

ISSN 2186 – 3989

『薬学系の基礎がため 有機化学』
(講談社 2017年12月 B5判 111頁)

薬学部 准教授 木藤 聡一

北 陸 大 学 紀 要
第53号(2022年9月)抜刷

自著を振り返る

『薬学系の基礎がため 有機化学』
(講談社 2017 年 12 月 B5 判 111 頁)

薬学部 准教授 木藤 聡一

1. はじめに

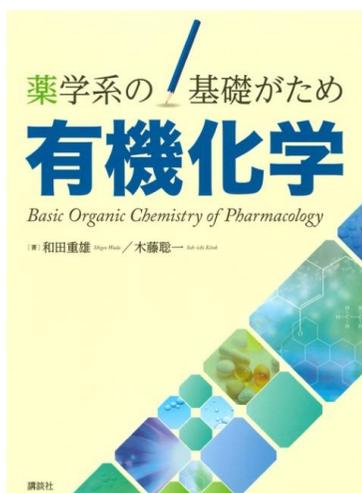


図 1 拙著の表紙

拙書『薬学系の基礎がため 有機化学』は、薬系大学に入学前または入学して間もない時期に、高校で有機化学の学習経験がない学生や、有機化学に苦手意識のある学生、有機化学をただの無味乾燥な暗記科目と捉えてしまっている学生などを対象に、今後薬学部で効率的に有機化学を学習していくために必要な基礎知識や原理・原則的な考え方を身につけてもらうことを念頭に執筆した。

拙書は 2 部構成となっている。第 I 部では有機化学をはじめて学習する学生でも対応できるように、有機化合物を構成する主な元素の結合の手の数 (価標) や化学構造式の書き方などの初歩的な内容から扱い、第 II 部では電気陰性度、電荷の偏り、電子の動き方などに基づいて、有機化学を効率的に学習するのに必要な考え方が平易に身につけられることを目指した。

拙書は、執筆当時は奥羽大学薬学部薬学科、現在は日本薬科大学薬学部薬学科に所属する和田重雄先生と共同で執筆した。私は拙書の執筆開始当時、本学薬学部で初年次の教育を担う薬学基礎教育センターに所属していた。その後薬学教育研究センターへ所属変更したが、一貫して入学前教育や初年次生を対象とする化学系の講義科目や実習科目を主に担当している。

一方で和田先生も、執筆当時も現在も一貫して、入学前教育や、初年次の薬学準備教育科目を主に担当している。和田先生は、中学や高校での教育経験も非常に豊富で、さらに化学のみならず物理や生物の教育経験もあり、非常にマルチな経歴を持っている。

本稿では、拙書を改めて振り返ると共に、拙書に関連した内容の書籍を今後出版する機会が得られるとすれば、どのような書籍を出版したいと考えているのかを論述する。

2. 拙書執筆のきっかけ

和田先生とは、2015 年 9 月に初年次教育学会の全国大会で初めてお会いした。その時は互いに地方にある私立の 6 年制薬系大学の所属であり、初年次での学力の底上げに悩む教

員ということで共通しており、非常に親近感はあったが、挨拶を交わす程度であった。

その翌年の 2016 年 9 月に、同じく初年次教育学会の全国大会に参加した際、和田先生から再び声を掛けられ、拙書の著者として誘われることになった。

低学年向けの化学の書籍としては、既に 2016 年 3 月に培風館から『理工系の基礎化学』を出版していた。しかし『理工系の基礎化学』は、執筆開始当時に所属していた金沢大学において、化学を専門としない理系学部の学生を対象とした書籍であった。化学を重要な基礎学問としながらも、非常に多様な学力層からなる本学薬学部の初年次生のための書籍としては、残念ながらその扱う内容やレベル面で適切とは言えなかった。そのようなこともあって、拙書の執筆を引き受けることとなった。

