ主として担当した。質量顕微鏡は連携研究者瀬藤がH27年度に限定して指導した。数理解析モデル構築には研究分担者吉村が主導しつつ数値データを数式化した。

#### (1) 代謝物一斉分析

① 萎凋過程における香气成分の変動  
季節の異なる栽培された品種サヤマカオリ1番、2番チャ葉を用いて、萎凋時の温度を15、25、35℃に設定し、24時間以内の主要香气成分25種(モノテルペン類、芳香族、セスキテルペン、脂肪酸分解物、その他)の消長を分析した。香气成分はGC-MSにより同定、定量した。その結果、複数の香气成分で15℃での萎凋時に萎凋開始後16時間目に最大値に達した。特に一番チャ葉で顕著であったが2番茶においても同様な傾向が見られた。従って、萎凋を含めた加工条件次第で優れた香味を有する茶製造の可能性を示唆している(未発表)。また、本研究の基盤となった結果(引用文献①)の一部も再現できた。

② 昆虫吸汁の有無による香气成分の相違  
ウンカにより吸汁されたチャ葉から製茶された台湾産高級茶は甘い香气が著しい事で知られている(学会発表③)。吸汁後および、植物ホルモン処理前後の香气成分の変動を追究した。関連遺伝子発現データを含め現在とりまとめている段階である(未発表)。

③ ウーロン茶製造工程における香气成分配糖体の消長

香气成分配糖体は本課題研究参画者が開発したLC-MS, LC-HRMS/MSによって分析した。本研究課題の一部として実施された中国茶で得られた知見(発表論文②)では、萎凋に伴ってアルコール系香气成分単糖配糖体:R0-Glc、二糖配糖体:R0-Priが漸減し、最終段階である加熱工程(230℃, 4分間)でこ

れらが著量増加した。静岡産チャ葉においても検討した結果、中国茶と同様に消長することを確認した。これらの結果を総合し、加熱に対して不安定な化合物であるマロン酸エステル R0-GlcMal, R0-PriMal の存在を仮想した。課題(3)で別途合成した R0-GlcMal, R0-PriMal を分析標準化合物として用い、LC-MS, LC-HRMS/MS 分析しチャ葉での存在の有無を検討した。その結果、中国茶(発表論文②)、静岡茶(未発表)とも R0-GlcMal を初めて同定した。一方、R0-Pri-Mal は同定できなかった。静岡茶における R0-GlcMal の消長を検討した。R0-GlcMal の減少は加熱過程での R0-Glc の増加量より小さく、R0-GlcMal の果たす役割は小さいものと結論した。以上より、チャ葉の加熱によって R0-Glc, R0-Pri が増加するのではなく、これらは加熱工程初期に酵素的に合成されるとの示唆を得た(未発表)。

#### (2) 遺伝子解析

萎凋過程、昆虫吸汁の有無、ウーロン茶製造工程における香气成分生合成に関わる遺伝子発現を検討する目的で、チャ葉から遺伝子を調製しその純度を検定した。その結果、DNA-シーケエンシングに供する事が可能な試料が調製できた事を確認した。遺伝子解析結果を基に大きく分類して網羅的解析と標的遺伝子解析を試みる事が可能である。特に研究分担者鈴木らは新規な多変量解析ソフト ConfeitoGUIplus (発表論文④, 特許)を開発しており、網羅的解析を目的として本技術を用いることで多様な環境要因または加工技術により変動の大きい遺伝子、代謝物間の相関解析が可能となる。他方 DNA-シーケエンシングの結果は膨大であるため、本課題では、香气成分および関連化合物の生合成・代謝経路に関わる遺伝子を予め特定しそれらの発現レベルを解析する標的解析をまず実施することとした。現在、生合成関連遺伝子を精査し、萎凋工程、ウーロン茶製造工程での消長が顕著な遺伝子の発現を解析している段階である。

#### (3) 化合物ライブラリー構築

加熱に対して不安定な R0-GlcMal, R0-PriMal の合成を達成した(発表論文②)。同時に、各種アルコール系香气成分の単糖配糖体 R0-Glc, R0-Pri, R0-rutinoside 等の合成を達成し、これらを LC-MS, LC-HR-MS/MS 分析時の標準品として活用した。マロン酸エステル類の合成時にマイナー成分が複数検出されたが、これらの化学構造も決定した(未発表)。

