

# 速報：化学プロジェクト

小笠原 正明（大学教育センター）

## A Quick Report on Project of Chemistry

Masaaki Ogasawara (Center for Higher Educational Development)

The purpose of this project is to make a model syllabus of chemistry for freshman in Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT). A team was organized by the leadership of the department of educational program in the center for higher educational development of TUAT. The members were selected from various departments of each faculty and the center in TUAT. Different opinions from different fields on the course were respected. The project was carried out by the following order: (1) free discussion on chemistry education in general, (2) survey of textbook of high school level, (3) analysis of typical textbooks used in universities, and (4) listing up of minimum concepts necessary for freshman chemistry. The project has additional four steps to go before finishing: (1) listing up of five keywords for each class of the course representing the content, and (2) selection of suitable quizzes and exercises, (3) comparison with other subjects such as mathematics, physics, and biology for checking the consistency as a freshman course, and (4) introduction of teaching assistants and ICT to the class. At this point of time, we decided to report a tentative conclusion for the benefit of the teaching staff in TUAT. The author is responsible for all the content, but it is a product of the project. The list of the member is shown in the acknowledgement part.

〔キーワード：基礎化学，基礎教育，専門基礎科目，  
教養，モデル授業〕

### はじめに

「化学プロジェクト」とは東京農工大学の大学教育センターが2006年9月にスタートさせた研究会の名称である。初年次における化学教育のあり方を具体的検討することを目的に、本学小金井キャンパスのセンター分室で、2007年2月までに5回の集まりを持った。

本研究会を主催したセンターの教育プログラム部門は、全学的視野に立ったカリキュラムの立案・支援と、教育全般にわたる調査研究を任務としている。平成18年度は本学の中期計画を細分化した年度計画に基づいて活動しているが、本研究会に関係した項目を列挙すると以下ようになる。

大学教育センターにおいて平成22年度に向け専門基礎教育のあり方につき検討する。

- ・平成17年度に引き続き、単位の実質化の徹底を図る。
- ・FD活動を通じて対話型、学生参加型の授業を充実する。
- ・平成17年度に引き続き、体験型教材を利用した授業の具体化を検討する。

専門基礎教育とは、本学のような理系の大学では数学、物理学、化学、生物学の各分野の教育を指すと考えてよい。化学に注目したのはこの分野が部門長のバックグラ

ンドに近いということもあるが、もっとも大きな理由は大学初年次における教育内容について議論の余地があること、また単位の実質化や新しい教授法を検討するためにも興味ある分野だということである。

この研究会は大学の初年次の教育に的をしぼって、1) モデル授業をつくる、2) 農学部および工学部の教育目標に適したシラバスを作る、3) TAなどによる教育支援のあり方を検討することを目的としている。その先には、広く物理学や生物学などを含む専門基礎教育の農工大モデルを作り、それを実施するための教育インフラを整備しようという展望もある。ただし研究会が扱う範囲はあくまでもモデルづくりであって、制度の整備や実施は、しかるべき委員会やワーキンググループが検討すべきことであることは言うまでもない。このような合意のもとに、教育プログラム部門が農学部および工学部の関係者と相談しながら任意に研究会を組織し、研究を進めた。時間の関係で最終的な結論を得るまでには至らなかったが、途中経過を座長である筆者の責任において速報の形で報告することにした。研究会の名簿は本文末尾の謝辞の部分に掲げてある。

### 1. 研究の方法

検討のための枠組みとして、化学を専門としない学科の学生を対象とし、2単位の科目を2つ程度用意することを想定して、大学初年次の化学の授業を

考えることにした。ただしこの枠組みは必ずしも固定的なものではなく、それぞれの学科の専門や環境に柔軟に変更できるように変更可能なものにした。なるべく先端的な教育技術を取り入れた現代的な授業を目指し、以下のような手順で研究を進めることにした、

