

ヘテロ原子-ハロゲン原子結合を活用する有機合成手法の開発

大阪大学大学院工学研究科
応用化学専攻 教授

南方 聖 司

はじめに

当研究室では、“ものづくり”の基礎研究に主眼をおき、シンプル（入手容易）な原料から使える分子の新しい合成法の開拓を目的とし、効率性、選択性、およびグリーン性を備えた方法論を重視して研究を進めている。使える分子として有機合成に有用なビルディングブロック（単純なヘテロ環化合物）および機能材料を指向したフラーレン(C₆₀)の誘導体などを取り上げ、それらの合成の新手法の開発をヘテロ原子-ハロゲン原子結合を活用することにより実践している¹⁾。また、無機多孔体への疎溶媒相互作用を利用した有機分子の新たな内包法を確立し²⁾、その特異な空間の反応場を活用する有機合成の方法論の開拓を検討している³⁾。本稿では、ヘテロ原子-ハロゲン原子結合を活用する最近の研究成果について述べる。

1. 窒素-塩素結合の活用（求核性と脱離性）

1.1 電子不足オレフィンの立体選択的アジリジン化

我々はこれまでにヘテロ原子として窒素原子、ハロゲン原子として塩素を有した入手容易な試薬であるクロラミン塩を活用する有機合成反応を見出してきた^{1a)}。

このクロラミン塩の特徴として、図1に示すように、ナトリウム塩を形成している窒素は弱いながらも（二種の電子求引基が置換しているため）求核性を有している。また、窒素上の塩素原子はその窒素が求核攻撃により置換した後、脱離基として作用すると考えられる。

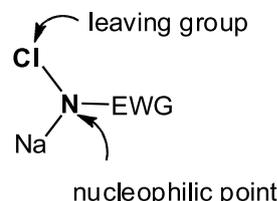
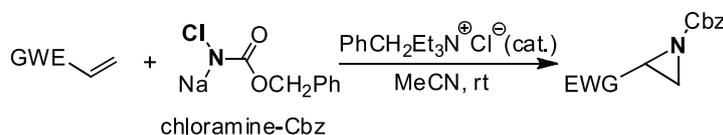


図1 Character of chloramine salts

そこで、*N*-クロロ-*N*-ソジオカルバミン酸ベンジル（クロラミン Cbz）に着目した。窒素上にベンジルオキシカルボニル基をもつクロラミン Cbz は、電子求引基をもつオレフィンに対して求核的に付加し、続く窒素上の塩素の脱離により、アジリジン環が形成できると考えた。クロラミン Cbz は塩であるために有機溶媒への溶解性がよくなく、固-液の相間移動触媒を活用することにより、表1に示すように電子不足オレフィンのアジリジン化を達成することができ



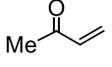
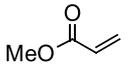
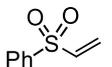
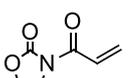
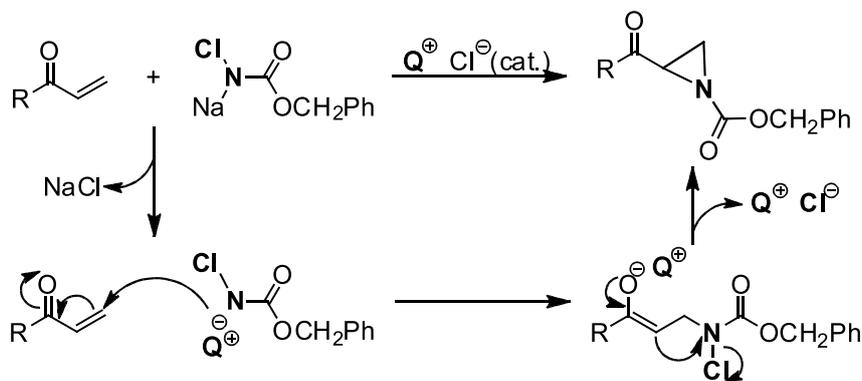
	cat. (mol%)	time (h)	yield (%)
 (2)		24	80
 (2)		24	85
 (2)		4	89
 (1)		4	93

