

# 国際化学オリンピックシラバスの分析

## 日本の高等学校学習指導要領（平成6年度実施） およびこれに準拠する高校化学の教科書との比較

日本化学会化学教育協議会  
国際関係小委員会

### 1 はじめに

#### 1.1 背景

ここ何回か、学習指導要領の改訂のたびに高等学校での理科の内容が削減されていることについて、しばしば指摘される「学力低下」とあいまって、懸念する意見が少なくない。その際に、理科の学力や科学的な内容に対する関心についての国際的な調査の結果が引用されることも少なくない。しかし、学習指導要領で規定されている内容が、高校レベルでの化学教育の内容の国際的な標準からみてどのように異なるのかについての検討は、いくつかの特定の国との相互比較という形を除いては、意外になされていない。これには、「高校レベルでの化学教育の内容」について、国際標準といえるようなものが、必ずしも確立されていないことによる。

一方、今年で36回目を数える国際化学オリンピックでは、その理論および実験問題を出題する範囲が無条件に拡大され、各国代表である高校生達に過重な負担を強いることのないようにとの観点から、出題のためのガイドラインとも言うべき「シラバス」を公開している。このシラバスでは、出題可能な項目を次の3つのレベルに分類している。

レベル1：あらゆる国の普通の高等学校で取り上げている項目

レベル2：多くの国の普通の高等学校で取り上げている項目

レベル3：普通の高等学校で取り上げる国がほとんどない項目

レベル3はともかく、レベル1および2に位置付けられる項目については、参加各国の関係者からの意見を参考にして位置付けを決定している。分類が項目名だけなので、各項目についてどの程度の内容を想定しているかについては各国とシラバスを決定している実行委員会との間にはズレがあるだろうし、そもそも化学の優秀者を想定した大会のシラバスが、国際標準として妥当かなど、比較の基準とするには問題点も少なくない。ただ、それぞれ自国の化学教育の実態を眺めている人たちの意見が集約された結果であることを考えると、このシラバスで分類されている「レベル」が国際標準からそれほど大きくかけ離れているとも思えない。

そこで、本小委員会では、国際化学オリンピックのシラバス（2005年用改訂版<sup>1)</sup>）に取り上げられている項目と、平成元年に改訂された学習指導要領<sup>2,3)</sup>の「化学 B」「化学」の部分およびこれに準拠する高校化学の教科書で取り上げられている項目との比較検討を試みた。本来は平成11年に改訂され、平成15年4月から施行されている指導要領の内容とも比較すべきであろうが、調査を行った平成14年の段階では施行前で現場での実施状況が明らかでなかったため、検討を行っていない。これについては、多くの学校で「化学」「化学」が実施される平成18年頃に、改訂によって削除された部分について実態調査を行うことにより、補足するのが適当だろう。

#### 1.2 手法

本調査では、国際化学オリンピックのシラバスで取り上げている各項目について、設定されているレベル（1～3）と、国内

での高校化学教育のレベルとのギャップが大きい項目を拾い上げた。具体的には

(1)シラバスでは「3」となっているが、学習指導要領に含まれていて、日本の教科書のほとんどで取り上げられている項目

(2)シラバスでは「1（一部「2」）」となっているが、学習指導要領に含まれず、日本の教科書ではほとんどで取り上げられていない項目

を拾い上げた。この調査にあたっては、平成14年度高校化学グランプリ・国際化学オリンピック小委員会オリンピック訓練WG（主査：森 敦紀）の協力を得た。

つぎに、拾い上げられた各項目を、シラバスの章立てと項目数を勘案して6部に分けて表にまとめた。そして、各部で拾い上げられた項目について、日本での取り扱いの背景、根拠、妥当性などについて論じた。また、一部では海外の教科書の実態と比較した。

各部の見出しの右には、そこで取り上げたシラバスの章番号とタイトルが記してある。シラバスの各項目の番号および表記については、森が翻訳した「国際化学オリンピックシラバス2005年改訂案」<sup>1)</sup>によった。

