

高校化学実験における赤外分光光度計 (IR) の利用と実践について

—— エステル生成反応を中心にして ——

福岡 久雄, 大谷 悦久

高校化学実験における赤外分光光度計 (IR)

の利用と実践について

—— エステル生成反応を中心にして ——

福岡 久雄, 大谷 悦久

1. はじめに

化学分析に機器分析法が普及し一般の研究では分析機器の利用が日常のこととなっている。このような中で赤外線吸収スペクトル (IR), 紫外線吸収スペクトル (UV), 核磁気共鳴スペクトル (NMR) 等が高校の教科書でも取り上げられるようになってきた。そしてその教材化は IR について、たとえば化学教育24—2で梅木氏他が試み実践報告がなされている。ここでは IR の図と化合物を対応させることにより生徒に IR 図の解読法を教え、あわせて機器分析という新しい物理的な手法を用いた教材を紹介している。

本校では1976年4月に赤外分光光度計を購入し、これを生徒実験で用いることを試みた。ここでは IR 図の解読法を教えるよりも、生徒の合成した化合物の IR 図をとり、スペクトルの変化と物質の変化を対応させ、その違いから化学変化を追求しようとするのが中心のねらいである。従来、色、臭、特徴的な反応などを利用することにより官能基の確認や化学変化のようすを追跡してきたが、さらにスペクトルの変化を直接図上で見ることにより化学変化や官能基についての理解を一層深めることができると思われる。また、あまり特徴的な変化をしない化合物や官能基については IR はさらに有用であろう。

購入した赤外分光光度計は日立215型で測定波長は波数で $4000\sim 650\text{cm}^{-1}$ であり、また自動記録ができることなどから取扱いが簡単である。

また合成は予備実験では酢酸エチルを用い、生徒実験では安息香酸メチルを用いた。

2. 実験の計画

紫外線や可視光線のエネルギーは原子の核外電子の励起エネルギーと相互作用するのに対し、赤外線は原子核どうしの振動エネルギーと相互作用する。つまり原子の結合があればその結合の振動エネルギーに相当する一定波長の赤外線が吸収される。(ただ振動の形式にはいろいろな種類があるので一つの結合により一つの波長のみが吸収されるとは限らない。) このようなことから赤外線は有機化合物の官能基を見つけたり、また化合物を同定したりするのに有効である。そこで、特定官能基と特定波長の吸収という関係を前もって生徒に示すことにより少ない時間で必要な吸収が理解できるようになるはずである。だから数種の化合物の IR 図を提示し、波長

(μ , Å), 波長の逆数つまり波数 (cm^{-1}), 吸収のようすなどについて説明すればよいと思われる。なお IR 機器の原理的なことや操作法についても説明を加えておいた方がよいだろう (IR は普通 cm^{-1} で議論することが多い)。

さて官能基の追跡には炭素化合物が適当であろう。ただ、試料や実験法についてはいくつかの条件を考えなければならない。

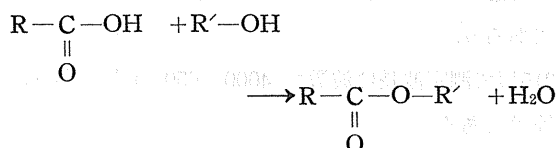
試料については

- ① 言うまでもないことかも知れないが、官能基の追跡がわかりやすいこと。
- ② それにはあまり複雑な吸収のないできるだけ単純な化合物がよい。
- ③ また採取できる状態は液体が望ましく、それでいてあまり揮発性でないものがよい。それは IR では試料を岩塩セル (組立セル) にはさむだけの液膜法を用いるのが簡単だからである。

また実験法から考えれば

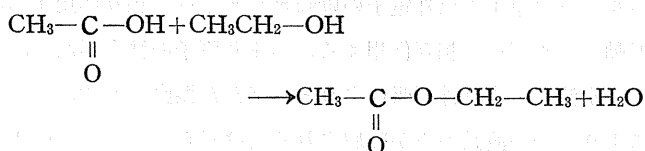
- ④ 合成や分解また分離精製が短時間で済むことが必要である。きめられた授業時間の中で実施しなければならないからである。
- ⑤ また IR にかけるだけの充分な量 (操作から考えて 1 ml あるとやりやすい) が採取できること。
- ⑥ さらに一般的な条件もつけ加えれば安全性、成功率の高いこと、各グループが同じような結果を得られることなども考慮されなければならない。

初年度でもあるし、従来の実験項目にできるだけ近いものと考えて、エステル生成反応を選んだ。エステルは臭に特徴があり反応も酸とアルコールから簡単につくられ成功率も高いからである。この反応を IR で追えば、酸、アルコールの水酸基 $-\text{OH}$ による吸収がエステルでは消えていくのが観察でき、その他の原子団の吸収にはそれ程大きな変化はないと考えたからである。



3. 酢酸エチルの合成 (予備実験)

どの教科書でも必ず取り上げられる酢酸エチルを試みた。



この反応では生成する酢酸エチルに OH がいないから酢酸とエチルアルコールの図とを比較すると OH 吸収部分に大きな違いがあるはずである。つまり波数で $3500 \sim 2500 \text{ cm}^{-1}$ の大きな吸収の有無を見ればよい。

なおすべての吸収の帰属を決めるのは一般に容易なことではないし、また実用上それほど有用ではないが、OH以外の吸収のいくつかについて帰属を調べておく（生徒には主な吸収を指摘すればよいだろう）。酢酸については CH_3- による吸収が 3000cm^{-1} 付近に現われるはずだが、1図ではOHの吸収と重ってあまり明りょうでない。 1700cm^{-1} 付近には有名な $\text{C}=\text{O}$ による吸収がある。 1410cm^{-1} と 1290cm^{-1} は $\text{C}=\text{O}$ と OH のカップリングと考えられるがあまり断定できないようである。 1380cm^{-1} の肩のような吸収は CH_3- によるものである。