1) 化学を専門とするメンバーを中心に、大学初年次の化学の教育について基本的な考え方を議論する。

2) 高校における化学の教程を理解する。

3) 高校のアドバンストコース向けの教科書や、大学で使われている代表的な教科書の内容を具体的に検討する。

4) 大学の初年次において、学生が最低限身につけるべき「化学の概念」の一覧表を作り、その編成、順序、教授法などを考える。

5) 毎回の授業に含まれるキーワードを5個選び、それぞれの説明の仕方や関係する演習問題(クイズ)についてアイデアを集める。

6) 数学、物理学、生物学など関連する分野とのレベル調整を行う。

7) ティーチングアシスタントやICT(情報機器)などの利用の仕方を具体的に考える。

8) 以上の検討結果を誰でも利用できる形にして残す。

2007年2月9日現在で、以上の項目のうち1)から4)までが実行された。本速報はこれまでの成果をまとめたものである。

## 2. 基本的な考え方についての討論

化学の授業のあり方について、研究会のメンバーが自由な立場で意見を述べた。基本的な考え方にかかなりの違いがあることが分かったが、この時点では合意点を探すことより、それぞれの立場を明確にすることを優先した。以下にA, B, Cなどで区別した意見は、討論で出されたさまざまな意見を整理して類型化したもので、特定の個人の意見を表すものではない。また、この討論は研究会の「アイスブレイキング(場をくつろいだものにする手法)」として行われたものなので、それぞれの意見が研究会を通じて一貫して主張されていたわけでもない。

### A

一般に専門基礎教育においては、①初年次において異なる水準の科目を設ける「レベル化」、②教育内容の適切な標準化、③専門基礎教育との有機的な連携が必要だと言われている。本学に入学してくる学生については、高校における化学の履修率は比較的高いので、レベル化がそれほど重要だとは思わない。むしろ、化学の初年次教育の内容とレベルについてコンセンサスが無いことの方が問題だ。これから議論を起こして内容の精査を行う

べきだ。

化学のサブ領域の知識はそれぞれ膨大なものになっているので、これまでのようにサブ領域ごとに体系的な教育を目指すのは現実的でない。現代の課題に即して、一定の展望のもとにこれまで蓄積された知識を整理して、現代化学に必須の概念とともに伝えることのできるスケールの大きなストーリーが必要だと思う。

### B

私は学生に「大学で習うことをすべて完璧にマスターしようとするのは無茶だし無意味だ、特に関心のある分野を深く理解して使いこなすことは必要だが、浅くて広い知識を身につけることも重要だ。『こんな学問分野があるんだ。』とか、『こんなことを詳しく知る必要に迫られれば、この先生に尋ねるかこの教科書を読めば良い。』といったレベルの理解で構わないから、できるだけ多くのことを学んで欲しい。浅くて広い知識こそ実社会に出てから役に立つ可能性が高い。」というようなアドバイスを繰り返してきた。

化学は実用の背景を意識して学んだ方が意欲も湧くし理解しやすいが、科目全体を一つのストーリーにする必要性については疑問である。ストーリーを主軸にしながら学問体系も重視した構成が必要だと思う。なお、化学は、工学部の一部の学科では、旧一般教育課程の自然科学分野のように純然たる教養科目だということにも注意する必要がある。

### C

物理系の工学では、「もの」についての常識は必要不可欠。量子物理だけではなく、物質科学としての物理、生命にかかわる物理というスタンスから、具体的なものを扱う科学の基礎として化学を学んで欲しい。物理は「もの」についての膨大な知見をさまざまな物理的視点から整理した知識体系である。体系を欠いた知識はたんなる暗記物である。その意味で高校の化学を苦手としてきた学生も多いが、体系的な見方をつかんだ時、いかに化学が物理に立脚し、なおかつ物理では扱えないさまざまな物質現象について洞察を与える有効な「整理学」であるかが理解できるだろう。

### D

エンジニアにとって化学は、材料とのかかわりで物質を基本的に理解するために重要である。特に物質の構造や周期表に関する知識が役に立つ。化学の特徴は化学反応を扱えることにあるので、化学反応がなぜ起こるかを中心に置くのが良い。物質の変換とエネルギーを理解するため、化学結合や熱力学の初歩に力を入れたい。

