

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02725

研究課題名(和文)縮環部全炭素四級不斉中心の構築と異種生物活性多環式化合物の不斉全合成に関する研究

研究課題名(英文) Research on construction of all-carbon quaternary stereogenic center in fused ring system and asymmetric total synthesis of heterologous bioactive polycyclic compound

研究代表者

中田 雅久 (Nakada, Masahisa)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：50198131

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：パラジウム触媒を用いた第四級不斉炭素の形成を伴う分子内カルボチオ化およびチオカルボニル化を開発した。還元的Heck反応、カルボヨード化、カルボボリル化による不斉第四級炭素形成を伴うトランス三環式化合物の構築に成功した。パラジウム触媒を用いたシリルエノールエーテルの分子内アリール化がcis選択的に進行することを見出した。

酸化的脱芳香族化に伴う立体選択的1,2-転位による第四級不斉炭素構築に成功し、ent-kauranoidと同じ四連続不斉中心とジメチルメチレン基をもつ化合物の合成に成功した。不斉有機触媒を用いた立体選択的マイケル反応が収率81%、97% eeで生成物を与えることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

優れた生物活性天然物が自然界から得難い場合や生物工学的な供給が困難な場合は、その化学合成による供給が現実的である。最近では天然物の部分構造をもち20の不斉中心を含むHALAVENが完全合成医薬品として生産・供給されている。このように有機合成化学の進歩とともに、複雑な構造をもつ生物活性天然物の合成研究は大学における研究に留まらず、創薬においても重要であり、社会に貢献する研究といえる。多環式化合物の縮環部に多く見られる第四級不斉炭素の構築は有機合成化学上重要である。よって、この問題を解決する手法の創出は学術的意義があり、構造活性相関研究および生物科学研究、さらには創薬への波及効果も大きいといえる。

研究成果の概要(英文)：Intramolecular carbothiolation and thiocarbonylation with forming a quaternary asymmetric carbon using palladium catalysts have been developed. We have succeeded in constructing a trans tricyclic compound with an asymmetric quaternary carbon by reductive Heck reaction, carboiodination, and carboborylation. We have found that cis-selective intramolecular arylations of silyl enol ethers using a palladium catalyst. We succeeded in constructing a quaternary asymmetric carbon by oxidative dearomatization-stereoselective 1,2-rearrangement cascade, and succeeded in synthesizing a compound having the same quaternary asymmetric centers and dimethylmethylene group as ent-kauranoids. It was found that the stereoselective Michael reaction using an asymmetric organocatalyst yielded a product with a yield of 81% and 97% ee.

研究分野：有機合成化学、天然物合成

キーワード：全炭素四級不斉中心 多環式天然物 転位反応 不斉全合成 立体選択的

1. 研究開始当初の背景

優れた生物活性を示す天然有機化合物が医薬品として活用される過程において、有機合成化学は重要な役割を担っている。実際、1981年から2014年の間に世界で承認された新薬のうち、生物活性天然物は5%に過ぎないが、化学修飾された天然物関連の化合物は45%、純合成医薬品は27%を占めており、創薬における天然物の重要性和有機合成化学の高い必要性が示されている。特に天然資源に乏しい日本においては、新医薬品探索における有機合成化学の必要性は高いといえる。

開発研究の余地のある優れた生物活性天然物が自然界から得難い場合や生物工学的な供給が困難な場合は、その化学合成による供給が現実的である。また、医薬品のような新物質の創製は有機合成化学なしでは考えられない。実際、培養による生産・供給が困難であった広い抗菌スペクトルをもつセファロsporinはペニシリンから合成され、カルバペネムは耐性菌に対抗するために創製された。

最近では、天然物の部分構造をもち20の不斉中心を含むHALAVENが完全合成医薬品として生産され、使用されている。近年、強力な殺細胞活性を示すものの副作用も強いため、医薬品として利用困難であった複雑な構造の天然物も抗体薬物複合体として利用されている。例えばメイタンシンは強い毒性のため抗がん剤として利用困難であったが、昨今では抗体薬物複合体が医薬品(カドサイラ)として利用されており、同様な抗体薬物複合体の臨床試験が続々と開始されている。

