

ヨウ素デンプン反応の温故知新

—インターネット検索からの研究教材抽出—

ヨウ素の酸化還元電位は+0.536 Vであり、場合に応じて酸化剤や還元剤として特異な作用をするので、古くから青紫色を伴うヨウ素デンプン反応として広く活用されてきた。本稿では、ヨウ素デンプン反応について「温故知新」の観点からインターネット検索により、再度掘り起こしてみた。これらの情報を反応別に分類してみると、時流の実験や試みが窺えるだけでなく、研究教材としても色々なヒントが得られると思われるので、これらについて紹介を行った。

村田 勝夫, 西條 典子

1 はじめに

ヨウ素デンプン反応はとても汎用性^{はんよう}の高い反応で、小学校、中学校、高等学校の理科や化学や生物のほかに、家庭科などの食品化学などの教科書には必ず引用される反応である。初等・中等教育では、植物の光合成による葉の中のデンプンの存在を確認することや、消化酵素によるデンプンの消化を追跡し分析するうえで、ヨウ素デンプン反応の応用が必ず学習の対象になっている。また分析化学上でもヨウ素は重要で、きわめて特異な役割を持っている。すなわち、容量分析における典型的な滴定法として、中和滴定法、酸化還元滴定法、沈殿滴定法とならんでヨウ素滴定法¹⁾が挙げられる。ヨウ素滴定法は本来、酸化還元滴定に属するが、その重要性和用途の広さから、昔の著名な分析化学の専門書²⁾では酸化還元から独立した記述もみられる。ところで、インターネットによる情報検索が、小・中・高等学校のあらゆる教科で重要な位置を占めるようになった。そこで、本講義では、ヨウ素デンプン反応についてインターネット検索により、研究教材としての情報を取り出し整理するとともに、この反応の様々な展開について概説する。

2 ヨウ素デンプン反応の取り扱い

酸化されやすい物質の水溶液に I_2 を加えると、 I_2 は H_2O の水素と化合して HI となり、酸素を遊離し、この酸素が酸化作用を呈する。たとえば I_2 を、亜硫酸ナトリウムの水溶液に加えると、 I_2 溶液をもって亜硫酸塩を定量することができる。このように I_2 を酸化剤とする滴定法をヨウ素滴定法という。しかし通常このような直接的方法よりも、むしろ KI 溶液を酸化して I_2 を遊離するような試料を定量する場合に、その試料溶液に過剰の

KI を加えて I_2 を遊離させ、その I_2 をチオ硫酸ナトリウム標準溶液で滴定して I_2 の量を求め、その I_2 の量から、試料の量を求める間接的な方法が広く用いられる。この反応の終点は I_2 自身の退色によって知ることでもできるが、デンプン溶液を加えて濃青色を生じさせ、これが消失するときをもって滴定の終点とすれば一層明瞭^{めいりょう}である。

ヨウ素の標準酸化還元電位は+0.536 Vで、ヨウ素の酸化作用はあまり強くなく、強い還元剤に会ったときだけ還元剤から電子を奪ってヨウ化物イオンを生じ、逆に強い酸化剤に会うとヨウ化物イオンは電子を奪われてヨウ素を生ずる²⁾。ヨウ素デンプン反応が種々の分野で応用されるのは、まさにヨウ素のこの適度な標準酸化還元電位の位置 (+0.536 V) づけであろう。

3 インターネットによる情報検索

従来からの研究における検索手段は、「Chemical Abstracts」から進めるのが常套手段であった³⁾。ところが最近インターネットの発達により「Chemical Abstracts」は、「Sci Finder」として使われ、世界中のコンピュータ端末から、「Chemical Abstracts」を収録しているサーバーにアクセスして検索できるようになっている。また昨今、電子ジャーナル化が浸透し、各大学の図書館自身が、和文、英文を含めた雑誌や書籍の検索ソフトを数種類ほど備えているので、文献の検索が便利になってきている。しかし最近、一般人を含めて、調べたい事柄の検索手段は、もっぱらインターネット検索に頼る場合が多い。ただし情報元の URL は、常にアクセスできるわけではなく、提供側のサーバーの都合で消されることもあり、また情報の信憑性^{しんぴょう}が問われることや、そしてオリジナルな情報が少なく、元情報からのコピー情報が氾濫^{はんらん}していることなどの理由から、研究の世界では URL の文献引用としての信頼性があまり高くない。しかし時流の話題や通常用語の検索には、旧来からある辞書や事

“Learn a Lesson from the Past” in the Starch-Iodine Reaction : Extraction of Research Materials from the Search of Web Site.

