

機関番号：14601  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20550041  
 研究課題名（和文） エテントリカルボン酸エステルの高い反応性を利用した新規合成反応の開発  
 研究課題名（英文） Development of new synthetic reactions utilizing high reactivity of ethenetricarboxylates  
 研究代表者  
 山崎 祥子（YAMAZAKI SHOKO）  
 奈良教育大学・教育学部・教授  
 研究者番号：50182481

研究成果の概要（和文）：高い反応性をもつエテントリカルボン酸エステル誘導体と、置換プロパルギルアルコール、エチニルアニリン、アミノベンズアルデヒド、アミノアセタール、アレン等との種々のルイス酸触媒によって促進される付加環化反応で、多くの生物活性物質の基本骨格である、含窒素、酸素および炭素環化合物であるテトラヒドロフラン、シクロブタン、キノリン、インドール、ピロリジン、インデン誘導体などを得る新規効率的結合形成反応を見出した。

研究成果の概要（英文）：New efficient cycloaddition reactions utilizing high reactivity of ethenetricarboxylates has been developed. Lewis acid promoted reaction of ethenetricarboxylates with substituted propargyl alcohols, ethynyl anilines, aminobezaldehydes, aminoacetals, and allenes gave nitrogen or oxygen-containing cyclic and carbocyclic compounds. These reactions represent efficient ways to construct potentially useful compounds.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：有機合成化学

科研費の分科・細目：基礎化学・有機化学

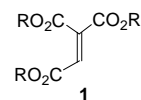
キーワード：合成反応，効率的結合形成，ルイス酸

#### 1. 研究開始当初の背景

効率的結合形成反応の探索は、有機合成化学において、重要な課題である。資源の有効利用、環境保全などの観点からの、効率よく有用物質を合成する反応の開拓が望まれる。

エテンカルボン酸エステルのうち、アクリル酸エステル、マレイン酸、フマル酸エステルは、広範に有機合成に利用されてきた。メチレンマロン酸エステルは、立体的に安定化されたジ-t-ブチルエステル以外は、室温で重合しやすく取り扱いにくい、そのアルキル

置換体であるアルキリデンマロン酸エステルは、合成に有効に利用されている。エテントリカルボン酸エステル **1** は、従来ポリマーの原料として用いられ、さらに[2+1]付加、逆要請 Diels-Alder、エン反応などの限られた反応の報告があるのみであった。



最近の我々の研究で、**1** は取扱いに関して

は十分な安定性を有し、かつ共役付加反応などに対して反応性が高いことを示してきた。多くの置換基で修飾された生成物は、有用な合成中間体となると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、生物活性を示す多くの天然物に含まれている基本骨格である、窒素や酸素を含む環状化合物および炭素環化合物の新規効率的合成反応の開拓を目標とした。ルイス酸などの活性化による結合形成反応で効率よく目的化合物を合成する反応の開発を行った。

(1) エテントリカルボン酸誘導体 **1** とプロパルギルアミン、アルコール類の臭化亜鉛、インジウムなどのルイス酸触媒下での、ワンポットによる効率的な[3+2]付加環化反応で、ピロリジンやテトラヒドロフランを与えることを報告した。これまで、修飾されたプロパルギル基質は $\gamma$ -ケイ素、エステル基および $\alpha$ -アルキル、フェニル置換プロパルギルアルコールに限られていた。さらに様々な基質を用いて反応の選択性などを調べることを目的とし、本反応の詳細及び発展を検討した。

$\text{CF}_3$  基は、強力な電子求引基であり、また  $\text{CF}_3$  基を含む有機化合物は、医薬品や材料として期待される生物活性などの性質を示すことが多い。そこで、 $\gamma$ - $\text{CF}_3$  置換プロパルギルアルコールと **1** を用いた付加環化反応を検討した。

(2) **1** とプロパルギルアミンの1炭素伸長誘導体と考えられる 2-エチニルアニリンの亜鉛触媒による付加環化反応で、生物活性的に重要なキノリン骨格をもつ誘導体を得ることを試みた。