### E

原子の性質の不思議は原子核の構造に由来する。元素の誕生と起源を概観し、原子核から見た自然の成り立ち

に注目したい。物質の性質は電磁気学と量子力学で決まるという意味で、化学はかなり物理である。「化学的」なんてあり得ない。化学の分類学を知ることは、物理の原理を知ること。

## F

化学的な現象を扱う方法には、大雑把に言って物理化学的な方法と有機化学的方法の2つがある。物理化学的な方法で化学を扱う究極の目的は、あらゆる化学的現象を電子と核という2種類の荷電粒子の相互作用で説明したいということにある。複雑な化学現象も、最後にはごく少数の普遍的な方程式に還元されるはずだという思想に基づいているから、これは本質的に物理である。一方、典型的な有機化学的方法では、原子の最外殻電子よりも内側のレベルに立ち入ることはない。多種多様な化学反応を調べて“原子の組み替えルール”を見出し、化合物の合成などに利用することが主な目的である場合が多い。有機化学的方法で得られる結果は、化学反応式や化学構造式のようなもので視覚的に表現することができる。これが良くも悪くも物理と区別される化学の特徴である。

## G

化学は、有機、無機、物化、分析の4大分野に分類するのが一般的である。教養科目としての化学の講義はどこに重点を置いて行すべきであろうか。大学の教養科目の「化学」のための教科書の多くが次の2本を柱に書かれている。

(1) 物質の状態と変化を学ぶ：化学熱力学の基礎から反応速度までを学ぶ

(2) 物質の構造を学ぶ：量子化学の基礎から原子の構造、周期表の原理、化学結合論からマクロな物質の構造と性質の基礎までを学ぶ

無機化学は(2)の「周期表の原理」と絡めて学ぶことができるし、有機化学は同じく(2)の化学結合論以降で扱うことが可能だから、限られた時間内にそれぞれ独立に立てる必要はない。分析化学についてはさわりの部分を講義した方が良くも知れない。

## 3. 教科書の検討

良く使われている高校や大学の教科書を調べ、その内容について議論した。以下は、それによって得られた認識と、著者自身の教科書に対する感想をまとめたものである。

高校の教科書は化学Ⅰも化学Ⅱもおおむね良くできている。コンパクトに要点がまとめられており、イラストや写真も多い。「このような教科書の内容を高校でしっかり勉強してきてくれれば問題が無いのだが…」とは、大学の化学の教員が良く口にする言葉である。

化学に限ったことではないが、学問には外国語に似たところがあり、ボキャブラリーを獲得する課程と、それを使って意味を理解（コンプリヘンション）し利用することを学ぶ課程がある。化学の分野では元素記号や化学式、構造式、反応式などの表記法がボキャブラリーに相当し、それを使って現象を記述し、背後にある法則や原理を考えることがコンプリヘンションに相当する。高校生や受験生が「化学は暗記物だ」と考える理由の1つに、化学は中等教育まではボキャブラリーを獲得することに重点を置かざるを得ないという事情がある。ボキャブラリーそのものが化学の本質であるはずはないが、物理と比較すると化学の対象は多種多様で、物質を理想化せずリアルなモノとして認識したり扱ったりする必要がある。どうしても必要最低限の知識の量が多くなる。

暗記することに関心があり、そこに力点を置きがちな高校生や受験生の傾向と、化学の中等教育における教程は偶然ではあるが一致している。また、このレベルでもっとも重要な「化学量論」の内容は、中学校までの数学で一応理解できるので、教程上の無理が無い。そのような事情で、高校においては化学の履修率は高く、今後ともこの傾向は続くものと思われる。大学はそのことを想定して、初年次の学習内容を組み立てる必要がある。

わが国の大学の初年次向けの化学の教科書は混乱している。旧一般教養課程の化学と同じく各分野を網羅した教科書が多く存在するが、上に述べたボキャブラリーとコンプリヘンションのバランスについての考察が十分でなく、ほとんど高校の教科書の内容と変わらないようなものから、大学の4年間をかけてもマスターできるかどうか疑わしいものまである。