典を凌ぎ、強い戦力となっていることには間違いない。筆者の研究室では、学校現場に直結した教材開発を目標の一つとしているので、「ヨウ素デンプン反応」というテーマの掘り起しには、インターネット検索が向いている面が多々ある。「ヨウ素」、「デンプン」、「ヨウ化カリウム」、「ヨウ素デンプン反応」などのキーワードで検索すると、興味深い項目がたくさんヒットする。たとえば「ヨウ化カリウム」をキーワードとして、検索エンジンである Yahoo, Biglobe, Google を用いて検索すると、それぞれ 4356 件、1520 件、3600 件と多数ヒットする(2004 年 12 月の時点で)⁴⁾。キーワードを「ヨウ化カリウム、理科実験」に絞ると、それぞれ 2 件、88 件、210 件となった。そこで主に検索エンジン Google を対象に、重複した内容を削除して 107 件に絞り、それらの内容を図 1 に分類してみた。

図 1 は、応用例の多いもの順にあらわした円グラフである。最も多いのは、酸化還元反応の 30%、次はヨウ化カリウムデンプン紙の応用が 16% であり、そして沈殿反応の 11% がこれに続き、これらの応用例が半数以上を占めていることになる。次にすべての応用例を大きく二つに分けると、④ ヨウ化カリウム関連の例と、⑤ デンプン関連の例に分けることができる。さらにそれらは表 1 のように細かく分けることができる。

図 1 の円グラフで表示されているように、④ グループ

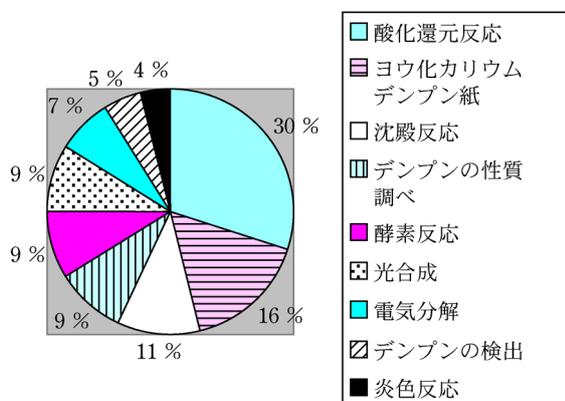


図 1 検索された「ヨウ化カリウム」に関連する応用例

表 1 検索エンジンから得られた応用例の分類分け (Google 検索)

④ ヨウ化カリウム (KI)	⑤ デンプン (C ₆ H ₁₀ O ₅) _n
① カリウム (K) の炭色反応	① デンプンの生成 (光合成)
② ヨウ化物イオン (I ⁻)	② デンプンの分解 (酵素反応)
③ 酸化還元反応	③ でんぷん自身の性質
④ 電気分解	④ デンプンの検出
⑤ 沈殿反応	⑤ ヨウ化カリウムデンプン紙として
	⑥ 化合物中のヨウ化物の検出

プのヨウ化カリウムは、① カリウムの項目と② ヨウ化物イオンの項目に分けることができ、②のヨウ化物イオンを対象とした応用例の中で、③ 酸化還元反応の応用例が最も多かったので、これらの応用例をさらに表 2 のように分類した。

また⑥ グループは 6 項目に分類できるが、その中で② デンプンの酵素反応による分解の応用例が多く、表 3 のように分類を行った。

以下に、これらの各応用例を概説する。

4 主要な応用例からの解説

表 2 の応用例について以下に詳述する。

1) ビタミン C との反応⁵⁾⁶⁾

ビタミン C (L-アスコルビン酸) は還元剤であり、中学校や高等学校の教材として、食品中のビタミン C の検出や定量に活用されている。ビタミン C の検出実験には、1% のデンプン溶液を含む青紫色のヨウ素・ヨウ化カリウム水溶液に、お茶、梅干、レモン、市販のジュース類などを加え、色の消失によって判断をするものである。また定量には、レモン果汁の一定量に指示薬としてデンプン溶液を添加、ヨウ素・ヨウ化カリウム溶液を滴下し、青紫色に変色するところを終点とする。

