

令和 4 年 4 月 16 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K07000

研究課題名(和文)高性能二核ホウ素触媒の創出を基盤とするペプチド化学合成法の開発

研究課題名(英文)Diboronic Acid Anhydride-Catalyzed Direct Peptide Bond Formations

研究代表者

嶋田 修之(Shimada, Naoyuki)

北里大学・薬学部・講師

研究者番号：00455601

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：独自に開発したジボロン酸無水物DBAAを用いることにより、セリンやトレオニンなど-ヒドロキシ- -アミノ酸を構造を有するカルボン酸基質の触媒的ペプチド結合形成反応の開発に成功した。本反応により、エピメリ化を最小限に抑えつつ高収率で対応するジペプチドもしくはトリペプチドが得られることが明らかとなった。環境調和性が高い本反応を開発することができた秘訣は、DBAAによる基質ヒドロキシ基の分子認識であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、低分子医薬品と抗体医薬品の利点を併せ持つ中分子医薬品の開発が盛んに行われており、中でもペプチドに注目が寄せられている。ペプチド医薬品を開発するためには、ペプチドの効率的かつ環境調和性の高い化学合成手法が不可欠である。私たちが今回開発したジボロン酸無水物触媒を用いたペプチド結合形成反応は、入手容易なアミノ酸基質から直截的かつ位置選択的に所望とするペプチドを化学合成するために有用であった。本研究成果は将来的に、新たなペプチド医薬品候補化合物の探索やペプチド医薬品の低コスト化に貢献できる可能性を秘めている。

研究成果の概要(英文)：We report the catalytic direct peptide bond formations via dehydrative condensation of α -hydroxy- β -amino acids, affording the serine, threonine, or α -hydroxyvaline-derived peptides in high to excellent yields with high functional group tolerance, minimum epimerization, and excellent chemoselectivity. The key to the success of these atom-economical transformations is the use of diboronic acid anhydride catalyst for the hydroxy-directed reactions.

研究分野：有機合成化学

キーワード：有機ホウ素触媒 触媒反応 ジボロン酸無水物 脱水縮合 ペプチド セリン トレオニン 化学選択性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

低分子医薬品は製造コストが抑えられ免疫毒性が少ない利点はあるものの、その特異性の低さに起因した副作用がしばしば問題となる。一方、高分子量の抗体医薬品は特異性が高く副作用が少ない半面、免疫毒性や莫大な製造コストが課題と挙げられる。そこで、両者の利点を併せもつ中分子創薬における候補化合物としてペプチドが注目されている。臨床開発が実施されたペプチド候補医薬品の累積数は近年急増していることからその注目度がうかがえる。このようにペプチドを素材として用いる中分子創薬には大きな期待が寄せられているものの、その開発においてボトルネックの一つとなるのが高純度ペプチドの量的供給である。抗体医薬品ほどではないにせよ、依然としてペプチドの製造コストは高く、分子標的ペプチドの製造コスト削減は中分子創薬の成否に関わる重要なファクターとなる。Merrifield の報告を契機として、現代のペプチド化学合成ではほぼ例外なく固相合成法が用いられており、その主力として 1970 年に開発された Fmoc 法が汎用されている。しかしながら、一般的にはペプチド鎖の伸長に伴い反応効率が大幅に低下することから、純度の高いペプチドを得るためには、高価な Fmoc アミノ酸と縮合剤を大過剰用いて各段階で 100% 近い変換率を達成する必要がある。このことが、ペプチドの量的供給と合成に纏わる製造コスト削減を妨げる最大の要因となっている。分子変換の観点から、原理的に 1 分子の触媒から無限の生成物を生み出すことができる触媒反応が最も効率が高い。したがって、触媒によるアミノ酸どうしの脱水縮合反応がペプチド結合形成反応における理想的な分子変換法となり得る。

2. 研究の目的

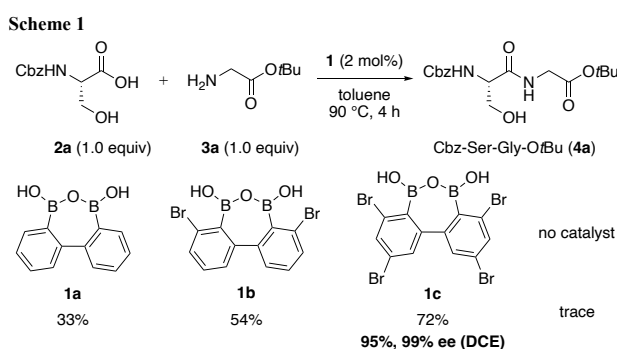
私たちはこれまでに、ボロン酸の脱水二量体構造であるジボロン酸無水物構造を有する新規二核有機ホウ素触媒 DBAA が、ヒドロキシカルボン酸のアミド化反応における高活性な触媒として機能することを見出している。本研究は、DBAA を利用したペプチド結合形成反応の開発を研究の目的とする。

