

大学初学者向け化学教材の開発 1

—磁石を用いた共有結合モデル—

星野 由雅*・田浦 正典**

(平成 18 年 10 月 31 日受理)

A Teaching Material for Beginners of Chemistry at University
— A Model of Covalent Bond by Using Magnets —

Yoshimasa HOSHINO・Masanori TAURA

(Received October 31, 2006)

1 はじめに

私たちは、化学の事象・現象を、マクロレベルでは色の変化、相の変化などで知ることができるが、本来、現象はナノレベル、すなわち原子・分子レベルで起こっているため、現象の本質を目視する、さらには体感することはできない。この“目視できない”あるいは“体感できない”ということは、ヒトが物事を理解する上で大きな障害となる。この障害をいくらかでも低くする役割を担うのが化学教材である。化学教材は、学習者が化学の原理・現象を直感的に理解するのを助ける役割を担っている。それ故、教材は、数式などでの理解がまだ困難な小学生や中学生あるいは高校生向けに、多く開発されている。高校生向けには、原子・分子レベルの三次元描画（コンピュータグラフィックス）のデジタル教材¹⁾も開発され、理解の一助となっている。大学の化学教育においても、原子や分子を三次元で表示したコンピュータグラフィックスを用いた講義が、今では一般的であろう。しかし、ディスプレイ上に如何に精巧なモデルを表したとしても、所詮ディスプレイは二次元であり、目視はできても、体感はできない。そこで、本研究では、大学生の化学を学ぶ初学者向けに、化学結合の一つである共有結合をモデル化し、“体感できる”教材の開発を目指した。

共有結合は、一般に“原子が互いに一つずつ結合に必要な電子を出し合い、それを共有することによって成立する”と言われている。しかし、2つの電子と2つの原子核との関係は、直感的には理解し難い。この共有結合のモデルとしては、ゴム紐で繋がれた球を2つの原子に見立てて伸び縮みさせて、原子の結合の様子を説明するモデル²⁾や同じく2つの玉をバネで繋いだモデル³⁾がある。原子核はプラスの電荷を帯びているので、お互いに接することなく、また、電子を共有しているので離れすぎることもなく、ある一定の

* 長崎大学教育学部数理情報講座（化学）

** 長崎大学大学院教育学研究科教科教育専攻（理科教育専修）

距離を保っている。図1に共有結合における原子核間距離と核間に働く引力と斥力との関係を示す。2つの原子核間と2つの電子雲間には斥力(図1中A曲線)が、および、一方の原子の原子核ともう一方の原子の電子雲との間には引力(図1中B曲線)が働く。図1からわかるように、これら2つの力を合成したのがC曲線である。そして、2つの原子の間には引力と斥力とが釣り合った点($F=0$ の点, r_0)があり、これが平均結合距離となる。ゴム紐でつながれた結合モデルは、ある一定の距離で引き合うということは表すことができ、それを体感することもできるが、より短い距離では反発するという性質は表しておらず、これを体感することはできない。また、バネで繋いだモデルは、引力・斥力の様子を表現することはできるが、バネで繋いでいることが学習者には見えており、当たり前のこととして捉えられてしまい、原子レベルの現象を想起させるだけのインパクトを与えることは、難しい。言い忘れていたが、教材に必要な要素の一つは、学習者の興味を大いに引き付けることである。その点において、バネモデルは学習者の興味を引き付けるには、役不足である。そこで、本研究では、原子核同士が紐やバネなどで直接繋がれていないのに、二つの原子核間に引力と斥力とが働く共有結合モデルを磁石を用いて開発したので報告する。