3. 拙書執筆の方針

拙書は、薬系大学に入学前または入学して間もない時期に、高校で有機化学の学習経験がない学生や、学習経験はあるが有機化学に苦手意識のある学生、有機化学をただの暗記科目ととらえてしまっている学生などをターゲットとして企画された。出版社である講談社の編集担当の方からは、文字数が多くて分厚いテキストは売れないので、頁数は 100 頁程度以内にしてほしいことや、字数を少なめにすると共に絵や図表を多用してほしいという注文が出されていた。

一方で、和田先生と私は、大学で有機化学を得意とする学生と、学年が進んでも基礎学力がなかなか身につかなかったり、学年が進むにつれ成績が伸び悩むなど、思い通りに学習が進まない学生とは、どこが違うのかを議論していた。

その結果、思い通りに学習が進まない学生の共通点の一つが、目の前の試験でしか合格点が取れない学習をおこなっているのではないかということになった。確かに、有機化学は知識を蓄えることが重要な科目ではあるが、丸暗記的に覚えているようでは限界がある。6 年制薬学部において入学前または入学して間もない時期の学生が目指すべきことは、4 年後の共用試験 (CBT) や 6 年後の国家試験の時に、余裕を持って効率的に学習できる力を身につけることであり、「目の前の試験を乗り切るには、暗記しておけばなんとかなる」を繰り返していると、後で大きな失敗をすることになる。そうならないために、今のうちから有機化学が理解できるようになる学習法を修得させる必要があるということになった。

4. 拙書の講立てとその特徴

拙書は 2 部構成となっている。第 1 部は「有機化学超入門—これだけわかれば、有機の基本は大丈夫—」と銘打って、有機化学をはじめて学習する学生でも対応できるように、第 1 講「有機化学の構造式の書き方」では、有機化合物を構成する主な元素の結合の手の数 (価標) や化学構造式の書き方などの初歩的な内容から扱った。

第 2 講「炭化水素と水素の付加反応」、第 3 講「アルコールと酸化反応」、第 4 講「カルボン酸と脱水縮合反応」、第 5 講「芳香族化合物と置換反応」では、代表的な種類の有機化合物について、それぞれ最も代表的な反応を一種類だけ扱うこととし、各有機化合物でそれぞれどのような反応が起こりやすいのかを一对一対応でとらえやすくした。

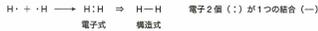
第 6 講「同じ分子と異なる分子の見分け方 (異性体とその見分け方)」、第 7 講「第 1 部のまとめ」では、薬学で有機化学を上手に学ぶコツについても扱った。

有機化学の構造式の書き方

1.1 ● 原子同士の結合と化学式

(1) 原子と原子の結合

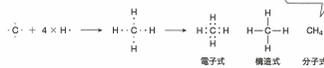
原子が結合すると分子ができます。2つの水素原子が結合するとき、それぞれ電子を1個ずつ出して結合します。すなわち、2個の電子で1つ(1本)の結合ができます。



この結合をよく結合の手といいます。正式には**価値**といいます。すなわち、「水素原子の間は1本の価値がある」という方をします。この結合の方法は、有機化合物でも同じです。電子を点で表す化学式を**電子式**、結合(電子2個)を直線で表すものを**構造式**といいます。

(2) CとHの結合

炭素原子Cは価電子を4個もち、それが単独で存在するで4個の水素原子と結合します。



炭素原子Cは、4本の価値を出せることがわかります。この分子はメタンという分子で都市ガス(天然ガス)の主成分です。化学式として、CH₄と表します。

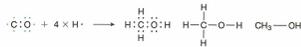
【基礎知識チェック1-1】 空欄を埋めましょう。

2つの水素原子が結合するとき、それぞれ電子を1個ずつ出して結合する。すなわち、2個の電子で1つ(1本)の ができる。

結合の手は正式には という。

(4) 3種類の原子の結合 CとOとHの結合

次は、1個はCですが、もう1つは酸素原子を6個もつ酸素原子Oの場合を考えてみましょう。エタンと同じようにCとOを結合させます。すると単独の電子は4個のみになります。そこで4個のH原子と結合できます。