#### (4) 一細胞代謝物採取

チャ葉での一細胞代謝物採取を最終目標として、モデル実験として以下を検討した。研究代表者渡辺、研究分担者大西らが確立したバラ花卉を用いた細胞レベルでの研究手法

を基本としてバラ花卉プロトプラスト画分、アポプラスト画分(引用文献②)を調製し、LC-MS, LC-HRMS/MS を用いて R0-Glc, R0-GlcMal の分析法を確立し、R0-Glc, R0-GlcMal の細胞内局在化に関する新たな知見を得た(未発表)。チャ葉内の代謝物含有量であれば本手法での同定、定量は確実に可能である。

#### (5) 質量顕微鏡による代謝物分布可視化

R0-GlcMal, R0-Glc を標的化合物としてこれらをチャ葉、バラ花卉切片に滴下後質量顕微鏡分析に供した。その結果、標的化合物の検出には成功したが、いずれの切片においても標的化合物の濃度が検出限界に及ばず、これ以上の検討を中止することにした。

#### (6) コンパートメントモデルに基づく数理解析

15, 25, 35 °Cにおける 24 時間以内の萎凋過程における香气成分の変動データを基に解析した。各化合物の萎凋時間に伴う量的変化を三次関数に近似し、化合物の生合成経路毎に整理した。遺伝子発現データも踏まえた関数化も現在進めている。これらの関数と生合成経路、萎凋温度毎の関数に基づき一定時間における各化合物の変動の方向を予測し、予測モデル化すべく遺伝子発現データを解析している段階である。

以上、本課題ではチャ栽培、加工、生物有機化学、有機合成化学、遺伝子・生化学、および数理科学に関わる専門家が技術を駆使し、限られた時間内に共通認識の下で共同研究を推進するという新しい試みを実践してきた。遺伝子発現データを基にした機能の確認とそれらの発現消長を把握後に最終的な数理モデルが構築されるため、研究途上ともいえるが、必要なデータ、解析材料を本課題の年限内にそろえることができた。より具体的には、茶の香气生成と収穫後保蔵実験によって配糖体の消長、不安定配糖体誘導体の発現、消長解析結果が得られた。植物試料から新たな細胞内分画技術を活用し、複数の重要代謝物の同定、分布に関する予備的知見も得られた。

#### <引用文献>

①Katsuno,T, Kasuga, H, Kusano,Y, Yaguchi,Y, Tomomura, M, Cui, J, Yang, Z,Baldermann, S, Nakamura,Y, Ohnishi, T, Mase, N, Watanabe,N. Characterization of odorant compounds and their biochemical formation in green tea with a low temperature storage process. **2014, Food Chem.**, 148, 388-395.

②O'Leary, BM, Rico, A, McCraw, S, Fones, HN, Preston, GM. The infiltration- centrifugation technique for extraction of apoplasmic fluid from plant leaves using *Phaseolus vulgaris* as an example. **2014, J. Vis. Expt.** .94, 1-5.

