

理科教育の体系化に関する研究

第2報；Nuffield 財団理科教授計画 O-level 化学の追跡

船 元 重 春

A Study on Systematizing Science Education No. 2

Discussing the Nuffield Chemistry (O-level)

Shigeharu FUNAMOTO

I はじめに

第1報¹⁾においては、従来取り扱われてきた化学教材を、小・中・高等学校の各段階にわたって再検討し、化学教育改造のため、小・中・高・教員養成大学一貫して化学教授の Syllabus が徹底的に修正されることの必要性を強調した。同時に、修正の視点を「記憶する化学」から「積み上げる化学」への脱皮に集め、その方策を具体的な Syllabus の実践例として報告した。すなわち、化学という学問が「物質とその変化」を研究の対象としていることに鑑み、Syllabus を次のとおり四つの部門で構成させたのである。

第I部：実験的操作をとおして純物質の認識を拡充する。

第II部：純物質を粒子性と電気性との両面からとらえさせ、化学結合の所産として考察させる。

第III部：物質の固有性と安定性は、化学結合や粒子の集合状態に由来するという立場で物質の行動を論ずる。

第IV部：物質の変化とエネルギーとの相互関係から化学反応を追究する。

しかし、提出した Syllabus について、さらに構想面での独善や、内容の陳腐さ、不十分さ、未熟さなど、かなりの不備が懸念される。幸いにして、最近わが国の理科教育界に紹介されたNuffield 財団理科教授計画 O-level²⁾ 化学を追跡する機会を得、その結果、採用するに足る幾つかの暗示を発見したので、まとめてみることにする。

II Nuffield 財団理科教授計画 O-level 化学の内容

Nuffield 化学と呼ばれるこの計画は、1957年以降イギリスの中等教育担当者が大学の先生方の指導を受けながら練り上げてきた、理科教育改造運動の成果の一翼である。元来、Grammar School での内容改革をねらったものであるが、現在ではイギリスにおける化学教育改造の中心的なよりどころになっているようである。内容は、Stage I, Stage II, Stage III に分けて配列し、Stage I と Stage II とを基礎課程として夫々2年間ずつが配当され、Stage III は1年間の選択課程となっている。なお、内容全体を通して「Proposal」という表現を用い、実施に際しての弾力性を尊