この分子の構成原子をみると、(2)のメタン(CH₄)に対してO原子が1つ増えただけで、この物質はメタノールというアルコールの1つです。化学式は、CH₄Oと書くこともありますが、CH₃OHと書く場合が多いです。というのは、第3講で詳しく説明しますが、OHという構造は、種々のアルコールに共通の部分であり、それをわかりやすく示される化学式(示性式)がこのタイプです。

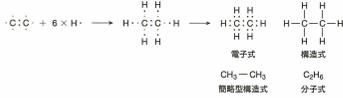
【化学式チェック1-3】 メタノールCH₃OHの電子式と構造式を書いてみましょう。

電子式	構造式

単独の電子を不対電子、結合をつくる2個の電子を共有電子対、O原子の上下の2個の電子のように結合をつくらぬ電子を非共有電子対といいます。

(3) 2つのCとHの結合

次の2個の炭素原子に、水素が結合する場合を考えましょう。 $\cdot\overset{\cdot}{C}\cdot + \cdot\overset{\cdot}{C}\cdot \longrightarrow \cdot\overset{\cdot}{C}:\overset{\cdot}{C}\cdot$
まず、炭素原子C2個を直接結合させます。すると、右図のように、6個の電子(赤色)が単独で存在することになります。すると、6個の水素と結合できることとなります。



2個の炭素原子Cに、6個の水素が結合するので、C₂H₆と表します。また、構造式では、C-H間の結合を省略することが多く、CH₃-CH₃とも表します。本書ではこれを簡略型構造式ということにします。この分子は、**エタン**という物質です。

【化学式チェック1-2】 水素、メタン、エタンの電子式と構造式を書いてみましょう。

水素 H ₂		メタン CH ₄	
電子式	構造式	電子式	構造式
エタン C ₂ H ₆			
電子式	構造式		

原子が1つずつ電子を出して2個の電子でできる結合-共有結合
電子式で表すとき、C、Oなどの原子は赤い点、6個の電子が存在するようにする。Hのみと異なる。これは、不対電子と対電子配置になります。

1.2 ● 二重結合、三重結合

ここでは、1つの原子が2つあるいは3つの電子を出してつくる結合の話をします。

(1) 1つの原子が2個電子を出す結合(二重結合)

炭素原子同士が結合するとき、2つの原子が $\cdot\overset{\cdot}{C}\cdot + \cdot\overset{\cdot}{C}\cdot \longrightarrow \cdot\overset{\cdot}{C}::\overset{\cdot}{C}\cdot$ ともに2個の電子を出して、結合を2つ同時につくることができます(赤色)。二本の直線で表し、**二重結合**といいます。

残りの単独の電子が4個(赤色)になるので、4つの価値を出すことができます。すなわち、二重結合をもつ炭素2個の分子には、4個の水素が結合することができます。



これは、エチレンといわれる分子で、C₂H₄と表します。二重結合を明確に表すため、CH₂=CH₂と書くことが多いです。また、価値で表す構造式は③のように、均等になるように書き表します。

(2) 1つの原子が3個ずつ電子を出す結合(三重結合)

炭素原子同士が3個ずつ電子を出して互いに結合することも可能なのです。炭素2個の結合、右図のように炭素原子間に6個の電子、すなわち、3重1組の電子 $\cdot\overset{\cdot}{C}:::\overset{\cdot}{C}\cdot$ が3組(3組の電子対という)あります。これが**三重結合**です。



単独の電子が2個あるので、2つの原子と結合します。上記のように水素が結合したC₂H₂は、**アセチレン**という分子でCH≡CHとも表されます。

【化学式チェック1-4】 エチレンとアセチレンの点電子式と簡略型の構造式を書いてみましょう。

エチレン C ₂ H ₄		アセチレン C ₂ H ₂	
電子式	簡略型構造式	電子式	簡略型構造式

図2 第I部の例(第1講「有機化学の構造式の書き方」)
(出版社から掲載の許諾をいただいています)