(3) エテントリカルボン酸誘導体 **1** と 2-アミノアセトフェノンとの反応でもキノリン誘導体を得られたため、**1** と 2-アミノベンズアルデヒドのルイス酸触媒による付加環化反応を調べた。

(4) プロリン誘導体等のピロリジンやピペリジン含窒素5,6員環骨格をもつ化合物は、生物活性的に重要で、その合成法の開発は興味を持たれる。アミノアセタールは、保護されたアミノアルデヒドで有用な反応剤であり、アミノ基で求核試薬として、アセタール基でルイス酸による活性化により求電子試薬として反応すると考えられる。アミノアセタールと反応性の高い共役付加受容体である **1** のルイス酸触媒によるワンポットでの環化反応を調べた。

(5) インデンは、重要な骨格であり、生物活性のある化合物や機能性物質に含まれ、その合成法の開発は興味を持たれる。Friedel-Crafts 反応はインデン骨格の形成にこれまで効果的に用いられてきた。一方、アレンは、その構造的特徴から有機合成的に興味深い

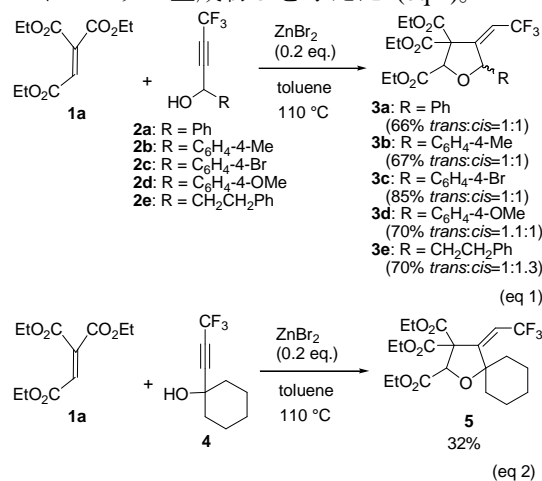
化合物であり、種々の合成反応に用いられている。しかし、これまで単純なアリールアレンの Friedel-Crafts 反応によるインデン骨格の形成には、ほとんど用いられて来なかった。ルイス酸触媒による **1** とアリールアレンの共役付加により生じる中間体を経て、Friedel-Crafts 反応による環化で、インデンが生成する反応を試みた。

## 3. 研究の方法

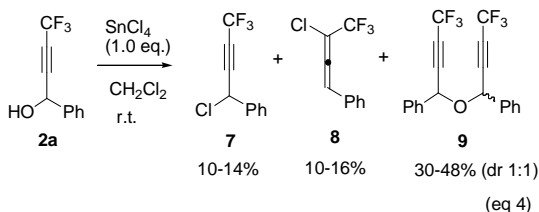
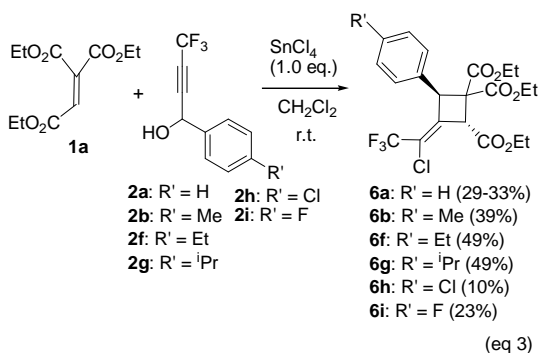
エテントリカルボン酸誘導体 **1** と  $\gamma$ - $\text{CF}_3$  置換プロパルギルアルコール、2-エチニルアニリン、2-アミノベンズアルデヒド、アミノアセタール、アレン等との種々のルイス酸触媒による反応を調べた。

## 4. 研究成果

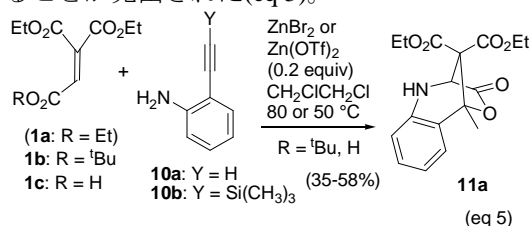
(1) エテントリカルボン酸トリエチル **1a** と **2** の反応で、臭化亜鉛存在下、テトラヒドロフラン生成物 **3** が 1:1 ジアステレオマー混合物として得られ、プロパルギルアルコールとの反応と同様の反応性を示した(eq 1)。 $\text{CF}_3$  基は電子求引基として閉環反応を活性化したと考えられる。**1a** と  $\gamma$ - $\text{CF}_3$  置換プロパルギルアルコール **4** との反応でも 32%の収率で、テトラヒドロフラン生成物 **5** を与えた (eq 2)。