重しているが、特に Stage I ではA, B 2つのコースを準備している。表 1, 表 2, 表 3 に内容の概要を示す。

表 1 Stage 1; 物質の探究

Stage 1—A	Stage 1—B
<ol style="list-style-type: none"> 1. 身近かなものから純物質をとり出す <ol style="list-style-type: none"> ① 岩塩から NaCl の再結晶 ② インクから水の留出 ③ 緑葉からクロロフィルの抽出, クロマトグラフィによる分離 ④ アントシアンの抽出, 抽出物の pH に伴う色の変化, 指示薬の利用法 ⑤ 原油の分留 ⑥ 自鉛鉱 $PbCO_3$ から Pb ⑦ 黄銅鉱 $CuFeS_2$ から Cu 2. 物質を熱することによる効果 <ol style="list-style-type: none"> ① 熱による物質の変化 ② $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ の加熱 ③ 加熱による物質の重さの変化 ④ PbO_2 の加熱生成物 ⑤ Cu の加熱 3. 空気に関する研究 <ol style="list-style-type: none"> ① Cu の加熱における空気の役割 ② 空気の活性部分の研究 ③ 酸素発見の歴史 4. 燃焼に関する問題 <ol style="list-style-type: none"> ① 燃焼における酸素の必要性 ② ローソクの燃焼 ③ 燃焼生成物の性質 5. 元素 <ol style="list-style-type: none"> ① C, S, Cu, Al, Pb の密度, 脆さ, 熱伝導性, 電気伝導性 ② Na, Pb, Zn, Ca の燃焼生成物 6. 元素の親和力の比較 <ol style="list-style-type: none"> ① 酸素に対する金属の親和力 ③ 酸素に対する炭素の親和力 7. 燃焼生成物としての水 <ol style="list-style-type: none"> ① 燃焼によって生じた水の確認 ② 水が酸化物であることの確認 ③ 水素の製法 ④ 水素の燃焼生成物 ⑤ 金属酸化物の水素による還元 8. 物質に及ぼす電気の効果 <ol style="list-style-type: none"> ① 物質の電気伝導性 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 身近かなものから純物質をとり出す <ol style="list-style-type: none"> ① 不純な明ばんから純粋な明ばんへ ② 粗ナフタリンの精製 ③ 飲料水と蒸留水との比較 ④ 海水の蒸留 ⑤ 緑葉からクロロフィルの抽出, クロマトグラフィによる分離 2. 酸と酸性の除き方 <ol style="list-style-type: none"> ① Universal Indicator と酸性 ② 酸性を打ち消す方法 3. 分別蒸留による物質の分離 <ol style="list-style-type: none"> ① 水—アルコール混合液から成分の分離 ② 原油の分留 ③ 空気学分留 4. 空気の主成分 <ol style="list-style-type: none"> ① 空気の活性部分の研究 ② 燃焼における酸素の必要性 ③ 窒素の不活性の確認 5. 物質の加熱 <ol style="list-style-type: none"> ① 物質を熱することの効果 (Cu, PbO_2, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $CaCl_2 \cdot 6H_2O$, NaCl, $CuCl_2$, $CuCO_3$, $Pb(NO_3)_2$, $FeSO_4$) ② $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ の加熱に関する深い研究 6. 電気を用いた物質の分解 <ol style="list-style-type: none"> ① 物質の電気伝導性 ② 電気伝導性物質の研究 ③ 電気伝導性水溶液の研究 ④ 電気メッキ ⑤ 化学反応から得られる電気 7. 元素 (単体) 8. 単体相互の反応 <ol style="list-style-type: none"> ① H_2 と Cl_2 との反応 ② H_2 と O_2 との反応 ③ S と Zn, Fe, Cu などとの反応 ④ Cl_2 中での Steel Wool, Na, Sb, P などの燃焼 ⑤ 塩化物, 硫化物, 酸化物の水に対する溶解性, 水溶液の pH, 電気伝導性

<ul style="list-style-type: none"> ② 物質を溶融したときの電気伝導性 ③ 水溶液の電気伝導性 <p>9. 岩石から得られる純物質</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 鉱石から鉄のとり出し方 ② 石灰石や大理石から CaO, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ <p>10. 海から得られる純物質</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 海水中に含まれている種々の物質 ② 海水の電気分解 ③ 海草からヨウ素 	<p>9. 空気が関与する現象</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 燃焼に伴って起る変化 ② 呼吸する時に起る変化 ③ さびに伴う化学変化 ④ さびの化学成分 <p>10. 元素の化学親和力</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 酸化物から金属のとり出し方 ② 金属塩から金属の抽出 ③ 非金属塩から非金属の抽出 ④ ハロゲン族とその工業的製法
--	---