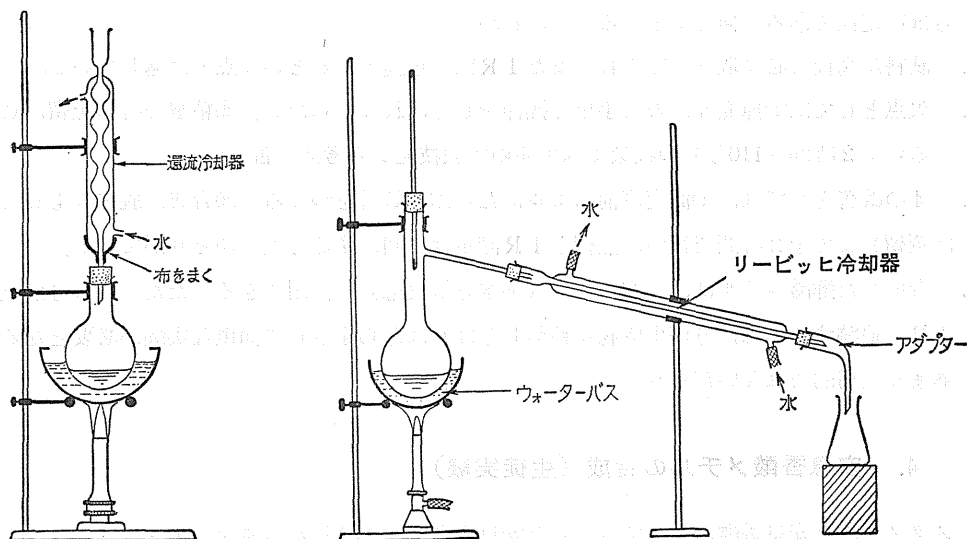
エチルアルコールについては2図を参考にする。 $3500\sim 3000\text{cm}^{-1}$ には O—H の大きな吸収があり、 $3000\sim 2800\text{cm}^{-1}$ の鋭いいくつかの吸収は CH_3- 、 $-\text{CH}_2-$ によるものである。小さな吸収だが置換基による影響を受けにくい、 $-\text{CH}_2-$ の吸収が 1450cm^{-1} 付近に、また 1380cm^{-1} 1090cm^{-1} 付近には CH_3- による吸収が、 1050cm^{-1} には $\text{C}-\text{O}$ による吸収がある。この $\text{C}-\text{O}$ の吸収は置換基の影響により移動することがある。

（準備）

丸底フラスコ（200ml）、枝つきフラスコ、三角フラスコ（50ml×2、100ml）、分液ろうと（200ml）、還流冷却器、ビーカー（200ml）、リービッヒ冷却器、ろうと、ろ紙、メスシリンダー、アダプター、ガラス棒、水浴、バーナー、スタンド、ゴム管、温度計、コルク栓、沸石、エチルアルコール、濃硫酸、酢酸、10%塩化ナトリウム溶液、炭酸ナトリウム飽和溶液、塩化カルシウム。

（実験）

200 ml の丸底フラスコにエチルアルコール 40 ml を入れ、これに濃硫酸 10 ml を加える。（発熱するため2～3回くらいにわけて加える。）これに酢酸 10 ml を加え、沸石を入れて還流冷却器をとりつけ、水浴上で加熱する。沸騰しはじめたらバーナーを調節し、20分間沸騰を続ける。その後水冷し、200 ml のビーカーに 80 ml の 10%塩化ナトリウム溶液を入れたものに移す。これを 200 ml の分液ろうとに入れ下層をすてる。有機層に炭酸ナトリウム飽和溶液を加え



る(CO_2 の発生あり)。静置後下層をすて、2～3回水洗する。エステル層を100 mlの三角フラスコに移し、塩化カルシウムを加えて栓をして20分間放置する。これをろ過して枝つきフラスコに入れる温度計およびリービッヒ冷却器をとりつけ、その先にアダプターをとりつけて、三角フラスコに採取できるようにセットする。沸石を入れて水浴上で加熱し、 70°C までを前留分、 $73\sim 78^\circ\text{C}$ までを本留分として乾燥した三角フラスコにわけとる(実際は 72.5°C 付近までしか温度が上がらずこれを採取した)。

(結 果)

合成した酢酸エチルと市販の1級酢酸エチルのIR図を3、4図に示した。1、2図は、もとなつた酢酸とエチルアルコールである。3図と4図を比較すると合成物と市販物のきわめてよい一致が見られる。さらに1、2図とも比較すると、中心の目標であつたOH吸収の違いがよくわかる。つまりエステル生成反応でOHの消失が認められる。