このように有機合成化学の進歩とともに、複雑な構造をもつ生物活性天然物の合成研究は大学における研究に留まらず、創薬においても重要であり、社会に貢献する研究といえる。

多環式化合物の縮環部に多く見られる第四級不斉炭素(4つの異なる置換基すべてが炭素原子で結合している炭素原子)の構築は、一般的に構築の際に炭素-炭素結合生成が必要であり、立体配置反転が不可能であるため、有機合成化学上、挑戦的かつ重要な研究課題である。よって、この問題を解決する手法の創出は学術的に意義があり、構造活性相関研究および生物科学研究のための化合物供給、さらには創薬への波及効果も大きいといえる。

2. 研究の目的

本研究においては、異種生物活性多環式天然物に共通する骨格を備えた有用合成中間体の効率的な不斉構築法を確立する。そして、その合成中間体から各種多環式天然物を不斉全合成することにより、本手法の有効性を実証することを目的とする。具体的には、

(1)パラジウム触媒を用いた分子内環化反応による全炭素四級不斉中心を含むトランス縮環構造の立体選択的構築法の開発を目指す。

(2)酸化的脱芳香族化に伴う立体選択的1,n-転位(n=2,3)による第四級不斉炭素構築法の開発を目指す。

(3)有用合成中間体の不斉構築法の確立と異種多環式天然物の世界初不斉全合成を通じて、開発した手法の有効性実証を目指す。

3. 研究の方法

(1)まず、容易に合成できる1, 2 (Fig.1)などのパラジウム触媒を用いた分子内環化反応を検討する。その結果、環化が進行した反応条件を3に適用して反応を行い、立体選択性を調べる。さらに反応条件最適化を行うことにより、第四級不斉炭素を含むトランス縮環構造の立体選択的構築法を開発する。

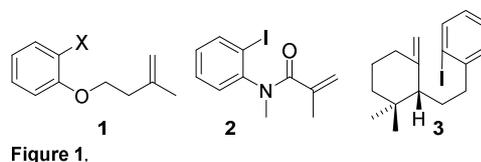


Figure 1.

(2)既知化合物より得られる4 (Fig.2)を基質として、酸化的脱芳香族化に伴う立体選択的1,n-転位(n=2,3)による第四級不斉炭素構築法を開発する。また、その1,3-転位についても、既知化合物より得られる5を基質として検討する。

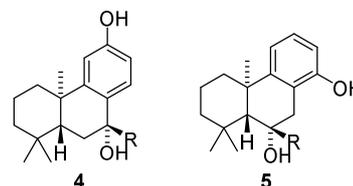


Figure 2.

(3)上の(1)(2)により得た化合物から多環式天然物の全合成への展開を検討する。また、既知化合物より合成した6 (Fig.3)を基質として、アルデヒド位に官能基化された1炭素ユニットを導入可能な7を与える不斉有機触媒を用いた立体選択的マイケル反応を検討する。

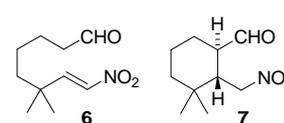
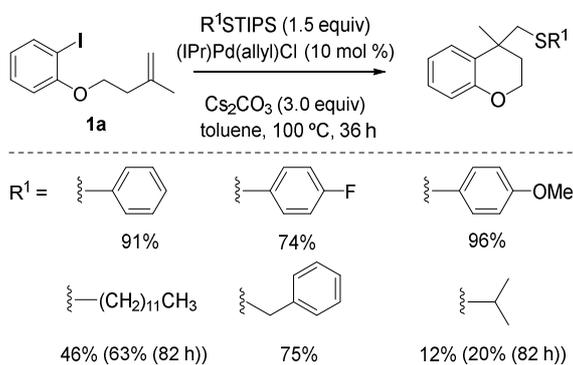


Figure 3.