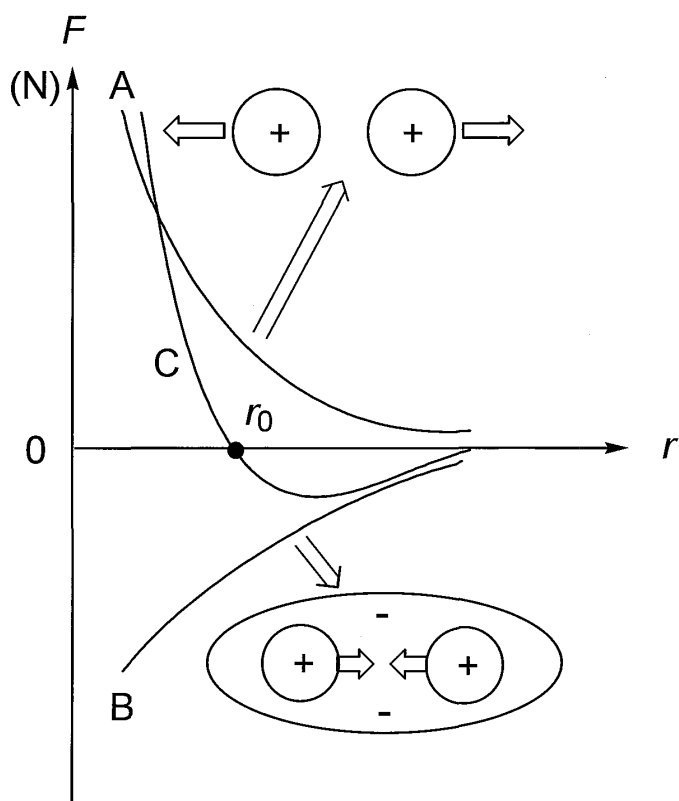


図1 原子核間距離に対する核間に働く引力(B), 斥力(A)とその合成(C)⁴⁾

2 教材の製作

教材の作製法を下記に記す。完成した共有結合モデルは、写真1に示す。

2.1 材料

- 発泡スチロール (50 mm × 50 mm × 50 mm) × 2 (ザ・スチロール, DIY ショップ購入)
- ネオジム磁石 A (ϕ 5 mm × 2 mm) × 2 (ザ・マグネット, 100 円ショップ購入)
- ネオジム磁石 B (ϕ 5 mm × 5 mm) × 8 (ザ・マグネット, 100 円ショップ購入)
- アクリル板 (厚さ 5 mm) (アクリルサンデー, DIY ショップ購入)
- テフロンシート (厚さ 0.3 mm) (サンプルテック製テフロンシート)
- テフロンテープ (厚み 0.13 mm, 幅 13 mm) (中興化成工業製テフロンテープ,)

2.2 作製法

- 1) 50 mm × 50 mm × 50 mm の発泡スチロールを面に対して平行で、立方体の中心を通るように、スチールカッターを用いて二つに切り分けた。同様のものをもう一組作った。
- 2) 図 2 に示すように、切り分けた発泡スチロールの片方に図 6 に示したネオジム磁石 A (ϕ 8 mm × 2 mm) が入る切り込みを外面から 0.3 mm, 切り口面の中心線にかつ、外面に沿う形で入れた。もう一組も同様に切り込みを入れた。
- 3) 図 3 に示すように、両方の切り込みにネオジム磁石 A (ϕ 8 mm × 2 mm) を N 極が向かい合うようにはめ込み、セロハンテープで固定した。
- 4) 図 3 に示すように、外面から 3.5 mm のところにネオジム磁石 B (ϕ 5 mm × 5 mm) が入る切り込みを 4 箇所、側面から、3 mm, 13 mm の位置に入れた。もう一方にも同様に切り込みを入れた。
- 5) 図 3 に示すように、切り込みに 4 つのネオジム磁石 B (ϕ 5 mm × 5 mm) 同士が引き合うように入れ、セロハンテープで固定した。
- 6) 1) で半分にしたものを重ね、磁石を覆った。図 4 に示すように、下部にテフロンテープを貼った。
- 7) アクリル板を 50 mm × 180 mm を一枚, 30 mm × 180 mm を二枚, 切り分け, それらを図 5 に示すようにアクリル接着材で接着した。
- 8) アクリル板と発泡スチロール角材との摩擦を小さくするため, アクリル板の内側面と下部にテフロンシートを貼った。