表1 Aziridination of electron-deficient olefins with chloramine-Cbz

た。とくに、オキサゾリジノンのような補助基をもつオレフィンが高い反応性を示した。

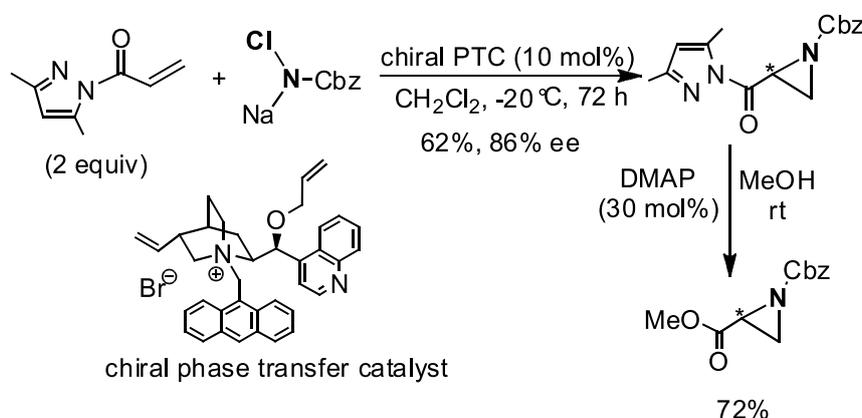
この反応の経路は、相間移動触媒によって溶解したクロラミン Cbz の窒素がエノンの β 炭素に付加することによりエノラートが形成され、炭素から窒素への求核攻撃により、塩素が脱離し、アジリジンが生成すると考えている (スキーム 2)。



スキーム 2 Reaction pathway of the aziridination

ルピラゾールは光学純度を保ったまま容易にメチルエステルへと変換できた (スキーム 3)⁴⁾。さらにこの手法は、光学活性な補助基と光学活性な相間移動触媒

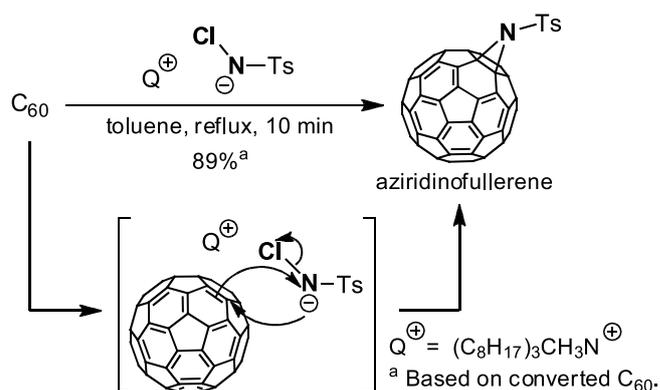
を組み合わせることによって、ジアステレオ選択的な反応に展開でき、光学的に純粋なアジリジンの簡便な合成法を確立することができた⁵⁾。



スキーム 3 Catalytic asymmetric aziridination

1.2 フラーレンへの窒素官能基導入

フラーレン C_{60} は非常に大きな電子受容性を有しており、クロラミン塩との反応が期待できる。事実、*N*-クロロ-*N*-ソジオ-*p*-トルエンスルホンアミド (クロラミン T) のアンモニウム塩と C_{60} を反応させたところ、*N*-トシルアジリジノフラーレンが効率よく生成することを見出した。本アジリジン化反応は、前項と同様に、アミド窒素のフラーレンに対する求核攻撃に続いて塩化物イオンが脱離する付加-環化により進行すると考えており、生成する可能性がある二種の異性

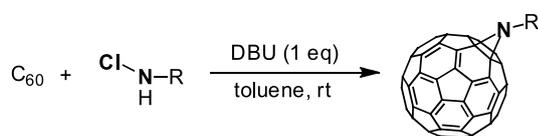


スキーム 4 Aziridination of C_{60} with a chloramine salt

体のうちアジリジノフラレンのみが選択的に生成した (スキーム 4) ⁶⁾。

次に、本系の基質一般性を高めるために、クロラミン T だけでなく、カルバミン酸エステル、尿素誘導体、単純なカルボン酸由来の第一級アミドおよびリン酸アミドによるフラレンのアジリジン化を検討した。種々のアミド類の窒素は次亜塩素酸 *tert*-ブチルによってメタノール中で効率よくハロゲン化でき、得られた *N*-クロロアミドにフラレンを塩基存在下で作用させたところ、対応する種々のアジリジノフラレンが得られることが判った (表 2) ⁷⁾。

表 2 Aziridination of C₆₀ with N-chloroamides



entry	amide (equiv)	time (min)	yield (%) ^{a,b}
1	(1.5)	15	80 (26)
2	(1.0)	300	60 (15)
3	(1.0)	300	57 (17)
4	(1.5)	30	77 (35)
5	(1.0)	10	66 (35)
6	(1.0)	60	99 (7)
7	(1.5)	120	61 (11)
8	(1.5)	30	60 (28)
9	(1.5)	30	100 (50)

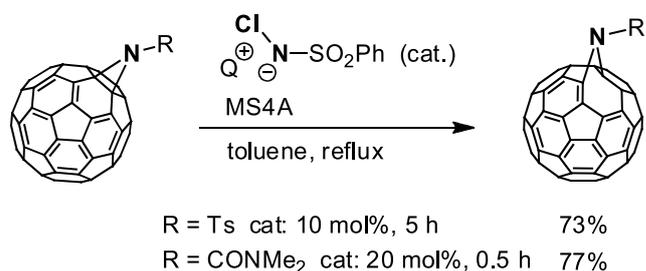
^a Based on converted C₆₀.