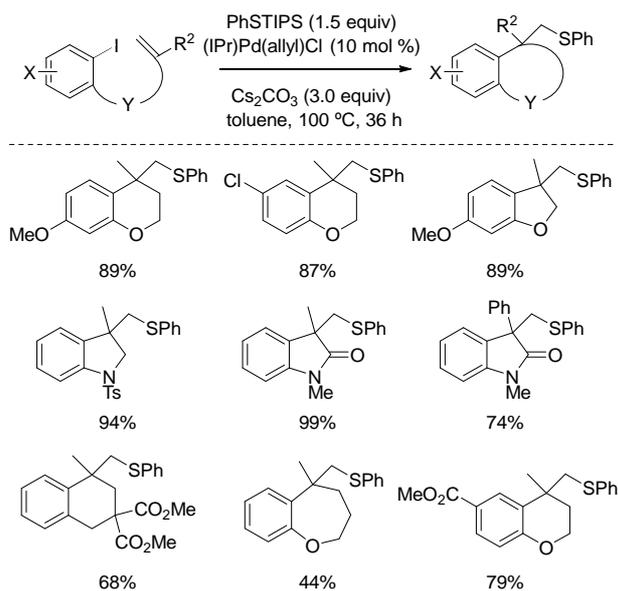
4. 研究成果

(1) 1、2 (Fig.1) などのパラジウム触媒を用いた分子内環化反応を検討し、パラジウム触媒を用いた第四級不斉炭素の形成を伴うアルケンの分子内カルボチオ化の開発に成功した。代表的な結果を Scheme 1、2 に示す。この反応は、TIPS チオエーテルによる γ -アルキルパラジウム中間体のトラップによるアルキルアリールおよびジアルキルスルフィドの形成の最初の例である。

末端に置換基をもたない二置換アルケンの結合したハロゲン化アリールはパラジウム触媒の作用により、第四級不斉炭素の形成を伴い、一級の γ -アルキル錯体を与える。この γ -アルキル錯体から炭素-硫黄結合を生成する反応はこれまでに報告例がなかった。本研究においては、トルエン中、 Cs_2CO_3 、 $(\text{IPr})\text{Pd}(\text{allyl})\text{Cl}$ の存在下、この γ -アルキル錯体に各種チオールの TIPS エーテルを作用させると炭素-硫黄結合が生成することを初めて示した。本反応の進行には、 $(\text{IPr})\text{Pd}(\text{allyl})\text{Cl}$ 、 Cs_2CO_3 およびチオールの TIPS エーテルの同時使用が必須であった。 Cs_2CO_3 非存在下では反応は全く進行しない。 K_3PO_4 の使用も同等の結果を与えたが、副生成物を全く与えない Cs_2CO_3 が最適であった。リン系配位子はカルボヨード化を進行させたが、NHC 配位子はカルボヨード化を進行させなかった。 $(\text{IPr})\text{Pd}(\text{cinnamyl})\text{Cl}$ も有効であったが、収率は若干低かった。チオールの残存が収率低下の原因であり、TIPS エーテルの純度が重要であることも明らかにした。開発した反応は幅広い基質およびチオールに適用可能であった。不斉配位子を用いる不斉触媒反応への展開が可能であるとともに、生成物は多彩な官能基変換が可能であり、基質適用範囲も広いため、生物活性天然物の全合成へ活用が期待される。