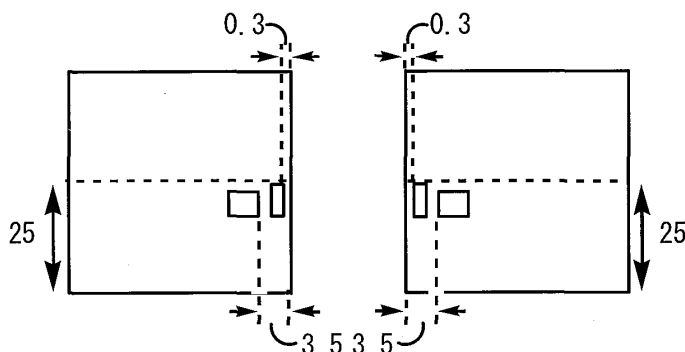


図 2 共有結合モデル用原子核 (横から見た図)

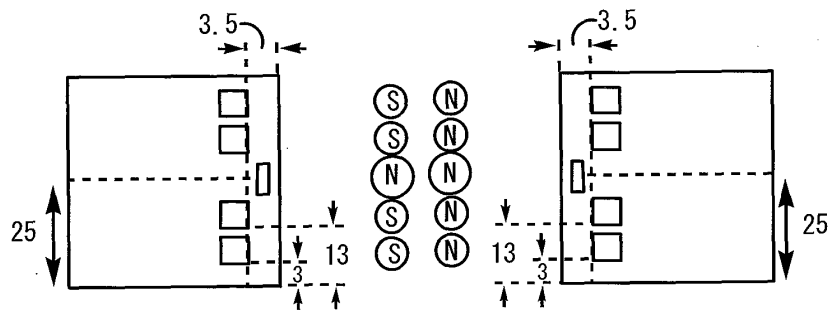


図3 共有結合モデル用原子核 (上から見た図)

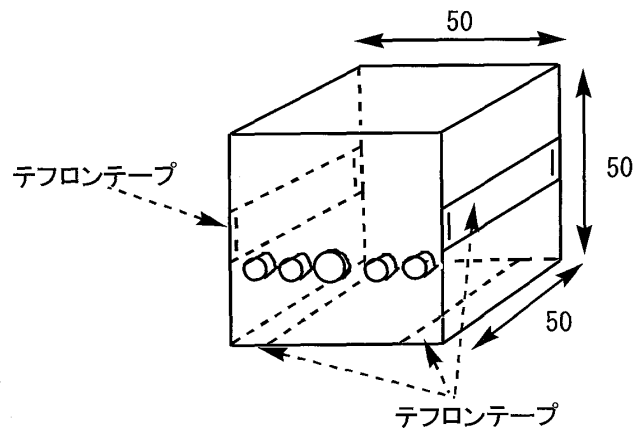


図4 共有結合モデル用原子核 (透視図)

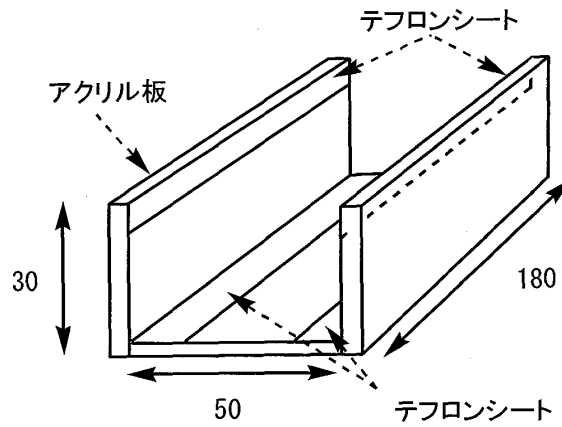


図5 共有結合モデル用アクリルレール

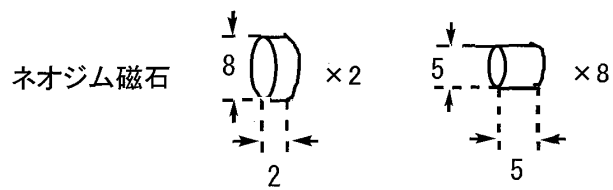


図6 共有結合モデル用ネオジム磁石



写真1 作製した磁石を用いた共有結合モデル

3. モデルを用いた授業実践

著者の一人（星野）は、平成18年10月25日（水）に長崎大学全学教育科目「化学の基礎（副題：現代社会に生きる化学）」の授業（履修登録者96名：教育学部3名，経済学部12名，工学部17名，水産学部11名，歯学部5名，医学部22名，薬学部22名，環境科学部4名）において，今回作製した共有結合モデルを用いて講義を行った。当日の受講者は84名であった。尚，受講者は10月18日（水）に既に化学結合の一部として共有結合の解説を受けている。そこで，10月25日の授業では，講義前にアンケート（資料1）を実施し，講義では共有結合モデルを示し，実際に動かしながら解説を行った。解説の内容は，原子核Bを動かしながら，