この調査は、日本の学習指導要領や教科書の内容が国際的にみてどのような水準であるかについて論じることを目的とするものではない。しかし、こうした比較検討を通じて、国際的な観点から見た場合の、日本の高校化学教育の特徴が、浮き彫りにされるのではないかと期待はしている。こうした特徴に対する評価は人によって異なるだろう。こうした特徴を理解し、その問題点を認識することが、今後の高校化学教育の改善のために何らかの役に立てば幸いである。

第1部：1. 原子，2. 化学結合，3. 化学計算，4. 周期表

#### 1. 項目の比較

(1)シラバスでは「3」となっているが、学習指導要領に含まれていて、日本の教科書のほとんどで取り上げられている項目該当なし

(2)シラバスでは「1」となっているが、学習指導要領に含まれず、日本の教科書ではほとんどで取り上げられていない項目

見出し	項目
1.2. 水素原子	1.2.5. s 軌道の形
1.3. 放射能	1.3.1. 放射能の種類
	1.3.2. 放射性壊変
4.1. 電子配置	4.1.1. パウリの原理
	4.1.2. フントの規則
4.2. 周期的な性質	4.2.6. 最大酸化数

## 2. 内容の検討

### 2.1 量子化学の取り扱い

現在の高校学習指導要領（平成元年）解説<sup>3)</sup>によれば、「原子構造のモデルについては、モデルはボーアモデルにとどめて扱い...。」となっている（p84）。したがって、オリンピックのシラバスでレベル1とされている、s軌道の形、パウリの原理、フントの規則の3項目は、現在の日本の高等学校では取り扱っていない。

過去にさかのぼると、教育の現代化をめざした昭和45年の高校学習指導要領解説には、『...s軌道、p軌道を簡単に扱う。』という記述がある（p43）。そして、例えば、大日本図書「改訂化学」（昭和52年発行）には、軌道のことはもちろん、パウリの原理やフントの規則の概念が記述されており、欄外だが、「パウリの原理」という単語も紹介されている（p68～71）。

しかし、昭和54年の学習指導要領の改訂では、過熱する受験戦争やそこからくる生徒のひずみなどを問題とし、内容の精選とゆとりが重視され、高校進学率が非常に高いことが配慮された結果、この高校学習指導要領解説には「原子の構造のモデルについては、それに関する最も進んだ新しい理論を高校の化学に導入することにより、かえってそれについての生徒の理解を困難にしている場合があることを考慮し、たとえ理論的には不完全なところはあっても、基本的な化学現象の理解に役立ち、かつ生徒にとってわかりやすい原子モデルを採用することが必要である。...ボーアのモデル程度にとどめることにする。」と記述されることとなった（p37）。「最も進んだ新しい理論」とはいくらも大げさな表現であろう。当時の高等学校の化学教員にとってこの分野が指導しにくかったという側面もあるのだろうが、これ以降現在に至るまで、日本では原子の構造としてはボーアのモデルだけが教材となっている。

原子の構造をボーアのモデルで扱う程度では、周期表の周期の構成や、分子が一定の形を保つこと、有機化合物の反応などを説明することが困難であり、そのことについては結果的に生徒たちに暗記を求めることになる。

米国や英国の高等学校程度の教科書には、上記の軌道等は記述されている。しかし、週あたりの各教科・科目の配当時間数や進学状況などを考えると、一概に日本と比較できないだろう。

### 2.2 放射能について

放射線の種類と放射性壊変は国際シラバスで1のランクにある。日本の教科書では従来必須の学習事項ではないが、放射性同位体の存在に関連してどちらも触れる程度、ないし若干の説明程度であるものの、ほとんどの本で取り扱われている。なお新指導要領での総合理科Aでは、放射線や原子力について取り上げることとなっており、どの教科書でも放射線の種類やその利用、放射性壊変について記述している。