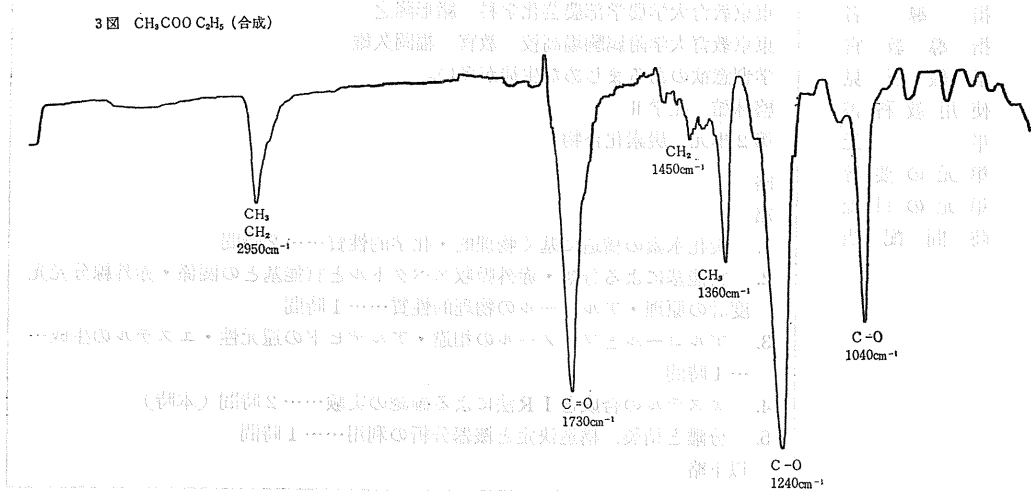
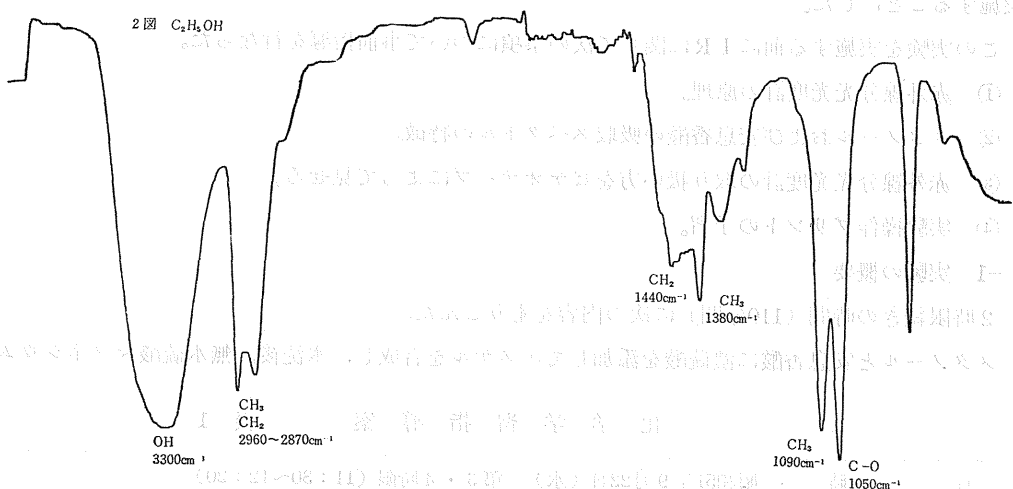
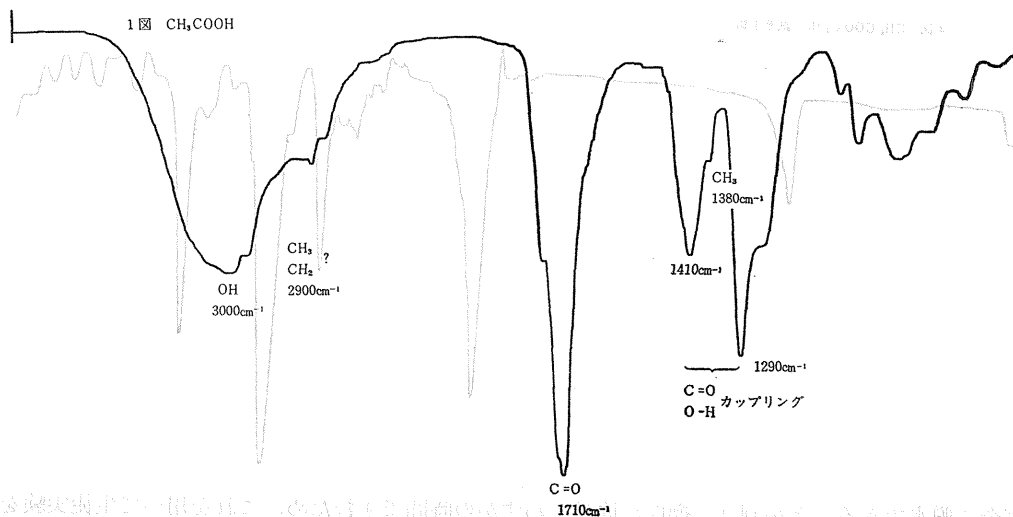
また1～3図から酢酸、エチルアルコール、酢酸エチルの三つの共通の基が 3000cm^{-1} に鋭い吸収として示されている(前にも述べたが、酢酸ではあまり明りょうでない)。 CH_3- の吸収も三者に共通して 1380cm^{-1} に見られる。共通の基C—Oは $1000\sim 1100\text{cm}^{-1}$ にも示される。なお酢酸と酢酸エチルについてはC=Oの 1700cm^{-1} 付近の特徴的な吸収が見られる。酢酸エチルとエチルアルコールの図を見ると、 1450cm^{-1} 付近に小さな $-\text{CH}_2-$ の吸収があり、これは酢酸ではなく構造の違いを知る上で参考になる。

(考察および反省)

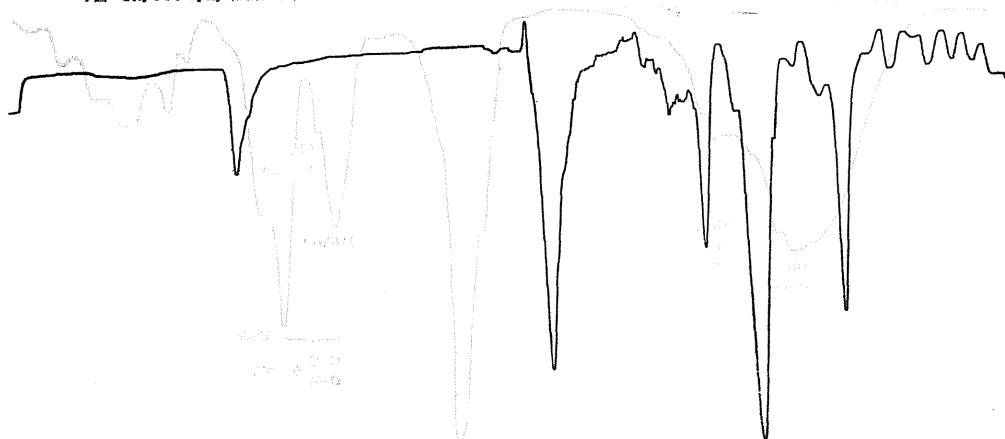
1. 酢酸エチルの精製で、脱水とデカンテーションをおこない蒸留しないでIRにかけてみたが、OHの吸収が強く水又は原料が充分除かれていないことがわかった。
2. 酢酸エチルは揮発性なのでチャートをとるスピードを最大($4000\sim 650\text{cm}^{-1}$ まで1.5分)にし、岩塩の組立セルを用いて液膜法でとった。固定セルは高価でもあるし洗じょうが少々面倒になるので、多数の生徒がとるには組立セルになると考えたからである。1～4図を見れば荒っぽい定性であるが何とかとれることがわかる。
3. 試料が高校で必ず取り上げられ、またIR図も単純であるという点では適している。
4. 欠点としては①揮発性なので手早く操作をしなければならない。②精製の時に蒸留が必要となるので2時間(110分)の授業では生徒の実験技能から考えて苦しい。
5. 4の改善としては、①測定直前にセルにたっぷり試料をつける。②合成、脱水(もしできれば蒸留)までを2時間で行い、蒸留とIR測定は次回にすると大分ゆとりができる。
6. 合成した酢酸エチルは、ケン化反応(加水分解反応)に使用できる。ただ、この分解反応をIRで追跡するのは、分解生成物を精製しなければならずさらに面倒な実験が必要となるからあまり実用的ではないだろう。