^b The number in parenthesis are isolated yields.

一方、先に述べたクロラミン T によるフラレンのアジリジン化反応において、添加剤として MS4A を系に加えることにより、アジリジノフラレンの異性体であるアザフレロイドが主生成物として得られることを見出した。単離したアジリジノフラレンは MS4A 存在下、トルエン中で加熱還流してもアザフレロイドへ変換されないが、上記反応条件 (MS4A, クロラミン T 共存下) で処理することによりアザフ

レロイドへ変換されることが判った。従って、系中で生成したアジリジノフラレンが未反応のクロラミン T によりアザフレロイドへと転位していることが示唆された ⁶⁾。

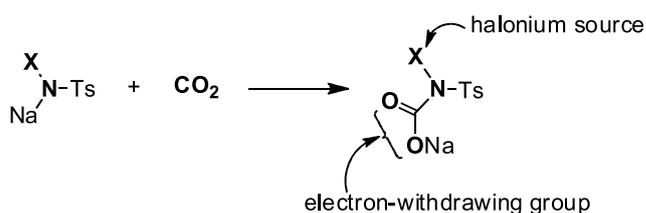
この反応の経路を考察することにより、アジリジノフラレンは触媒量の CT によりアザフレロイドへと変換できることが期待できる。そこで、*N*-トシルアジリジノフラレンに触媒量のクロラミン塩を作用させたところ予想通り転位が進行し、とくに触媒としてクロラミン B (ClNaNSO₂Ph) のアンモニウム塩を用いた場合に、効率よく目的とする *N*-トシルアザフレロイドへと転位することが判った。この転位反応は、トシル基をもつものに限らず、先に記した方法により第一級アミド類から合成したアジリジノフラレンにも適応可能である。例えば、*N,N*-ジメチル尿素部位を有するアジリジノフラレン誘導体に MS4A 存在下、触媒量のクロラミン塩を作用させたところ、転位反応が進行し 77% の収率で対応するアザフレロイドが得られた (スキーム 5) ⁷⁾。



スキーム 5 Catalytic rearrangement of aziridinofullerene to azafulleroid

2. 窒素-ハロゲン結合の活用 (二酸化炭素の利用)

ここまで述べたように、クロラミン T の窒素の求核性はそれ程大きくない。しかし、もし二酸化炭素と反応してカルボニル基のような電子求引性の置換基が窒素-ナトリウム間に結合すれば、窒素上のハロゲンはハロニウムとして作用すると考えた (スキーム 6)。



スキーム 6 CO₂-induced halonium species from haloamine-T

2.1 クロラミン T-CO₂ 系によるオレフィンのクロロアミド化

まず、単純なオレフィンとしてスチレンを用い、そのベンゼン溶液にクロラミン T を加え、窒素雰囲気下（常圧および 10 気圧）で攪拌したが反応は全く進行しなかった。しかし、窒素から二酸化炭素（10 気圧）に雰囲気を変え同様の条件で反応させたところ、スチレンの α 位が塩素化された付加体が 80% の好収率で位置選択的に得られた。パラ位に置換基をもつスチレン誘導体について検討したところ、ニトロ基やクロロ基はスチレンと同様の位置選択性で付加が進行したが、電子供与性が大きくなるとその選択性は全く逆転した。

本反応の一般性を確認するため基質を拡張した。トランスあるいはシスの β -メチルスチレンからも、良好な収率で位置選択的にアミドクロロ誘導体を得られ、ジアステレオ選択性はアンチ体の生成が優先した。また、 α -メチルスチレンの場合、ベンジル位だけでなく β 位が塩素化された付加体も生成した。環状オレフィンであるインデンやジヒドロナフタレンへの付加反応を検討したところ、良好な収率で対応する付加体が生成しアンチ体のみが得られた。また、効率には改善の余地が残されているが、3-ヘキセンやシクロヘキセンなどの脂肪族オレフィンに対しても本付加反応が適用できた。さらに、本系は電子豊富なブチルビニルエーテルにも適用可能であり、位置選択的にアミドクロロ誘導体が生成した（表 3）⁸⁾。

2.2 ブロマミン T-CO₂ 系によるオレフィンのブロモアミノ化

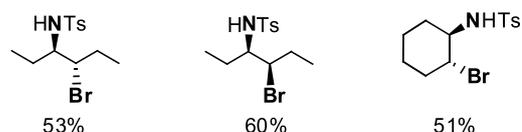
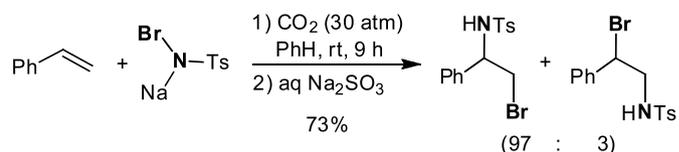
クロラミン T の代わりに、窒素-臭素結合を有するブロマミン T を二酸化炭素雰囲気下でのハロアミノ化反応に適用した。まず、スチレンとブロマミン T の反応を二酸化炭素雰囲気下で検討したところ、付加の位置選択性が二酸化炭素の圧力に依存することが判った。理由は明らかではないが、1atm ではベンジル位に臭素が置換した異性体が優先し、30atm に上げるとほぼ選択的に逆の位置異性体が生成した。本ブロモアミノ化反応もクロラミン T の場合と同様に、脂肪族オレフィンにも適用でき、それぞれ対応する付加体を中程度の収率で合成することができた（スキーム 7）。