表 2 ヨウ素に関する酸化還元反応の応用例

④ ヨウ素に関する酸化還元反応の応用例
1) ビタミン C との反応 ⁵⁾⁶⁾
2) 時計反応ならびに振動反応 ⁷⁾⁸⁾
3) 秘密文字 ⁹⁾¹⁰⁾
4) 塩素、残留塩素、残留農薬の検出 ^{11)~16)}
5) 二酸化硫黄による還元 ¹⁷⁾¹⁸⁾
6) 塩素損傷ポリウレタンの確認 ¹⁹⁾
7) オゾン濃度測定 ^{20)~22)}
8) 溶存酸素の測定 ²³⁾
9) 食品中の酸化物の検出 ²⁴⁾²⁵⁾
10) 硫酸銅中の銅のヨウ素滴定 ²⁶⁾
11) Cu, Sb の同時電解定量 ²⁷⁾
12) 酸化剤と還元剤間の電位測定 ²⁸⁾
13) 黒板演習実験におけるヨウ化物イオンの酸化 ²⁹⁾
14) 過酸化水素との反応 ³⁰⁾³¹⁾

表 3 酵素反応によるデンプン分解の応用例

⑤ グループの中の ② 酵素反応によるデンプンの分解
a) 唾液による消化作用 ^{32)~34)}
b) 果物や野菜に含まれる酵素による反応 ³⁵⁾
c) 土壌菌の作用 ³⁶⁾³⁷⁾
d) 酵母菌による作用 ³⁸⁾

2) 時計反応ならびに振動反応⁷⁾⁸⁾

ヨウ素やヨウ化物イオンの酸化還元反応に関係する反応に、時計反応や振動反応がある。普通、反応溶液のA液とB液混合して時間的な反応の変化を追跡するのである。色々な組成の溶液の組み合わせが報告されているが、典型的な例は：

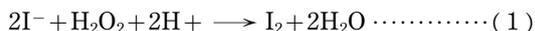
A液の組成

ヨウ化カリウム	KI	300 mmol
チオ硫酸ナトリウム	Na ₂ S ₂ O ₃	30 mmol
溶性デンプン		0.2 g
水酢酸		500 mmol
酢酸ナトリウム	CH ₃ COONa	50 mmol

B液の組成

過酸化水素	H ₂ O ₂	1000 mmol
-------	-------------------------------	-----------

反応は下記の式で、反応(1)に比べて反応(2)はすばやいので、チオ硫酸イオンが存在するうちは変化がみられず、それがなくなったとたんに生成するヨウ素とデンプンが反応して濃青色になる。



3) 秘密文字

昔は遊びとして、「あぶりだし」があった。これと同じことであるが、学校の授業や化学の祭典などの開催行事には、「秘密文字」という理科遊びが行われる⁹⁾。

- ヨウ化カリウムのデンプン溶液を筆で紙に塗ってドライヤーで乾かす。
 - 筆にオキシドールを含ませ、字や絵を描くと無色の液で書いたのに青紫に出てくる。
 - チオ硫酸ナトリウム溶液を筆に含ませて絵をなぞってみると、消えてしまう。
- 「電気ペン」の作成を紹介している Web サイトもある¹⁰⁾。
- アルミニウム製の皿に沍紙を敷く。
 - 1%ヨウ化カリウム水溶液と1%デンプン水溶液の混合液を沍紙に少量しみこませる。
 - 電池の-極とアルミニウム製の皿をリード線で結線する。
 - 電池の+極と両側を削った鉛筆の片側をリード線で結線し、もう一方の鉛筆の片側で沍紙に字や絵などを描く。