「原子核同士がある距離より離れようとするとき，このように引力が働き，原子核Aが原子核Bについてきます。今度は，原子核Bを原子核Aに近づけると，ある距離から斥力が支配的になり原子核Aは原子核Bに決して接することはありません。共有結合では，この引力と斥力がちょうど釣り合ったところに原子核同士が位置しています。また，平均結合距離というのは，この原子核間距離のことです。」

と解説した。そして，講義終了後，講義前と全く同じアンケートを実施し，共有結合モデルを用いた場合の学生の理解に対する効果を測った。その結果を表1に示す。表中の（ ）内は実数である。

表1 共有結合に関するアンケート設問と回答結果

モデル提示前		モデル提示後	
1. 共有結合という言葉を知っていますか？		1. 共有結合という言葉を知っていますか？	
a. はい	100 % (84)	a. はい	100 % (84)
b. いいえ	0 % (0)	b. いいえ	0 % (0)
2. 共有結合を自分で理解していると思いますか？		2. 共有結合を自分で理解していると思いますか？	
a. はい	39% (33)	a. はい	70 % (59)
b. いいえ	13% (11)	b. いいえ	3 % (2)
c. どちらともいえない	48% (40)	c. どちらともいえない	27 % (23)
3. 1つの共有結合には、何個の電子が関わっていますか？		3. 1つの共有結合には、何個の電子が関わっていますか？	
回答：2個	88% (74)	回答：2個	98 % (82)
：2個以外	12% (10)	：2個以外	2 % (2)
4. 1つの共有結合には、何個の原子核が関わっていますか？		4. 1つの共有結合には、何個の原子核が関わっていますか？	
回答：2個	90 % (76)	回答：2個	99 % (83)
：2個以外	10 % (8)	：2個以外	1 % (1)
5. 共有結合において、原子核と原子核は接していると思いますか？		5. 共有結合において、原子核と原子核は接していると思いますか？	
a. はい	5 % (4)	a. はい	0 % (0)
b. いいえ	95 % (80)	b. いいえ	100 % (84)
6. 5でいいえと回答した人に聞きます。共有結合において、原子核同士は、どのくらいの距離まで近づいていると思いますか？		6. 5でいいえと回答した人に聞きます。共有結合において、原子核同士は、どのくらいの距離まで近づいていると思いますか？	
a. 接しないが、ぎりぎりの距離まで近づいている	13 % (10)	a. 接しないが、ぎりぎりの距離まで近づいている	7 % (6)
b. 適度な影響を及ぼしあう距離まで離れている	72 % (58)	b. 適度な影響を及ぼしあう距離まで離れている	91 % (76)
c. わずかな影響を及ぼし合う、ぎりぎりの距離まで離れている	15% (12)	c. わずかな影響を及ぼし合う、ぎりぎりの距離まで離れている	2 % (2)
7. 共有結合において、電子は静止していると思いますか、動き回っていると思いますか？		7. 共有結合において、電子は静止していると思いますか、動き回っていると思いますか？	
a. 静止している	19 % (16)	a. 静止している	10 % (8)
b. 動き回っている	81 % (68)	b. 動き回っている	90 % (76)

モデル提示前のアンケート結果では、「共有結合」という言葉自体は、全員が認知していたが、その内容については設問2で「理解している」の学生(39%)を上回る約半数の学生が「どちらともいえない」とし、内容の理解に自信がないことを示していた。実際、設問5の共有結合において原子核同士が接しているとした学生(5%)がいた。また、「いいえ」と回答した学生の中にも、詳しく原子核同士の距離を尋ねた設問6では、「a. 接しないが、ぎりぎりの距離まで近づいている」や「c. わずかな影響を及ぼし合う、ぎりぎりの距離まで離れている」のような不適切な表現を選んだ学生が合わせて28%もいた。設問7の「共有結合において、電子は静止していると思いますか、動き回っていると思いますか?」では、約20%近くの学生が「静止している」と回答していた。