### 2.3 単位と量について（補足）

物理量をめぐる単位の扱いについては、国際シラバスではこれを学習項目としていないが、出会い得る問題であるので付記する。単位と量の要素は（1）測定における誤差と計算の精度、（2）国際単位系および（3）計算の中での単位の処理が挙げられる。米国の数冊の高校教科書ではこれらはいずれも本章の中で扱われている。一方日本の教科書では（1）と（2）は巻末資料として扱われている。さらに（3）については、すべての計算操作について単位を含めて表記するという点では概して扱っていない。なお、新指導要領における理科総合Aでは実験観察の方法について取り上げることとなっており（1）や（2）は本章の中で記述されるようになっている。

## 第2部：5. 無機化学

### 1. 項目の比較

（1）シラバスでは「3」となっているが、学習指導要領に含まれていて、日本の教科書のほとんどで取り上げられている項目

見出し	項目と内容
5.2. 1族および2族	5.2.5. その他の化合物、性質と酸化状態 炭酸塩、炭化カルシウム、2族硫酸塩、
5.3. 第13 18族と水素	
5.3.1. 水素との二元分子性化合物	5.3.1.3. その他の性質 (不明)
5.3.2. 第13族	5.3.2.3. その他の化合物、性質と酸化状態 ミョウバン
5.3.3. 第14族	5.3.3.3. その他の化合物、性質と酸化状態 ケイ酸ナトリウム、ソーダガラス、スズ・鉛の硫化物
5.3.5. 第16族	5.3.5.3. その他の化合物、性質と酸化状態 硫化物
5.3.6. 第17族（ハロゲン）	5.3.6.8. その他の化合物、性質と酸化状態 ヘキサフルオロケイ酸、さらし粉
5.4. 遷移元素	5.4.7. その他の化合物、性質と酸化状態 ハロゲン化銀、クロム酸塩、硫化物
5.6.2. おもな錯イオンの化学式	5.6.2.5. 他の錯イオン 亜鉛の錯イオン

（2）シラバスでは「1」となっているが、学習指導要領に含まれず、日本の教科書ではほとんどで取り上げられていない項目

見出し	項目
5.3. 第13 18族と水素	
5.3.2. 第13族	5.3.2.3. 酸化ホウ素（ ）と水との反応生成物
5.3.3. 第14族	5.3.3.1. 塩化物および酸化物でのケイ素の酸化状態は+4である
5.3.4. 第15族	5.3.4.1. リン（+5）の酸化物と塩化物、水との反応
5.3.6. 第17族（ハロゲン）	5.3.6.7. Cl <sub>2</sub> OおよびCl <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の水との反応およびこの反応で生成する酸の化学量論

## 2. 内容の検討

### 2.1 全体の傾向

（1）で取り上げられている項目のほとんどは、周期表の各族の「その他の化合物」である。これは、各族についてシラバスでレベル2までに取り上げられていない化合物のいくつか、日本の高校の教科書で取り扱われていることによる。たとえば「5.3.5.3.（第16族）その他の化合物...」の項目には、遷移金

属の硫化物が対応する。これは、金属イオンの沈殿の色による確認や系統分離などの定性分析が高校で取り扱われていた時代の名残であろう。これらの内容は、海外では高校レベルではあまり取り扱われていないのか？ また、日本は火山国なので、硫化物は身近であることもあるのかも知れない。また、「5.3.7. 第18族」もシラバスではレベル3である。日本では、ネオンサインなど身近な用途があることから取り上げられているのだろうか。他の化合物にしても、個々に理由はあるにせよ、化学的なものの見方を育てることを念頭に置いて系統的に取り上げられているわけではなさそうである。

一方(2)にあてはまるものは、ホウ素とその化合物、ケイ素およびリンの塩化物、そして塩素の酸素酸である。これらは、いずれも身近にある化合物ではない。外国では、非金属化合物の酸化数や化学式を、周期表での位置に基づいて、酸化物と塩化物を基にして、系統的に教えようとしており、それがシラバスに反映されているように思われる。確かに塩化物を取り上げることはこの目的に適している。一方、日本では酸化物のみを取り上げているようだが、身近な物質を中心に個別に性質を紹介するなど各論的になっていて、周期表での位置と組成や酸化数との関係など、無機化学の重要な基礎的事項との関係が希薄になっているように思われる。