4) 塩素、残留塩素、残留農薬の検出

17族元素の塩素の性質を調べるため、酸化マンガン(IV)に塩酸を加え発生する塩素ガスにヨウ化カリウムデンプン紙を近づけ、青紫色に変色することにより塩素の存在を確かめる¹¹⁾¹²⁾。また残留塩素測定器の原理に、DPD(N,N-ジエチル-p-フェニレンジアミン)法によ

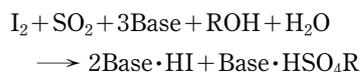
る残留塩素の測定法がある¹³⁾¹⁴⁾。DPDと次亜塩素酸(遊離残留塩素)とが反応して生じるキノン体を測定する。クロラミンなどの結合残留塩素は反応速度が遅いため、DPDを加えた直後の吸光度は遊離残留塩素のみを示すが、ヨウ化カリウムを加えると遊離残留塩素と結合残留塩素を加えた“全残留塩素濃度”が求められる。平成12年に旧厚生省生活衛生局水道環境部から各都道府県水道行政担当部局宛の「水質基準を補完する項目に関する測定法について」の一部改正には、残留塩素の測定法の変更が記載されている¹⁵⁾。遊離残留塩素測定後の液にヨウ化カリウム0.5gを加え、発色させて吸光度定量をする。またシクロキシジム試験法では、残留農薬の分析で試料溶液を抽出・酸化する過程で、ヨウ化カリウムデンプン紙を使って、深紫色を確認する操作が含まれる¹⁶⁾。

5) 二酸化硫黄による還元

イソジンとマッチによる簡易な演示実験がある¹⁷⁾。デンプン水溶液をつくって、その50mlくらいにうがい薬イソジンを数滴加えると青色に発色する。ヨウ素・デンプン反応である。この容器の中で数本束ねたマッチに点火して燃焼させ、ふたをして振り混ぜると脱色される。ヨウ素が発生する二酸化硫黄で還元されてヨウ化物イオンになったためである。



この反応は、また有名なカールフィッシャー試薬による微量な水の分析のもとになっている反応である¹⁸⁾。カールフィッシャー法とは下記の式のように水と選択的に、且つ定量的に反応するカールフィッシャー試薬(ヨウ素、二酸化硫黄、塩基、及びアルコール等の溶剤より構成)を用いて水分を測定する方法である。



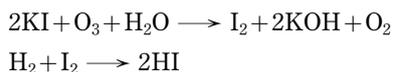
6) 塩素損傷ポリウレタンの確認¹⁹⁾

ポリウレタンが塩素の作用を受けるとアミノ基の水素が塩素と置換反応を起こしてクロルアミンを生成する。このクロルアミンはヨウ化カリウムデンプン液と反応し、褐色となる。このことを利用しポリウレタンが塩素により損傷したかどうか判別できる。ポリウレタンの種類によっては、塩素により黄色～赤色に変色するものやヨウ化カリウムデンプン液を滴下するとヨウ素を遊離し濃紫色となるものもある。

7) オゾン濃度の測定

中性のヨウ化カリウム液はオゾンと以下のように反応し、ヨウ素を遊離する。電量法では遊離したヨウ素を電

解還元して計測する²⁰⁾。

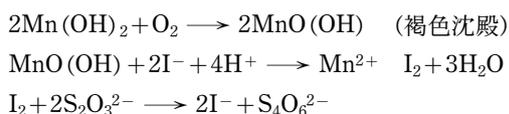


さらに、KI法によるオゾン濃度の測定の詳細が記載されている²¹⁾。この場合は、気相ならびに水中のオゾンと反応させ、生成したヨウ素をチオ硫酸ナトリウム溶液にて滴定するものである。

また鹿児島県立錦江湾高等学校では、「オゾンの製法と性質」の化学実験で、発生したオゾンを経過マンガン酸カリウム溶液に通して青色に変色する生徒実験がウェブサイトに公開されている²²⁾。

8) 溶存酸素の測定²³⁾

水中に溶存する酸素の定量には、有名なウインクラーク法がある。試料水に硫酸マンガン溶液と水酸化ナトリウム溶液を加えると、溶存酸素が水酸化マンガンとして沈殿に固定化される。この沈殿をヨウ素イオンの存在下で酸を加えて溶解すると、溶存酸素量に対応してヨウ素が遊離されるので、このヨウ素をチオ硫酸ナトリウムで滴定し、定量する。