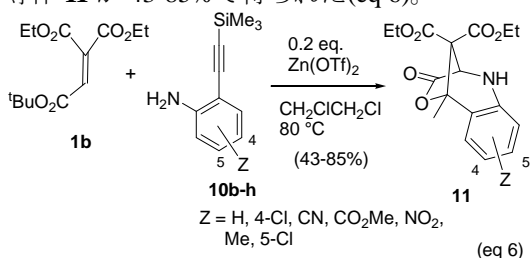
様々なルイス酸を検討した。その中で、**1a** と **2a** の反応で、ルイス酸として  $\text{SnCl}_4$  を用いると、シクロブタン生成物 **6a** が得られた(eq 3)。シクロブタン **6a** の構造決定は、X 線結晶構造解析で行った。 $\gamma$ - $\text{CF}_3$  置換プロパルギルアルコール **2a** の、 $\text{SnCl}_4$  による置換反応で Cl 置換アレン **8** が生成し、**1a** と [2+2] 環化付加が起こったものと考えられる。**2a** と  $\text{SnCl}_4$  のみの反応で、**7, 8, 9** がそれぞれ 10-14%, 10-16%, 30-48% (dr 1:1) の収率で生成することを確認した(eq 4)。さらに、**1a** と種々の  $\gamma$ - $\text{CF}_3$ - $\alpha$ -アリールプロパルギルアルコール **2** との塩化スズとの反応で、シクロブタン誘導体 **6** が得られた(eq 3)。



(2) エチントリカルボン酸トリエチル **1a** と *o*-エチルアニリン **10a,b** の反応では、6員環生成物はほとんど得られないが、**1b,c** と **10a,b** との亜鉛、インジウム触媒存在下での反応で、架橋環式化合物 **11a** が 35-58% の収率で得られることが見出された(eq 5)。

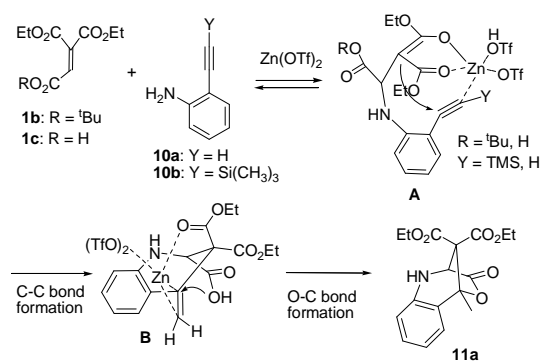


*t*-ブチルエステル **1b** と種々の芳香族置換基を持った 2-トリメチルシリルエチニルアニリン誘導体 **10** の亜鉛トリフラート触媒下の反応を検討したところ、橋掛けキノリン誘導体 **11** が 43-85% で得られた(eq 6)。

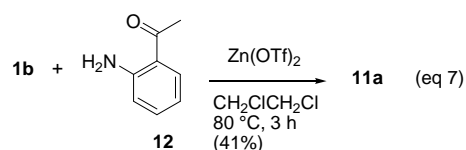


<sup>i</sup>Bu 基と TMS 基は反応条件下で、失われたことがわかる。**1c** と **10a** は **1b**, **10b** よりそれぞれ合成することを考慮すると、**1b** と 2-トリメチルシリルエチニルアニリン誘導体 **10** との反応で **11** を得る反応は、効率的であると言える。予想反応機構は Scheme 1 に示すとおり、C-C 結合形成に続いて O-C 結合形成が起こっていると考えられる。