ただ、無機化学(元素ごとの各論)については「取り扱われているかどうかを比較すること」にどれだけの意味があるのかは疑問である。各元素について「酸化状態」と「性質」と言われても、どこまで書いてあれば「取り扱われている」というべきなのか判断するのは難しい。単に化合物が登場するだけでも「レベル3が取り扱われている」と判断せざるをえないが、それがシラバスで言う「取り扱われている」に相当するのかわからぬ。

## 2.2 背景

日本の教科書の歴史的推移を振り返ってみると、上記のような現状がずっと続いていたわけではない。昭和45年の指導要領に基づく教科書(化学, の頃)までは、周期表に基づいて酸化数、化合物の組成、性質などを系統的に考えるのに必要な内容はほぼ含まれていたからである。その後、内容を見直し、精選する中で、上記のような無機化学の基礎的原理を理解するのに必要かどうかとはまったく別の基準に基づいて内容が削減されてきたために、系統的な原理の理解につながらない、単なる知識の羅列的な内容になってしまったのではないのか？ このため、電気陰性度のような化合物の性質の理解に有用な基準はもとより、その基礎となる周期律や周期表それ自体も、無機化合物の組成や性質をその上での位置に基づいて論理的・系統的に理解するための基盤としての位置を確立できず、単なる暗記の対象になってはいないだろうか。この傾向は、本年度から高校で実施されている「厳選」の指導要領ではどうなったであろうか？ 内容がさらに削られた分だけ、上で述べた無機化学の基本的なものの考え方を身につけることから、さらに遠ざかってはいないだろうか？

## 第3部：6. 物理化学

### 1. 項目の比較

(1)シラバスでは「3」となっているが、学習指導要領に含まれていて、日本の教科書のほとんどで取り上げられている項目

見出し	項目
6.1. 気体	6.1.4. ドルトンの分圧の法則

(2)シラバスでは「1」となっているが、学習指導要領に含まれず、日本の教科書ではほとんどで取り上げられていない項目

見出し	項目
6.2. 熱力学	
6.2.4. 化学平衡	
6.2.4.1. 酸塩基平衡	g イオンの酸性度と塩基性度
6.2.4.3. 溶解度	a 溶解度(積)の定義(Ks)
	b Ksから水への溶解度の計算
6.3. 電気化学	6.3.1. 起電力(定義)
	6.3.3. 標準電極電位

## 2. 内容の検討

### 2.1 全体の傾向

シラバスでは「1」に分類されているが日本では必ずしも扱われていない項目は、酸と塩基の強さの指標としての $K_a$ 、イオンの酸性度と塩基性度、溶解度積の定義、 $K_s$ から水への溶解度の計算、起電力の定義、標準電極電位であった。一方シラバス3位であるが日本では扱われる項目はドルトンの分圧の法則である。物理化学は比較的国際シラバスとの相違が少ないように見受けられる。

### 2.2 背景

まず酸と塩基、溶解度積やその計算について取り上げられていないのは、指導要領において平衡の扱いが「弱酸や弱塩基などの簡単な平衡定数を扱うにとどめる」規定があるためである。項目の上で制限があるため、それ以外の酸性塩基性は加水分解が定性的に取り上げられる程度となっている。広く酸性塩基性を理解するためには、個々の項目で詳しくないにせよ広い範囲の平衡を扱うことへのコンセンサス形成が望まれる。指導要領でとりあげていない溶解度からの計算については、こうした内容が入試において無機金属イオンの分析上の計算(沈殿の有無)問題に直結しがちであるという批判が背景にある。電気化学では標準電極電位および自由エネルギーの導入に関して、指導要領の概念構成上シラバスへの明らかな遅れがある。例えば米国の高等学校教科書は標準電極電位を取り上げており、電池の構成もそれ(半電池反応)に基づいている。一方日本では、単に指導要領のみならずイオン化傾向のような(生徒の関心を高める?)暗記型知識を好む土壌も現実に存在する。これは熱化学反応式でのエンタルピー表記と共に物理化学分野で抱える課題の一つである。