表 2 Stage II ; 原子・粒子の考えで

<p>11. 化学における原子</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 物質が分子から成り立つ証拠・拡散 ② 粒子の大きさ; 希釈と色, 単分子層 ③ 秤量による原子の数の比較 ④ グラム原子の概念を用いた化学式の発見; CuO, MgO, HgCl_2における成分元素の重量比 <p>12. NaCl と HCl の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ① NaCl と濃硫酸とから得られる気体 ② HCl 中の H と Cl の検出 ③ H_2 と Cl_2 から HCl の合成 <p>13. 周期表上の諸元素</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 周期表の話 ② アルカリ金属の反応性; 水に対する反応性, 空気中での安定性 ③ ハロゲン族の反応性 ④ 重金属の物理性とそれぞれの炭酸塩の比較 ⑤ 炭素と炭素化合物; 有機物の炭化, 石炭の乾留, 炭素化合物の CuO による酸化 ⑥ けい素; けい素の単離と外観ならびに反応性 <p>14. 元素における原子の配列</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 結晶の成長 ② X線による物質の探究 ③ 金属中の原子の配列; 鉛樹と銀樹 ④ 技術者にとって金属の構造の重要なゆえん ⑤ イオウ原子の並び方; イオウの同素体, イオウの分子構造 ⑥ 炭素の結晶型 ⑦ 気体の構造 ⑧ 化合物中の原子の配列; MgO の構造模型 ⑨ グラム式量とグラム分子量 <p>15. 固体・液体・気体</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 沸点と融点 ② 温度上昇に要する熱量と, 蒸発に要する熱量との比較 ③ 分子量の大小との比較 	<ul style="list-style-type: none"> ④ 分子運動 <p>16. 電解質の行動の説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 溶融塩の電解 ② イオンという言葉を用いた電解の説明 ③ 1グラム原子の Pb を析出するに要する電氣量; PbI_2 の溶融電解法による ④ 塩の水溶液の電解 ⑤ Cu^{2+} と Ag^+ の混合溶液から Cu, Ag の1グラム原子を析出させるに要する電氣量 ⑥ イオンの移動 ⑦ 分子, 結晶, イオンと化学結合との関係 <p>17. 反応に関与する粒子の相対数</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 沈殿を生ずる反応 ② 金属と塩との置換反応 ③ 気体が関与する反応 <p>18. 反応速度と触媒</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 粒子の大小と反応速度 ② 濃度と反応速度 ③ 温度と反応速度 ④ 触媒と反応速度 <p>19. 反応速度の力学平衡的考察</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 可逆反応の観察 ② 化学平衡系 ③ 力学的平衡の考え <p>20. 酸と称される物質の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 酸性の研究 ② 水の役割 ③ 酸性溶液とアルカリ性溶液との反応 ④ 新しい物質を得るために酸を用いる <p>21. 大きな分子の分解と合成</p> <ul style="list-style-type: none"> ① でんぶんの分解; 酸による分解, 酵素による分解, ペーパークロマトグラフィによる生成物の同定 ② グルコースの分解; アルコール醗酵
--	---

<ul style="list-style-type: none"> ③ アルコールの分解；エチレンの生成 ④ 石油のクラッキング ⑤ ヒマシ油から石けんや洗剤を得る ⑥ Perspex の分解と合成 ⑦ Nylon の合成 <p>22. 化学と世界の食糧問題</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 天然物からアンモニア ② アンモニアの元素組成 ③ アンモニアの化学式 ④ 窒素と水素からアンモニアの合成 ⑤ アンモニアのアルカリ性 ⑥ 肥料と食糧増産 	<p>23. 化学物質とエネルギー</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 燃料としての化学物質；アルコール，炭素の燃焼熱 ② 発熱反応と吸熱反応 ③ 反応熱の測定 ④ 化学反応がなしうる仕事量 ⑤ 工業用としてエネルギーを得る方法 ⑥ 化学変化で放出されるエネルギー源 <p>24. 放射能化学</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 放射能化学入門；Becquerel の発見，Geiger-Muller Counter の使用 ② 放射能物質の壊変；半減期の測定 ③ 物質検定のための放射能の利用
--	--

表 3 Stage III ; 新領域の探究

<p>1. 水</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 水分子の極性 ② 氷の結晶構造 ③ 水に対する固体と気体の溶解度 ④ 水の硬度 ⑤ 表面張力の清浄性 ⑥ 水の生物学的的重要性 ⑦ 溶かされた固体の工業に及ぼす諸問題 <p>2. 結晶とその規則性</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 結晶型と劈開；結晶模型，結晶面角の測定 ② 結晶の成長 ③ 結晶の構造 <p>3. コロイド</p> <ul style="list-style-type: none"> ① ゲルの生成とその性質 ② ゼルの生成 ③ コロイドの安定性 ④ 煙，もや，乳濁質 ⑤ コロイドに関連した研究；でんぶんの研究，沈でんの研究，コロイドの凝固 <p>4. 金属と合金</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 金属の抽出；酸化物からの還元，塩化物，硫化物からの還元 ② 金属の抽出におけるエネルギー ③ 合金；錫と鉛の合金 ④ 合金の凝固点と組成 ⑤ 合金の結晶構造 ⑥ 合金の硬さ ⑦ 鋼の硬さに対する熱处理的効果 <p>5. 化学変化と電気エネルギーの生成</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 各種電池の起電力の測定 ② 標準単極電位 ③ 酸化還元過程としての電極反応 	<ul style="list-style-type: none"> ④ 拡張された酸化還元系 ⑤ 関連のある研究；ΔG と ΔH，乾電池の構造と反応機作，蓄電池の研究 <p>6. 化合物の構造の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Hexane ② 1,2-Dibromomethane ③ Carbon Chlorides <p>7. 高分子化合物</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 炭素鎖をもつ Polymer；重合縮合，Polymer の性質 ② 天然ゴムと合成ゴム ③ けい素を含む Polymer ④ 炭水化物 ⑤ 関連のある研究；Casein の抽出と分解，重合のメカニズム <p>8. 化学工業</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 大規模工場の問題 ② 製造工程の相互依存 ③ 生産価格の見積り ④ 化学工業一般 ⑤ 化学工業の歴史的発展 <p>9. 歴史的な Topics</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 重要な化合物としての硫酸 ② 有名な化学者 Michael Faraday ③ 原子構造の考えの基本になった希ガスの発見 <p>10. 酸性とアルカリ性</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 酸性，アルカリ性に関する知見の整理 ② pH の測定 ③ 中和滴定 ④ 酸，アルカリの理論 ⑤ 電導度滴定
---	---