4. 安息香酸メチルの合成(生徒実験)

メタノールと安息香酸によって合成した安息香酸メチルは無水硫酸マグネシウムによってほぼ



4 図 $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ (試薬 1 級)



完全に脱水できることが判り、操作が簡単でわずかの時間ですむため、これを用いて生徒実験を実施することにした。

この実験を実施する前に I R に関して次の事項について事前指導を行なった。

- ① 赤外線分光光度計の原理。
- ② メタノールおよび安息香酸の吸収スペクトルの特徴。
- ③ 赤外線分光光度計の取り扱い方をビデオテープによって見せる。
- ④ 実験操作プリントの予習。

4-1 実験の概要

2 時限続きの時間 (110 分間) に次の内容をもりこんだ。

メタノールと安息香酸に濃硫酸を添加してエステルを合成し、水洗後、無水硫酸マグネシウム

化 学 学 習 指 導 案 表 1

日 時	昭和51年9月22日(水) 第3・4時限(11:30~12:20)
場 所	東京教育大学附属駒場高校 化学実験室(311番教室)
指 導 者	東京教育大学農学部農芸化学科 緒形隆之
指 導 教 官	東京教育大学附属駒場高校 教官 福岡久雄
学 級 所 見	学習意欲のあるまじめな生徒が多い。
使 用 教 科 書	啓林館 化学Ⅱ
単 元	第2单元 炭素化合物
単 元 の 要 旨	略
単 元 の 目 標	略
時 間 配 当	<ol style="list-style-type: none"> 1. 炭化水素の構造に基づく物理的・化学的性質……2時間 2. 官能基による分類・赤外吸収スペクトルと官能基との関係・赤外線分光光度計の原理・アルコールの物理的性質……1時間 3. アルコールとフェノールの相違・アルデヒドの還元性・エステルの生成……1時間 4. エステルの合成とIR法による確認の実験……2時間(本時) 5. 分離と精製、構造決定と機器分析の利用……1時間 以下略

本時の学習指導案

題 本時の要 指導目標 準備	材 分子分光学の手法により炭素化合物の構造が確認される。 エステルを合成し、IRスペクトルによって同定・確認する。 略
-------------------------	--

段階	時間	指導内容	留意点	評価・備考
導入	10分	<ol style="list-style-type: none"> 1. 今日の実験の目標は、安息香酸とメタノールとから安息香酸メチルを合成し、それをスペクトルによって同定することであることを確認する。 2. 試料・器材の取り扱いについて注意する。 3. 記録のとり方を説明する。 		<ul style="list-style-type: none"> 先週配布しておいたプリントの内容が、どのくらい把握されているかを調べる。
	30分	<ol style="list-style-type: none"> 1. 湯せんなべに湯を配布する。 2. プリントを見ながら、安息香酸メチルを合成する。 	<ul style="list-style-type: none"> あらかじめ湯を沸かしておく。 安息香酸 10g, conc H_2SO_4 3ml は班の数だけ用意しておく。 conc H_2SO_4 は駒込ピペットで少しずつ加える。 冷却管をクランプでしめすぎないこと。 バーナーの火、冷却管の流水が強すぎないこと。 	
	30分	<ol style="list-style-type: none"> 3. 合成した安息香酸メチルを精製する。 4. 精製した安息香酸メチルをサンプルびんにとる。 	<ul style="list-style-type: none"> 油状物質をできるだけ多く回収するよう注意する 無水 MgSO_4 は潮解性があることに注意する。 	<ul style="list-style-type: none"> エステルが 1.0~2.5ml とればよい。
	30分	<ol style="list-style-type: none"> 5. 別室の赤外線分光光度計を用いて、合成した安息香酸メチルのIRスペクトルをとる。 6. 実験の後始末をする。 	<ul style="list-style-type: none"> 合成の終わった班から順にIRの測定を行う。 最初の班には、実際にやってみせる。次の班からは前の班の操作を見せる 岩塩セルのしめつけは教師が行う。 1班の測定時間は2分とする。 後始末は、測定の待合せ時間中にさせる。 	<ul style="list-style-type: none"> 吸収スペクトルが表れたら、$3700\sim 3100\text{ cm}^{-1}$ にOHの吸収がないこと、1700 cm^{-1} にC=Oの吸収が表われることを示す。 測定の待合せ時間には、実験の記録の整理やまとめを書かせる。 後始末は念入りにさせる。
まとめ	10分	<ol style="list-style-type: none"> 1. IR吸収スペクトルの考察を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 安息香酸やメタノールのスペクトルと比較する。 	<ul style="list-style-type: none"> エステルのスペクトルと原料のスペクトルの違いについて、質問する。

により脱水ろ過してIR試料とする。試料は班に1つずつとし、岩塩セルにはさんで吸収スペクトルの測定をする。分光光度計の操作は別室に2班ずつ入り、先の班の操作を見学させては生徒自身の手で行う。岩塩セルをボルトで締める操作だけは、岩塩セルが高価（¥9000）であり、破

損しやすいために教師が行う。得られた吸収スペクトルのチャートと実験操作プリントにより、実験レポートをかかせて提出させる。

4-2 生徒実験の指導案

この生徒実験は、教育実習期間中に行ったもので、指導案は教生の緒形隆之君の書いたものを一部改めたり、省略して示す。(表1参照)

4-3 生徒に配布した実験のための印刷物

次の印刷物は、実験を行う1週間前に配布し、内容を熟読してよく理解しておくように指示しておいた。

4-3-1 実験操作と研究課題

〔目的〕

メタノールと安息香酸とから安息香酸メチルを合成し、赤外線分光光度計にかけて、エステルが生成した事を確認する。

〔準備〕

合成……安息香酸、メタノール、濃硫酸、沸石

ゴム栓付玉入冷却管、100ml 三角フラスコ、湯せんなべ、スタンド、クランプ、三脚、バーナー、ゴム管駒込ピペット

精製……炭酸水素ナトリウム、無水硫酸マグネシウム

分液ろうろ(2)、100ml 三角フラスコ試験管、ろうと台、サンプル管、スタンド、リング(2)、駒込ピペット、ろ紙、ろうと

〔操作〕

1. 合成 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} + \text{CH}_3\text{OH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{C}_6\text{H}_5\text{COOCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