日本ではほぼ扱われている内容のドルトンの分圧の法則は内容としては平易であるが、燃焼条件や呼吸の仕組みなど関連する内容は多い。また蒸留法の原理を学習する大学初等教育の段階では、たとえば高校で化学を履修せず蒸気圧の知識を平易に使用できないと理解が困難になることがある。したがってこれは日本の状況のほうがより良いと思われる。

## 第4部：7. 反応速度論, 8. 分光学

### 1. 項目の比較

(1)シラバスでは「3」となっているが、学習指導要領に含まれていて、日本の教科書のほとんどで取り上げられている項目

見出し	項目と内容
7.3. 反応機構	
7.3.5. アレニウス式	7.3.5.1. 活性化エネルギーの定義 <sup>*1</sup>
8.3. X線	
8.3.2. 概念	8.3.2.2. 単位格子
8.3.3. 固体の構造	8.3.3.1. NaCl
	8.3.3.2. CsCl
	8.3.3.3. 金属(単純立方,体心立方,立方最密および六方最密格子) <sup>*2</sup>

\*1 反応座標に基づく定性的な定義であり,シラバスにあるようなアレニウス式に基づく定義ではない。

\*2 充填個数から密度の計算など。X線結晶解析との関係はない。

(2)シラバスでは「1」となっているが,学習指導要領に含まれず,日本の教科書ではほとんどで取り上げられていない項目

見出し	項目
7.2. 反応速度式	7.2.1. 微分反応速度式

## 2. 内容の検討

シラバスで,レベル3となっているが日本の高校の教科書では取り上げられているか,部分的に扱われている項目としては,反応機構における衝突理論の基本的な概念や,活性化エネルギーの定義がまず挙げられる。特に活性化エネルギーについては,多くの教科書で取り上げられているが,これは,あくまでもエネルギー図などを用いた定性的な説明にとどまっております,アレニウスの式まで言及しているものではない。

分光学やNMR,質量スペクトルについては,シラバスではすべてレベル3であり,日本の高校の教科書にもほとんど取り上げられていない。例外的に日本の教科書のほうが詳しいのは,結晶構造の基礎である。日本の教科書では,イオン結晶や金属の結晶構造が取り上げられている。イオン結晶では,結晶構造の説明として結晶格子や単位格子が定義され,イオン結晶の例として塩化ナトリウムや塩化セシウムが紹介されており,金属の結晶構造では,面心立方格子,体心立方格子,六方最密構造などについて説明されている。シラバスでは,分光学のX線回折の項の中で,結晶構造の基本概念として位置づけられているのに対して,日本では固体結晶の構造として単独に取り扱っている点も興味深い。これは,金属やイオンをミクロな視点で実感させる格好の題材と考えられているためであろう。

シラバスではレベル1でありながら,高校の教科書で扱われていない項目としては,微分反応速度式が挙げられる。教科書では,反応速度の表し方からはじまり,反応速度と濃度や温度との関係が説明され,反応速度が粒子の運動と関係していること,一定以上のエネルギーをもった粒子が反応できることを通して,活性化エネルギーの概念が導かれている。さらに,触媒の働きについても言及されている。ここまで説明されながら指導要領で反応速度式が取り扱われないのは,日本の高校化学が数学的な取り扱いを好まない傾向にあるためではないか。