モデル提示後のアンケート結果では、ほぼ全ての設問について、ポイントが改善していることがわかる。特に設問2では、共有結合を自分で理解していると回答した学生が70%になり、モデルによる解説により理解に自信が出てきたことが伺える。モデル提示前には、設問5で原子核同士が接しているとした学生(5%)がいたが、モデル提示後は、原子核同士が接しているとした学生はいなかった。また、設問6の原子核同士の距離に関する問いでは、モデル提示前には、「b. 適度な影響を及ぼしあう距離まで離れている」を選んだ学生は72%に過ぎなかったが、モデル提示後は9割の学生を選び、モデルを提示した効果がよく表れていた。しかし、設問7の電子の動きに関する問いでは、モデル提示後も10%の学生が、電子が静止していると回答している。モデルを提示した際に電子の動きについて、解説をしなかったためと考えられる。今後は、電子の動きについても明確に解説する必要がある。

4. まとめ

共有結合における原子核同士の関係を“体感できる”新しいモデルを磁石を用いて作製した。当初、引力と斥力とを同じ空間に作り出すのは、困難であると考えていたが、小さくても磁力の強いネオジム磁石を巧妙に配置することで、目的のモデルを作製できた。このモデルは、化学結合の一種である共有結合の理解を助ける目的で、大学の初学者向けに作製した。授業での実践の結果、確かにモデルを提示して解説すると学生の共有結合に対する理解は深まることがわかった。また、授業終了後、何人かの学生が、モデルを実際に動かしてみたいと申し出てきた。2つの発泡スチロール間には何もないにもかかわらず、引力や斥力が働く様子は、大学生レベルでも一見“不思議”と思わすことができたようである。このような教材は、化学分野だけでなく、物理学分野でも利用可能であろう。特に、学習者の興味を大いに引き付ける必要がある小学生には有効であると考えられる。例えば、小学校3年生で学習する磁石の導入授業の教材としての活用などが考えられる。

注釈および参考文献

- 1) 例えば、科学技術振興機構(JST)が運営する、科学技術・理科教育のためのデジタル教材提供システム「理科ネットワーク」の「三次元画像理科教材集」,「有機分子モデルデータベース 3Dで自由自在に見る世界」などがある。
- 2) Anthony J. Merer:「光から学ぶ知一分光学の歩み」平成16年度放送大学特別講義.
- 3) 例えば、齋藤 昊:「はじめて学ぶ大学の物理化学」p137, 化学同人, 1997年.
- 4) (社)日本化学会:「DIDAC - 化学の手引き -」p393の図を一部改変.

資料1 化学結合の理解に関するアンケート

次の設問に回答して下さい。選択する場合は、該当する選択肢を○で囲んでください。用語や数値を要求されている場合は、()内に記入して下さい。

1. 共有結合という言葉を知っていますか？

- a. はい b. いいえ

2. 共有結合を自分で理解していると思いますか？

- a. はい b. いいえ c. どちらともいえない

3. 1つの共有結合には、何個の電子が関わっていますか？

() 個

4. 1つの共有結合には、何個の原子核が関わっていますか？

() 個

5. 共有結合において、原子核と原子核は接していると思いますか？

- a. はい b. いいえ

6. 5でいいえと回答した人に聞きます。共有結合において、原子核同士は、どのくらいの距離まで近づいていると思いますか？

- a. 接しないが、ぎりぎりの距離まで近づいている
b. 適度な影響を及ぼしあう距離まで離れている
c. わずかな影響を及ぼし合う、ぎりぎりの距離まで離れている

7. 共有結合において、電子は静止していると思いますか、動き回っていると思いますか？

- a. 静止している b. 動き回っている

8. 電子が静止しているとしたら、あるいは動き回っているとしたら、何処だと思いますか？

()