3. 研究の方法

私たちはこれまでに、DBAA が β -ヒドロキシカルボン酸に対して高い化学選択性を示すことを明らかにしている。こうした独自の知見を踏まえ、セリンやトレオニンなどの β -ヒドロキシ- α -アミノ酸構造を有するアミノ酸を基質用いたペプチド結合形成反応の開発を志向し検討を行う。

4. 研究成果

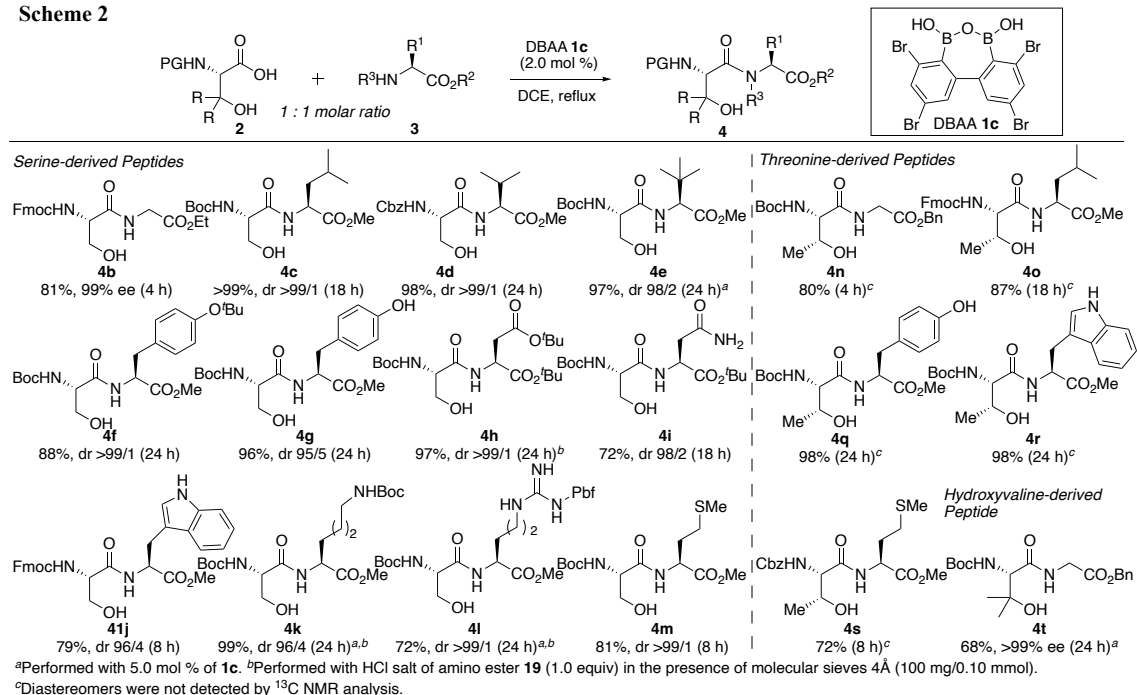
はじめに、2.0 mol% ジボロン酸無水物 **1a** 存在下、トルエン溶媒中 90 °C にて、セリン誘導体 **2a** とグリシン誘導体 **3a** との反応を行った (Scheme 1)。その結果、所望とするジペプチド **4a** が収率 33% で得られた。収率の向上を目指し、触媒構造のチューニングを行ったところ、ホウ素原子のオルト位に臭素原子を組込んだ **1b** を用いた場合に収率は 54% に向上した。さらに、オルト位とともにパラ位にも臭素原子を有する **1c** を用いた場合にさらなる収率の向上が観測され、**4a** が収率 72% で得られた。さらに、溶媒をジクロロエタン(DCE)に変更したところ、収率は 95% まで飛躍的に向上することが明らかとなった。得られたジペプチド **4a** のキラル HPLC 分析を行った結果、セリンカルボニル α 位のラセミ化は一切観測されることはなかった。なお、無触媒条件下では痕跡量の生成物が得られるのみであったことから、DBAA (**1c**) の有用性を確認することができた。