初年次向けの教科書として一冊の本で化学を網羅することを止めて、化学結合論、化学熱力学、有機化学など各論に分割したものには成功例が多い。研究会が検討した本の中では、日本の教科書ではないが、カリフォルニア大学バークレー校のピメンテルとスプレートリーが書いた化学結合論と化学熱力学の本に対する評価が最も高かった。コンプリヘンションに力点がつかれ、具体的な例やたとえ話で学習者に良く考えさせるように書かれているので、「大学の化学」が実感できる。ただし各論に分かれた教科書は、それぞれ最低2単位または半年間の学習を想定しており、化学結合論と化学熱力学だけでも1年、有機化学を含めれば2年近くかかる。化学を専門としない学科のカリキュラムとは整合していない場合が多く、農工大の多くの学科に適合しそうもない。

アメリカ化学会が総力をあげて編集した2004年の教科書は良くできている。この教科書はA4判で800頁という膨大なもので、高校において化学を履修してこないことを前提とした初年次向けの教科書である。身近にあ

る水の問題から入り、分子や水素結合、酸化還元反応、生物などを取り上げてまず化学の鳥瞰図を与えている。次に水溶液中の酸化還元反応を扱って化学の実験になじませる。原子の問題に入る前に宇宙のビッグバン理論を取り上げ、素粒子から核への変換、原子の生成へと説明して原子の起源を宇宙の進化と結びつけ、その流れの中で量子力学の成立、化学結合へと入って行く。後半のかなりの部分は化学熱力学、特にエントロピーと自由エネルギーの記述に費やされ、最後にDNAなど生物の問題につなげている。

アメリカの大学初年次の化学は履修歴の多様な学生に対応しているため、よく高校レベルの内容で教育が行われていると誤解される。しかし、上の教科書の例からも分かるように、元素表示や周期表、また化学量論を学んだ後、大学生の知的発展段階に合わせてかなりの速度で内容が高度化する。それができるのは、基礎化学は普通1時間の授業を週3回、4時間の討論と実験を週1回行うからである。授業では相当量の宿題と、事前事後の教科書の読み込みが求められている。学生が志望する専門にかかわらずこのような授業を2学期ないし3学期続けるので、1年後ないし1年半後には、日本の大学の非化学系の学科の学習内容を越えてしまう場合が多い。文系と比較すると、その差はさらに拡大するだろう。教科書の内容と大学における教程とは表裏一体の関係にあり、教科書における彼我の差はそのまま教育課程の差となっている。

本研究会で特に詳しく検討された大学の教科書は、末尾に文献としてまとめて示した。

#### 4. 初年次化学では何が必須か？

日本化学会は中学の理科から最先端の化学につながる中・高一貫の体系的な教科書を編集している。全部で3部からなる構成のうちの第3部「さらに進む化学」の目次を見てみると、大学初年級の化学に必要な項目が網羅されている。これは高校課程における化学のアドバンストコースの教科書(検定外)とされているが、その内容は少し前までのアメリカの大学の基礎化学に酷似しており、むしろ高大一貫の化学の教科書と考えた方がよい。そこで本研究会では、この本の目次の一部を取り出してそれぞれのメンバーが検討し、初年次化学で必須の項目を抜き出し、コメントをつけて持ち寄った。以下にその内容を示す。

目次は章、節、項よりなるが、必須の項目は基本的に○印で示した「項」のレベルで議論することにした。それぞれの章、節、項に対するコメントは、9ポイントの小さな活字で示した、文頭のドットは、それぞれ異なるメンバーによるものであることを示している。◎印の項

は必須のものとして選び出されたものであり、下線をつけた項は中でも重要とみなされたものである。

なお、この選択からはずれたものは、大学初年次において知識として必要無いという意味ではない。高校段階で化学を十分学習していることを前提に、大学初年次における数学や物理学の水準も考慮した上で、優先的に学ぶべきものを選択した結果として残されたものである。学年が進むにつれて、あるいは必要に応じて、これらの項目についても大学レベルの概念を身につけなければならないことは言うまでもない。