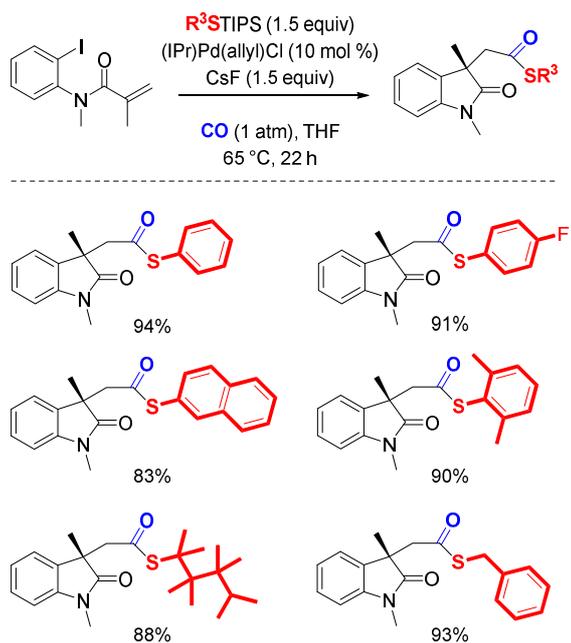
Scheme 1.



Scheme 2.

ベンジル位第四級不斉炭素の形成を伴う分子内 Heck 反応を一酸化炭素 (CO) 雰囲気下で行うことにより、生成する γ -アルキルパラジウム中間体からアシルパラジウム中間体への変換を系中で行い、さらにその中間体とアルキルまたはアリールトリイソプロピルシリル (TIPS) チオエーテルとの反応を進行させる連続反応の開発に成功した (Scheme 3)。本反応はパラジウム触媒により生成した γ -アルキルパラジウム中間体と CO、TIPS チオエーテル、 CsF によってアルキルおよびアリールチオエステルを与える最初の反応例である。

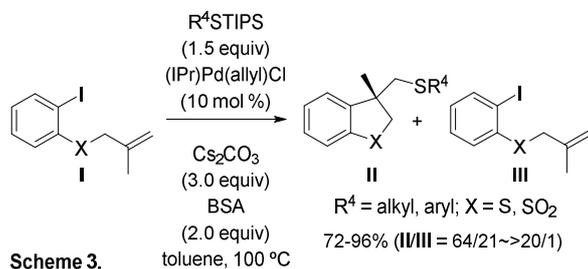
この分子内チオカルボニル化反応においては、CO 雰囲気下、 CsF 、 $(\text{IPr})\text{Pd}(\text{allyl})\text{Cl}$ 、アルキルまたはアリール TIPS チオエーテルをテトラヒドロフラン中で使用することが、目的生成物を高収率で得る鍵である。カルボニル基を反応点近傍にもつ基質の反応は円滑に進行し、カルボニル基をもたない基質の反応は高い反応温度を必要とする。このことは、カルボニル基が γ -アルキルパラジウムまたはアシルパラジウム中間体を安定化し、反応促進に寄与することを示唆している。フッ化ベンゾイルと PhSTIPS の反応が CsF 存在下、パラジウム触媒無しでチオエステルを与えることも見出し、本チオカルボニル化反応で生成した酸フッ化物のパラジウム触媒を必要としない反応によりチオエステルが形成し得る可能性も示した。



Scheme 3.

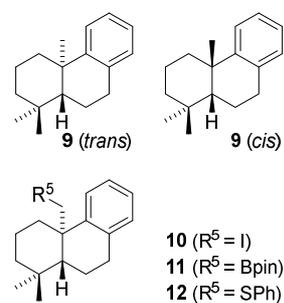
ベンジル位第四級不斉炭素を有する 2, 3-ジヒドロベンゾ[*b*]チオフェンおよび対応する 1, 1-ジオキドを与える新規パラジウム触媒連続反応を開発した (Scheme 3)。