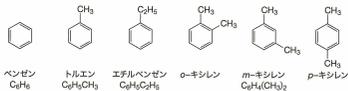
芳香族炭化水素と求電子置換反応

この講で習得してほしいこと

- 主要芳香族炭化水素の名称と構造、及び二置換体の位置異性を判別
→ 基礎知識チェック 12-1, 化学式チェック 12-2
- ベンゼン環の置換反応は求電子置換である
→ 基礎知識チェック 12-3
- ベンゼンの求電子置換反応の例を挙す
→ 反応式チェック 12-4

12.1 芳香族炭化水素と置換反応

炭素原子6個からなるベンゼン環（芳香族環）を持つ炭化水素が芳香族炭化水素です。



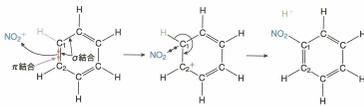
正からよへる番号の物質はベンゼンの2個のHがメチル基 CH_3 に置きかわったキシレンという物質です。ベンゼンの2つのHが他の原子団になっているもので、一般に二置換体といえます。ベンゼンの2置換体には、キシレンでも表しているように結合しているもの位置関係によって3種類の異性体が存在します。置換されている2つが隣にあるものをオルト体 (o-)、一箇所空いているとメタ体 (m-)、対象の位置だとパラ体 (p-) といいます。上のキシレンにも、o-キシレン、m-キシレン、p-キシレンと記してあります。

「オルト」などカタカナでもかまいません

(2) 求電子置換反応のしくみ

この反応を少し詳しく説明します。すべてのしくみを完璧に理解する必要ありませんが、電子（黒丸）の流れに注目して、反応を追っていったときに納得できるようにしてください。納得できること自体が、長期記憶につながりやすからです。

STEP 1 NO_2^+ とベンゼン環のπ結合の電子（赤色）が働きかけます。STEP 2 次に NO_2 が結合したCとそれに結合したHとが関心の電子（緑色）が元のベンゼン環に移動してπ結合が生じます。同時に、Hは電子を失い陽イオンになって取れます。



これが、陽イオンが近づいて、他の陽イオンが取れる求電子置換反応のしくみです。なお、ベンゼン環に近づくと陽イオンは、求電子反応をひきおこすので、求電子試薬 (E^+) といわれます。求電子置換反応を一般式で表すと次のようになります。



求電子置換反応
陽イオンなどの求電子試薬 (E^+) がマイナスの部分に引き寄せられて結合し、その代わりに水素イオンが取れる反応

【基礎知識チェック 12-3】空欄を埋めましょう。
陽イオンがマイナスの部分（電子）に近づくと、他の原子または原子団に置きかわる反応を、 反応という。また、求電子反応をひきおこす陽イオンを という。

【基礎知識チェック 12-1】空欄を埋めましょう。
ベンゼンの二置換体には、3種類の異性体がある。置換されているものが隣にあると 型、一箇所空いていると 型、対象の位置だと 型となり、それぞれ、o-, m-, p-を化合物名の前に付ける（例：o-キシレン）。

【化学式チェック 12-2】次の化合物の簡略型構造式を書きましょう。

トルエン o-キシレン m-キシレン p-キシレン エチルベンゼン

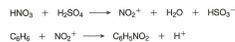
12.2 芳香族の求電子置換反応

(1) ベンゼンのニトロ化
ベンゼンに濃硝酸と濃硫酸を混合した混酸液を用いるとニトロベンゼンができます。

$$C_6H_6 + HNO_3 \rightarrow C_6H_5NO_2 + H_2O$$

ニトロベンゼン

ニトロベンゼンの生成反応を詳しくみると、次のようになります。プラスとマイナスに注目してください。



1段階目の反応は NO_2^+ をつくる反応で、2段階目で陽イオンの NO_2^+ がベンゼン環に攻撃し置換で反応します。このように、陽イオンがマイナスの部分（電子）に近づくと、他の原子または原子団に置きかわる反応を、求電子置換反応といえます。

