

## ヨウ素滴定シミュレーションのインターネットによる自動サービス

芦田 実 埼玉大学教育学部理科教育講座  
鈴木崇広 埼玉大学大学院教育学研究科  
江藤大門 埼玉県川口市立神根中学校

キーワード：定量分析、ヨウ素滴定、濃度計算、遠隔支援

### 1. はじめに

本研究室では、インターネットを利用して学外との双方向の交流を目指し、利用者の立場に立ってそのニーズに応えるためのホームページ<sup>1)</sup>を開発している。そのために、化学の質問箱<sup>2)</sup>の開設、溶液の濃度計算と調製方法のサービス<sup>3-14)</sup>、定量分析シミュレーションのサービス<sup>15-17)</sup>等を開始している。質問箱は閲覧数や質問回数が最盛期を過ぎたが、その他のサービスは利用者がまだ少ない。そこで、多くの人に知ってもらい、また利用してもらうために本報告で紹介する。

今、学校では理科離れ<sup>18)</sup>が進んでいる。その要因として、幼いときの理科的な感動体験が失われつつあること、ゆとり教育が終わり授業時間が増加したにもかかわらず、教員のスキルが低下して実験の失敗や事故を恐れ、学校における理科実験が減少し、児童・生徒が薬品や器具に触れる体験が減少していること等が挙げられる。さらに、理科離れを解決するためには、児童・生徒に理科に対する興味・関心をもってもらう必要があり、教員は理科の面白さが子供達に伝わるような授業をつくっていく必要がある。しかし、現在は児童・生徒だけでなく、教員の理科離れも進んでいると言われている。中学校や高校は専科教員がいるので、教員の理科離れは主に小学校で問題になっている。ただし、中学校の理科教員も授業前後の準備・片付けの時間不足、備品や消耗品の不足（自費購入の経験のある教員が7割）等の問題を抱えている<sup>19)</sup>。

理科（化学）の面白さは実験を通して伝えられることが多い。そこで、理科離れを少しでも減らすために、学校で少しでも多く理科（化学）実験を行ってもらうことが肝要である。本研究室で開発しているホームページでは、理科を苦手に行っている教員の手助けとなる様に、また水溶液の調製時間の軽減や効率的な実験準備を可能とするために、化学系実験の基礎である水溶液の作り方（濃度計算と調製方法）等<sup>3-14)</sup>の自動サービスを行っている。

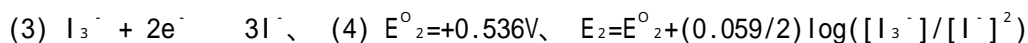
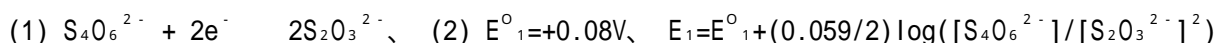
高校生等の中には、酸・塩基滴定や酸化・還元滴定中の濃度変化、体積変化、pHジャンプや電極電位の急激な変化の現象をあまり理解していない者もあり、それらについて質問箱でも複数回答している。そこで、前報等<sup>15-17)</sup>では酸・塩基滴定や酸化・還元滴定をシミュレートするプログラムを開発し、濃度と滴定曲線（pHや電極電位）の計算方法を解説し、ホームページで公開した。本報告では、次に利用度の高いと思われるヨウ素滴定（酸化・還元滴定の一種）をシミュレートするプログラムを開発し、ホームページで公開することにした。コンピュータに弱い人でも何の予備知識もなしに、いつでも必要なときに使用できる。さらにダウンロードサービスも開始しているので、圧縮ファイルをダウンロードして解凍すれば、このプログラムはパソコンの中だけ（オフライン）でも実行できる。

## 2. 滴定曲線（電極電位）の計算方法<sup>20)</sup>

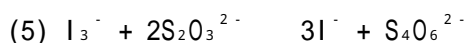
「溶液の作り方（濃度計算と調製方法）」<sup>21)</sup>のメニューから「酸化・還元滴定（ヨウ素滴定）」<sup>22)</sup>をクリックすると「Java Applet プログラムを呼び出すためのhtmファイル<sup>22)</sup>」が呼び出される。そこに、下記のような滴定曲線（電極電位）の計算方法の解説を載せている。なお、濃度と電極電位から求めた反応の平衡定数がかなり大きい（後述の式(16)）ので、当量点以外では簡単のために全て完全に反応すると仮定して、滴定曲線を計算している。

### 2-1 反応式

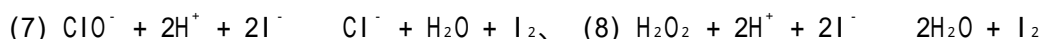
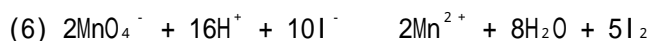
ヨウ素 $I_2$  - ヨウ化カリウムKI（過剰）水溶液中のヨウ素をチオ硫酸ナトリウム $Na_2S_2O_3$ 標準溶液で直接（または間接）滴定する場合に關係する半反応、標準電極電位 $E^0$ および電極電位 $E$ は



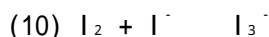
上の式(4)では、1個のヨウ素分子 $I_2$ が2個のヨウ化物イオン $I^-$ に實質的に変化すると考えて、対数の中身の分母をヨウ化物イオン濃度の2乗にしている。式(1)の左右を反転して式(3)に加えると、滴定中のイオン反応式が求まる。



間接滴定における滴定前の第1段階のイオン反応式は

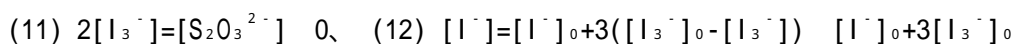


生じたヨウ素分子 $I_2$ はそのままでは水に溶け難いが、水中に過剰に存在するヨウ化物イオン $I^-$ と結合して、水に溶け易い三ヨウ化物イオン $I_3^-$ に変化する。