一方、クロラミン T を用いた場合、電子不足なオレフィンへの付加反応は殆ど進行しなかった。しかし、ブロマミン T では、電子不足オレフィンへの付加反応

表 3 Aminochlorination of olefins with chloramine-T under CO₂^a

run	olefin	yield (%)	adducts (ratio)
1		62	
2		81	(84 : 16)
3 ^b		66	
4		70 (n = 1)	
5		68 (n = 2)	(90 : 10) (78 : 22)
6		28	
7		27	
8		57	

^a Reaction conditions: olefin (1 mmol), CT (1 mmol), CO₂ (10 atm), PhH (3 mL), rt, 6 h. ^b 70 °C



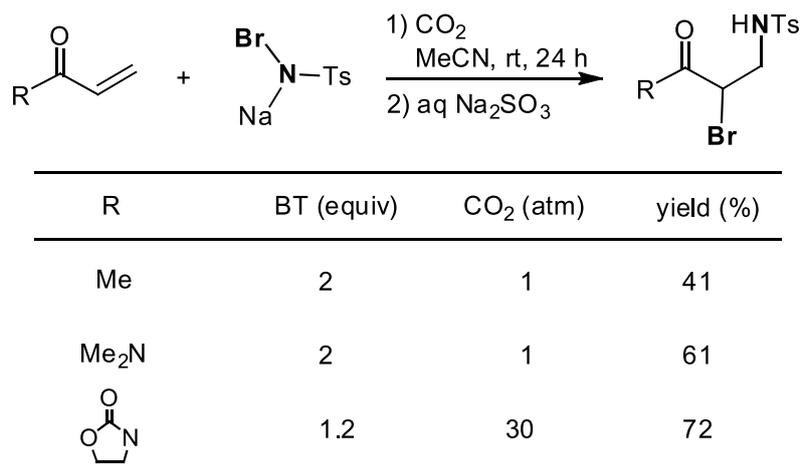
スキーム 7 Aminobromination of olefins with bromamine-T under CO₂

が生起し、臭素がカルボニル基の α 位に、窒素が β 位に置換した位置異性体のみが得られた。この付加は 1atm でも進行するが、基質によって最適条件が異なる（表 4）⁹⁾。

2.3 クロラミン T-I₂ 系による水中でのオレフィンのヨードアミノ化

ヨウ素が置換したアミン塩があれば、同様の反応が期待できヨードアミノ化反応が進行すると考えられる

表 4 Addition of bromamine-T to electron-deficient olefins under CO₂



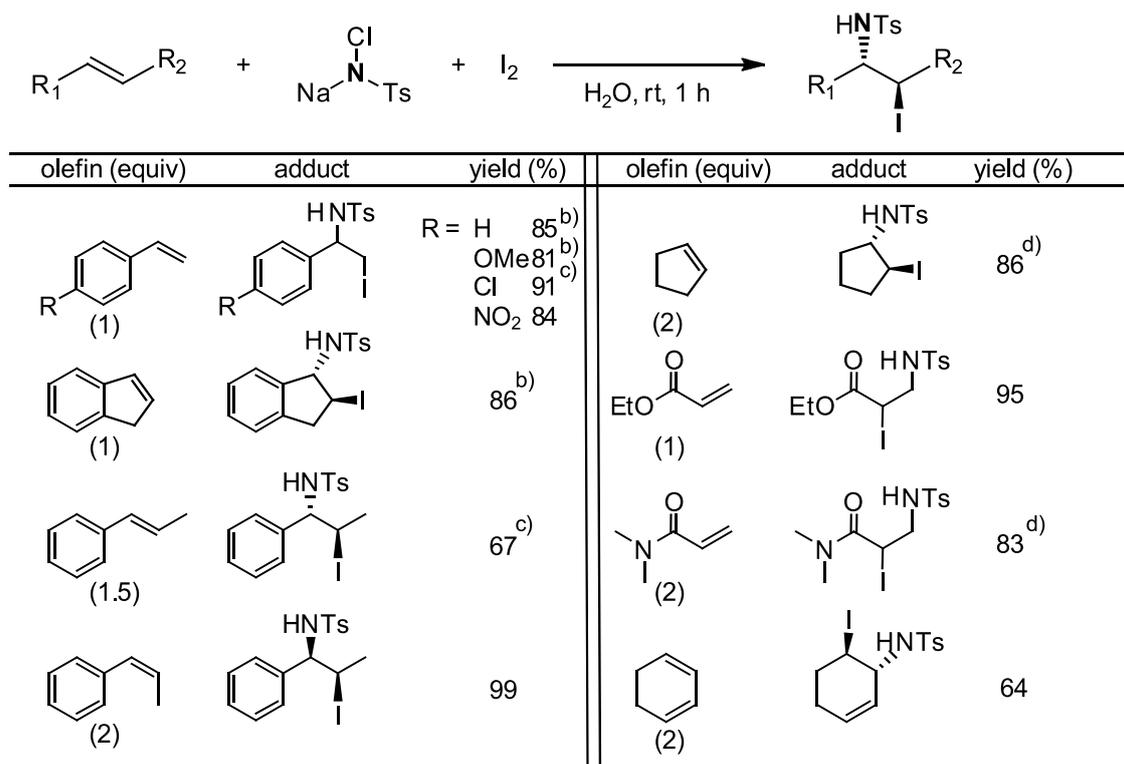
が、この試薬は不安定であり取り扱いが困難である。しかし、単体ヨウ素とクララミン T を水中でオレフィン類と作用させたところ、容易にアミノ基とヨウ素をオレフィンに付加させることができた。