(1) 安息香酸 10g を 100 ml 三角フラスコにとり メタノール 30 ml を加えてよく振る。次に濃硫酸 3 ml を駒込ピペット

で1滴ずつ溶液をかくはんしながら加え、更に沸石 (2~3 粒) を入れる。

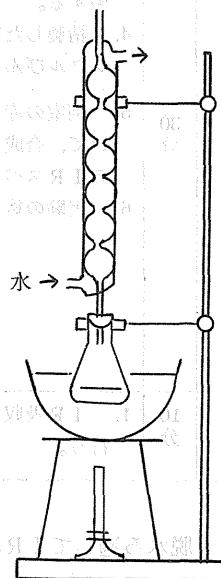
(2) 三角フラスコにゴム栓付冷却管を付し、右図のよう装置にする。

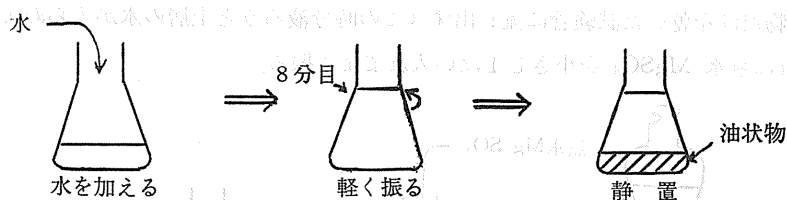
(3) フラスコ内が激しく沸騰し始めてから、10分間加熱し還流を続ける。

(4) 10分たったらフラスコを取り外し、水冷する。

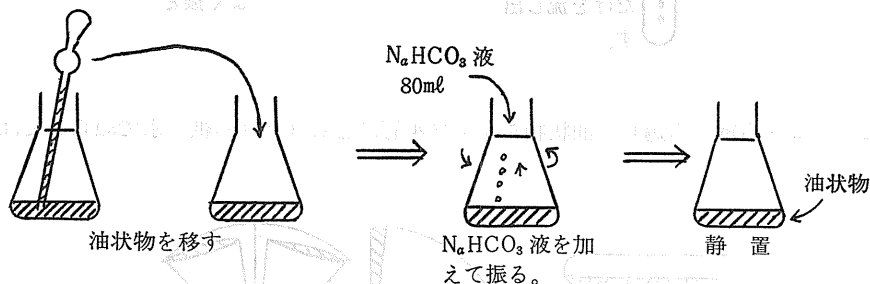
2. 精製

(1) 水冷したフラスコ内に水を8分目ぐらいまで入れて軽く振り、静置すると底に油状物がたまる。

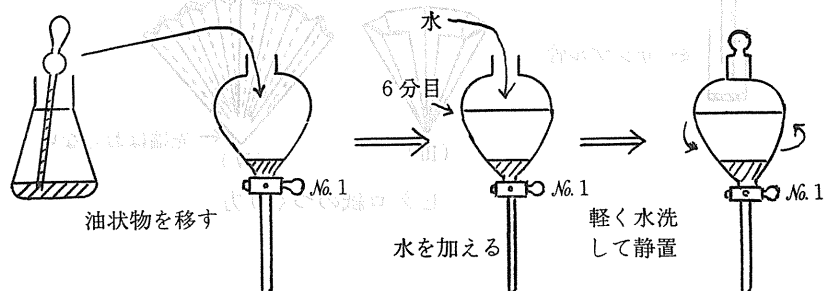




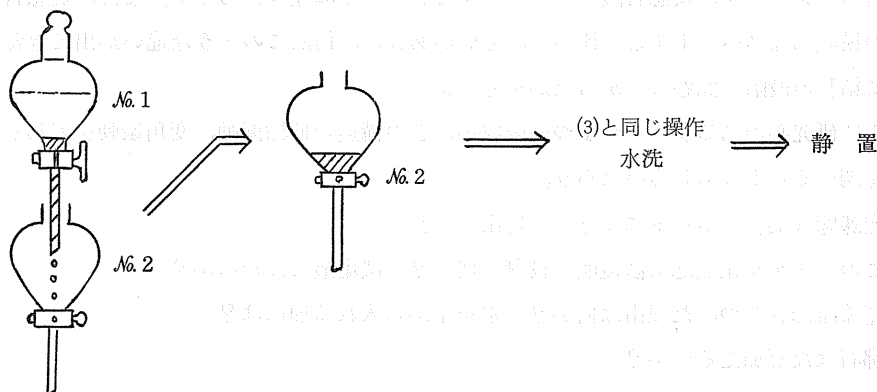
- (2) この油状物だけを駒込ピペットで吸い取り、別の 100 ml 三角フラスコに移す。これに NaHCO_3 飽和溶液 80 ml を徐々に振盪しながら加える。



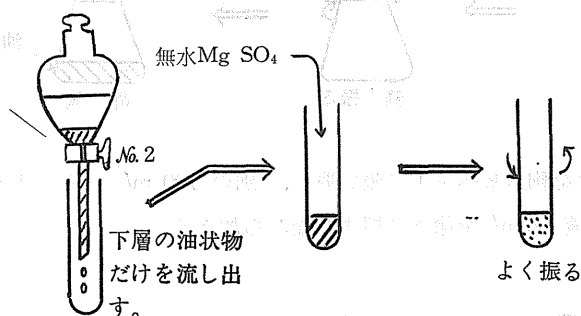
- (3) 底にたまった油状物だけを駒込ピペットで分液ろうと No.1 に入れる。これに水をろうとの 6 ~ 7 分目まで加え、軽く水洗して静置する。



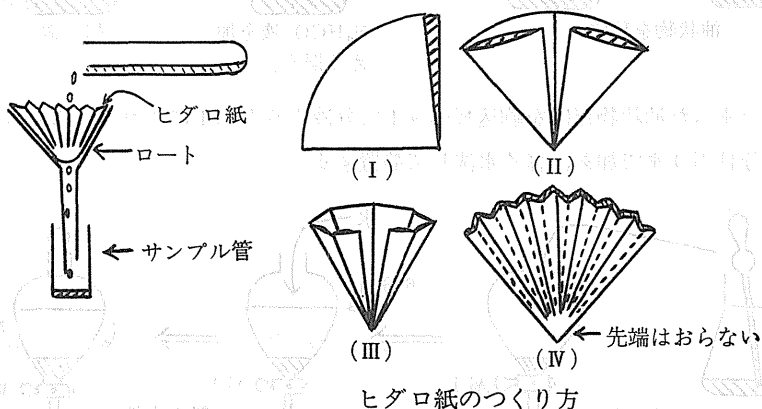
- (4) 底にたまった油状物だけを分液ろうと No.2 に流し出し(3)と同じ操作をして水洗する。