### 2-2 酸化・還元電位

当量点以前ではチオ硫酸イオンがほぼ全て反応し、式(2)の濃度が $[S_2O_3^{2-}] = 0$ になるため、式(4)を用いて酸化・還元電位 $E$ を計算する。さらに、当量点においては次の濃度関係が成り立つ。



$$(13) [S_4O_6^{2-}] = ([S_2O_3^{2-}]_0 - [S_2O_3^{2-}]) / 2 \quad [S_2O_3^{2-}]_0 / 2$$

ここで下付き文字0は、滴定液を一度に添加した直後で酸化・還元反応がまだ起こっていないと仮定したときの仮想的な初濃度を表す。なお、一度に添加しても少しずつ滴下しても、その添加（滴下）量が同じならば、計算の上では同じ状態になる。

式(4)を2倍して式(2)に加え、3で除して式(11)～(13)を代入すると、当量点（ $E_1=E_2=E$ ）における酸化・還元電位Eが求まる。

$$(14) E = (0.08 + 2 \times 0.536) / 3 + (0.059/6) \log \left( \frac{[S_4O_6^{2-}][I_3^-]^2}{[S_2O_3^{2-}]^2[I^-]^4} \right) \\ = +0.384 + (0.059/6) \log \left( \frac{[S_4O_6^{2-}]}{4[I^-]^4} \right) \\ = +0.384 + (0.059/6) \log \left\{ \frac{[S_2O_3^{2-}]_0}{8([I^-]_0 + 3[I_3^-]_0)^4} \right\}$$

### 2-3 平衡定数

式(2)から式(4)を引き、式(5)の平衡定数Kを求める。

$$(15) 0 = E_1 - E_2 = 0.08 - 0.536 + (0.059/2) \log \left( \frac{[S_4O_6^{2-}][I^-]^2}{[S_2O_3^{2-}]^2[I_3^-]} \right) \\ = -0.456 + 0.0295 \log K$$

$$(16) \log K = \log \left( \frac{[S_4O_6^{2-}][I^-]^2}{[S_2O_3^{2-}]^2[I_3^-]} \right) = 15.46, \quad K = 2.88 \times 10^{15}$$

### 2-4 計算方法（直接滴定 $I_2$ -KI系）

滴定前のヨウ素 - ヨウ化カリウム水溶液の体積を $V_S$ (L)とし、その溶液中の三ヨウ化物イオンの濃度を $[I_3^-]_S$ (mol/L)、ヨウ化物イオンの濃度を $[I^-]_S$ (mol/L)とする。希釈水の体積を $V_W$ (L)、デンプン指示薬の体積を $V_D$ (L)とし、チオ硫酸ナトリウム溶液の濃度と体積をそれぞれ $[S_2O_3^{2-}]_R$ (mol/L)、 $V_R$ (L)とすると、滴下後の体積 $V$ (L)は

$$(17) V = V_S + V_W + V_R + V_D$$

滴下直後で酸化・還元反応がまだ起こっていないと仮定したときの仮想的な初濃度はそれぞれ

$$(18) [I_3^-]_0 = [I_3^-]_S V_S / V, \quad (19) [I^-]_0 = [I^-]_S V_S / V, \quad (20) [S_2O_3^{2-}]_0 = [S_2O_3^{2-}]_R V_R / V$$

上の式(18)～(20)を式(14)に代入すれば当量点における電極電位Eが求まる。

当量点より前の滴定途中の各イオン濃度は

$$(11) [S_2O_3^{2-}] = 0, \quad (13) [S_4O_6^{2-}] = [S_2O_3^{2-}]_0 / 2$$

$$(21) [I_3^-] = [I_3^-]_0 - [S_4O_6^{2-}], \quad (22) [I^-] = [I^-]_0 + 3[S_4O_6^{2-}]$$

上の式(21)、(22)を式(4)に代入すれば電極電位Eが求まる。

2-5 計算方法（間接滴定KMnO<sub>4</sub>、Ca(OCl)Cl、NaClO、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>系）

酸化剤の当量数、濃度と体積をそれぞれE<sub>x</sub>(eq/mol)、[Ox]<sub>x</sub>(mol/L)、V<sub>x</sub>(L)と、ヨウ化カリウム水溶液の濃度と体積を[KI]<sub>k</sub>(mol/L)、V<sub>k</sub>(L)と、酸（硫酸や酢酸等）の体積をV<sub>H</sub>(L)とする。希釈水とデンプン指示薬を除いて混合すると、式(6)（または式(7)～(9)のどれか1つ）と式(10)の第1段階の反応が起こる。反応終了後の体積V<sub>s</sub>(L)と濃度[I<sub>3</sub><sup>-</sup>]<sub>s</sub>(mol/L)、[I<sup>-</sup>]<sub>s</sub>(mol/L)は

$$(23) V_s = V_x + V_k + V_H, \quad (24) [I_3^-]_s = E_x [Ox]_x V_x / 2V_s, \quad (25) [I^-]_s = [KI]_k V_k / V_s - 3[I_3^-]_s$$

上の式(23)～(25)を式(17)～(20)に代入すれば電極電位Eや各イオンの濃度を同様に計算できる。

2-6 計算方法（間接滴定CuSO<sub>4</sub>系）

上の酸化剤と異なり、ヨウ化銅(I)Cu<sub>2</sub>I<sub>2</sub>の沈殿を生じるので、[I<sup>-</sup>]<sub>s</sub>の式が式(25)と異なる。

$$(26) [I^-]_s = [KI]_k V_k / V_s - 5[I_3^-]_s$$

上の式(23)、(24)、(26)を式(17)～(20)に代入すれば、電極電位Eや各イオンの濃度を同様に計算できる。

3. 滴定曲線の計算例

硫酸H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>酸性でヨウ化カリウムKIを過マンガン酸カリウムKMnO<sub>4</sub>で酸化し、生じた褐色の三ヨウ化物イオンI<sub>3</sub><sup>-</sup>を無色のチオ硫酸ナトリウムNa<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>標準溶液で滴定（過マンガン酸カリウムをチオ硫酸ナトリウムで間接滴定）したときの滴定曲線を図1に示す。前報の滴定<sup>15-17</sup>では当量