12.3 種々の求電子置換反応

ベンゼンの求電子置換反応は5種類あります。すべての反応で、最終の働きで陽イオンが生じて、それが、ベンゼンのHと置換します。

(A) ニトロ化
 HNO_3 から NO_2^+ が生成して反応

(B) スルホン化（スルホン化）
 H_2SO_4 から SO_3H^+ が生成して反応

(C) 塩素化（ハロゲン化）
 Cl_2 から Cl^+ が生成して反応

(D) アルキル化（Friedel-Crafts 反応）
 $R-Cl$ から R^+ が生成して反応

(E) アシル化（Friedel-Crafts 反応）
 $RCOCl$ から RCO^+ が生成して反応

*現在は SO_3 が直接反応するという考えが主流

【反応式チェック 12-4】空欄に入る簡略型構造式を書きましょう。

【第 12 講のまとめの課題】
(A) 次のアローキシレンを位置異性で分類せよ。
ア イ ウ エ オ
o-キシレン ① m-キシレン ② p-キシレン ③

(B) 次の反応生成物の化学式を書えよ。
 ④ ⑤

図 3 第 II 部の例（第 12 講「芳香族炭化水素と求電子置換反応」）
（出版社から掲載の許諾をいただいています）

第Ⅱ部は「薬学系有機化学の第一歩－有機化学を考えながら効率的に学ぶ方法－」と銘打って、有機化学を効率的に学習するのに必要な考え方が身につけられることを目指した。

第8講「有機化学の学習の準備」では、二重結合・三重結合におけるシグマ結合・パイ結合の性質やその違いについて扱った。第9講「アルカンと燃焼反応」でアルカンの性質や反応について扱った後、第10講「アルケン・アルキンと付加反応」、第11講「付加反応のおこり方」、第12講「芳香族炭化水素と求電子置換反応」では、パイ結合の性質に基づいて「付加反応」や「求電子置換反応」を平易かつ理論的に説明した。

第13講「炭素の級」、第14講「アルコールとその反応」では、級数による反応性の違いを意識させた。

第15講「ハロゲン化アルキルとその反応」、第16講「電気陰性度と電荷の偏り」、第17講「ハロゲン化アルキルの求核置換反応」、第18講「カルボニル化合物と付加反応」、第19講「カルボン酸と酸の強弱」では、電気陰性度、電荷の偏り、電子の動き方などに基づいてこれらの反応や性質を平易かつ理論的に説明した。

最後に、第20講「物質の安定性と反応のおこりやすさ」では、有機化学の代表的な反応則である、マルコフニコフ則とザイツェフ則を扱った。

5. 各講における構成とその特徴

高校で化学が不得意だった学生でも一人で自習しやすいように、各講4ページ程度とし、30分程度で学習を終えられるようにしつつ、基礎知識や化学的な考え方が自然に身につけられるように工夫した。例えば、ワークブック形式にして、漢字の書き取りのように同じ構造式などを何度も記入させるようにした。

また、専門用語や厳密な反応機構などをできる限り避けながら説明を行った。必ずしも厳密に正しくない表現による説明も止むを得ないものとして、有機化学の学習に効果的と考えられる化学的なセンスや直感的なイメージを学習段階に応じて伝えることを優先することにした。さらに、webサイトを用意し、読者の方々からの質疑応答を行ったり、補助的な解説記事や演習問題を掲載することにした。

6. 拙書の採用実績と問題点

拙書は、同じく講談社から和田先生と2017年8月に出版した『薬学系の基礎がため 化学計算』とともに、本学薬学部の入学前教育の教材として使用している。また、和田先生が所属する日本薬科大学をはじめとする複数の薬系大学や、さらには医療系や理工農系大学でも採用されているようである。様々な教育系学会で参加者と挨拶する際、拙書を採用している旨を耳にすることも少なくない。