- (5) 底の油状物を乾いた試験管に流し出す（この時分液ろうと上層の水が入らぬよう注意する）。これに無水 MgSO_4 を小さじ1ばい入れてよく振る。



- (6) これをヒダロ紙でろ過し、油状物をサンプル管にとる（ヒダロ紙は水でぬらしてはいけない）。

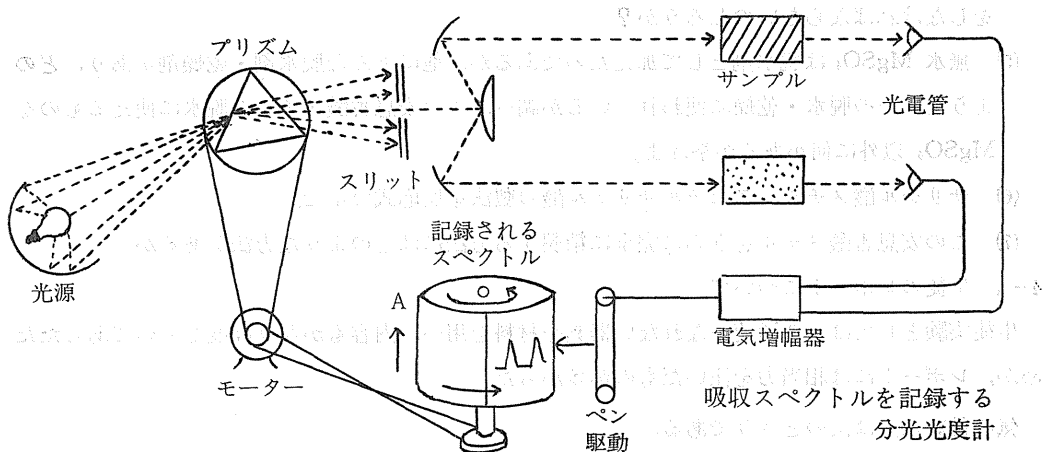


3. 赤外線吸収スペクトルの測定

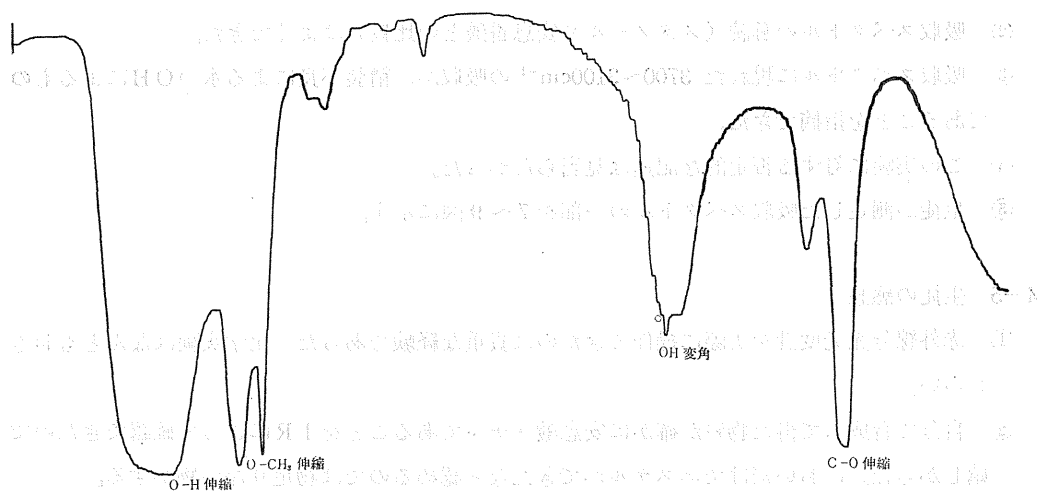
- ・サンプル管にとれた安息香酸メチルの IR 吸収スペクトルを測定してみよう。
- ・原料のメタノール、安息香酸のスペクトルとどのように違うだろうか。また、安息香酸メチルの模範的なスペクトルとも比べて、違いがあれば、何故このような違いが出てきたのか、特に精製の段階で問題はなかったかを考えよ。
- ・さらに研究心のある者は1つ1つの吸収が、どの構造の伸縮振動、変角振動を表わしているかを調べるのもおもしろいだろう。

4. 研究課題（実験レポートにまとめて提出せよ）

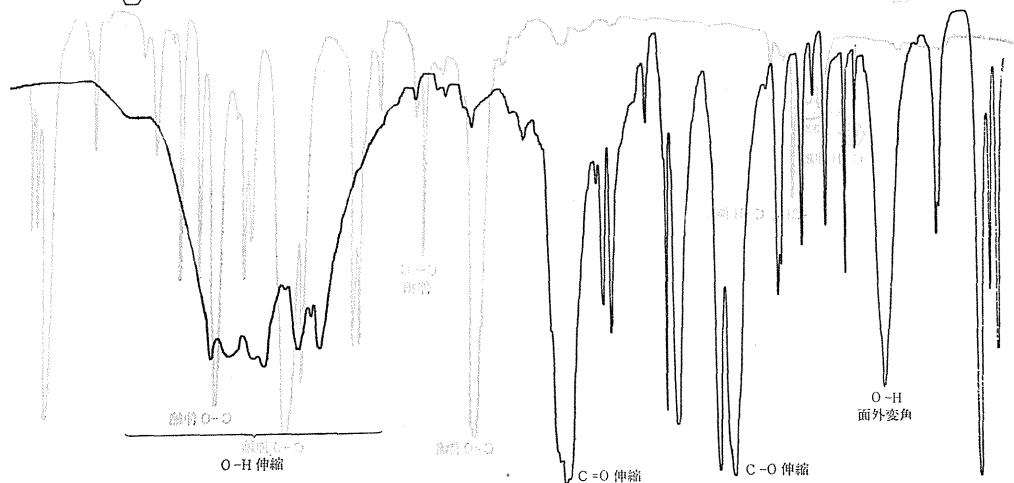
- (1) このエステル化反応で濃硫酸の役割は何か？ 濃塩酸ではだめか？
- (2) 還流冷却管をつけた理由は何か？ 水を下から入れる理由は？
- (3) 沸石はなぜ加えるのか？
- (4) 精製の段階で NaHCO_3 飽和溶液は何の目的で加えたのか？ また、なぜ精製という操作