## 第1章 物質の構造

### 第1節 原子の構造

#### ◎電子配置

- ・まず「エネルギー」を説明。ボーア模型で古典論的原子構造を示し、量子力学を直感的に導入。
- ・ボーア模型のみではすぐ行き詰まる。波動関数の概念を少しでも導入する必要がある。
- ・電子の波としてのふるまい(電子雲)
- ・エネルギー→ボーア模型→ボーア・ゾンマフェルト→波動関数

#### ◎電子殻

- ・s, p, dおよびf軌道を、その形とエネルギー準位に力点を置いて説明。
- ・電子の軌道の形をエネルギー準位(エネルギーはとびとびであること)の説明。量子数とそれぞれの軌道との対応。
- ・軌道の形、数、エネルギーは天下りか？—それでもある程度まではいける。でなければ、波動関数の節の数や電子間反発の概念が必要。
- ・s, p, d, f軌道の形とエネルギー準位、周期表の順番。
- ・「殻」模型をどうするか？

#### ◎閉殻構造

- ・上の項目と合わせて、周期表を新しい目で見ることができるようになれば良い。
- ・電子配置と周期表の関係は、強調し過ぎることは無い。閉殻構造のみで、すべてを説明することが困難であることを教えるべきである。閉殻構造のみを切り札にすると、限られた世界しか理解できない。

#### ◎結晶の構造

- ・分子の1つ上の階層につながる概念。「分子間相互作用により分子から物質へ」としての説明ができると思う。

#### ◎結晶系

- ・金属の結晶などで高校の化学よりもう少し深く取り扱うことは、非化学系である機械系・電気系の学生には必要ではないか？

#### ○錯イオンと錯体

- ・重い原子の電子配置を具体的に説明するために取り上げる。
- ・構造論としては詳しく説明する必要は無いのでは？
- ・配位結合の概念はぜひ必要。

## 第2節 分子の構造

### ◎分子の概念

・二原子分子から巨大分子まで、ラジカルや反応中間体も分子。ついで、原子→分子→超分子（分子会合体）の階層構造も簡潔に述べる。「結晶の構造」をここで扱うのも良い。

### ◎原子軌道から分子軌道へ

・水素分子イオンの説明が主だが、波動関数をどこまでやるか？  
・水素分子の出来方の説明を通して化学結合（共有結合）の本質を分からせる。

・シグマ結合とパイ結合の概念の導入。パイ結合は高校ではやっていないはず。

### ◎混成軌道

・ $sp^3$ などの混成軌道の考え方を分子模型を使ってしっかり理解させる。

・電子間や電子対間の反発を用いると、混成軌道の概念や分子の構造をエネルギーと関連づけて比較的容易に理解できる。

・混成の概念を理解させるのは多少難しいが、分子構造の説明には必須となる。

### ◎分子の形

・分子式が与えられたら、非結合性の軌道を含めてただちに立体図が描けるように訓練する。

・ルイス式、分子式が与えられたら、非結合性軌道を含めてただちに立体図がかける。

・混成軌道の考え方で十分では？ それ以上は、何を根拠に形を推定するのか？

・分子構造模型を使って視覚的に説明するのが良い。分子模型ソフトを学生が使えるばなお分かり易い。

### ○分子構造の決定

・分子の構造は電子反発が決める。

## 第2章 物質の状態

・ある程度の演習が必要

### 第1節 物質の三態

#### ◎気体

・気体分子運動論に必要な内容を選んで取り上げる。ほとんど物理だが、仕方がない。

#### ◎気体の状態方程式

##### 混合気体と分圧

・自由エネルギーの理解に必要な部分を取り上げる。

#### ◎物質の持つエネルギー

・気体分子運動論が中心。

・物質の三態を教える場合は、状態図から考えさせる。

### 第2節 エネルギー

#### ◎エネルギーとは？

・力学的エネルギーについては、ボーア模型の前に説明の必要あり。

・反応もしくは状態変化にともなうエネルギーの出入り、またエ

ネルギーの形が変わり得ることを、例えば火力発電所などの具体例をあげて説明。物質の持つエネルギー→熱エネルギー（運動エネルギー）→電気エネルギーの変換（熱力学第一法則）。