## 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 26 件) すべて査読有り。

- ①Yoneyama, K, Mori, N, Sato, T, Yoda, A, Xie, X, Okamoto, M, Iwanaga, M, Ohnishi, T, Nishiwaki, H, Asami, T, Yokota, T, Akiyama, K, Yoneyama, K, Nomura, T. Conversion of carlactone to carlactonoic acid is a conserved function of MAX1 homologs in strigolactone biosynthesis. *New Phytol.*, **2018**; DOI: 10.1111/nph.15055.
- ②Sugiyama, A, Unno, Y, Ono, U, Yoshikawa, E, Suzuki, H, Minamisawa, K, Yazaki, K. Assessment of bacterial communities of black soybean grown in fields. *Commun Integr Biol.* **2017**, **10**: e1378290; DOI: 10.1080/19420889.2017.1378290.
- ③大西 利幸, 植物の「香り」の配糖化メカニズム, *植物の生長調節*, **2017**, **52**, 99-105; [https://doi.org/10.18978/jscrp.52.2\\_99](https://doi.org/10.18978/jscrp.52.2_99).
- ④尾形善之, 鈴木秀幸, オミックスデータの解析・可視化の最先端技術: ConfeitoGUIplus. *植物の生長調節*, **2017**, **52**, 117-122; DOI: [https://doi.org/10.18978/jscrp.52.2\\_117](https://doi.org/10.18978/jscrp.52.2_117)
- ⑤Kyan, R, Sato, K, Mase, N, Watanabe, N, Narumi, T. Tuning the catalyst reactivity of imidazolylidene catalysts through substituent effects on the *N*-aryl groups. *Org. Lett.*, **2017**, **19**, 2750-2753; DOI: 10.1021/acs.orglett.7b01105.
- ⑥Yokota, T, Ohnishi, T, Shibata, K, Asahina, M, Nomura, T, Fujita, T, Ishizaki, K, Kohchi, T. Occurrence of brassinosteroids in non-flowering land plants, liverwort, moss, lycophyte and fern. *Phytochemistry*, **2017**, **136**, 46-55; DOI: 10.1016/j.phytochem.2016.12.020.
- ⑦Yazaki, K, Arimura, GI, Ohnishi, T. 'Hidden' terpenoids in plants: their biosynthesis, localization and ecological roles. *Plant Cell Physiol.*, **2017**, **58**, 1615-1621; DOI: 10.1093/pcp/pcx123.
- ⑧Mase, N, Nishina, Y, Isomura, S, Sato, K, Narumi, T, Watanabe, N. Fine-bubble-based strategy for the palladium-catalyzed hydrogenation of nitro groups: measurement of ultrafine bubbles in organic solvents. *Synlett*, **2017**, **28**, 2184-2188; DOI: 10.1055/s-0036-1588869.
- ⑨Zhou, Y, Zeng, ., Liao, Y, Dong, F, Peng, Q, Li, J, Tang, J, Watanabe, N, Yang, Z. Insects (*Thrips hawaiiensis* (Morgan)) change the stereochemical configuration of 1-phenylethanol emitted from tea (*Camellia sinensis*) flowers. *RSC Advances*, **2017**, **7**, 32336-32343; DOI: 10.1039/c7ra03219frsc.li/rsc-advances.
- ⑩Gavina, MKA, Tahara, T, Tainaka, K, Ito, H, Morita, S, Ichinose, G, Okabe, T, Togashi, T, Nagatani, T, Yoshimura, J. Multi-species coexistence in Lotka-Volterra competitive systems with crowding effects. *Sci.Rep.*, **2017**, **8**, 1-8; DOI:10.1038/s41598-017-19044-9.
- ⑪Fu, X., Zhou, Y., Zeng, L., Dong, F., Mei, X., Liao, Y., Watanabe, N., Yang, Z. Analytical method for metabolites involved in biosynthesis of plant volatile compounds. *RSC Advances*, **2017**, **7**, 19363-19372. Review article; DOI:10.1039/C7RA00766C.
- ⑫Ito, H, Katsumata, Y, Hasegawa, E, Yoshimura, J. The promotion of cooperation by the poor in dynamic chicken games. *Sci. Rep.*, **2017**, **7**, 1-10; DOI: 10.1038/srep43377.
- ⑬Dong, F, Zhou, Y, Zeng, L, Watanabe, N, Su, X, Yang, Z. Optimization of the production of 1-phenylethanol using enzymes from flowers of tea (*Camellia sinensis*) plants. *Molecules* **2017**, **22**, 131; DOI:10.3390/molecules220101.
- ⑭Dong, F, Shou, Y, Peng, Q, Chen, Y, Zhang, L, Su, X, Watanabe, N, Yang, Z. Elucidation of differential accumulation of 1-phenylethanol in flowers and leaves of tea (*Camellia sinensis*) plants. *Molecules*, **2016**, **21**, 1106; DOI:10.3390/molecules21091106.
- ⑮Zeng, L, Zhou, Y, Gui, J, Fu, X, Mei, X, Zhen, Y, Ye, T, Du, B, Dong, F, Watanabe, N, Yang, Z. Formation of characteristic aroma compound indole during the oolong tea manufacturing process. *J. Agric Food Chem.* **2016**, **64**, 5011-5019; DOI: 10.1021/acs.jafc.6b01742.
- ⑯Cheng, S, Fu, X, Mei, X, Zhou, Y, Du, B, Watanabe, N, Yang, Z. Regulation of biosynthesis and emission of volatile phenylpropanoids/benzenoids in *Petunia x hybrida* flowers by multi-factors of circadian clock, light, and temperature. *Plant Physiol Biochem.* **2016**, **107**, 1-8; DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.026.
- ⑰Harayama, H, Ishida, A, Yoshimura, J. Overwintering evergreen oaks reverse typical relationships between leaf traits in a species spectrum, *Royal Society Open Science*, **2016**, **3**, 1-9; DOI: 10.1098/rsos.160276.
- ⑱Sóti, PL, Yamashita, H, Sato, K, Narumi, T, Toda, M, Watanabe, N, Marosi, G, Mase, N. Synthesis of a self-assembling gold nanoparticle-supported organocatalyst for enamine-based asymmetric aldol reactions. *Tetrahedron*, **2016**, **72**/16 1984-1990; DOI:10.1016/j.tet.2016.02.065
- ⑲Dong, F, Fu, X, Watanabe, N, Su, X, Yang, Z. Recent advances in the emission and functions of plant vegetative volatiles. *Molecules*, **2016**, **21** ; DOI: 10.3390/molecules21020124.
- ⑳Cui, J, Katsuno, T, Totsuka, K, Ohnishi, T, Takemoto, H, Mase, N, Toda, M, Narumi, T, Sato, K, Matsuo, T, Mizutani, K, Yang, Z, Watanabe, N, Tong, H. Characteristic fluctuations in glycosidically bound volatiles