<p>⑥ Thermometric Titration</p> <p>11. 分 析</p> <p>① 鉄鉱石の分析</p> <p>② クロマトグラフィ；薄層クロマト，ガスクロマト</p> <p>③ 分光分析</p> <p>12. 酸化還元の研究</p> <p>① 金属陽イオンの成因</p> <p>② 金属イオンと金属原子間の電子の交換</p> <p>③ 簡単な電池の研究</p>	<p>④ 反応における電子の移動</p> <p>⑤ 関連のある研究；Cl_2，Br_2，I_2の電子移動反応，金属の抽出，金属の腐蝕</p> <p>13. 周期性と原子構造</p> <p>① 既習元素の短周期型周期表による考察</p> <p>② 初期の周期表の考え方</p> <p>③ 各族の化学性の研究</p> <p>④ 元素の物理性の測定</p> <p>⑤ 化学性の類似と原子の核外構造との関係</p> <p>⑥ イオンの形成と原子半径</p> <p>⑦ 元素の性質の周期性とイオン化エネルギー</p>
---	---

III Nuffield 化学からの示唆

Nuffield 化学も理科教育の水準を上げようとする世界的要請への対策の一つであるが、掲げられた Syllabus は日本流には、中学校1年から高等学校2年までに学ばれるわけであり、両国の教育事情の違いなどから、その得失を比較することは困難である。しかし、化学教材体系化の立場からこの Syllabus を検討してみると、興味深い幾つかの示唆に出会わすのである。

1. Syllabus 全体の構造

Stage 1, Stage II という基礎課程において、物質および物質の行動に関する処理のしかた (Manipulative skills) と考え方 (Intellectual skills) とを訓練するように意図し、Stage III でやや高い程度の内容にとりくませ、しかも生徒自身が既得の方法を援用することにより、化学の学習が研究の形態で推進される「探究」への誘いは、心にくいまで鮮やかである。

2. 教材類型化のくふう

教材精選の成否は、教材をどのような立場で、どのように類型化するかのくふうにかかっている。Nuffield 化学に見られる類型は、第1報で筆者が発表したものにかかなりの類似点が見られるが、その主なものを列挙しておく。

(1) 純物質を得る工程の類型

- ① 物質の溶解性を利用して混合物から純物質を得る。
- ② 物質の沸点の特異性を利用して混合物から純物質を得る。
- ③ 純物質を加熱することによって、他の純物質に分解する。
- ④ 2種以上の純物質を加熱することによって、他の純物質に化合させる。
- ⑤ 加熱の代わりに、電気のような他のエネルギーを用いることもできる。