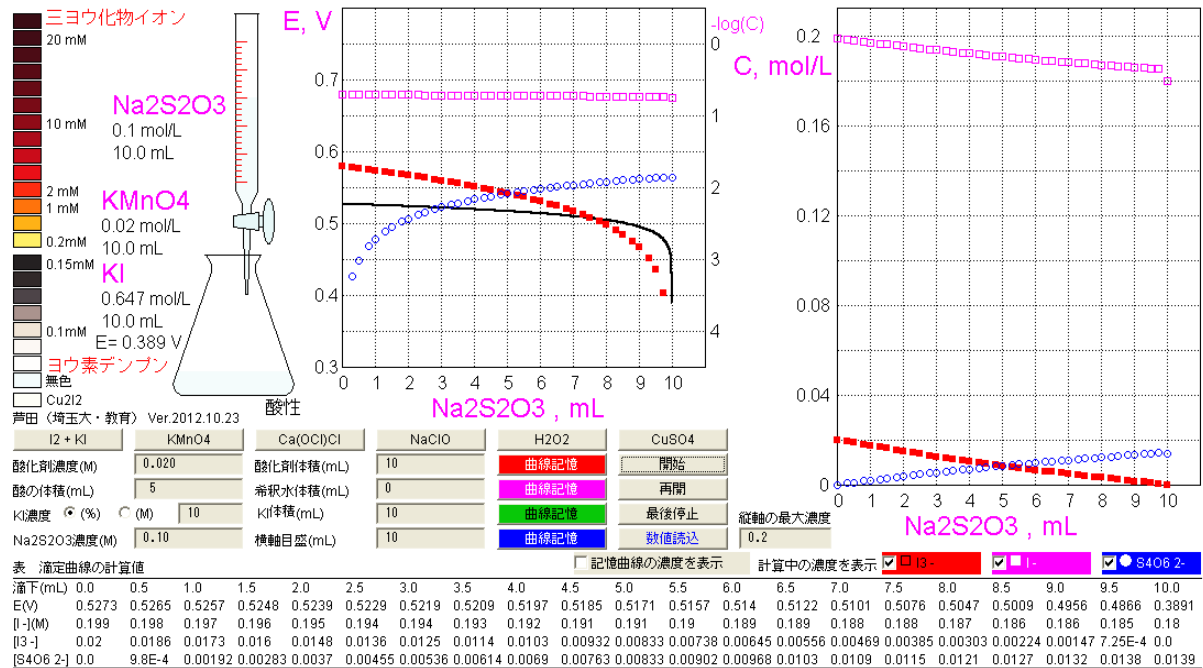


図1 過マンガン酸カリウム - チオ硫酸ナトリウム系

点以後も計算したが、ヨウ素滴定ではデンプン指示薬を入れた被滴定液が無色になってあまり意味がないので、当量点以後は計算していない。標準電極電位は化学便覧の値<sup>2,3)</sup>を使用した。上側右端部では、滴定にともなう三ヨウ化物イオンの濃度 $[I_3^-]$  ( )とヨウ化物イオン濃度 $[I^-]$  ( )の減少、テトラチオン酸イオン濃度 $[S_4O_6^{2-}]$  ( )の増加を示している(縦軸の拡大・縮小が可能)。また、下側の表には滴定にともなう各化学種の濃度変化を示している。

さらし粉(次亜塩素酸カルシウム $Ca(OCl)Cl$ )をチオ硫酸ナトリウム $Na_2S_2O_3$ 標準溶液で間接滴定したときの滴定曲線を図2に、さらに次亜塩素酸ナトリウム $NaClO$ の間接滴定曲線を図3に、過酸化水素 $H_2O_2$ の間接滴定曲線を図4に、硫酸銅 $CuSO_4$ の間接滴定曲線を図5に示す。また、三