この連続反応には、Pd(0)へのヨウ化アリール I の酸化的付加による α -アリールパラジウム中間体の形成、 β -アリールパラジウム中間体への内部アルケンの挿入が含まれ、ベンジル位第四級不斉炭素を備えた含硫黄環を有する α -アルキルパラジウム中間体が得られる。その後の TIPS チオエーテルとの反応と還元的脱離により、生成物 II が得られる。上述したように、ベンジル位第四級不斉炭素と含窒素環、含酸素環、炭素環の同時形成を伴う高収率で進行するパラジウム触媒カルボチオ化を開発しているが、硫黄原子を含む化合物の場合、収率が低い有機合成化学的有用性を高めるには改良が必要であった。本反応においては、Cs₂CO₃、(IPr)Pd(allyl)Cl、およびチオール TIPS エーテル誘導体の使用に加えて、添加剤としてビストリメチルシリルアセトアミド (BSA) の使用が高収率を達成するための鍵であることを見出した。BSA はパラジウムの触媒活性を維持することを示唆する結果も得た。したがって、BSA の添加は硫黄不純物によって阻害される他のパラジウム触媒反応の改善にも役立つと思われる。



パラジウム触媒存在下にギ酸ナトリウムを作用させる 3 の還元的 Heck 反応の立体選択性を研究した。DMF 中で Pd(OAc)₂ (10 mol %) と PPh₃ (25 mol %) を用い、100 °C で反応を行ったところ、三環式化合物 9 (Fig. 4) を収率 60%、*trans/cis* = 5/1 で得た。触媒を Pd(PPh₃)₄ に変えると反応は進行しなかったが、CsCO₃ (3 equiv) を添加すると、収率 60%、*trans/cis* = 4/1 で生成物を得た。ここで溶媒をトルエンに変えたところ、収率 79%、*trans/cis* = 20/1 となることを見出した。Pd(PPh₃)₄ を用いるときは、Et₃N では反応は進行しなかったため、CsCO₃ の添加が必須であることが分かった。

上述の反応条件下における 3 の 2,2-ジメチル基を除去した基質の環化反応は、生成物を収率 94%、*trans/cis* 比 1:1 で与えた。この結果より、2,2-ジメチル基が反応の *trans* 選択性向上に重要であることが分かった。3 のエキソメチレン部をエチリデンに変えた基質の Heck 反応では、いずれの場合も *trans/cis* = 1/4 ~ 1/5 と *cis* 体が優先的に生成した。3 の反応を HCO₂Na の代わりに他の求核試薬を用いる試みは前例がないため、検討した。3 の環化反応をトルエン中、100 °C で Pd₂(dba)₃、P(*t*-Bu)₃、K₂CO₃、KI を用いて行くと、10 (Fig. 4) を収率 50%、*trans/cis* 比 1:>100 で得た。SPhos をリガンドとした反応では 24 時間後の収率は 52%、*trans/cis* 比は 7:1 となり、72 時間後では収率 47%、*trans/cis* 比 > 100:1 となったので、*cis* 体が時間とともに分解したことが分かった。



3 の環化反応をトルエン/H₂O 中、100 °C で Pd(PPh₃)₄、Cs₂CO₃、B₂pin₂ を用いて行った場合、11 (Fig. 4) を収率 91%、*trans/cis* 比 8.7:1 で得た。

3 の反応で生成するパラジウム α -アルキル錯体の反応により、フェニルスルフィドを備えたメチル基を縮環部にもつ 12 (Fig. 4) の合成に成功した。反応条件を最適化中である。

13 (Fig. 5) のパラジウム触媒を用いた分子内アリール化を検討したところ、Pd(PPh₃)₄、Et₃N を用いたときは無反応であったが、Et₃N の代わりに CsCO₃ を用いたときに三環式化合物 14 を収率 61%、*trans/cis* = 1.6/1 で得た。13 のアルデヒド部分をエステルにした基質では、環化は進行しなかった。

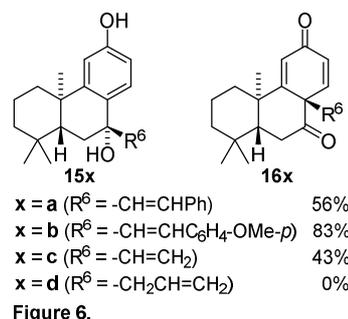
13 のシリルエノールエーテルを用い、パラジウム触媒を用いた分子内アリール化を行ったところ、14 の *cis* 縮環体が優先して (*trans/cis* = 1/4-1/25) 生成した。トルエン中、Pd(PPh₃)₄、CsCO₃ を用いた条件下では、ほぼ 14 の *cis* 縮環体のみ (*trans/cis* = 1/ > 100) が生成することを見出した。