単純なオレフィンであるスチレンに、少量のヘキサンを添加した水中でクロラミン T とヨウ素を作用させたところ、1 時間という短時間で α 位にスルホンアミノ基、 β 位にヨウ素が置換したヨードアミド体が位置選択的に 85% の収率で得られることが判った。同様の反応を有機溶媒であるアセトニトリル中に行うと、

アジリジンのみが得られたことから、本反応は、水系でのみ生じられる非常に興味深い反応である。芳香族オレフィンだけでなく、脂肪族オレフィン、電子不足オレフィンおよび共役ジエンを基質に用いた場合でも、目的のヨードアミド化が立体および位置選択的に効率よく進行した (表 5)¹⁰⁾。

ここで述べたオレフィン類のハロアミド化反応は、その有用な官能基のためにこれまで種々研究されているが、いずれも金属触媒を必要とする。

表 5 Iodoamination of olefins in water^a



^{a)} Reaction conditions: olefin (0.5 mmol), CT (1.0 mmol), iodine (0.5 mmol), H₂O (2 mL), rt, 1 h.

^{b)} *n*-hexane (100 mL) was added. ^{c)} CH₂Cl₂ (100 mL) was added. ^{d)} Reaction time: 2 min.

3. 酸素–ヨウ素結合の活用

我々は既に、アルケニルスルホンアミドを原料とし系内で窒素–ヨウ素結合を形成させることにより、効率的な環化反応を構築している¹¹⁾。この反応を可能にした試剤は、酸素–ヨウ素結合を有する次亜ヨウ素酸 *tert*-ブチル (*t*-BuOI) である。この試薬は次亜塩素酸 *tert*-ブチルに金属ヨウ化物塩を作用させることにより、容易に調製できる。

3.1 オレフィンとスルホンアミドとの反応によるアジリジン化 (窒素–ヨウ素結合の発生)

これまで窒素–ハロゲン結合を予め有する化合物を出発原料としてきたが、*tert*-BuOI を活用すれば入手容易なスルホンアミドの窒素がヨウ素化され、合成化学的に非常に活性化化学種が発生すると考えられる。オレフィンとスルホンアミドからアジリジン合成している例は殆どなく、超原子価ヨウ素および重金属を用いる例が知られているのみである。重金属を用いることなく入手容易な出発物質からアジリジン合成できる手法の開発は重要な課題である。

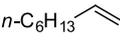
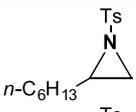
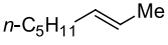
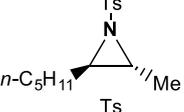
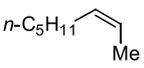
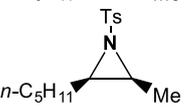
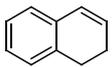
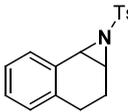
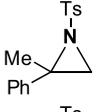
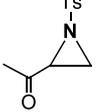
p-トルエンスルホンアミドとスチレン (2 当量) のアセトニトリル溶液に次亜塩素酸 *tert*-ブチルとヨウ化ナトリウムを 1 当量加え、室温で 5 時間攪拌したと

ころ、目的とするアジリジンが 46% の収率で得られた。次亜ヨウ素酸 *tert*-ブチルの当量を増やすにつれて収率の向上が見られ、3 当量用いることにより高収率でスチレンのアジリジン化が進行した。