during tea processing and identification of their unstable derivatives. *J. Agric. Food Chem.*, **2016**, **64**, 1151-1157, 2016; DOI: 10.1021/acs.jafc.5b05072.

②Hirata, H, Ohnishi, T, Tomida, K, Ishida, H, Kanda, M, Sakai, M, Yoshimura, J, Suzuki, H, Ishikawa, T, Dohra, H, Watanabe, N. Seasonal induction of alternative principal pathway for rose flower scent. *Sci. Rep.* **2016**, **6**; Article number: 20234 DOI:10.1038/srep20234.

③Yoshimura, K, Saiki, S, Yazaki, K, Ogasa, MY, Shirai, M, Nakano, T, Yoshimura, J, Ishida, A. The dynamics of carbon stored within xylem sapwood to drought-induced hydraulic stress in mature trees, *Sci. Rep.*, **2016**, **6**, 1-8; DOI:10.1038/srep24513.

④Fu, X, Chen, Y, Mei, X, Katsuno, T, Kobayashi, E, Dong, F, Watanabe, N, Yang, Z. Regulation of formation of volatile compounds of preharvest and postharvest tea (*Camellia sinensis*) leaves by single light wavelength. *Sci. Rep.* **2015**, **5**,16858; DOI: 10.1038/srep16858.

⑤Gui, J, Fu, X, Zhou, Y, Katsuno, T, Mei, X, Deng, R, Xu, X, Zhang, L, Dong, F, Watanabe, N, Yang, Z. Does enzymatic hydrolysis of glycosidically bound volatile compounds really contribute to the formation of volatile compounds during the oolong tea manufacturing process? *J. Agric. Food Chem.*, **2015**, **63**, 6905-6914; DOI: 10.1021/acs.jafc.5b02741.

⑥Diomande, D, Martineau, E, Gilbert, A, Nun, P, Murata, A, Yamada, K, Watanabe, N, Tea, I, Robins, R, Yoshida, N, Remaud, G. Position-specific isotope analysis of xanthines: a <sup>13</sup>C Nuclear magnetic resonance method to determine the <sup>13</sup>C intramolecular composition at natural abundance. *Anal. Chem.*, **2015**, **87**, 6600-6606; DOI: 10.1021/acs.analchem.5b00559

⑦Ohgami, S, Ono, E, Horikawa, M, Murata, J, Totsuka, K, Toyonaga, H, Ohba, Y, Dohra, H, Asai, T, Matsui, K, Mizutani, M, Watanabe, N, Ohnishi, T. Volatile glycosylation in *tea plants*: Sequential glycosylations for the biosynthesis of aroma β-primeverosides are catalyzed by two *Camellia sinensis* glycosyltransferases. *Plant Physiol.*, **2015**, **168**, 464-477; DOI: 10.1104/pp.15.00403.