9) 食品中の酸化物や過酸化物の検出

中国から輸入食品されたはるさめ中の過酸化ベンゾイルの検出が報告されている²⁴⁾。試料をアセトニトリルで抽出し、3%のヨウ化カリウム溶液と反応させ、高速液体クロマトグラフィーで調べると過酸化ベンゾイルのピークが消失し、試料中に過酸化ベンゾイルが検出された。また厚生労働省からの行政情報として、食品添加物の指定等に関する薬事・食品衛生審議会の答申には、次亜塩素酸水の確認試験が表示され、水酸化ナトリウム溶液とヨウ化カリウム試液を添加し、液が黄色になり、デンプン試液を加えて濃青色の発色の記載がある²⁵⁾。

10) 硫酸銅中の銅のヨウ素滴定

Cu^{2+} の希酢酸溶液にヨウ化カリウムを加えると、 CuI が沈殿し、ヨウ素を遊離する。このヨウ素をチオ硫酸ナトリウム標準溶液で滴定することにより銅(Cu^{2+})を定量することができる²⁶⁾。

この反応において銅 Cu^{2+} は、1価の酸化剤として働き、 $1 \text{ mol Cu}^{2+} \equiv 1/2 \text{ mol I}_2 \equiv 1 \text{ mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ となる。

11) Cu, Sbの同時電解定量

アノーディックストリッピングボルタンメトリーにより、標準酸化還元電位が近接する金属元素の同時定量は

一般に極めて困難な場合が多いが、この論文では、1 M 塩酸-0.5 M ヨウ化カリウム-0.15 M L(+)-アスコルビン酸電解液を用いることにより、CuとSbの電解定量をすることができた²⁷⁾。

12) 酸化剤と還元剤間の電位測定

「定番! 化学実験」というタイトル名で、化学実験を、簡単、安全、確実、効果的に行うためのウェブサイトがあり、これには小学校版、中学校版、高校版が紹介されている²⁸⁾。高校版の中に酸化還元反応で、酸化剤と還元剤間の電位差測定例がある。ヨウ化カリウム、過マンガン酸カリウム、ニクロム酸カリウム水溶液、過酸化水素水の各0.1 mol/l水溶液を調製し、これらの溶液の組み合わせで炭素棒電極を用い、デジタルマルチメーターで電極間電位を測定し酸化還元反応の理解を深める。

13) 黒板演示実験におけるヨウ化物イオンの酸化

黒板を利用したヨウ化カリウム水溶液の電気分解の演示実験がある²⁹⁾。ポリプロピレン製のクリヤカードケースをセルとして黒板に貼り付け、1 mol/l ヨウ化カリウム水溶液を半分くらい入れ、白金電極2本を設置し、手回し発電機を用いて電気分解する。陽極付近でヨウ化物イオンが酸化され、ヨウ素を生成し黄色になる。陽極付近に1%デンプン水溶液、陰極付近にフェノールフタレイン溶液を数滴入れると、陽極は青紫色、陰極は赤色になる。

14) 過酸化水素との反応

過酸化水素とヨウ化カリウムで電池を構成する実験の紹介がある³⁰⁾。シャーレの一方にヨウ化カリウム水溶液とデンプン、もう一方のシャーレに過酸化水素と希硫酸を入れる。二つのシャーレを濾紙でブリッジさせ導通させる。電極を構成し、リード線で結ぶとヨウ化カリウムから過酸化水素側に電子移動が起こり、酸化還元による電位が構成される。また高等学校教材として、過酸化水素とヨウ化物イオンの反応の反応速度測定の例がある³¹⁾。酸性溶液中でヨウ素酸カリウムが過酸化水素によって酸化され、ヨウ素を生成する。チオ硫酸ナトリウムとデンプンの存在で、時計反応として発色するので、混合から発色するまでの時間を計測する。実際には $4.8 \times 10^{-4} \text{ M} - \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の存在下で、複数濃度のヨウ化カリウムと過酸化水素水溶液を用意し、五つの組み合わせ実験を行う。