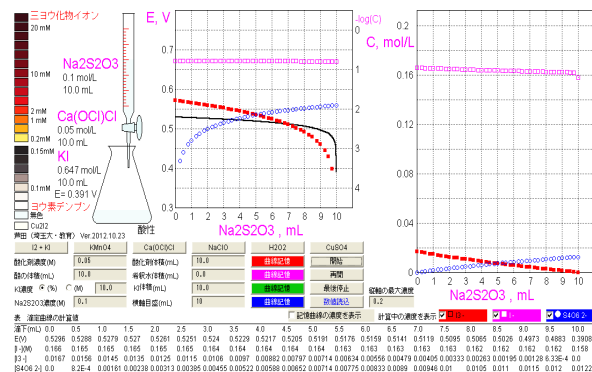


図2 さらし粉 - チオ硫酸ナトリウム系

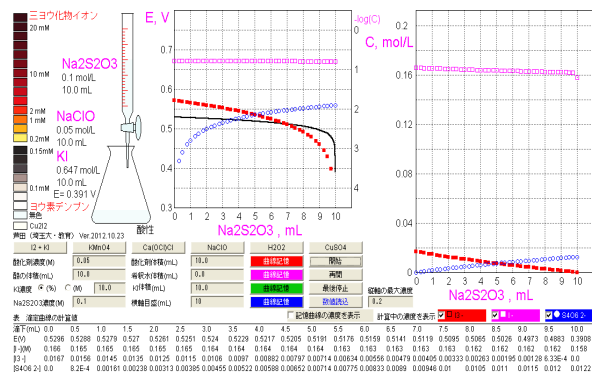


図3 次亜塩素酸ナトリウム - チオ硫酸ナトリウム系

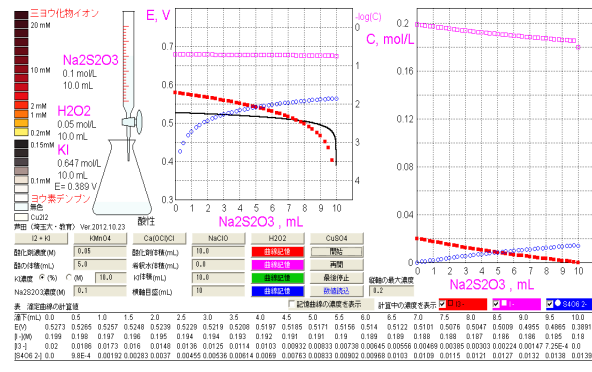


図4 過酸化水素 - チオ硫酸ナトリウム系

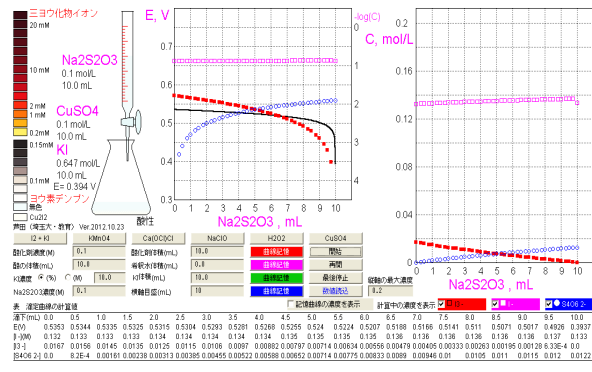


図5 硫酸銅 - チオ硫酸ナトリウム系

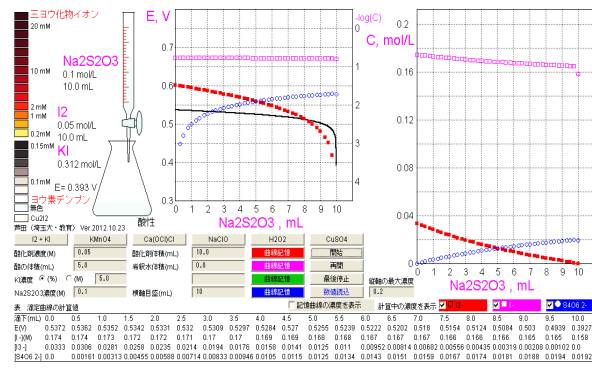


図6 三ヨウ化物イオン - チオ硫酸ナトリウム系

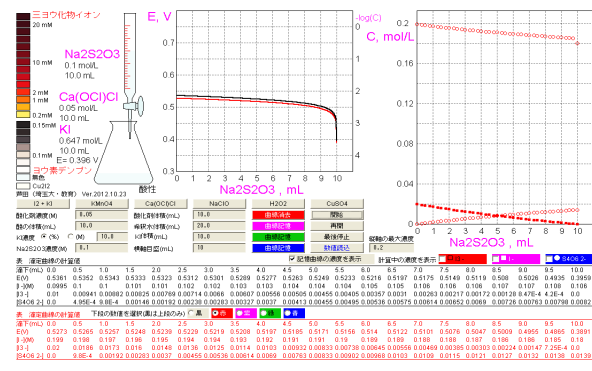


図7 滴定曲線の比較

赤線：過マンガン酸カリウム - チオ硫酸ナトリウム系  
黒線：さらし粉 - チオ硫酸ナトリウム

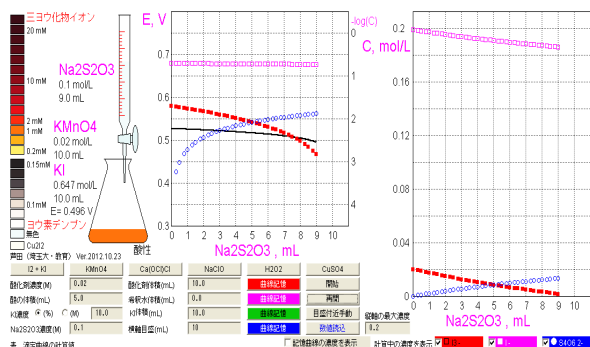


図8 デンプン指示薬を添加する前の状態

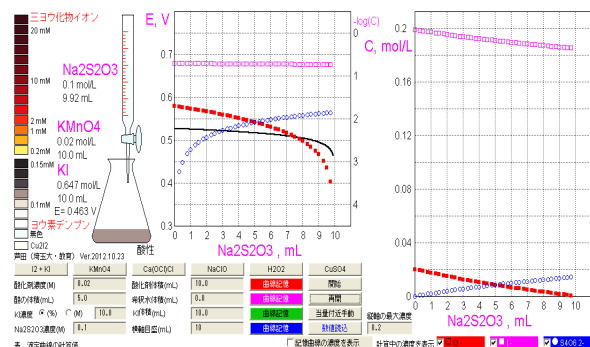


図9 デンプン指示薬を添加した後の状態

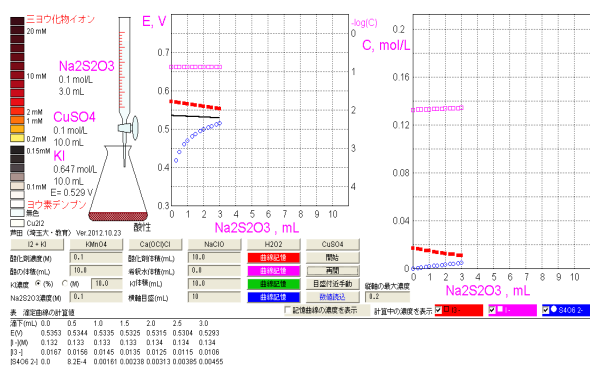


図10 硫酸銅 - チオ硫酸ナトリウム系  
デンプン指示薬を添加する前の状態

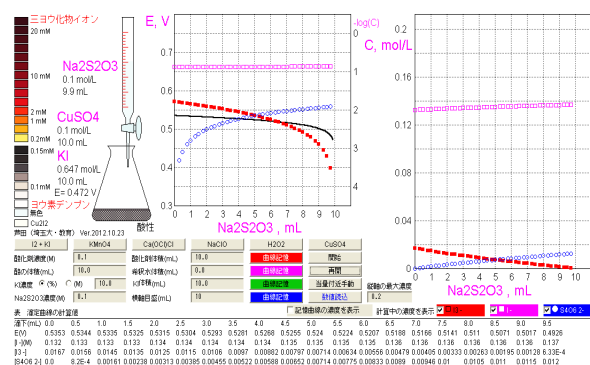


図11 硫酸銅 - チオ硫酸ナトリウム系  
デンプン指示薬を添加した後の状態