次に基質適用範囲について検討を行った (Scheme 2)。 α -アミノエステル基質としては、グリシンのみならず(**4b**)、ロイシン、バリンのほか嵩高い *tert*-ロイシンを用いた場合においても適用可能であり、81% 以上の高収率で対応するジペプチドが得られた(**4c-4e**)。またアミン基質としてはチロシン誘導体やアスパラギン酸、アスパラギンなどの酸素官能基を有するアミン基質も適用可能であった(**4f-4i**)。さらには、トリプトファンやリシン、アルギニンなどの窒素官能基を有するアミン基質のほか、触媒の失活が懸念される硫黄原子を有するメチオニンも適用可能であり、いずれの場合にも中程度から高収率で対応するジペプチドが得られた(**4j-4m**)。本触媒反応はカルボン酸基質としてトレオニン誘導体も適用可能であり、対応するジペプチドが 72% 以上の高収率で得られた(**4n-4s**)。また β 位にジェミナルジメチル構造を有する β -ヒドロキシバリン

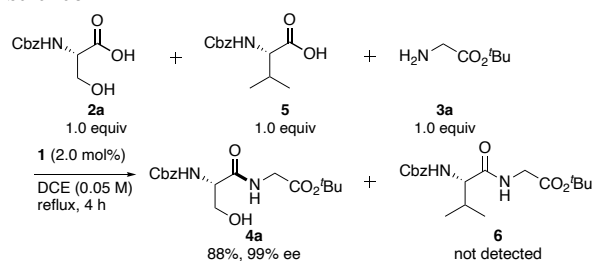
を基質とした場合にも、良好な収率にてジペプチド **4t** が得られることを見出した。いずれの場合にもカルボニル α 位のエピメリ化は最小限に抑制された。以上のように、筆者は DBAA (**1c**)が β -ヒドロキシ- α -アミノ酸を基質とするジペプチド合成に有効であることを示すことができた。

Scheme 2



さらに、DBAA (**1c**)は、高い化学選択性を示すことが明らかとなった (Scheme 3)。すなわち、カルボン酸基質として等量のセリン誘導体 **2a** とバリン誘導体 **5** 共存下、グリシン誘導体 **3a** との競争実験を行ったところ、バリン誘導体由来のジペプチド **6** は全く観測されず、セリン由来のジペプチド **4a** が単一の生成物として 88%の高収率で得られることが明らかとなった。