#### ◎熱力学の法則

・熱統計力学的説明が中心、マクロな熱力学をどこまでやるか？

#### ◎エントロピー

・実験をまじえて十分な説明が必要。ひとつの山場。

・高校では習わない乱雑さを表す指標としてのエントロピーは重要な概念であり、理解させる必要がある。わかりやすい例をあげて十分説明する必要がある（熱力学第二法則）。

#### ◎自由エネルギー

・熱力学の勉強のゴールとする。化学平衡との関係を体得させる。

・化学平衡との関係を体得させる。平衡に到るまでの速度ということで反応速度についても触れる。

#### ○エネルギーの換算

## 第3章 物質の反応

・以下の節や項以外のもっと基本的な化学反応の考え方ができないか？ 熱力学的な見方や、結合の切断、生成における電子の役割などは必要ないか？

### 第1節 酸塩基対

#### ◎酸塩基平衡

・水溶液の化学の一部として扱う。生活に密着しているから分かり易い。

#### ○塩の加水分解を定量的に定義

#### ○ブレンステッド酸塩基

・酸塩基平衡と同様の視点

#### ◎ルイス酸塩基

・同上

### 第2節 光と反応

#### ◎光の吸収と発光

・ボーア模型と量子力学の導入に関連して取り上げる。古典モデル

・分析技術との関係。

・電子励起と電子励起状態のダイナミックス

・光の吸収および発光のメカニズムを電子軌道間の遷移から説明する。

#### ○光の性質－偏光

#### ○新しいエネルギー源

#### ○機能性光学材料

#### ◎光が関わる環境科学

・炭酸同化作用と関連して説明。殺菌。

### 第3節 酸化と還元

#### ◎物質の酸化還元による変化

・電気化学

・Nernstの式

・電気化学、燃料電池も含めて新しい種類の電池も紹介する。

#### ○単体（金属）の製造

## ○有機物質の酸化還元

・有機化学の導入。

## ○酸化還元力の定量化

・電気化学

## 研究会で追加した章：原子の起源

・周期表の意味を原子の起源に遡って考える。

・元素の起源と発展，原子核の構造と核エネルギー，分子の生成から出現まで。

## ◎星と宇宙の分光学

## ◎宇宙の進化と地球の生成

・ビッグバンから始まる原子の生成という意味で，学生にとっては興味深いだろう。

## ○プロトンと原子番号

## ○中性子と質量

・核化学および核反応

物理学の分野から参加したメンバーは、「化学学習のおもしろさは，化学反応の理解にある」という立場から，反応熱と熱化学方程式，酸・塩基と化学平衡，酸化還元反応などを取り上げ，酸化還元滴定や電気分解などの基礎実験科目と連携して学習するべきだと述べた。

## 4. 中間的まとめ

今後さらに項目を絞り込んで，科目の種類に応じて選択した項目を適切に配列して全体を設計し，具体的にシラバスを作成することになっている。

これから先に進もうとすると，どのような種類の科目を初年次用としてそろえ，それぞれについてどのような目標を掲げるべきかという問題が生じる。また上の「項」の学習内容を具体的に検討していくと，やはり受講する学生の履修歴が気になってくる。一応，高校において化学Ⅱまでを履修してきたことを想定して議論することにしたが，農学部でも工学部でもこの想定は必ずしも実際を反映していないという。原子番号や周期表についての理解が十分ではないとすると，原子のs軌道やp軌道についていくら話しても仕方がないという気がする。結局，本学においても大学で初めて化学を本格的に学ぶ人のための科目を開講せざるを得ないだろう。この科目を仮に「大学の入門化学」と呼ぶことにする。