ヨウ化物イオン $I_3^-$  ( $I_2+KI$ ) をチオ硫酸ナトリウム $Na_2S_2O_3$ 標準溶液で直接滴定したときの滴定曲線を図6に示す。当量点における滴下量が同じになるようにしたため、各化学種の濃度が少し異なるだけで、図1～図6の滴定曲線はほとんど同じである。このプログラムでは4本の滴定曲線を記憶でき、実行中の滴定曲線と合わせて、同時に5本を表示(比較)することができる。図7には、過マンガン酸カリウム - チオ硫酸ナトリウム系(記憶した赤色曲線)とさらし粉 - チオ硫酸ナトリウム系(実行中の黒色曲線)の滴定曲線を同時に表示して比較している。ただし、これらの滴定曲線がほとんど重なるため、さらし粉 - チオ硫酸ナトリウム系に希釈水を添加して被滴定液の濃度を変え、滴定曲線を意識的にずらしている。

図8にデンプン指示薬を添加する前でプログラムを一時停止した状態(褐色の溶液)を示す。実際の滴定実験ではもう少し後で、三ヨウ化物イオン $I_3^-$ による色が黄色になったところでデンプン指示薬を添加する。デンプンの添加が早いと、らせん構造に取り込まれなかったヨウ素分子 $I_2$ がデンプンに吸着して暗色を呈し、このヨウ素分子とチオ硫酸イオン $S_2O_3^{2-}$ の反応が遅くなり、チオ硫酸ナトリウム溶液を過剰に滴下する恐れが生じると言われている。図9にデンプン指示薬を添加した後で、ヨウ素 - デンプン反応の紫色が消える直前の状態を示す。また、銅( )イオン $Cu^{2+}$ を含む溶液にヨウ化物イオン $I^-$ を添加すると、ヨウ素分子 $I_2$ (または三ヨウ化物イオン $I_3^-$ )以外にヨウ化銅( ) $Cu_2I_2$ の淡黄白色沈殿を生じる。デンプン指示薬を添加する前の状態(コーヒー牛乳の様に見える)を図10に、デンプン指示薬を添加した後の状態を図11に示す。