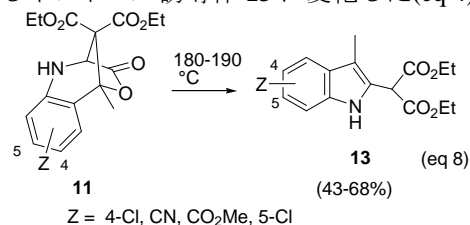
反応中間体をさらに知る目的で、**1b** と 2-アミノアセトフェノン **12** との Zn(OTf)<sub>2</sub> 触媒存在下での反応を検討したところ、**11a** が 41% の収率で得られた(eq 7)。



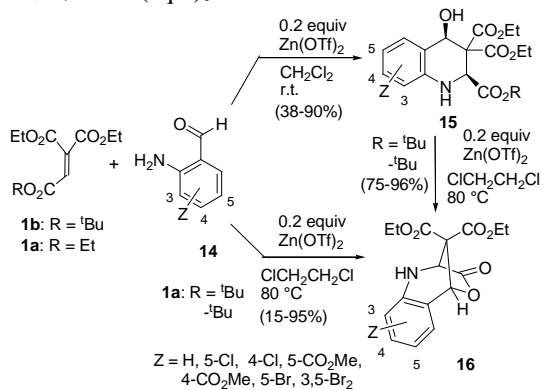
Scheme 1



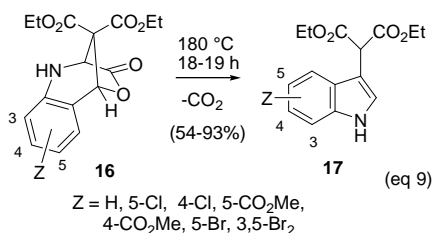
また、**11** の熱反応を検討したところ、脱炭酸シインドール誘導体 **13** に変化した(eq 8)。



(3) 2-アミノベンズアルデヒド誘導体 **14** と *t*-ブチルエステル **1b** を Zn(OTf)<sub>2</sub> 存在下 80 °C で加熱したところ、橋掛けテトラヒドロキノリン誘導体 **16** が 15-95% の収率で得られた。一方、室温で **1b,1a** と **14** を反応させたところ、ヒドロキシテトラヒドロキノリン誘導体 **15** を立体選択的に 38-90% の収率で得た。ヒドロキシキノリン *t*-ブチルエステル **15**(R=<sup>i</sup>Bu)は Zn(OTf)<sub>2</sub> 存在下 80 °C で加熱すると橋掛けキノリン **16** に変化した(Scheme 2)。さらに、**16** の 180 °C での熱反応を行ったところ、脱炭酸によってインドール誘導体 **17** に位置選択的に変化した(eq 9)。

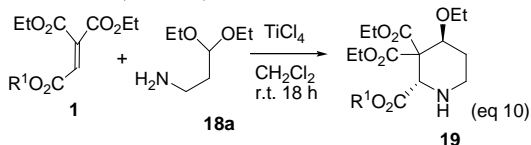


Scheme 2

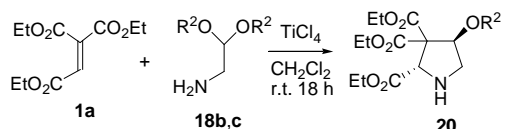


(4) 3-アミノプロピオンアルデヒドジエチルアセタール **18a** とエテントリカルボン酸エチル **1a** を 1 等量の TiCl<sub>4</sub> 存在下室温で反応させたところ、2-ピペリジンカルボン酸誘導体 **19** (R<sup>1</sup>=Et) が 92% の収率、2,4-ジアステレオマー比 1:1 で得られた。一方、3 等量の TiCl<sub>4</sub> 存在下室温で反応させたところ、2,4-*trans*-2-ピペリジンカルボン酸誘導体 **19** (R<sup>1</sup>=Et) が 86% の収率でジアステレオ選択的に得られた (eq 10)。アミノアセトアルデヒドジエチル (ジメチル)アセタール **18b-c** と **1a** を 3 等量の TiCl<sub>4</sub> 存在下室温で反応させたところ、プロリン誘導体である 2,4-*trans*-2-ピロリジンカルボン酸誘導体 **20a-b** が主生成物として得られた (eq 11)。単離した 2,4-*cis*-ピペリジン **19** (R<sup>1</sup>=Et) を 3 等量の TiCl<sub>4</sub> と反応させたところ、2,4-*trans*-ピペリジン **19** (R<sup>1</sup>=Et) に変化した。2,4-*trans*-体 **19** (R<sup>1</sup>=Et) は 1 等量の TiCl<sub>4</sub> で、1:1 ジアステレオ混合物に変化した。環化生成物は TiCl<sub>4</sub> 配位によって各立体異性体へ平衡が移動すると考えられる。