大学の入門化学は必ずしも高校の化学ではない。学生の発展段階や，数学や物理などの素養のレベルも上っているはずだから，高校で学ぶべき内容を比較的早く済ませて，大学のレベルの化学にとりつかせるという戦略を立てることができる。アメリカの大学の初年次化学と同じ学習戦略がとれる。

ただしアメリカほど集中的な学習はできないから，化

学の各章を網羅することはやめて，「物語性」をはっきりさせて，現実的な到達目標を掲げることになる。本研究会で議論された例では，宇宙の進化と地球の生成の面から原子・分子の進化を説明するという案があった。さらに生体物質や遺伝子まで話がつながれば，メッセージを持った科目にすることができよう。この科目は，一部をリメディアル科目として，また全部を教養科目としても使える。なお，農学部の生物学研究会では，同様の性格の生物学の科目を「『接続』教育としての生物学」と呼んでいるという。

高校で化学を履修してきた学生に対しては，2のGで提案されているように，1) 物質の状態と変化を学ぶもの，2) 物質の構造を学ぶもの，の2種類を用意すべきだろう。前者を仮に化学1，後者を化学2と呼ぶ。化学1のポイントは量子化学であり，化学2のポイントは自由エネルギーである。どちらも物理学と共通した概念であるが，物理学に還元してしまわない方が良く，実際できないだろう。化学の問題を扱えるようにするためには，量子力学についてもエントロピーについても，化学に固有のアプローチが必要であり，演習実験や演習問題を含めてそれぞれの概念（およびサブ概念）をしっかり身につけさせる必要がある。そのためのいろいろなアイデアが示されている3の表は，演習実験や演習問題を含めて授業内容を具体的に検討するときの手掛かりとなろう。また実際の科目の章立ても，3のままでは面白さに欠ける。特に化学1について，3の末尾に示した「原子の起源」に関するストーリーを大幅に取り入れて，自然に物質のマイクロ構造に入っていきやり方が良いのではないか。

履修のコースとしては，高校で化学を履修して来ない学生は，大学の入門化学をとった上で，化学1および化学2の両方を学ぶのが理想である。志望する専門によっては，化学1または化学2のどれか1つでも良い。高校で履修してきた学生は，化学1と化学2の両方を学ぶべきだろう。

なお，本速報では実験との関係についての考察が省略されている。酸・塩基と化学平衡，酸化還元反応などを取り上げ，酸化還元滴定などの基礎実験科目と連携して化学の基礎の基礎を身につけさせてはどうか，というコメントには耳を傾ける必要がある。構造論を扱う化学1は別としても，平衡や反応を主として扱う化学2はこの考え方で作り直せるかどうか，これから検討したい。

## 謝辞 (acknowledgement)

本速報は以下に示したメンバーからなる「化学プロジェクト」の研究会での議論を基礎に書かれている。論旨については筆者がすべて責任を負うが、アイデアの大部分はこの研究会で得られたものである、ここに記してお礼申し上げたい。

鶴飼 正敏 UKAI Masatoshi (工学部)

萩原 勲 OGIWARA Isao (農学部)

高柳 正夫 TAKAYANAGI Masao (農学部)

松岡 正邦 MATSUOKA Masakuni (工学部)

三沢 和彦 MISAWA Kazuhiko (工学部)

吉永契一郎 YOSHINAGA Keiichiro (大学教育センター)

小笠原正明 OGASAWARA Masaaki (大学教育センター)

\* 下線は座長 (Underlined person is the chairperson) を示す。

## 参考文献

G. C. Pimentel, R. D. Sprateley 著, 千原秀昭・大西俊一  
訳 (1974) 「化学結合—その量子論的理解—」,  
東京化学同人

G. C. Pimentel, R. D. Sprateley 著, 榊友彦訳 (1977) 「化  
学熱力学—分子の立場からの理解—」, 東京化学  
同人

J. Bell (2004) “*Chemistry: A Project of the American  
Chemical Society,*” W. H. Freeman and Co.