しかし、全く問題がないわけではない。本学薬学部に入学期後、1年次後期から開講される薬学専門教育科目のうち、特に有機化学系科目に苦戦する学生は非常に多い。現在私が初年次前期に担当している「基礎化学系の科目」においては、高校レベルの基礎学力の修得と共に、有機化学系科目をはじめとする薬学専門教育科目をスムーズに修得するために必要な基礎力をしっかりと養成することが求められている。

入学前または入学間もない時期に、拙書で扱う内容ができるようになることは必要不可欠ではある。しかし、拙著を「基礎化学系の科目」のメインのテキストとして使用しようと考えたとき、このテキストだけではレベルや分量面で若干不十分なことを痛感している。

7. 有機化学を修得し易くする「基礎化学のテキスト」を出版するとすれば

拙書は和田先生からの誘いにより運よく商業出版できたが、商業出版の機会に恵まれることは容易ではない。しかし、今後そのような機会があるとすれば、初年次生が、将来受講することになる有機化学系の薬学専門教育科目をスムーズに修得するために必要な基礎力がしっかりと養成できるように、以下のような「基礎化学のテキスト」を執筆したい。

(1) 基礎化学の内容と有機化学のつながりを明確にする

有機化学を苦手とするその原因の一つとして、有機化学は他の化学の分野と比べ、高校と大学の内容に大きな隔たりがみられることが考えられる。高校までの有機化学は、暗記的な色が強いが、大学の有機化学では、なぜそのような反応が起こるのか、その反応の規則性やメカニズムを考えることによって「どのような反応が起こるのか」を予測できるようになることが求められる。

一方で、高校化学と大学化学の架け橋となる初年次の「基礎化学」「一般化学」などで使用されるテキストでは、有機化学を考えるための基礎となる、原子軌道、混成軌道、酸と塩基、酸化と還元などについて扱ってはいるものの、物理化学や無機化学などの他の主要分野と比べて、学生にはその「つながり」が見えづらく、有機化学の内容と基礎化学で学んだ内容を別のものとしてとらえがちである。

基礎化学のテキストを執筆する機会が得られるとすれば、大学の「基礎化学」「一般化学」などの科目で一般的に扱う内容を、中学や高校レベルの初歩的な知識や考え方から噛み砕いて説明することで、しっかりと修得できるようにしたい。それと共に、「基礎化学」「一般化学」の内容が、これらとの「つながり」が特に見えにくい分野である有機化学を考える上で、どのように活かされるのかをしっかりとイメージできるようにしたい。

(2) 基礎化学のテキストといえども有機化学をおろそかにしない

基礎化学のテキストの多くは、有機化学をほとんど扱っていないか、その扱いが極めて表面的であり、大学での有機化学的なものの見方や考え方の初歩的なことすら修得しづらい内容となっている。そのこともあり、有機化学に関連する専門科目を学ぶ際に、せっかく初年次の基礎化学で学んだことの活かし方が分からず、有機化学を苦手としてしまう学生が多いのではないかと考えられる。

基礎化学のテキストといえども、有機反応の原則的な規則性やメカニズムについて、原子軌道、混成軌道、酸と塩基、酸化と還元などの概念と関連付けながら詳しく丁寧に説明することで、「どのような反応が起こるのか」が、おおよそでも予想できるようになることを目指したい。

(3) 分子の立体構造や電子の動きをつかみやすくする動画を用意する

有機化学においては、分子の立体構造や軌道の変化、電子の動きなどを頭の中でイメージできる能力が求められる。しかし、多くの教材はこれらを平面的かつ静止的にしか表すことができず、初学者は有機化学を立体的かつ動的に把握できない場合が多い。

分子の立体構造や軌道の変化、電子の動きなどのイメージをつかみやすくするために、有機化学で扱う分子や反応のうち典型的なものをピックアップして、アニメーション動画を作成し、web サイトから閲覧できるようにしたい。