以上のように,反応速度論に関しては,オリンピックのシラバスと教科書間で違いは,微分反応速度式の取り扱い程度であるといつてよい。

## 第5部:9. 有機化学

### 1. 項目の比較

(1)シラバスでは「3」となっているが,学習指導要領に含まれ

ていて,日本の教科書のほとんどで取り上げられている項目

見出し	項目と内容
9.2.9. アミン	
9.2.9.4. ジアゾ化	b 芳香族アミン
	アゾベンゼン類の合成

(2)シラバスでは「1(一部「2」)」となっているが,学習指導要領に含まれず,日本の教科書ではほとんどで取り上げられていない項目

見出し	項目
9.2. 反応と反応機構	
9.2.1.1. アルカンとハロゲンとの反応	9.2.1.3. 遊離基機構(開始,停止)
9.2.2.1. アルケンへの求電子付加反応	b マルコフニコフ則
9.2.3. アルキン	9.2.3.1. アルケンと比較した酸性度
9.2.4.1. ベンゼン	b 共鳴による安定化
9.2.5. ハロゲン化合物	9.2.5.2. 加水分解反応
	9.2.5.4. 脱離反応
	9.2.5.5. 脱離反応と置換反応の競争
9.2.5.6. 反応性	a 第一級対第二級対第三級
	b 脂肪族対芳香族
9.2.7. アルデヒドとケトン	9.2.7.2. ケト-エノール互変異性
	9.2.7.4. アルコールへの還元(LiAlH <sub>4</sub> , NaBH <sub>4</sub> )
9.2.7.5. 求核付加反応	a HCN と
	b RNH <sub>2</sub> (R = alkyl, HO, NH <sub>2</sub> )と
	d アルコールとの反応,アセタールの生成
	e グリニヤール試薬と
9.2.8. カルボン酸とその誘導体	a 誘起効果との関係
9.2.8.1. 酸性の強さ	b カルボキシラートイオンの2つの酸素原子の等価性
9.2.8.2. 加水分解反応による合成	b アミドの
	c ニトリルの
9.2.8.3. カルボン酸の反応	c 酸塩化物の生成
	9.2.8.4. 酸塩化物の反応,酸アミドの生成
	9.2.8.5. 複数の官能基をもつ酸(ヒドロキシ酸,ケト酸)
9.2.9. アミン	
9.2.9.2. 塩基性	b 脂肪族アミンと芳香族アミンの比較
	c アミンと酸アミドの塩基性の比較
9.2.9.3. アミンの合成	a ハロゲン化物から
9.2.9.4. ジアゾ化	b 芳香族アミン

## 2. 内容の検討

シラバスと日本の教科書を比較して,有機化学全般に言える事は日本の場合は工業的な内容に重点を置いている事である。シラバスでは,有機反応を考える場合に反応機構・オービタルの形・反応種の状態・中間体などを考えさせるものがランク2

でランク1に分類されているものもある。それに対して日本の教科書では、ジアゾ化に見られるように有機工業化学や薬学で重要と思われる項目が多く、基礎的な反応を暗記してそれらを基に応用を考えさせるという発想が伺える。ジアゾ化反応はシラバスではランク3であるが、日本の教科書ではほとんどの教科書で扱われている。具体的にシラバスで取り上げられているが日本の教科書ではあまり見られない項目を列挙すると、

- 反応機構では
- ・アルカンとハロゲンの反応におけるラジカル反応機構
  - ・アルケンへの求電子付加反応におけるマルコフニコフ則
  - ・ハロゲン化アルキルの置換反応, 脱離反応, それらの競争反応
  - ・水素化物イオンやグリニャール試薬による求核付加反応
  - ・オービタルを考慮するものは
  - ・アルキンの水素の酸性
  - ・パイ結合
  - ・反応種の状態については
  - ・ベンゼンの共鳴構造, 共役
  - ・第1級, 2級, 3級イオンの安定性
  - ・カルボン酸における誘起効果, カルボキシラートイオンの電子の分布
  - ・芳香族アミンの共役による塩基性
  - ・中間体を考えるものは
  - ・ケト-エノール互変異性
  - ・アセタールの生成
- などとなっている。

日本では、原子の構造を扱う場合に量子化学を避けている。そのため有機化学においても反応性や電子の状態を議論しない。また、反応機構についても扱われる事は稀である。エステルの加水分解など身近な反応についても生成物を示すのみである。このため日本の高等学校の有機化学は、暗記科目として取り扱われる傾向が強い。