表3の酵素反応によるデンプン分解の応用例から

a) 唾液による消化作用

小学校や中学校の理科では「動物のからだのはたらき」の単元で、教科書によく取り上げられているテーマである。インターネットでも数多く見られる。ジャガイモの

薄いデンプン溶液³²⁾や米飯粒³³⁾を40°Cに保ち、これにヨウ素液を加え、青紫色になるのを確認する。これに唾液を入れて、色の退色をみる。またデンプンの糊化を利用した実験をすることにより、唾液や消化薬によりデンプンが別の物質に変化することを学習する提案がある³⁴⁾。

b) 果物や野菜に含まれる酵素による反応³⁵⁾

消化酵素が豊富に含まれる果物や野菜には、おろし大根、キャベツ、山芋、パイナップル、イチゴ、パパイヤ、キウイ、イチジク、バナナなどがある。おろし大根ではジアスターゼのデンプン分解酵素、山芋ではムチンといったデンプン分解酵素が知られている。いずれもヨウ素デンプン反応により酵素の働きを調べることができる。

c) 土壌菌の作用

橋本は³⁶⁾、市販されている園芸用の腐葉土を用いてデンプンの分解を試みている。デンプンの分解速度は、0.8~0.9 mg/hであり、砂ではまったくデンプンが分解されないことを報告している。また、土壌菌によるデンプンへの作用の一例として生分解性繊維がある。高岸³⁷⁾は、生分解性繊維を環境対応繊維 (eco-friendly textile) として総説している。とうもろこしなどのデンプンを出発原料としたポリ乳酸の脂肪族ポリエステルが主流である。

d) 酵母菌による作用³⁸⁾

「酵母菌の不思議なパワー」という実験の紹介がある。酵母菌 (イースト菌)、デンプン (片栗粉)、砂糖、お湯 (30~40°C)、ルゴール液 (うがい薬)、シャーレ、スプーンを用意する。二つのシャーレにそれぞれデンプン小さじ1、砂糖小さじ1/2をいれ、お湯を注いでよく溶かす。上記のシャーレの一方に酵母菌小さじ1を加え、よくかき混ぜて臭いをかいでみる。それぞれのシャーレにルゴール液を1, 2滴加えてかき混ぜ、様子を観察する。5分後、10分後再びルゴール液を加えて様子を観察する。

3 おわりに

表1に示したように、ヨウ素デンプン反応の利用は、主としてヨウ素を対象にするか、あるいはデンプンを主に対象にするかに分かれる。いずれにしてもこの青紫色の呈色反応が古来も今も延々として用いられてきている。「温故知新」と題を付けたのは、古き話題にさかのぼり、新しき題材を見いだす典型的な例だと思われるからである。ヨウ素デンプン反応の呈色は、デンプンの螺旋構造にヨウ素分子が連なって包摂されることが必要とされ、これが多くの参考書や便覧などに引用されているが、この元情報が少ない³⁹⁾のは意外である。その他の色々な多くの例については、残念ながら紙面の制限があり大部分を割愛した。

謝辞 本稿を著す機会を得たのは、秋田大学での第67回分析化学討論会のポスターセッションにおいて、その昔、ヨウ素に関連した研究に手を染められた徳島大学名誉教授の池田早苗先生をはじめとして多くの先生方が、私たちのポスター発表に足を止められ、ヨウ素に関してこのような広い見地があったことを感心されて見ていただいたこと、ならびに「ぶんせき」の編集理事の上原伸夫先生から執筆の推挙をいただいたことである。これらの先生方に感謝申し上げたい。