5図 CH_3OH



6図 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 安息香酸



をしなければならないのだろうか？

- (5) 無水 MgSO_4 は脱水剤として加えたのであるが、他にどんな脱水剤・乾燥剤があり、どのようなものの脱水・乾燥に使われているか調べ、この安息香酸メチルの脱水に使えるものを MgSO_4 以外に何があるか挙げよ。
- (6) サリチル酸メチル、アセチルサリチル酸の製法を反応式で示せ。
- (7) この安息香酸メチルをさらに完全に精製する方法にはどのような方法があるか。

4-4 生徒のレポートについて

生徒実験としては、普通使えない器具や材料を用い、内容もかなり高度なものであったためか、レポートには相当力を注いだものが多かった。

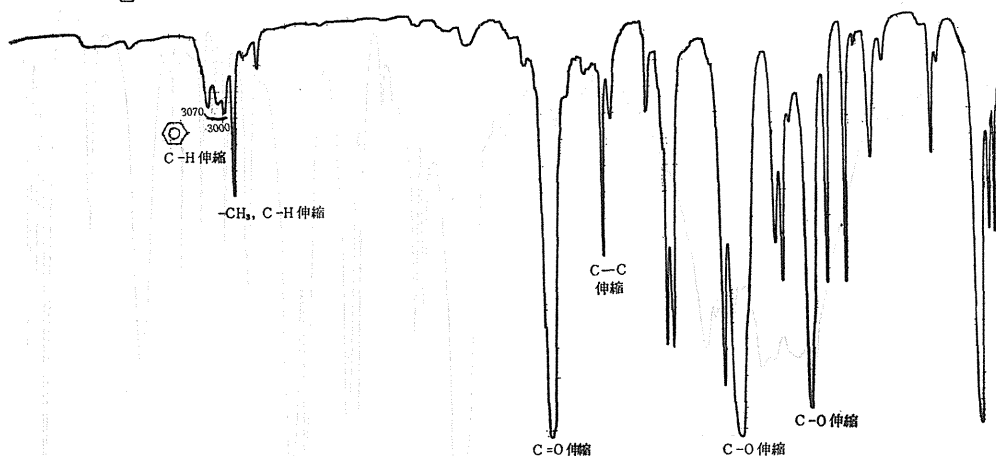
気の付いた点は次のとおりである。

- ① エステルの合成では大きなミスはなかったが、分液ろうとの操作が悪く、収量が少い班があった。最後のろ過で、ろ紙にエステルが全部吸収されてしまった班が2班あった。
- ② 吸収スペクトルの解読（メタノールや安息香酸との比較）はよくできた。
- ③ 吸収スペクトルに現れた $3700\sim 3100\text{cm}^{-1}$ の吸収が、精製不良による水の OH によるものであることを指摘できた。
- ④ この実験に対する否定的な記述は見当らなかった。
- ⑤ 生徒が測定した吸収スペクトルの一部を7～9図に示す。

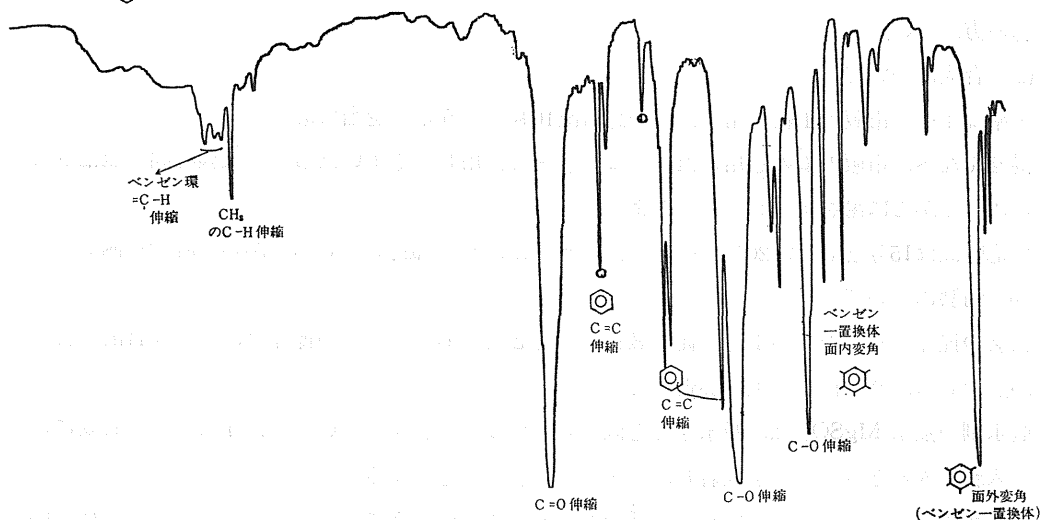
4-5 生徒の感想

- ① 赤外線分光光度計を実際に操作できたのは貴重な経験であった。化学実験はなんともおもしろい。
- ② 自分で合成して得た物質が確かに安息香酸メチルであることをIRによって確認できたので嬉しかった。においだけでエステルができたかと認めるのでは物足りない物がする。