## 第6部：10．高分子，11．生化学，12．分析化学

### 1．項目の比較

(1) シラバスでは「3」となっているが、学習指導要領に含まれていて、日本の教科書のほとんどで取り上げられている項目

見出し	項目
10.1. 合成高分子	
10.1.2. 縮重合合体	10.1.2.1. ポリエステル
	10.1.2.2. ポリアミド
	10.1.3. シリコーン
	10.1.4. 架橋とその性質への影響
10.2. 天然高分子	10.2.1. ケイ酸塩
	10.2.2. 天然ゴム
11.3.1. アミノ酸	11.3.1.4. 電気泳動による分離
11.3.2. タンパク質	11.3.2.2. S-S結合
	11.3.2.4. 二次構造
	11.3.2.5. $\alpha$ ヘリクス構造の詳細
	11.3.2.6. 三次構造
12.2. 定性分析	12.2.1.2. 他の陰イオンと陽イオンの同定
12.2.1. 無機イオン	$Ag^+$ , $Ba^{2+}$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ 以外のイオンの同定

(2) シラバスでは「1」となっているが、学習指導要領に含まれず、日本の教科書ではほとんどで取り上げられていない項目

見出し	項目
10.1.1. 付加重合体	10.1.1.3. 生成の連鎖反応機構
11.1. 炭水化物	11.1.1.2. フィッシャー投影式
	11.1.3. $\alpha$ -D グルコースと $\beta$ -D グルコースの違い

### 2．内容の検討

多くの部分で、シラバスでレベル1に分類されている項目を日本の高校の教科書で取り扱っていないことが問題となっているのは対照的に、高分子の部分ではレベル3の項目が大部分の教科書で扱われているケースが多い。高分子は化学工業では非常に重要な地位を占めていて(有機)工業化学を取り扱う化学において、さまざまな化学工業としての高分子が紹介されているためだろう。一方、国際化学オリンピックのシラバスでは化学が中心であり、応用化学としての有機工業化学は範囲外と考えられているため、多くの高分子に関する問題は出題されるとするとレベル3になると判断されているのだろう。また、無機工業化学の範囲と見られるケイ酸塩とシリコーンは、日本ではトピックスとして紹介している教科書が多い。ポリエステル、ポリアミドも、日本では基本中の基本であり、ほとんどの教科書に出てくる。天然ゴム、架橋に関しては、工業化学としてのゴムを扱う際にほとんどの教科書に出てくる。いずれも、表面的にトピックスとして触れる程度なので、本質的にこの分野を理解しているとは言い難い。ただし、このように高校で扱い多少の知識をもつことで、大学教育で本格的に始める際に取り組みやすくなっていると思う。

生化学でも、電気泳動やたんぱく質の高次構造などが、国際化学オリンピックではレベル3であるものが、化学でトピックスとして取り扱われている。

一方、レベル2に分類されるフィッシャー投影式が日本の教科書では取り扱われていない、有機化学において立体化学が軽視されている影響がここまで及んでいるのだろう。

高分子、生化学でレベル3であるが、日本の教科書に出てくるとした項目の多くは、日本では単に用語として登場するのみであり分子レベルまで掘り下げて解説されているわけでは決していなため、注意が必要だろう。

分析化学に関しては、シラバスの分類と日本の教科書の取り扱いとは、大きな食い違いはほとんどない。11.2.1.2の他の陰イオンと陽イオンの同定では日本のアンケート結果に食い違いが出たが、これは言葉の解釈の違いだろう。

### 2 おわりに

本原稿の素案に対して、化学教育協議会の何人かの先生方からコメントを頂いた。すべてを掲載することはできないので、そのいくつかを抜粋して取り上げさせて頂く。

「過去の指導要領のうちでシラバスに最も近いのは、2.1.でも出てきた昭和45年の『現代化』の時期の指導要領のように思う。しかし、当時の教科書は(教師にとっても生徒にとっても)内容が難しすぎて、うまくいかなかったようである(高校教員)。