文 献

- 1) 石橋雅義：“定量分析実験法 普通編”，p. 419 (1953)，(富山房)。
- 2) 守永健一：“酸化と還元”，p. 70 (1972)，(裳華房)。
- 3) 笹本光雄：“Chemical Abstracts の使い方”，第3版，(1980)，(地人図書)。
- 4) 西條典子：“小・中・高等学校におけるヨウ素反応を利用した理科教材の開発”，鳴門教育大学2005年度修士論文，p. 2 (2006)，(鳴門教育大学)。
- 5) 「高校化学 ビタミンCの化学」http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/rik_a305.pdf
- 6) 「ふしぎ大好き」<http://www.kyoto-np.co.jp/kp/rensai/fushigi/>
- 7) 「時計反応と可逆反応」<http://www.water.sannet.ne.jp/masasuma/masa/e4-1.htm>
- 8) 「3種の時計反応」http://www.ricen.hokkaido-c.ed.jp/221kagaku_t/2205ka-tokei/tokei.html
- 9) 「マジックマジックインク」<http://www002.upp.so-net.ne.jp/noritiko/wakuwaku/wakuwaku13.html>
- 10) 「北海道立理科教育センター 電気ペン」http://ricen.hokkaido-c.ed.jp/221kagaku_t/2207ka-dennkipen/dennkipen.html
- 11) 「大阪府立攝津高校」<http://www.fan.hi-ho.ne.jp/j-aotake/chemCl2.htm-7k->
- 12) 「実験28 塩素とヨウ素」<http://www.tennoji-h.oku.ed.jp/tennoji/oka/2005/05ko2-15.html>
- 13) 「第88回 問91 〈解答・解説〉」<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/~phlicedb/kokushi/88/88a091-j.htm>
- 14) 「残留塩素測定器DPD法試薬付」http://www.tech-jam.com/water-quality_measurement/residual_chlorine_analyzer/sb-8054-510.phtml
- 15) 「残留塩素の測定法に関する厚生省通達2」http://www.e-organo.com/info2/resi_cl/t001226b.html
- 16) 「厚生労働省トピックス」<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/zanryu3/2-064.html>
- 17) 「MOLの会通信96-10号」<http://www.water.sannet.ne.jp/masasuma/masa/s3-2.htm>
- 18) 「カールフィッシャー法の基礎」<http://www.mcckf.com/japan/kiso.html>
- 19) 「塩素損傷ポリウレタンの確認」<http://www.iri-tokyo.jp/publish/arc/HOMEPAGE/siken-index/uretanzeika.htm>
- 20) 「オキシダント計測器及びオゾン計測器」<http://www.mandc.org/MandC/include/html/tech/40207.htm>
- 21) 「KI法によるオゾン濃度測定法」<http://www.ecodesign-labo.jp/noudosokutei.html>
- 22) 「実践事例III (化学) オゾンの製法と性質」<http://www.edu.pref.kagoshima.jp/er/edu-info/kiyou/h15/dai107/3syo-3-3.pdf>
- 23) 「環境分析化学実験 (DO)」http://www.shse.u-hyogo.ac.jp/kumagai/eac/4_1.htm
- 24) 「福岡市保健環境研究所報第30号 p158-160」<http://>

- www.fch.chuo.fukuoka.jp/h16shoho/158p.htm
- 25) 「厚生労働省行政情報」 <http://www.ffcr.or.jp/Zaidan/mhwinfo.nsf/0f9d5ee834a5bcff492565a10020b585/90411094767646eb>
- 26) 「高校農業 農業実験」 http://gakuen.gifu-net.ed.jp/~contents/kou_nougyou/jikken/SubShokuhin/04/sousa.html
- 27) 渡辺大介, 古池 崇, 緑川正博, 田中龍彦: 分析化学, **54**, 907 (2005).
- 28) 「酸化剤と還元剤」 <http://edu.chemistry.or.jp/teibanjikken/shigh/redox/redox.html>
- 29) 「黒板を利用した電気分解と燃料電池の演示実験」 <http://www.aichi-c.ed.jp/contents/rika/koutou/kagaku/ka8/denki/denki.htm>
- 30) 「実験15-酸化還元反応」 <http://www.tennoji-h.oku.ed.jp/tennoji/oka/2004/04ko2-08.htm>
- 31) 「福島県教育センター所報 NO. 27」 <http://www.db.fks.ed.jp/txt/60000.shohou/00027/html/00009.html>
- 32) 「アミラーゼの実験」 <http://homepage1.nifty.com/scilla/sonota/amylase/amylase.html>
- 33) 「実験手順書 動物のからだのはたらき」 http://e-net.edu-c.pref.miyagi.jp/portal/rika/h18_16/16.htm
- 34) 「静岡県総合教育センターカリキュラム推進委員会」 <http://curri.shizuoka-c.ed.jp/cpc/Web/kansatsujikennsyuu/06/A1-01-1.pdf>
- 35) 「あるあるダイエット通信さくらん@ねっと」 <http://sakuran1net.blog8.fc2.com/blog-date-20060406.html>
- 36) 橋本佳世子: 「土を主題とする学習について—その教材性