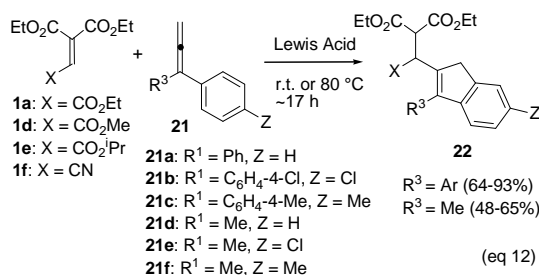
(5) **1** と 1,1-ジアリールアレン **21a-c** との SnCl<sub>4</sub> 存在下での反応で、共役付加/Friedel-Crafts 環化によってインデン誘導体 **22** (R<sup>3</sup>=Ar) が 64-93% の収率で効率的に得られることがわかった (eq 12)。反応は、触媒量 (0.2 equiv) の SnCl<sub>4</sub>, AlCl<sub>3</sub>, ZnI<sub>2</sub> でも進行した。**1a,d** と 1-アリール-1-メチルアレン **21d-f** との反応では、インデン誘導体 **22** (R<sup>3</sup>=Me) が 48-65% の収率で得られた。



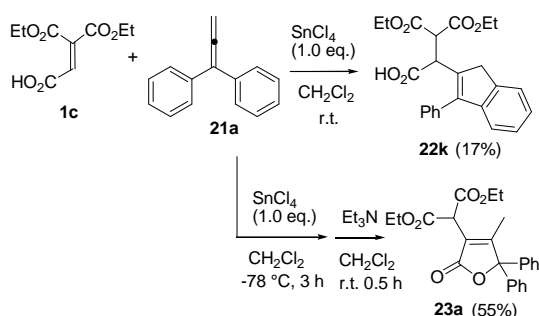
TiCl<sub>4</sub> 1 eq, R<sup>1</sup>=Et, dr = 1:1 (92%)  
TiCl<sub>4</sub> 3 eq, R<sup>1</sup>=Et, <sup>i</sup>Pr, Allyl, Propargyl;  
dr (2,4-*trans*:*cis*) = >9:1 ~ 5:1 (57~86%)



**20a**: R<sup>2</sup> = Et; TiCl<sub>4</sub> 1 eq, dr (2,4-*trans*:*cis*) = 3:1 (99%)  
**20a**: R<sup>2</sup> = Et; TiCl<sub>4</sub> 3 eq, dr = 7:1 (95%)  
**20b**: R<sup>2</sup> = Me; TiCl<sub>4</sub> 1 eq, dr = 3:1 (87%)  
**20b**: R<sup>2</sup> = Me; TiCl<sub>4</sub> 3 eq, dr = 5:1 (91%)

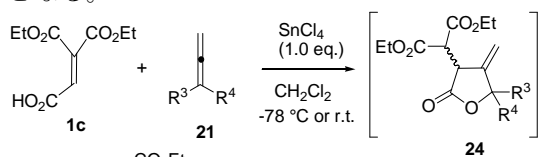


エテントリカルボン酸 1,1-ジエチル **1c** の塩化スズ存在下でのアレン **21a** との室温での反応で、インデン誘導体 **22k** が 17% の収率で得られた。一方、**1c** の塩化スズ存在下でのアレン **21a** との -78 °C での反応で Et<sub>3</sub>N で処理後、 $\gamma$ -ラクトン誘導体 **23a** が 55% の収率で得られた (Scheme 3)。