「国際化学オリンピックのシラバスから読みとれる教育理念は、全体的に見て、化学的知識に基づいて科学的・論理的に考える能力を育成することにあるように思われる。一方、日本の指導要領は、考えることよりも基礎知識を得ることを重視しているように思われる。

このことが端的に現れているのは、有機化学の取り扱いである。日本の指導要領では反応は結構取り上げられているが、反応機構はなく、丸暗記せざるを得ない現状になっている。これ

に対して、オリンピックのシラバスでは、各反応について反応機構の説明を含めることにより反応が何故起こるかを理解させるようになっている。反応機構を取り入れることにより、有機化学は丸暗記の学問から論理的な学問へと大きく変わり、反応を予想することも可能になる。

このような違いの源をたどっていくと、日本の指導要領とオリンピックのシラバスでの『原子』の取り扱いの違いに行き着く。すなわち、日本では『軌道(電子雲)』の説明をせずに『ポーアモデル』までに限定し、オリンピックのシラバスでは『d軌道』まで取り上げているという違いがある。オリンピックのシラバスにある『シュレディンガー方程式』『波動関数の2乗と存在確率』『量子数(n, l, m)』まで高校レベルで教える必要があるかは疑問であるが、少なくとも『電子雲』という考え方を日本でも採用する必要があると思う。『電子雲』を取り入れれば、有機反応がどのように進むかを科学的・論理的に説明することができるようになる。」(大学教員)

忘れてはならないのは、オリンピックのシラバスは項目の単なる箇条書きであり、細かい解説がされているわけではないという点である。たとえば、世界の各国で、レベル1および2の項目のどれだけが、どの程度まで実際に教えられているかについて、確かな調査結果があるわけではない。したがって、これ

らのキーワードだけから踏み込み過ぎた分析を行うことは危険も大きいことを認識すべきである。レベル1, 2, 3が学習指導要領とどのくらい違うのかというのは、あくまでも参考程度ととらえるべきである。

それでも、国際的に見た日本の高校化学教育の特徴の一端が、この比較から垣間見えているかも知れない。それがどの程度確かなものであるかを判断し、今後どのように方向付けていくかを考えるには、さらに詳細な国際比較が必要であろう。

コメントを頂いた諸先生方にこの場を借りて感謝したい。

#### 参考文献

- 1) 渡辺 正 監修,「化学オリンピックへ行こう」,化学同人, p. 90(2003)
- 2) 文部省,「高等学校学習指導要領」, p. 72(1989)
- 3) 文部省,「高等学校学習指導要領解説・理科編, 理数編」, p. 78(1989)

伊藤真人(創価大学工学部)

平成15年度国際関係小委員会委員: 上野幸彦(早大本庄高), 加茂川恵司(文科省), 杉村秀幸(横国大), 森 敦紀(東工大), 山内辰治(立教新座高), オブザーバー: 竹内敬人(東海大)



## 先達からのメッセージ

### お茶の水先生のつぶやき

#### アルカンの構造異性体の数は?

一般式  $C_nH_{2n+2}$  のアルカンの異性体の数はどうやって数えたのでしょうか。 $C_{10}H_{22}$  は75種、 $C_{20}H_{42}$  は366319種あることになっています。どんな計算式から、求めたのでしょうか。

#### <それを知るには>

インターネットで <http://www.yahoo.co.jp> から「アルカンの異性体」と書き込んで、検索をクリックします。11件が標記されます。その中から「アルカンの構造異性体の組合せ論的数え上げ」または「Journal Chemical Software, Vol. 15, No2(1999)」のいずれかをクリックします。甲陽学院高等学校 入谷 寛氏の同じ論文の全文が閲覧できます。

計算式は 記号を50個含む14行にわたる大きな式で、アルカンの炭素原子数が40までの計算結果が記載



されています。

「異性体」で検索すると、日によって数値は変わりますが、7千数百件が出てきます。高校生向けのやさしい解説や教材研究のための記事など、たくさんありますから、きっとお役に立つと思います。