Scheme 3



以上、本研究によって DBAA (**1c**)がペプチド結合形成反応における優れた触媒として機能することを明らかにすることができた。本研究で得られた知見は、将来的に C 末端選択的なペプチド結合形成反応が開発できる可能性を示す有意義なものであった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shimada Naoyuki, Ohse Naoki, Takahashi Naoya, Urata Sari, Koshizuka Masayoshi, Makino Kazuishi	4. 巻 32
2. 論文標題 Direct Synthesis of N-Protected Serine- and Threonine-Derived Weinreb Amides via Diboronic Acid Anhydride-Catalyzed Dehydrative Amidation: Application to the Concise Synthesis of Garner's Aldehyde	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 1024-1028
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1055/s-0037-1610773	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shimada Naoyuki, Takahashi Naoya, Ohse Naoki, Koshizuka Masayoshi, Makino Kazuishi	4. 巻 56
2. 論文標題 Synthesis of Weinreb amides using diboronic acid anhydride-catalyzed dehydrative amidation of carboxylic acids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 13145-13148
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/d0cc05630h	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Koshizuka Masayoshi, Makino Kazuishi, Shimada Naoyuki	4. 巻 22
2. 論文標題 Diboronic Acid Anhydride-Catalyzed Direct Peptide Bond Formation Enabled by Hydroxy-Directed Dehydrative Condensation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 8658-8664
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.orglett.0c03252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakamura Yuki, Ochiai Takayuki, Makino Kazuishi, Shimada Naoyuki	4. 巻 69
2. 論文標題 Boronic Acid-Catalyzed Final-Stage Site-Selective Acylation for the Total Syntheses of 0-3 - Acyl Bisabolol -D-Fucopyranoside Natural Products and Their Analogues	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical and Pharmaceutical Bulletin	6. 最初と最後の頁 281-285
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1248/cpb.c20-00834	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimada Naoyuki, Sugimoto Tomoya, Noguchi Mao, Ohira Chikako, Kuwashima Yutaro, Takahashi Naoya, Sato Noriko, Makino Kazuishi	4. 巻 86
2. 論文標題 Boronic Acid-Catalyzed Regioselective Koenigs-Knorr-Type Glycosylation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 5973-5982
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.1c00130	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimada Naoyuki, Nakamura Yuki, Ohiai Takayuki, Makino Kazuishi	4. 巻 21
2. 論文標題 Catalytic Activation of Cis-Vicinal Diols by Boronic Acids: Site-Selective Acylation of Carbohydrates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 3789-3794
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.9b01231	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimada Naoyuki, Hirata Mai, Koshizuka Masayoshii, Ohse Naoki, Kaito Ryoto, Makino Kazuishi	4. 巻 21
2. 論文標題 Diboronic Acid Anhydrides as Effective Catalysts for the Hydroxy-Directed Dehydrative Amidation of Carboxylic Acids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 4303-4308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.9b01484	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimada Naoyuki, Fukuhara Kenji, Urata Sari, Makino Kazuishi	4. 巻 17
2. 論文標題 Total Syntheses of Seminolipid and its Analogues by Using 2,6-Bis(trifluoromethyl)phenylboronic Acid as Protective Reagent	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 7325-7329
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ob01445d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Urata Sari, Nojima Shinya, Makino Kazuishi, Shimada Naoyuki	4. 巻 30
2. 論文標題 An Efficient Deprotection of 2,6-Bis(trifluoromethyl)phenylboronic Esters via Catalytic Protodeboronation Using Tetrabutylammonium Fluoride	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 2300-2304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0039-1690236	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Shimada Naoyuki
2. 発表標題 Selective transformations using boronic acid derivatives as catalysts
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (Pacifichem 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 嶋田 修之
2. 発表標題 ジボロン酸無水物触媒による環境調和型ペプチド化学合成法の開発
3. 学会等名 第46回白金シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 嶋田 修之
2. 発表標題 ボロン酸の特性を活用した合成手法の開発
3. 学会等名 有機合成化学協会ミニシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 嶋田 修之
2. 発表標題 ボロン酸の特性を活用した糖質の位置選択的分子変換法の開発
3. 学会等名 GlycoTOKYO2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 嶋田 修之
2. 発表標題 有機ボロン酸の特性を活かした新規合成手法の開発と応用
3. 学会等名 第45回反応と合成の進歩シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 篠田 開人, 腰塚 正佳, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ジボロン酸無水物触媒を用いたジケトピペラジンの簡便合成法の開発
3. 学会等名 日本薬学会第142年会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 高橋 那央也, 杉本 智哉, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ボロン酸触媒を用いた糖質の位置選択的Koenigs-Knorr型グリコシル化反応の開発
3. 学会等名 第45回反応と合成の進歩シンポジウム
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 高橋 那央也, 大瀬 尚希, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ジボロン酸無水物触媒を用いたWeinrebアミドの触媒的合成法の開発と天然物合成への応用