この結果をもとに多様なアジリジンの合成を目指し、様々なオレフィンに本系を適用した (表 6)。アルキル基を有する末端アルケンでも芳香環アルケンと同様に良好な収率でアジリジン合成することができた (run 1)。また、基質としてシスあるいはトランスの 2-オクテンを用いた場合、アルケンの立体を保持したアジリジンが立体選択的に得られ、分子内環化と同様に本反応が立体特異的であることが判明した (runs 2 and 3)。環状のアルケンである 1,2-ジヒドロナフタレンを用いれば、対応する縮環したアジリジンが得られた (run 4)。さらに *tert*-メチルスチレンからは 2,2-ジ置換のアジリジンが生成した (run 5)。電子不足なオレフィンであるメチルビニルケトンにも本手法を適用することができ、カルボニル基をもつアジリジンが得られることが判った (run 6)。

この反応の経路を調べるために、*p*-トルエンスルホンアミドと次亜ヨウ素酸 *tert*-ブチルを重アセトニトリル中で ¹H NMR を測定した。その結果、10 分という短時間でアミドの活性水素が消失し、芳香環の水素が若干低磁場シフトした。従って、本反応はまずアミドの水素が次亜ヨウ素酸 *tert*-ブチルによってヨウ素に置換され、2 つの窒素–ヨウ素結合が形成される。そのうちの 1 つのヨウ素はオレフィンに作用して、環状ヨードニウムを与え、付加、環化を経由して生成物に至ると考えられる (スキーム 8)¹²⁾。

表 6 Aziridination of olefins with *p*-toluenesulfonamide^a

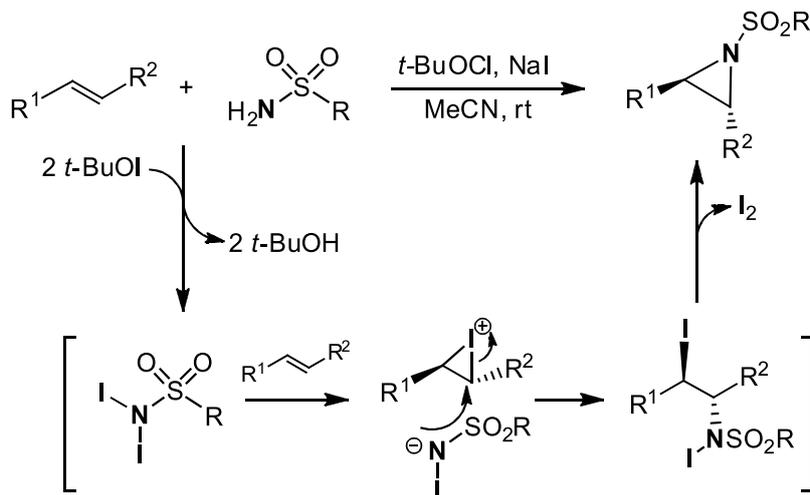
run	olefin	time (h)	aziridine	yield (%)
1		96		77
2		96		63
3		96		82
4		0.5		76
5		2		52
6		24		52 ^b

^a Reaction conditions: olefin (1.0 mmol), TsNH₂ (0.5 mmol), *t*-BuOCl (1.5 mmol), NaI (1.5 mmol), MeCN (3 mL), rt.

^b *t*-BuOCl and NaI: 1.0 mmol.

3.2 オレフィンとカルボン酸アミドとの反応によるオキサゾリン化 (窒素–ヨウ素結合の発生)

次亜ヨウ素酸 *tert*-ブチルを用いて、オレフィンとスルホンアミドからアジリジンが合成できることを明らかにした。ここでは、スルホンアミドに代えてカルボン酸アミドを用いるオレフィンとの反応について述べる。*N*-アシルアジリジンはルイス酸触媒により容易に異性化し、2-オキサゾリンを与えることから、この反応では、*N*-アシルアジリジンだけでなく 2-オキサゾリンの生成も期待できる。オキサゾリンは天然物や生理活性物質に含まれる重要な骨格であり、また金属触媒を用いる合成反応の配位子としても広く利用されている。しかし、オレフィンを出発物質としてオキ



スキーム 8 Plausible reaction pathway for the aziridination

サゾリンを合成する方法はほとんど知られておらず、オレフィンとカルボン酸アミドからの直接的なオキサゾリン合成はこれまでに全く報告例がないため、簡便なオキサゾリン合成法として非常に有用である。

p-ニトロベンズアミドを用いて、様々なオレフィン類との反応を検討した (表 7)。まず、*α*-メチルステレンからは 2,2-ジ置換のオキサゾリンが良好な収率で得られた (run 1)。トランス-*β*-メチルステレンのオ

表 7 Synthesis of oxazolines from olefins with *p*-nitrobenzamide

run	olefin	time (h)	yield (%)	product (ratio)
1		5	79	
2		12	72	 (90 : 10)
3		12	55	
4		24	50	 (70 : 30)
5		96	71	
6		96	68	

^a Ar = *p*-NO₂C₆H₄.