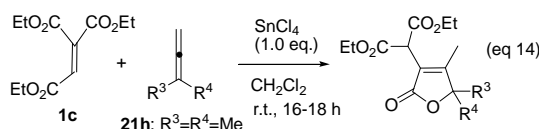
Scheme 3

また、エテントリカルボン酸 1,1-ジエチル **1c** の塩化スズ存在下での種々のアリールおよびアルキルアレン **21** との -78 °C または室温での反応では、Et<sub>3</sub>N で処理後、**23** が 17-63% の収率で得られた (eq 13)。 **1c** と **21** との反応で、通常の処理ではエキソメチレン- $\gamma$ -ラクトン **24** か、および、または  $\alpha,\beta$ -不飽和  $\gamma$ -ラクトン異性体 **23** が生成する。**24** は蒸留やカラムによる精製に不安定で、Et<sub>3</sub>N で処理すると **23** となる。



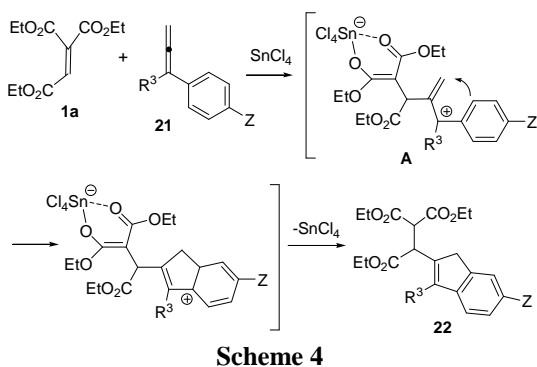
R<sup>3</sup> = Me, H  
R<sup>4</sup> = Ph, 4-Cl-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, Me,  
(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>CH<sub>3</sub>  
R<sup>3</sup>/R<sup>4</sup> = -(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>-

(17-63%)



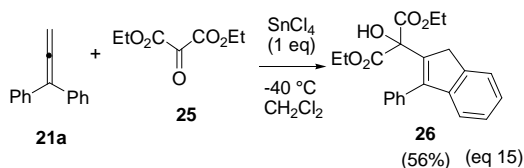
**21h**: R<sup>3</sup>=R<sup>4</sup>=Me  
**21i**: R<sup>3</sup>=Me,  
R<sup>4</sup>=(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>CH<sub>3</sub>  
**21j**: R<sup>3</sup>/R<sup>4</sup> = -(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>-

**23h**: R<sup>3</sup>=R<sup>4</sup>=Me (82%)  
**23i**: R<sup>3</sup>=Me,  
R<sup>4</sup>=(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>CH<sub>3</sub> (49%)  
**23j**: R<sup>3</sup>/R<sup>4</sup> = -(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>- (52%)



さらに、エテントリカルボン酸トリエチル **1b** の塩化スズ存在下室温での 1,1-ジアルキルアレン **21h,i,j** との反応でも、 $\gamma$ -ラクトン誘導体 **23** が 49-82% で得られることがわかった (eq 14)。インデン環生成の反応機構について、Scheme 4 のようにアレン付加中間体 **C** から Friedel-Crafts 反応 (または  $4\pi$  電子環状反応) が進行していると考えている。

次に、ルイス酸触媒によるアリールアレンと活性ケトンとの付加-環化反応を調べた。塩化スズ存在下  $-40^\circ\text{C}$ 、ジフェニルアレン **21a** とケトマロン酸エチル **25** との反応で、ヒドロキシマロン酸インデン誘導体 **26** が 56% の収率で得られた (eq 15)。



本インデン形成反応は、高修飾インデン誘導体の新規効率的合成法となる。

以上、高い反応性をもつエテントリカルボン酸エステル誘導体を利用したルイス酸触媒によって促進される効率的付加環化反応を開発し、含窒素、酸素および炭素環化合物を合成した。

## 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 12 件)

- ① Lewis Acid Promoted Reactions of Ethenetricarboxylates with Allenes: Synthesis of Indenes and  $\gamma$ -Lactones via Conjugate Addition/Cyclization Reaction. Yamazaki, S.; Yamamoto, Y.; Fukushima, Y.; Takebayashi, M.; Ukai, T.; Mikata, Y. *J. Org. Chem.* **2010**, *75*, 5216-5222. 査読有
- ②  $\text{Zn}(\text{OTf})_2$ -Catalyzed Reactions of Ethenetricarboxylates with 2-Aminobenzaldehydes Leading to Tetrahydroquinoline Derivatives.