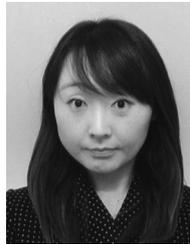
- についての考察と生分解能定量化の試み”, 鳴門教育大学 1999 年度修士論文, pp31-31 (2000), (鳴門教育大学).
- 37) 高岸 徹: 繊維と工業, **60**, No. 6, p-226-230 (2004).
- 38) 「酵母の不思議なパワー」 http://www.center.spec.ed.jp/e/eb/Recipe/wes01_03_06.pdf
- 39) Kemp, D. S.; Vellaccio, F.: “Organic Chemistry”, pp993-994 (1980), Worth.

*なお本稿で引用した URL のウェブサイトについては, 2007 年 2 月に再確認を行っている。



村田勝夫 (Katsuo MURATA)

鳴門教育大学 (〒772-8502 徳島県鳴門市鳴門町高島)。大阪大学大学院理学研究科修了。理学博士。《現在の研究テーマ》天然表層水の浄化, 海洋エネルギーの資源化。《主な著書》“教職必携ハンドブック II 教科教育編” (教育開発研究所)。《趣味》古地図, コマの蒐集。



西條典子 (Noriko SAJO)

徳島市川内中学校 (〒771-0141 徳島市川内町竹須賀 151)。鳴門教育大学学校教育研究科修了。教育学博士修士。《趣味》華道。

日本分析化学会研究懇談会の御案内

日本分析化学会の研究懇談会に入会御希望の方は下記に照会ください。

- | | |
|--------------------------|--|
| ① ガスクロマトグラフィー研究懇談会 | ⑥ : 〒293-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学分析センター 関 宏子 [電話: 043-290-3810] |
| ② 高分子分析研究懇談会 | ⑦ : 〒152-8551 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院理工学研究科化学専攻 岡田哲男 [電話: 03-5734-2612] |
| ③ X線分析研究懇談会 | ⑧ : 〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1 慶應義塾大学理工学部応用化学科分析化学研究室 鈴木孝治 [電話: 045-566-1568] |
| ④ 液体クロマトグラフィー研究懇談会 | ⑨ : 〒790-8577 松山市文京町 2-5 愛媛大学理工学研究科 (理学系) 分析化学研究室 真鍋 敬 [電話: 089-927-9609] |
| ⑤ 分析試薬研究懇談会 (旧有機試薬研究懇談会) | ⑩ : 〒739-8529 東広島市鏡山 1-5-1 広島大学大学院国際協力研究科 田中一彦 [電話: 082-427-6927] |
| ⑥ 有機微量分析研究懇談会 | ⑪ : 〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247 愛知工業大学応用化学科 酒井忠雄 [電話: 0565-48-8121 内線 2206] |
| ⑦ 溶液界面研究懇談会 (旧非水溶媒研究懇談会) | ⑫ : 〒305-8506 つくば市小野川 16-2 国立環境研究所動態化学研究室 功刀正行 [電話: 0298-50-2434] |
| ⑧ 化学センサー研究懇談会 | |
| ⑨ 電気泳動分析研究懇談会 | |
| ⑩ イオンクロマトグラフィー研究懇談会 | |
| ⑪ フローインジェクション分析研究懇談会 | |
| ⑫ 環境分析研究懇談会 | |
- ◇照会先
- ①～④ : 〒141-0031 東京都品川区西五反田 1-26-2 五反田サンハイツ 304 号 社団法人日本分析化学会 [電話: 03-3490-3351]
- ⑤ : 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1 上智大学理工学部化学科 早下隆士 [電話: 03-3238-3371]