13 (Fig. 5) のパラジウム触媒を用いた分子内アリール化を検討したところ、Pd(PPh₃)₄、Et₃N を用いたときは無反応であったが、Et₃N の代わりに CsCO₃ を用いたときに三環式化合物 14 を収率 61%、*trans/cis* = 1.6/1 で得た。13 のアルデヒド部分をエステルにした基質では、環化は進行しなかった。

13 のシリルエノールエーテルを用い、パラジウム触媒を用いた分子内アリール化を行ったところ、14 の *cis* 縮環体が優先して (*trans/cis* = 1/4-1/25) 生成した。トルエン中、Pd(PPh₃)₄、CsCO₃ を用いた条件下では、ほぼ 14 の *cis* 縮環体のみ (*trans/cis* = 1/ > 100) が生成することを見出した。

13 のシリルエノールエーテルを用い、パラジウム触媒を用いた分子内アリール化を行ったところ、14 の *cis* 縮環体が優先して (*trans/cis* = 1/4-1/25) 生成した。トルエン中、Pd(PPh₃)₄、CsCO₃ を用いた条件下では、ほぼ 14 の *cis* 縮環体のみ (*trans/cis* = 1/ > 100) が生成することを見出した。

(2) 既知化合物より合成した 15a-d (Fig. 6) の酸化的脱芳香族化に伴う立体選択的 1,2-転位による第四級不斉炭素構築を検討した。15a と PhI(OAc)₂ の反応は 16a を与えたが、収率は溶媒に依存し、CH₂Cl₂: 1,1,1,3,3,3-ヘキサフルオロ-2-プロパノール (HFIP) = 1/1 を溶媒とした時に最も高い収率 38% で生成物を得た。しかし、同混合溶媒中で四酢酸鉛を用いると収率は 56% に向上することを見出した。転位基としては置換されたビニル基が有効であり、15b では 83%、15c では 43% で生成物を得た。しかし、15d では転位生成物は得られなかった。



転位基として置換されたビニル基が有効であった理由は、15a-c の転位におけるカチオン性中間体 17a-c (Fig. 7) の安定性にあると考えられる。すなわち、フェノールの酸化的脱芳香族化により生じるカルボカチオンはビニル基の隣接基関与によりシクロプロピルメチルカチオンとして安定化され、さらに 17a ではフェニル基、17b では *p*-メトキシフェニル基により安定化を受ける。そのため、生じるカルボカチオンの安定性により Fig. 6 における収率の違いが説明でき、17d ではカチオン性中間体の安定化が生じないため、転位が進行しにくかったと解釈できる。

15a のジアステレオマー 18 (Fig. 8) も合成し、溶媒として CH₂Cl₂ : HFIP = 1/1 を使い、四酢酸鉛による酸化的脱芳香族化を行ったが、19 は得られず、ヒドロキシ基の脱離による脱水反応が進行した。このことは、15a-c の転位において、基質の立体配置が反応の進行に重要であることを示している。すなわち、フェノールの酸化により生じるカルボカチオンあるいは芳香環の π 電子と転位基の軌道が重なる立体配置が、転位が進行するための条件と考えられる。18 の反応では第三級アルコールがプロトン化を受け、その C-O 結合が芳香環の π 電子の軌道と重なるため、酸化的脱芳香族化よりも脱水が優先したと考えられる。

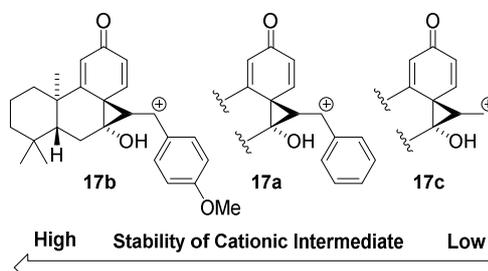


Figure 7.