Yamazaki, S.; Takebayashi, M.; Miyazaki, K. *J. Org. Chem.* **2010**, *75*, 1188-1196. 査読有

- ③  $\pi$  Complexes in benzidine rearrangement. Yamabe, S.; Nakata, H.; Yamazaki, S. *Org. Biomol. Chem.* **2009**, *7*, 4631-4640. 査読有
- ④ A remarkable difference in the deprotonation steps of the Friedel-Crafts acylation and alkylation reactions. Yamabe, S.; Yamazaki, S. *J. Phys. Org. Chem.* **2009**, *22*, 1094-1103. 査読有
- ⑤ Zinc-Catalyzed Reactions of Ethenetricarboxylates with 2-(Trimethylsilylethynyl)anilines Leading to Bridged Quinoline Derivatives, Yamazaki, S.; Morikawa, S.; Miyazaki, K.; Takebayashi, M.; Yamamoto, Y.; Morimoto, T.; Kakiuchi, K.; Mikata, Y. *Org. Lett.* **2009**, *11*, 2796-2799. 査読有
- ⑥ Enantioselective Friedel-Crafts reactions of ethenetricarboxylates and substituted pyrroles and furans and intramolecular reaction of benzene derivatives, Yamazaki, S.; Kashima, S.; Kuriyama, T.; Iwata, Y.; Morimoto, T.; Kakiuchi, K. *Tetrahedron: Asymmetry* **2009**, *20*, 1224-1234. 査読有
- ⑦ Three competitive transition states in the benzoin condensation compared to the clear rate-determining step in the Cannizzaro reaction, Yamabe, S.; Yamazaki, S. *Org. Biomol. Chem.*, **2009**, *7*, 951-961. 査読有
- ⑧ Lewis acid-promoted reactions of ethenetricarboxylates with  $\gamma$ - $\text{CF}_3$ -substituted propargyl alcohols, Yamazaki, S.; Yamamoto, Y.; Mikata, Y. *Tetrahedron* **2009**, *65*, 1988-1994. 査読有
- ⑨ Efficient synthesis of heterocyclic compounds using ethenetricarboxylic acid diesters, Yamazaki, S.; Iwata, Y.; Fukushima, Y. *Org. Biomol. Chem.*, **2009**, *7*, 655-659. 査読有
- ⑩ A new mechanism for the addition of alcohols to disilenes revealed by DFT and ONIOM calculations, Yamabe, S.; Mizukami, N.; Tsuchida, N.; Yamazaki, S. *J. Organomet. Chem.* **2008**, *693*, 1335-1345. 査読有
- ⑪ A new mechanism for the Favorskii rearrangement, Tsuchida, N.; Yamazaki, S.; Yamabe, S. *Org. Biomol. Chem.* **2008**, *6*, 3109-3117. 査読有
- ⑫ Efficient Synthesis of Methylene-tetrahydrofurans and Methylene-pyrrolidines by Formal [3+2] Cycloadditions of Propargyl Substrates, Yamazaki, S. *Chem. Eur. J.* **2008**, *14*, 6026-6036. 査読有

[学会発表] (計 13 件)