[学会発表] (計 22 件)

①NMR, MS で探る花の不思議, 渡辺修治, 静岡大学共同利用機器センター主催基礎分析講座, 2018 年, 招待講演.

②植物の生長や化学防御に寄与する二次代謝産物の生合成研究, 大西利幸, 第 35 回日本植物細胞分子生物学会大会, 2017 年, 招待講演.

③Volatile C13-norisoprenoid and monoterpene alcohols contribute sweet muscatel-like scent in Oolong tea “Oriental Beauty” manufactured by *Camellia sinensis* in response to attacks by insect herbivores. Totsuka, K, Sakai, N, Katsuno, T, Watanabe, N, Ohnishi, T. The 13th International Meeting on Biosynthesis, Function and Synthetic Biology, 2017.

④Research and development on tea sciences and technologies in Shizuoka, Japan. Watanabe, N. 1<sup>st</sup> Tea EXPO 2017, 2017. 招待講演.

⑤花芽誘導物質LDS1 構造要求性の解明 山田優作, 土屋諒, 廣住操俊, 佐藤浩平, 鳴海哲夫, 戸田三津夫, 大西利幸, 間瀬暢之, 渡辺修治, 日本農芸化学会2016年度大会, 2016年.

⑥クロロアルケン型ジペプチドイソスターにおける塩素原子の水素結合能の評価, 千葉拓矢, 今井智之, 佐藤浩平, 戸田三津夫, 間瀬暢之, 渡辺修治, 鳴海哲夫, 日本薬学会第136回年会, 2016年.

⑦新規含フッ素トリアゾリウム塩の創製と触媒的不斉ラクトン化反応への応用, Le Phuc Thien, 喜屋武龍二, 佐藤浩平, 間瀬暢之, 渡辺修治, 鳴海哲夫, 日本薬学会第136回年会, 2016年.

⑧7-ヒドロキシキノリニウム型ケージド基の創製研究: キノリンのN-アルキル化による高度化, 二位明崇, 山口峻, 佐藤浩平, 間瀬暢之, 渡辺修治, 鳴海哲夫, 日本薬学会第136回年会, 2016年.

⑨ハロアルケン型ジペプチドイソスターの代謝安定性の向上を目的とした構造活性相関研究, 今井智之, 千葉拓矢, 佐藤浩平, 間瀬暢之, 渡辺修治, 鳴海哲夫, 日本薬学会第136回年会, 2016年.

⑩化学選択的誘導体化によるイオン強度増大を指向したイメージング質量分析におけるラベル化剤の開発, 岡村拓磨, 瀬藤光利, 佐藤浩平, 鳴海哲夫, 渡辺修治, 間瀬暢之, 日本化学会第96春季年会, 2016年.

⑪ファインバブル手法による環境調和型多相系有機合成反応のメカニズム解明, 仁科裕樹, 酒井秀徳, 齋藤隆之, 佐藤浩平, 鳴海哲夫, 渡辺修治, 間瀬暢之, 日本化学会第96春季年会, 2016年.

⑫有機合成反応におけるフロー型マイクロ波装置のシステム化, 増田嗣也, 武田和宏, 佐藤浩平, 鳴海哲夫, 渡辺修治, 間瀬暢之, 日本化学会第96春季年会, 2016年.

⑬求核性有機分子触媒を用いた高純度かつ高光学純度な環状ポリ乳酸合成, 白山陽大, 中谷吉孝, 佐藤浩平, 鳴海哲夫, 渡辺修治, 間瀬暢之, 日本化学会第96春季年会, 2016年.