#### 4. 色見本とRGB値

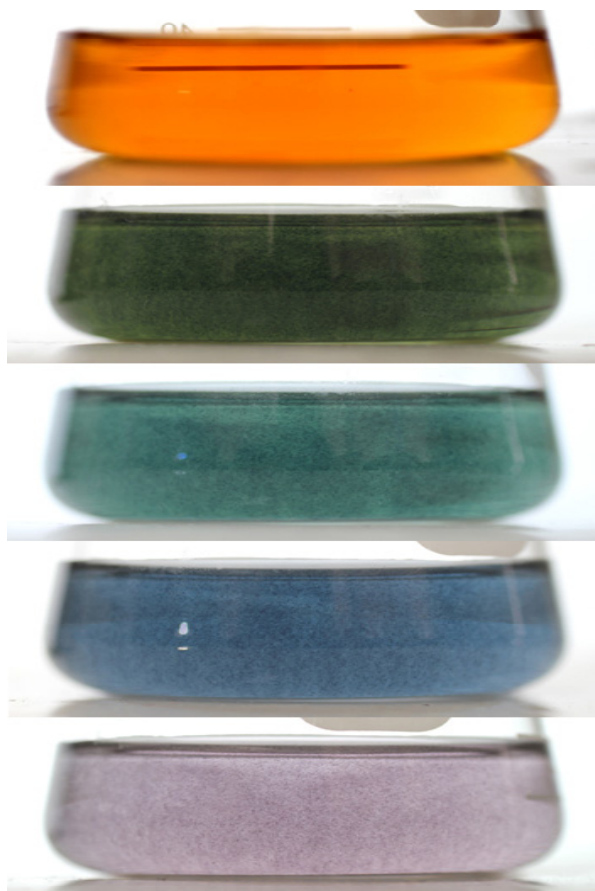


図12 ヨウ素 - デンプン反応の写真  
ろ過していないデンプン指示薬を使用した場合

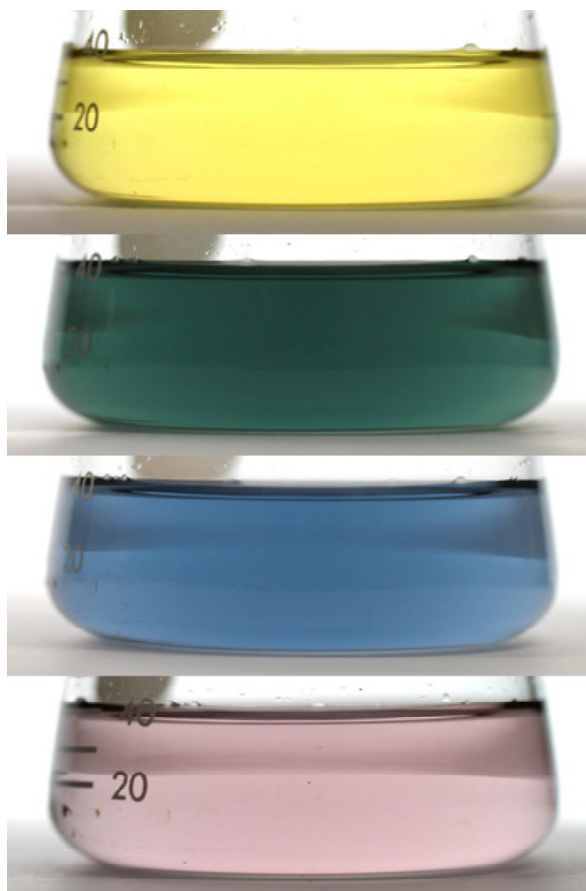


図13 ヨウ素 - デンプン反応の写真  
ろ紙でろ過したデンプン指示薬を使用した場合

図12と図13にヨウ素 - デンプン反応の写真を示す。一番上の褐色や黄色の写真はデンプン指示薬を添加する前の状態である。サツマイモから取り出した粗製のデンプンを水に入れ、加熱してデンプン指示薬を調製し、これを添加してチオ硫酸ナトリウム標準液で滴定していくと、ヨウ素 - デンプン反応の色が緑色 青色 紫色へと変化した。ただし、乳鉢で粉碎した程度の粗製のデンプンを使用した指示薬では、図12の様にデンプンが粒状（塩析？）になって現れる。そこで、デンプン指示薬をろ紙でろ過して使用したら、図13の様に粒状になるのを防ぐことができた。しかし、ろ過によりデンプンの凝集粒子が除去されるため、濃度が小さくなるので、指示薬を多量に加える必要が生じた。小・中学校の理科の教科書ではヨウ素デンプン反応の色が青紫色と書かれている。しかし、化学薬品の可溶性デンプン（希酸で加熱処理してデンプン鎖の長さ（グルコースの重合度）を小さくした物）を用いると、ヨウ素デンプン反応の色が黒紫色～褐色にしかない。そこで、サツマイモデンプン指示薬を添加して実験したところ、上図の青色と紫色の中間に青紫色を確認できた。化学薬品の可溶性デンプンとの色の違いは、デンプン鎖の長さやデンプン中のアミロースとアミロペクチンの割合の違いが原因であると思われる。

図14にヨウ素分子濃度 $[I_2]$ （三ヨウ化物イオン濃度 $[I_3^-]$ ）によるRGB値の変化を示す。濃度が小さくなるにつれて、R値はしだいに大きくなるが、G値とB値は最後に急に大きくなって