キサゾリン化では、二種の位置異性体が生成したものの、フェニル基とメチル基がトランスの関係にあるオキサゾリンのみが生成した (run 2)。次に、環状のオレフィンである 1,2-ジヒドロナフタレンを用いた場合には、対応する縮環したオキサゾリンが得られた (run 3)。また、アルキル基を有する末端オレフィンを用いても、オキサゾリンが合成できることが判った (run 4)。さらに脂肪族の内部オレフィンである、トランス-およびシス-3-ヘキセンとの反応を行った (runs 5 and 6)。その結果、トランス体のオレフィンからは 71%の収率でトランス体のオキサゾリンのみが、シス体からは 68%の収率でシス体のオキサゾリンのみが立体選択的に得られた。この結果より、分子内環化およびアジリジン化と同様にオキサゾリンの合成も立体特異的であることが判明した。このオキサゾリン化反応もアジリジン化と同様にアミド窒素の 2つの水素がヨウ素に置換されて進行していると考えている¹³⁾。

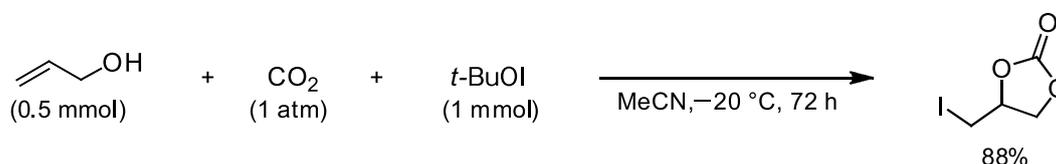
3.3 不飽和アルコールへの常圧二酸化炭素固定

次亜ヨウ素酸 *tert*-ブチルの有用性をさらに高めるために、種々の合成反応を検討していたところ、不飽和部位をもつアルコールを二酸化炭素雰囲気下(常圧)で *t*-BuOI を作用させることにより、二酸化炭素が取り込まれた環状カーボネートが合成できることを見出した。環状カーボネートは、ポリカーボネート樹脂の原料やリチウム二次電池の電解液などに利用され、その需要は増加している。カーボネートの一般的製造方法はホスゲンを使用するが、その毒性に問題が残されている。また、二酸化炭素の固定によるカーボネート合成も知られているが強塩基の使用が必須である。

従って、本研究で開発した方法は全く塩基や金属を用いず、しかも常圧で二酸化炭素を固定することができるため有用である。

まず、不飽和アルコールとして2-プロペン-1-オー

ルを用い、二酸化炭素雰囲気下 (balloon)、*t*-BuOI を下式の条件で作用させたところ、ヨードメチル基をもつ環状カーボネートが良好な収率で得られることが判明した。(スキーム9)。

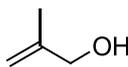
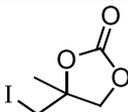
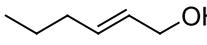
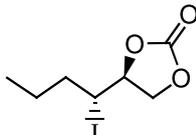
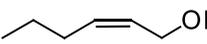
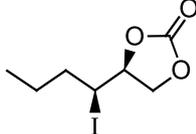
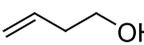
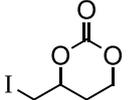


スキーム9 CO₂ fixation to allyl alcohol using *t*-BuOI

そこで、本法の一般性を調べるために、置換アリルアルコールやホモアリルアルコールについて、対応する環状カーボネートの合成を検討した。メタリルアルコールからは四級炭素をもつ目的物が高収率で得られた。*trans*-および *cis*-2-ヘキセン-1-オールからは、それぞれ幾何異性を保ったまま反応が進行し、単一の

ジアステレオマーを与えた。従って、本反応は立体特異的反応であることが判り、この選択性の発現から、環状ヨードニウムイオンを経由して進行していると考えられる。また、ホモアリルアルコールに対しても二酸化炭素を固定でき、六員環のカーボネートを合成することができた(表8)。

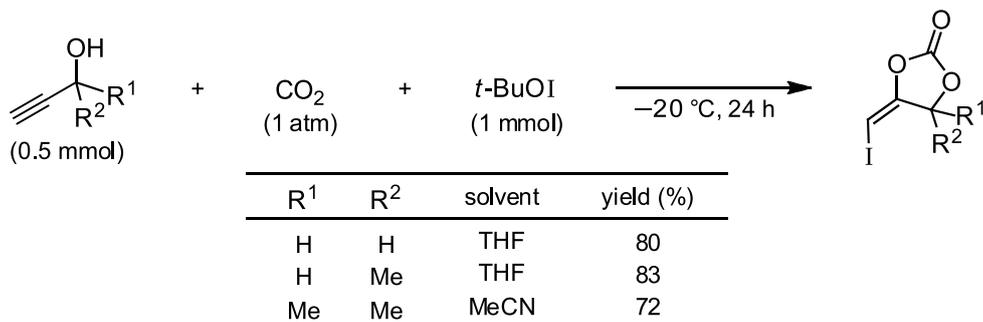
表8 CO₂ fixation to allyl alcohols under neutral conditions

allyl alcohol (0.5 mmol)	+ CO ₂ (1 atm)	+ <i>t</i> -BuOI (1.0 mmol)	$\xrightarrow{-20\text{ }^\circ\text{C}}$	cyclic carbonate
allyl alcohol	solvent	time (h)	yield (%)	cyclic carbonate
	MeCN	72	91	
	DMF	24	48	
	MeCN	48	78	
	THF	24	84	