- ① ルイス酸触媒によるアリールアレンとケトマロン酸エチルの付加-環化反応によ

- るインデン合成, 山崎祥子・○福島悠吾・鵜飼哲真, 日本化学会第91春季年会, 神奈川, 2011/03/29
- ② 四塩化チタンにより促進されるアミノアセタールとエテントリカルボン酸エステルとの反応による含窒素ヘテロ環の合成, 山崎祥子・○竹林聖央, 日本化学会第91春季年会, 神奈川, 2011/03/27
- ③ Lewis acid-promoted Reactions of Ethenetricarboxylates with Allenes: Efficient Synthesis of Indenes via Conjugate Addition/Friedel-Crafts Reaction, ○S. Yamazaki, Y. Yamamoto, Y. Fukushima, M. Takebayashi and T. Ukai, 18th International Conference on Organic Synthesis (ICOS-18), Bergen, Norway, 2010/08/03
- ④ ルイス酸触媒下のエテントリカルボン酸誘導体と2-アミノベンズアルデヒドの反応によるキノリン誘導体の合成, 山崎祥子・宮崎和也・○竹林聖央・小林有, 日本化学会第90春季年会, 大阪 2010/3/28
- ⑤ ルイス酸触媒によるエテントリカルボン酸エステルとアリールアレンの共役付加/フリーデルクラフツ環化反応による効率的インデン合成, 山崎祥子・山本優子・○福島悠吾, 日本化学会第90春季年会, 大阪, 2010/3/27
- ⑥ 2-アミノベンズアルデヒドとエテントリカルボン酸誘導体のタンデム反応による環形成, 山崎祥子・○宮崎和也・竹林聖央, 第53回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会, 奈良, 2009/11/8
- ⑦ ルイス酸触媒によるエテントリカルボン酸誘導体とアレンの環化付加反応, 山崎祥子・○山本優子・福島悠吾, 第53回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会, 奈良, 2009/11/8
- ⑧ Zinc-catalyzed Reactions of Ethenetricarboxylates with 2-Aminobenzaldehydes Leading to Quinoline Derivatives, S. Yamazaki, M. Takebayashi, and K. Miyazaki, The 11th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-11), Kyoto, 2009/11/10
- ⑨ Zinc-catalyzed Reactions of Ethenetricarboxylates with 2-(Trimethylsilylethynyl) anilines Leading to Bridged Quinoline Derivatives, S. Yamazaki, S. Morikawa, K. Miyazaki, M. Takebayashi, Y. Yamamoto, T. Morimoto, and K. Kakiuchi, 15th International IUPAC Conference on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis, OMCOS-15, Glasgow, UK, 2009/7/27
- ⑩ Lewis acid-promoted Reactions of Ethenetricarboxylates with  $\gamma$ -CF<sub>3</sub>-substituted Propargyl Alcohols, S. Yamazaki, ○ Y. Yamamoto and Y. Mikata, The Fifth International Symposium on Integrated Synthesis (ISIS-5), Kobe, Hyogo, Japan, 2008/09/06
- ⑪ Efficient Synthesis of Heterocyclic Compounds using Ethenetricarboxylic Acid Diesters, ○S. Yamazaki and Y. Iwata, 17th Gordon Research Conference on Stereochemistry, Newport RI United States, 2008/07/31
- ⑫ エテントリカルボン酸ジエステルを利用した効率的ヘテロ環合成, 山崎祥子・○岩田ゆう子・角亜紀子, 日本化学会第88春季年会, 東京, 2008/03/28
- ⑬ ルイス酸触媒によるエテントリカルボン酸誘導体と置換プロパルギルアミン、アルコール類の付加環化反応, ○森川智史・山崎祥子・山本優子・森本積・垣内喜代三, 日本化学会第88春季年会, 東京, 2008/03/28

[図書] (計3件)

- ① Theoretical Studies of the Addition of RMgX to Carbonyl Compounds, Yamabe, S.; Yamazaki, S. "The Chemistry of Organomagnesium Compounds", Rappoport, Z.; Marek, I. Ed.; Wiley, 2008, Part 1, Chapter 9, p 369-402.
- ② Three or Four Heteroatom Including At Least One Selenium or Tellurium. Yamazaki, S. *Comprehensive Heterocyclic Chemistry III*, Katritzky, A. R.; Ramsden, C. A.; Scriven, E. F. V.; Taylor, R. J. K., Ed.; Elsevier, 2008, Vol. 6, Chapter 6.12, p. 517-581.
- ③ Thiepanes and Thiepines. Yamazaki, S. *Comprehensive Heterocyclic Chemistry III*, Katritzky, A. R.; Ramsden, C. A.; Scriven, E. F. V.; Taylor, R. J. K., Ed.; Elsevier, 2008, Vol. 13, Chapter 13.03, p. 97-141.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山崎 祥子 (YAMAZAKI SHOKO)

奈良教育大学・教育学部・教授

研究者番号：50182481