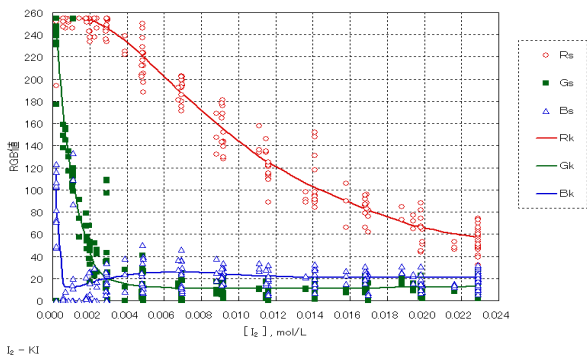


図14 三ヨウ化物イオンの R G B 値の濃度変化

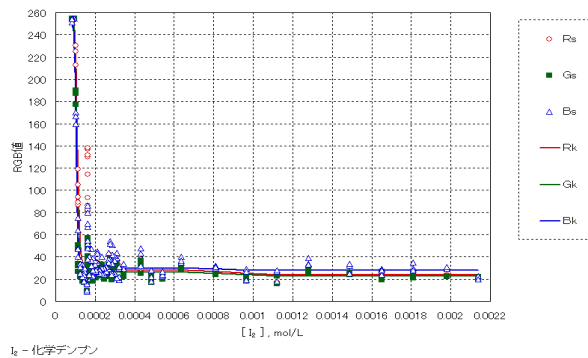


図15 ヨウ素 - デンプン反応の R G B 値の濃度変化  
化学薬品の可溶性デンプンを使用した場合

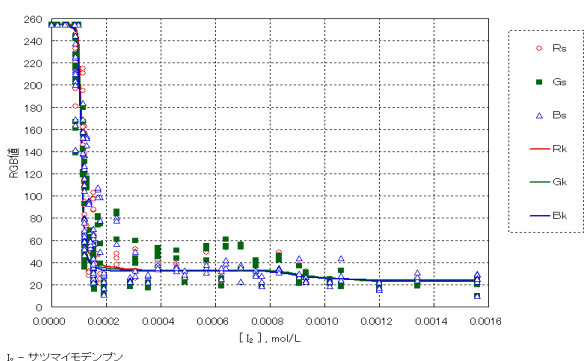


図16 ヨウ素 - デンプン反応の R G B 値の濃度変化  
サツマイモからの粗製デンプンを使用した場合

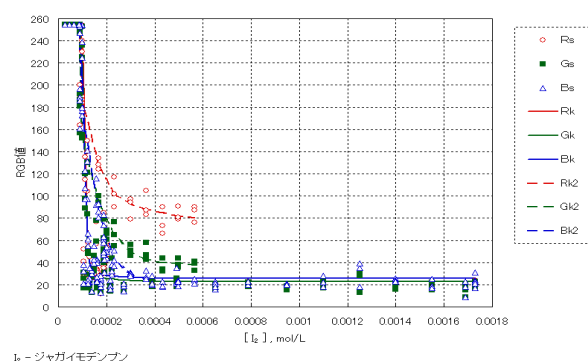


図17 ヨウ素 - デンプン反応の R G B 値の濃度変化  
ジャガイモからの粗製デンプンを使用した場合  
点線はデンプン濃度が小さいときの値

色が消失している。シミュレーションでは溶液が黄色（ヨウ素分子濃度が約0.2 mmol/L）になったところで、デンプン指示薬を添加している。図15に化学薬品の可溶性デンプンを、図16にサツマイモからの粗製デンプンを、図17にジャガイモからの粗製デンプンを使用した場合の R G B 値の変化を示す。ヨウ素分子濃度が0.1 mmol/L付近でヨウ素 - デンプン反応の色が急に消失している。

Java Applet プログラムを呼び出すためのhtmlファイル<sup>2,2)</sup>に、三ヨウ化物イオン $I_3^-$ とヨウ素 - デンプン反応の色見本と R G B 値（表1、表2）を載せている。三角フラスコに入れた試料の後ろから光を当ててデジタルカメラで撮影し、画像処理して決定した。滴定にともなって、三ヨウ化物イオン $I_3^-$ とヨウ素 - デンプン反応の色が複雑に変化するのをシミュレートするために、色の違いを区別できる濃度と写真を適当に採用している。すなわち、試料の厚みによって色の濃さや R G B 値が変化するので、表中の値は単なる参考である。表1の右半分には3種類のデンプンを用いた場合のヨウ素 - デンプン反応の色の平均的な値を示す。この表1の R G B 値をシミュレーションの溶液等の色として使用した。表2にはそれぞれのデンプンによる個別の色を示す。図12や図13の写真では緑色や青色を視認できるが、これらの画像の一部を切り取って画像処理ソフトで明暗のムラを平均化すると、色が見かけじょう少し暗くなって見える。この原因は、明暗のムラがある画像では明るい部分が目立っているためと思われる。それゆえ、表2では緑色や青色が暗くなって分かり難くなっている。



表1 ミヨウ化物イオンとヨウ素 - デンプン反応のRGB値

[I <sub>2</sub> ], mol/L	色見本	R値	G値	B値	[I <sub>2</sub> ], mol/L	色見本	R値	G値	B値
0.022		59	12	21	0.0020		24	23	26
0.020		65	12	21	0.0015				
0.018		76	12	21	0.0010		25	24	26
0.016		89	11	21	0.00080		28	27	29
0.014		103	11	21	0.00060				
0.012		121	11	22	0.00040		29	27	30
0.010		144	11	23	0.00030				
0.0080		172	11	26	0.00020				
0.0060		202	12	26	0.00015		36	32	33
0.0040		234	15	23	0.00013		49	41	41
0.0020		253	44	16	0.00012		77	68	72
0.0010		255	115	12	0.00011		170	147	142
0.0005		255	178	22	0.00010		240	228	214
0.0002		255	240	103	0.00009		252	248	244
					0.00008		255	254	253
<b>沈殿</b>	色見本	R値	G値	B値	※ 化学薬品の可溶性デンプン, ジャガイモデンプン, サツマイモデンプンを使用した場合の平均的な値である.				
ヨウ化銅Cu <sub>2</sub> I <sub>2</sub>		255	255	247					

全てのヨウ素 - デンプン反応の平均的な値

表2 ヨウ素 - デンプン反応のRGB値

ヨウ素 - ジャガイモデンプン液					ヨウ素 - サツマイモデンプン液				ヨウ素 - 化学薬品の可溶性デンプン液				ヨウ素 - ジャガイモデンプン液				
[I <sub>2</sub> ], mol/L	色見本	R値	G値	B値	色見本	R値	G値	B値	色見本	R値	G値	B値	[I <sub>2</sub> ], mol/L	色見本	R値	G値	B値
0.00200						23	23	24		24	23	28	0.00060		79	38	26
0.00150						26	26	25		27	25	29	0.00040		86	41	26
0.00100		23	23	26						28	26	30	0.00030		93	50	29
0.00080						33	33	32		30	26	30	0.00020		111	76	57
0.00060						34	33	32		40	32	32	0.00015		139	105	102
0.00040						36	35	33		40	32	32	0.00013		156	121	124
0.00030		24	24	27		44	39	37		68	41	38	0.00012		165	130	138
0.00020		25	25	28		54	46	44		170	120	110	0.00011		175	140	155
0.00015		29	29	31		77	67	72		239	228	214	0.00010		187	153	177
0.00013		40	38	39		163	146	146		252	249	245	0.00009		254	250	252
0.00012		77	68	72		253	249	245		252	249	245	0.00008		254	250	252
0.00011		172	146	141		255	254	253		255	254	253					
0.00010		240	228	214													
0.00009		252	248	244													
0.00008		255	254	253													

※ それぞれ平均的な値である.

※ ジャガイモデンプンを少量使用した場合の値である.