3. 学会等名 第63回天然有機化合物討論会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 谷川 真梨, 若槻 誠, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 B/Pd共触媒系を用いた糖質の位置選択的グリコシル化反応の開発と天然物合成への応用
3. 学会等名 第65回日本薬学会関東支部大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 高橋 那央也, 杉本 智哉, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ボロン酸触媒を用いた糖質の位置選択的Koenigs-Knorr型グリコシル化反応の開発
3. 学会等名 第65回日本薬学会関東支部大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 篠田 開人, 腰塚 正佳, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ジボロン酸無水物触媒を用いたジケトピペラジンの簡便合成法の開発
3. 学会等名 第65回日本薬学会関東支部大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 嶋田 修之
2. 発表標題 ポロン酸誘導体の特性を活用した触媒的分子変換法の開発
3. 学会等名 第64回日本薬学会関東支部大会（招待講演）
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 嶋田 修之
2. 発表標題 生体分子の環境調和型化学合成を志向した新規分子変換
3. 学会等名 第45回白金シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 中村 優生，嶋田 修之，牧野 一石
2. 発表標題 ポロン酸触媒とパラジウム錯体を併用した糖質の位置選択的アリル位置換反応
3. 学会等名 第64回日本薬学会関東支部大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 佐藤 大地，嶋田 修之，牧野 一石
2. 発表標題 ポロン酸触媒を用いた糖質の位置選択的プロバルギル化反応の開発
3. 学会等名 日本薬学会第141年会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 高橋 那央也, 大瀬 尚希, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 -ヒドロキシWeinrebアミドの触媒的合成法の開発と天然物合成への応用
3. 学会等名 日本薬学会第141年会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 中村 優生, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ボロン酸触媒とパラジウム錯体を併用した糖質の位置選択的アリル位置換反応
3. 学会等名 日本薬学会第141年会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Urata Sari, Shimada Naoyuki, Makino Kazuishi
2. 発表標題 2,6-Bis(trifluoromethyl)phenylboronic Esters as Protective Groups for Diols: A Protection/Deprotection Protocol for Use under Mild Conditions
3. 学会等名 17th International Society of Heterocyclic Chemistry Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 高橋那央也, 大瀬尚希, 嶋田修之, 牧野一石
2. 発表標題 -ヒドロキシWeinrebアミドの触媒的合成法の開発と天然物合成への応用
3. 学会等名 第63回日本薬学会関東支部大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 野島信哉, 浦田沙梨, 嶋田修之, 牧野一石
2. 発表標題 TBAFを用いたo-Fxylボロン酸エステルの新規脱保護法の開発
3. 学会等名 第63回日本薬学会関東支部大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 坂井遥菜, 浦田沙梨, 嶋田修之, 牧野一石
2. 発表標題 有機ホウ素化合物の特性を活用した硫酸化スフィンゴ糖脂質スルファチドの全合成
3. 学会等名 第63回日本薬学会関東支部大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 高橋那央也, 大瀬尚希, 嶋田修之, 牧野一石
2. 発表標題 有機ホウ素化合物を用いたWeinrebアミドの触媒的合成法の開発と天然物合成への応用
3. 学会等名 第45回反応と合成の進歩シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 嶋田修之, 浦田沙梨, 牧野一石
2. 発表標題 ボロン酸エステルを用いたジオールの保護基の開発と硫酸化糖脂質全合成への応用
3. 学会等名 第45回反応と合成の進歩シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 高橋那央也, 嶋田修之, 牧野一石
2. 発表標題 -ヒドロキシWeinrebアミドの触媒的合成法の開発と天然物合成への応用
3. 学会等名 日本薬学会第140年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 中村優生, 嶋田修之, 牧野一石
2. 発表標題 ボロン酸触媒とパラジウム錯体を併用した位置選択的アリル位置換反応
3. 学会等名 日本薬学会第140年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 佐藤大地, 嶋田修之, 牧野一石
2. 発表標題 ボロン酸触媒を用いた無保護糖の位置選択的プロパルギル化反応
3. 学会等名 日本薬学会第140年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 谷川 真梨, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ボロン酸触媒とパラジウム錯体を併用した位置選択的グリコシル化反応の開発
3. 学会等名 第11回北里化学シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 佐藤 大地, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ボロン酸触媒を用いた位置選択的アルキル化反応の
3. 学会等名 第11回北里化学シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 杉本 智哉, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ボロン酸触媒を用いた位置選択的グリコシル化反応の開発
3. 学会等名 第11回北里化学シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 中村 優生, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ボロン酸触媒とパラジウム錯体を併用した位置選択的アリル位置換反応の開発
3. 学会等名 第11回北里化学シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 浦田 沙梨, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ボロン酸エステルを用いたジオールの保護基の開発と硫酸化糖脂質全合成への応用
3. 学会等名 第11回北里化学シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 腰塚 正佳, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ジボロン酸無水物による α -ヒドロキシ- β -アミノ酸を基質とした触媒的ペプチド合成法の開発
3. 学会等名 第11回北里化学シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 高橋 那央也, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ジボロン酸無水物による α -ヒドロキシWeinrebアミドの触媒的合成法の開発と応用
3. 学会等名 第11回北里化学シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 大瀬 尚希, 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ジボロン酸無水物による α -ヒドロキシWeinrebアミドの触媒的合成法の開発と応用
3. 学会等名 第11回北里化学シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 嶋田 修之, 平田 舞, 牧野 一石
2. 発表標題 ジボロン酸無水物を用いた α -ヒドロキシカルボン酸の触媒的アミド化反応の開発
3. 学会等名 第11回北里化学シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 嶋田 修之, 牧野 一石
2. 発表標題 ボロン酸エステルを用いたジオールの保護基の開発と硫酸化糖脂質全合成への応用
3. 学会等名 第43回白金シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Shimada, N. Makino, K.	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Wiley	5. 総ページ数 2
3. 書名 Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis, 2,6-Bis(trifluoromethyl)phenylboronic Acid	

〔産業財産権〕

〔その他〕

北里大学薬学部 医薬品化学教室ホームページ http://www.pharm.kitasato-u.ac.jp/medicinal/Welcome.html 日本大学文理学部化学科 分子変換化学嶋田研究室ホームページ https://www.shimadalab.org
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------