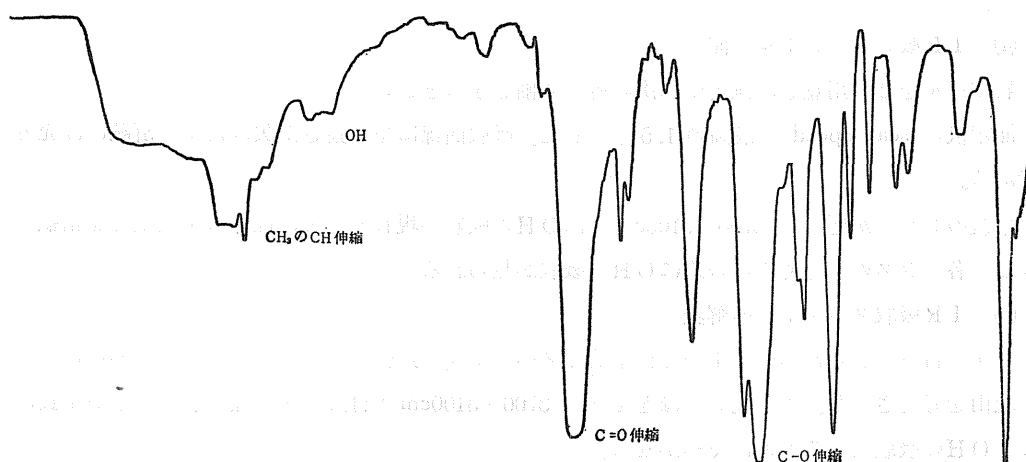
7図 c1ccccc1C(=O)OC 安息香酸メチル



8 図 c1ccccc1C(=O)OC 安息香酸メチル



9 図 c1ccccc1O 安息香酸メチル



- ③ IRなど雲の上の世界のできごとのように思えたが、こうして自分で取り扱ってみて化学の先端に近づいたような気がした。
- ④ 実験をいろいろな強烈なおいの中で行ったので頭が痛くなってきたが、たいへんおもしろい実験だった。IRの機械を動かすときに「ハイ、そこのスイッチをひねって」、「ハイ、このボタンを軽く押して」などとやられると、ロンパルームみたいで楽しかった。

4-6 実験実施後の考察

(1) 安息香酸メチルを用いたことについて

適当な材料であったと思う。合成が短時間に簡単な操作ででき、更に精製が容易である。また、常温で液状であるため、IRスペクトル測定の際に岩塩セルによる液膜法が使える。吸収スペク

トルの解説も比較的容易であるという条件を満たしている。欲を云えばベンゼン核をもたない化合物の方がよい。

(2) 合成について

試薬はすべて市販の1級を用いた。安息香酸10gという量は適当であった。

湯せんなべは市販のものを用いたが、ビーカーで代用してもよいだろう。実験時間を短縮させるため、やかんに湯を沸かしておくといよい。

反応時間は15分としたが20分でもよいだろう。ただし、沸騰しはじめてからの時間を測る。

(3) 精製について

精製の操作の意味を1つ1つ生徒に教えておく必要がある。「この操作は、どんな目的で行うのか」をしっかり把握した上で実習させる。

脱水剤の無水 MgSO_4 は、吸水すると固まるので多く入れすぎないようにするときの目安になる。入れすぎるとエステルを吸着し、エステルの収量が悪くなる。

エステルのろ過はろ紙でよいが、ろ紙を水でぬらさないようによく注意しておく。生徒は中学校以来、ろ紙を水でぬらしてから使うように指導されている。エステルの収量は0~8gであった。

(4) IR吸収スペクトルの測定

岩塩セルを2組用意し、測定中に次の班の準備をするとよい。

測定機の scan speed は最高の1.5分とした。吸収曲線にやや鋭さが欠けたが、解説には充分である。

精製のしかたが悪いと $2700\sim3100\text{cm}^{-1}$ にOHの吸収が現れるので、操作の不完全さを指摘できる。各クラスの半分くらいの班にOHの吸収が見られる。

(5) IR吸収スペクトルの解説

まず、自分でとったスペクトルと標準的なスペクトルを比較させ、違いがあったばあい、その理由を考えさせた。この違いのほとんどが $3700\sim3100\text{cm}^{-1}$ 付近の小さな吸収で、精製不良によるOHの吸収であることに気づかせる。

安息香酸のスペクトルとの比較では、つぎの点に着目させる。

- ① エステル化によってカルボキシル基のOHがなくなるので、OH伸縮による吸収の現れる $3500\sim2500\text{cm}^{-1}$ に大きな違いがある。
- ② 1700cm^{-1} 付近の $\text{C}=\text{O}$ 伸縮振動による吸収は、そのまま残っている。
- ③ ベンゼン核もそのままであるから、 $2000\sim650\text{cm}^{-1}$ ではほとんど変化がない。
- ④ 安息香酸のOH面外変角振動による 930cm^{-1} の吸収は消える。
- ⑤ エステルになったために $-\text{CH}_3$ による吸収が明瞭になった。

5. おわりに

この研究は主として教育実習期間中(1976年9月)に、教育実習生の諸君の協力を得て行っ

た。

酢酸エチルの合成とその I R 図は小田誠君が、安息香酸メチルの合成とその I R 図は緒形隆之君が行った。また、生徒実験に当っては緒形君が中心となり、斉藤之朗君と三谷知世君が協力した。ここに記して感謝の意を表したい。

この研究に続いて、次の事項について更に検討を加えたいと思っている。

- ① 他のエステルについて。
- ② I R を利用できる試料を広く求める。
- ③ 生徒のレポートについて、I R を中心にきめの細かい評価項目を求める。
- ④ 生徒にもっと多くの I R 図を与え、解説の演習をさせる。

この他に、赤外線吸収スペクトルだけでなく、紫外線吸収スペクトル(UV)、核磁気共鳴スペクトル(NMR)についても高校化学の教材として用いたいと思っている。たとえば、UVにはベンゼンの2置換体に生ずる o, m, p の異性体の差がはっきり現れるし、NMR法は水素原子などの核が小さい磁気をもつことを利用し分子に磁界をかけたときに現われる特有な吸収スペクトルを測定するもので、分子中にどんな基が存在するかを知ることができる。n-ペンタンと iso-ペンタンの識別などを明瞭に行うことができる。このような機器利用が基礎的な化学構達の違いを理解するのに役立てばと考えている。

使用した参考書は次のとおりである。

合成については

1. 井上 尚人 基礎実験有機化学(丸善)
2. 東大教養部 化学実験(東大出版会)
3. 漆原 義之 有機化学実験(東大出版会)

I R については

1. 堀口 博 赤外吸光図説総覧(三共出版)
2. ク ロ ス 赤外線吸収スペクトル入門(東京化学同人)
3. 中西 香爾 赤外線吸収スペクトル(南江堂)
4. J. R. DYER (柿沢 寛訳)

有機化合物への吸収スペクトルの応用(東京化学同人)

5. 大木 道則 赤外線スペクトル(東大出版会)
6. 田中誠之他 赤外吸収スペクトル(広川書店)

また1975年7月の都立教育研究所での嶋田利郎氏の発表や化学教育24巻2号梅木氏等の研究も参考にさせていただいた。