(2) 物質の特性を調べる方法の類型

純物質は、沸点および凝固点、色、結晶、pH、熱伝導性、電気伝導性、化学親和力などで相互に判別できる。

(3) 物質に関する知見の拡げ方の類型

このことは各 Stage の随所にあられ、Nuffield 化学における最も大きな特色であるとさえ見られる類型のしかたである。下に 1 例を示す。

金属を空气中で熱すると重さを増すことがある。

↓

これは空气中の活性部分が元の物質と化合したからである。

↓

① 空気中には活性をもった物質が含まれている。——酸素

② 金属を空气中で熱すると金属の酸化物ができる。

↓

一般に金属は難易の差はあるが、酸素と結合して酸化物となる。

↓

都市ガスのような気体を燃やすと、水が生ずる。水は酸化物だろうか。

↓

水と金属とを加熱すれば、金属は酸化物となり水素を発生するという事実がある。

↓

水は酸化物である。

3. 化学結合に関する配慮の不徹底

Stage II における見出しで、「原子・粒子の概念を用いて」と述べ、説明書の中にも「用いて」と示した意味を強調しており、事実、化学変化が原子の組みかえに他ならないとの大筋を通してゐる。それにも拘らず、化学結合の概念を全く欠き、単に物質を粒子の集団として取り扱い、それにエネルギーを付加させての化学変化が羅列され、Nuffield がその看板とする「探究向きの化学」を坐折させているようにさえ思われるのである。多分、化学結合の問題は困難であるとの観点から、O-level に続く A-level にとりあげられるかも知れないが、この点はアメリカ合衆国における C.B.A 化学が主張する化学教育改造の声に耳を傾けるのが至当であろう。

IV む す び

「科学的に問題を処理するとはどんなことか。身を以て生徒たちが、ある事がらを体験し、一生涯続く理解を得たとするならば、それこそ本当に科学を学んだといい得る。これに比べ、書き述べられた情報を記憶するという理科教育は何と無力であろう。科学は、情報を通して与えられるのではなく、情報を産み出す方法として与えられなければならない。」これは、Nuffield 財団理科教授計画 O-level 化学が指向する将来の理科教育像を描いた一節である。確かに、膨大な知識の注入よりも知識を産み出す知恵の修得をねらいとする理科教育への世界的動向として歓迎される。この理念を具体的にあらわした Syllabus では、方法の科学を正面に押し出した点で、少なからぬ示唆を提供した。しかし、化学という学問的体系の上からみたとき、方法だけを極端に強調しすぎた Sylla-

busは無意味である。「up-to-date」な内容を盛りこむよう留意したと称しなから、化学における物質観の基本ともいべき化学結合の問題を不問にした Syllabusは何としてもいただきかねる。

V 摘 要

第1報で提出した化学教材改編案の妥当性を検討するため、Nuffield 財団理科教授計画 O-level 化学の内容を追跡し、若干の示唆を得た。すなわち、

1. Stage I, Stage II を基礎課程とし、Stage III を研究のモデル的な課程とする探究型の全体構想は、化学教材の展開上極めて意義深いものがある。
2. 物質および物質の行動という化学の内容を統一的にとらえ、教材精選の立ち場を明確にするため、教材の類型化をはかった点は結構であるが、方法の科学に比重がかかりすぎ、物質概念の中心ともいべき化学結合を類型の中からとり逃がした点には同調し難い。
3. 方法の科学という立場から、くふうされた個々の実績方法には、多くの有意義な試みが見出される。

文 献

- 1) Shigeharu FUNAMOTO : A Study on Systematizing Science Education No. 1, Re-examination of Chemistry Teaching Materials
- 2) Nuffield Chemistry Publications ; Introduction and Guide, Handbook for Teachers, The Sample Scheme Stage I and II : The Basic Course, The Sample Scheme Stage III : A Course of Options Collected Experiments

Summary

In reference to the syllabus suggested in my previous report, I examined the syllabus of the Nuffield chemistry (O-level). The following are the features of Nuffield syllabus that deserve special attention.

1. The general scheme of the syllabus is very significant in presenting teaching material in view of the fact that Stage I and Stage II constitute the basic course upon which Stage III are to be founded as an applied course.

2. The syllabus is advisable in that it makes a systematic classification and arrangement of the teaching material from the standpoint that material and the behavior of material are the essence of chemistry. It is all very well that the syllabus puts stress on how to deal with material and how to consider the behavior of material, but it seems to fail to pay due attention to the structure of material which is the central theme of chemistry.

3. The individual methods of experiment proposed in the syllabus from the standpoint of process approach are worth noting in many respects.