⑭ Fluorogenic probes for chemical transformations: turn-on aldol, Mannich, and Diels-Alder reaction sensors for evaluation of both enamine and iminium catalysis, Mase, N, Masuda, T, Sato, K, Narumi, T, Watanabe, N. the Pacificchem 2015, 2015.

⑮ Green organic synthesis in gas-related

multiphase reactions using micro- and nanobubbles strategy, Mase, N, Nishina, Y, Sato, K, Narumi, T, Watanabe, N. the Pacificchem 2015, 2015.

⑯PETイメージングにおける比放射能向上を指向したトリフルオロメチル化反応の開発, 岡村拓磨, 小川美香子, 間賀田泰寛, 佐藤浩平, 鳴海哲夫, 渡辺修治, 間瀬暢之, 第5回CSJ化学フェスタ2015, 2015年.

⑰化学結合検出用蛍光プローブの開発: エナミン/イミニウム有機分子触媒系の迅速評価, 増田嗣也, 佐藤浩平, 鳴海哲夫, 渡辺修治, 間瀬暢之, 第5回CSJ化学フェスタ2015, 2015年.

⑱チャ香氣に関与するテルペン生合成酵素の機能解明, 大西利幸, 井上智宏, 渡辺修治, 鈴木秀幸, 植物化学調節学会第50回大会, 2015年.

⑲比放射能向上を指向したトリフルオロメチル化反応による高感度PETプローブ合成手法の開発, 岡村拓磨, 小川美香子, 間賀田泰寛, 佐藤浩平, 鳴海哲夫, 渡辺修治, 間瀬暢之, 第47回若手ペプチド夏の勉強会, 2015年.

⑳Development of green organic synthesis in multiphase reactions using micro- and nanobubbles strategy, Nishina, Y, Tsuboi, T, Narumi, T, Watanabe, N, Mase, N. the GSC-7 and 4th JACI/GSC Symposium, 2015.

㉑Efficient gas-related photo reactions using micro- and nanobubble strategy under atmospheric pressure, the 3rd International Symposium on Process Chemistry (ISPC 2015) Nishina, Y, Sato, K, Narumi, T, Watanabe, N, Mase, N. 2015.

㉒Identification of superior organocatalysts through high-throughput fluorescence-based screening, Masuda, T, Sato, K, Narumi, T, Watanabe, N, Mase, N. the 3rd International Symposium on Process Chemistry (ISPC 2015), 2015.

〔産業財産権〕

○取得状況 (計1件)

名称: 相関ネットワーク解析プログラム

発明者: 鈴木秀幸, 萬年一斗, 柴田大輔, 尾形善之

権利者: (公財) かずさ DNA 研究所, (公) 大阪府立大学

種類: 特許

番号: 特許第 6318334 号

取得年月日: 平成 30 年 (2018 年) 4 月 13 日

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡辺 修治 (WATANABE, Naoharu)

静岡大学・創造科学技術大学院・特任教授

研究者番号: 9 0 2 3 0 9 7 9

### (2) 研究分担者

大西 利幸 (OHNISHI, Toshiyuki)

静岡大学・農学部・准教授

研究者番号: 6 0 5 4 2 1 6 5

吉村 仁 (YOSHIMURA, Jin)

静岡大学・創造科学技術大学院・教授

研究者番号: 1 0 2 9 1 9 5 7

鈴木 秀幸 (SUZUKI, Hideyuki)

(公財) かずさ DNA 研究所・バイオ研究開発部・グループ長

研究者番号: 8 0 2 7 6 1 6 2

### (3) 連携研究者

瀬藤 光利 (SETOU, Mitsutoshi)

浜松医科大学・医学部・教授

研究者番号: 2 0 3 0 2 6 6 4

(平成 27 年度のみ連携研究者)

間瀬 暢之 (MASE, Nobuyuki)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号: 4 0 3 1 3 9 3 6

### (4) 協力研究者

佐藤 浩平 (SATO, Kohei)

静岡大学・工学部・助教

研究者番号: 3 0 7 5 6 7 0 5

勝野 剛 (KATSUNO, Tsuyoshi)

静岡県農業技術研究所・

茶業研究センター・上席研究員

研究者番号: 5 0 4 6 3 1 8 8