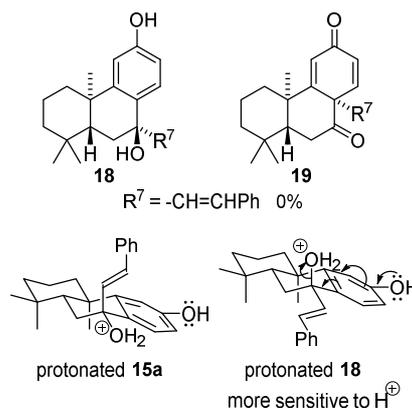
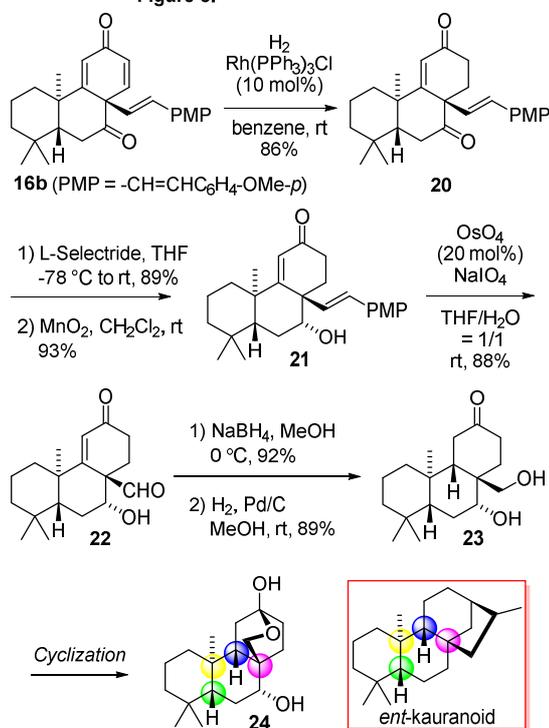


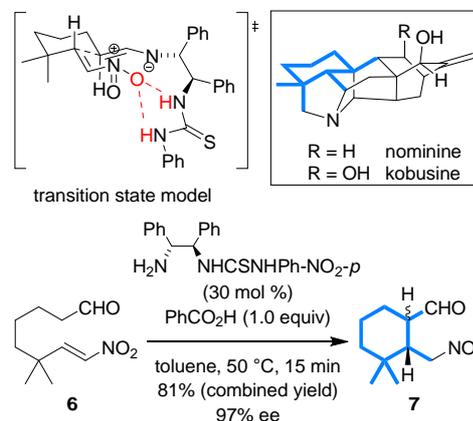
Figure 8.

(3) 16b から 23 の合成を行った (Scheme 4)。16b の Wilkinson 触媒を用いた接触水素化は 20 を収率 86% で選択的に与えた。立体障害の小さい二置換アルケンの接触水素化が優先したと考えられる。Pd/C を用いた接触水素化では選択性が見られなかった。20 の L-Selectride® による還元はジオールを収率 89% で与えたが、その二酸化マンガンによる酸化は 21 のみを収率 93% で与えた。通常、L-Selectride® による還元はエクアトリアル方向から進行するが、第四級炭素の隣のケトンがアキシアル方向から還元されていることは、この三環式骨格の特性と考えられる。21 の Lemieux-Johnson 酸化は 22 を 88% で与えた。三置換アルケンは一級炭素に挟まれているため、立体障害により反応が進行しにくかったと考えられる。22 の NaBH₄ による還元を 0 で行うと、23 を収率 92% で得た。生成物の Pd/C を用いた接触水素化は 23 を収率 89% で立体選択的に与えた。この立体障害のある三置換アルケンの接触水素化は一級アルコールの directing 効果により加速された可能性がある。23 の構造は ¹H-NMR で確認できたが、一部、24 を含むことも確認できた。溶媒を除いた状態では、23 は環化した 24 の構造を優先的にとることも X 線結晶構造解析で分かった。24 は *ent*-kauranoid と同じ四連続不斉中心とジメチルメチレン基をもつので、Scheme 4 に示した手法は *ent*-kauranoid 類の合成に有用である。



Scheme 4.