さらに、本法はアルケン部位だけでなく、アルキン部位をもつプロパルギルアルコールにも展開できることが判った。アルキン部位を有する第一級、第二級、第三級アルコールからも、それぞれ良好な収率で対

応する環状カーボネートを合成することができた。この場合も環化反応は選択的に進行し、いずれの反応も *E* 体の環状カーボネートを与えた(表9)¹⁴⁾。

表 9 CO₂ fixation to propargylic alcohols under neutral conditions



おわりに

以上述べてきたように、筆者らはヘテロ原子-ハロゲン原子結合を巧に活用することにより、種々の簡便な化学変換法を開発した。これらの反応の殆どは環状のハロニウムを経由しており、それ故立体化学が完全に制御できる。環状ハロニウムイオンは、よく知られた化学種であり、一見古そうな化学ではあるが、本研究ではヘテロ原子とハロゲンの結合を活用し、金属を用いずにハロゲン原子の酸化状態 (-I と +I) を自在に操れた有機合成反応を創出できたといえる。

<参考資料>

- (a) S. Minakata, *Acc. Chem. Res.*, 42, 1172 (2009); (b) T. Ando, D. Kano, S. Minakata, I. Ryu, M. Komatsu, *Tetrahedron*, 54, 13485 (1998); (c) D. Kano, S. Minakata, M. Komatsu, *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 1*, 2001, 3186; (d) S. Minakata, D. Kano, Y. Oderaotoshi, M. Komatsu, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 43, 79 (2004); (e) S. Minakata, T. Hotta, Y. Oderaotoshi, M. Komatsu, *J. Org. Chem.*, 71, 7471 (2006) .
- S. Minakata, R. Tsuruoka, M. Komatsu, *J. Am. Chem. Soc.*, 130, 1536 (2008) .
- (a) S. Minakata, M. Komatsu, *Chem. Rev.*, 109, 711 (2009); (b) S. Minakata, T. Nagamachi, K. Nakayama, T. Suzuki, T. Tanaka, *Chem. Commun.*, 2011, 6338.
- S. Minakata, Y. Murakami, R. Tsuruoka, S. Kitanaka, M. Komatsu, *Chem. Commun.*, 2008, 6363.
- Y. Murakami, Y. Takeda, S. Minakata, *J. Org. Chem.*, 76, 6277 (2011) .
- S. Minakata, R. Tsuruoka, T. Nagamachi, M. Komatsu, *Chem. Commun.*, 2008, 323.
- R. Tsuruoka, T. Nagamachi, Y. Murakami, M. Komatsu, S. Minakata, *J. Org. Chem.*, 74, 1691 (2009) .
- S. Minakata, Y. Yoneda, Y. Oderaotoshi, M. Komatsu, *Org. Lett.*, 8, 967 (2006) .
- J. Hayakawa, M. Kuzuhara, S. Minakata, *Org. Biomol. Chem.*, 8, 1424 (2010) .
- S. Minakata, J. Hayakawa, *Chem. Commun.*, 2011, 1905.
- (a) S. Minakata, D. Kano, Y. Oderaotoshi, M. Kano, *Org. Lett.*, 4, 2097 (2002) ; (b) S. Minakata, Y. Morino, Y. Oderaotoshi, M. Komatsu, *Org. Lett.*, 8, 3335 (2006) .
- S. Minakata, Y. Morino, Y. Oderaotoshi, M. Komatsu, *Chem. Commun.*, 2006, 3337.
- S. Minakata, Y. Morino, T. Ide, Y. Oderaotoshi, M. Komatsu, *Chem. Commun.*, 2007, 3279.
- S. Minakata, I. Sasaki, T. Ide, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 49, 1309 (2010) .

(精化 昭和 63 年卒 平成 2 年前期 5 年後期)

海外赴任または海外在住の皆様へ

海外にお住まいの終身会員の皆様には、エアーメールで会誌を送付させていただきますので、海外赴任されます場合は、必ず送付先をお知らせ下さい。なお、ご転居・ご帰国の際は、速やかにお届けいただきますようお願いいたします。

年会費会員の皆様には、誠に申し訳ございませんが、赴任後の会費納入が困難となりますので、終身会員への移行をお願いいたします。