既知化合物より合成した 6 (Scheme 5) の不斉有機触媒を用いた立体選択的マイケル反応が 7 をジアステレオマー混合物として収率 81% で与えることを見出した。7 の二つのジアステレオマーはいずれも、97% ee であり、ホルミル基 位に置換基を導入する際には両ジアステレオマーを利用可能であるため、含窒素テルペン類の合成に活用することを検討中である。



Scheme 5.

引用文献

Newman, D. J.; Cragg, G. M. *J. Nat. Prod.* 2016, 79, 629.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Hosoya Yosuke, Kobayashi Ikumi, Mizoguchi Kota, Nakada Masahisa	4. 巻 21
2. 論文標題 Palladium-Catalyzed Carbothiolation via Trapping of the π -Alkyl Palladium Intermediate with RSTIPS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 8280 ~ 8284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.9b03046	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 Sato Yusuke, Hosoya Yosuke, Kobayashi Ikumi, Adachi Kyohei, Nakada Masahisa	4. 巻 8
2. 論文標題 Preparation of a Chiral Building Block by an Organocatalytic Asymmetric Intramolecular Michael Reaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1033 ~ 1036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.201900178	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 Nakada Masahisa, Hosoya Yosuke, Mizoguchi Kota, Yasukochi Honoka	4. 巻 33
2. 論文標題 Palladium-Catalyzed Thiocarbonylations with Triisopropylsilyl Thioethers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 495 ~ 501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/a-1733-6073	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 Nakada Masahisa, Hosoya Yosuke, Yasukochi Honoka, Mizoguchi Kota	4. 巻 104
2. 論文標題 Preparation of 2,3-Dihydrobenzo[b]thiophene Bearing Benzylic Quaternary Carbon by Palladium-Catalyzed Cascade Reaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 HETEROCYCLES	6. 最初と最後の頁 655 ~ 655
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3987/COM-21-14611	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 Imamura Yuki, Mizutani Hikaru, Nakada Masahisa	4. 巻 33
2. 論文標題 Construction of Successive Stereogenic Centers of ent-Kauranoid via Oxidative Dearomatization/1,2-Shift Cascade	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 00 ~ 00
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/a-1855-3777	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 Nakada Masahisa	4. 巻 95
2. 論文標題 Research on the Efficient Enantioselective Total Synthesis of Useful Bioactive Polycyclic Compounds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 00 ~ 00
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210329	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3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 細谷 洋介・小林 育美・溝口 滉太・中田 雅久
2. 発表標題 -アルキルパラジウムを中間体とした触媒的カルボチオレーション
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 細谷 洋介・小林 育美・溝口 滉太・中田 雅久
2. 発表標題 -アルキルパラジウムを中間体とした触媒的カルボチオレーション
3. 学会等名 日本化学会第100回春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroko Sekita, Yusuke Sato, Ikumi Kobayashi, Yosuke Hosoya, Kyohei Adachi, Ippei Kobayashi and Masahisa Nakada
2. 発表標題 Highly Enantio- and Stereoselective Construction of ent-Atisane Scaffold via Organocatalytic Asymmetric Intramolecular Michael Reaction and [4+2] Cycloaddition
3. 学会等名 27th International Society of Heterocyclic Chemistry Congress
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

中田雅久研究室 http://www.chem.waseda.ac.jp/nakada/ 早稲田大学 先進理工学部 化学・生命化学科 http://www.chem.waseda.ac.jp/ja/
--

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
---------	---------