デンプンの種類による違い

## 5. 利用者の操作方法

Java Applet プログラムを呼び出すためのhtmファイル<sup>2,2)</sup>に、表3のような詳しい操作方法(コマンドボタンとその内容の説明)を載せている。

表3 コマンドボタンとその内容の説明

コマンドボタン	内容の説明
数値読込	数値を入力したら、最後にクリックします。 または入力ごとに [Enter] を押します。
開始	滴定曲線を最初から描きます。
一時停止 ⇒ 再開 ⇒	クリックするたびに命令が切り替わります。
繰り返し ⇒ 目盛付近手動 ⇒ 当量付近手動 ⇒ 最後停止 ⇒	クリックするたびに実行モードが切り替わります。
曲線記憶 ⇒ 曲線消去 ⇒	任意の位置で4本まで記憶できます。

テキストボックス	内容の説明
試料濃度, 試料体積, 横軸目盛, 縦軸の最大濃度	数値を変更するには, TextBox に入力するたびに [Enter] キーを押すか, 最後にまとめて数値読込をクリックします。
間接的定 $\text{KMnO}_4$ , $\text{Ca}(\text{OCl})\text{Cl}$ , $\text{NaClO}$ , $\text{H}_2\text{O}_2$ , $\text{CuSO}_4$	酸化剤は左の水溶液のうちから1つを選択します。  $\text{I}_2 + \text{KI}$ の体積は酸化剤体積に入力します。
直接滴定 $\text{I}_2 + \text{KI}$	

チェックボックス	内容の説明
	KI 水溶液の濃度単位を指定します。
	記憶曲線の濃度を図示するか, 計算中の試料の濃度を図示するかを指定します。
	上段の表には計算中の数値を表示します。下段の表には, 記憶済みの曲線から表示するものを選択できます。

キーボードのPrint Screenキー(COPYキー)を押した後, 画像処理プログラム(Photoshop等)を起動し, 新規ファイルにペースト(はりつけ)すれば, 画面を取り込めます。編集や保存もできます。その後にワープロ文章(Word, 一太郎等)に画像の必要部分を切り貼り(カット&ペースト)できます。

## 6. 使用したソフトウェア

開発に使用したOSはMicrosoft社のWindows XP Professionalである。さらに、Microsoft社のWindows 98 Second Edition、2000 Professional、XP home edition、Vista Home Premium、7 Professionalで動作確認を行っている。Java Appletは多くの書籍<sup>2,4-2,9)</sup>を参考にしてBorland社のJBuilder 6 Professional、2005 Developerで作成し、フリーソフトウェアFFFTP 1.98<sup>3,0)</sup>等でサーバーにアップロードした。HTMLファイルはIBM社のホームページ・ビルダー 15<sup>3,1)、3,2)</sup>、またはマクロメディア(株)のDreamweaver MX<sup>3,3)</sup>で編集・作成した。

## 7. おわりに

教育学部のサーバーだけでなく、学外のサーバーにもシミュレーションプログラムを載せてサ

ービスを開始した<sup>1)</sup>。学校の授業や自由研究等でも利用できると思われる。今後はさらに、シミュレーションの種類を増やし、少しずつサービスを充実していく。

#### 謝辞

本研究は科学研究費（基盤研究(B)、課題番号21300288）の助成を受けたものである。

#### 参考文献等（URLは全て2012年11月7日時点）

- 1) <http://www.saitama-u.ac.jp/ashida/>, <http://rikadaisuki.edu.saitama-u.ac.jp/~chem1/>  
<http://park.saitama-u.ac.jp/~ashida-sci-edu/>, <http://www.geocities.jp/ashidabk1/>  
<http://www7.tok2.com/home/ashidabk3/>
- 2) 例えば、<http://www.saitama-u.ac.jp/ashida/cgi-bin/ques-box.cgi>
- 3) 芦田実ほか『溶液の濃度計算と調製方法のインターネットによる自動サービス - 塩化ナトリウム水溶液 - 』化学教育ジャーナル(CEJ)、第7巻第1号(通巻12号)、採録番号7-5(2003)。  
URL <http://chem.sci.utsunomiya-u.ac.jp/cejrnl.html>(以下同様)
- 4) 芦田実ほか『溶液の濃度計算と調製方法のインターネットによる自動サービス - 酢酸水溶液、塩酸、アンモニア水、水酸化ナトリウム水溶液 - 』化学教育ジャーナル(CEJ)、第8巻第1号(通巻14号)、採録番号8-3(2004)
- 5) Minoru Ashida, et al., Automatic Services of Calculating Data and for the Preparation of Solutions by Using Internet: - Nitric Acid Aqueous Solution and Sulfuric Acid Aqueous Solution-, The Chemical Education Journal (CEJ), Vol.9, No.2 (Serial No. 17), Registration No. 9-14(2007)
- 6) 芦田実ほか『溶液の濃度計算と調製方法のインターネットによる自動サービス - 固体無水物の溶解度 - 』化学教育ジャーナル(CEJ)、第10巻第1号(通巻18号)、採録番号10-2(2007)
- 7) 芦田実ほか『溶液の濃度計算と調製方法のインターネットによる自動サービス - 二酸化炭素と石灰水 - 』化学教育ジャーナル(CEJ)、第10巻第1号(通巻18号)、採録番号10-3(2007)
- 8) 芦田実ほか『溶液の濃度計算と調製方法のインターネットによる自動サービス - シュウ酸水溶液およびシュウ酸ナトリウム水溶液 - 』化学教育ジャーナル(CEJ)、第11巻第1号(通巻20号)、採録番号11-4(2008)
- 9) 芦田実ほか『溶液の濃度計算と調製方法のインターネットによる自動サービス - 塩化カリウム水溶液および塩化アンモニウム水溶液 - 』化学教育ジャーナル(CEJ)、第12巻第2号(通巻23号)、採録番号12-8(2009)
- 10) 芦田実ほか『溶液の濃度計算と調製方法のインターネットによる自動サービス - 炭酸水素ナトリウム水溶液および炭酸ナトリウム水溶液 - 』化学教育ジャーナル(CEJ)、第12巻第2号(通巻23号)、採録番号12-9(2009)
- 11) 芦田実ほか『溶液の濃度計算と調製方法のインターネットによる自動サービス - ミョウバンとその関連物質の溶解度 - 』化学教育ジャーナル(CEJ)、第12巻第2号(通巻23号)、採録番号12-10(2009)
- 12) 芦田実ほか『過酸化水素水の濃度計算・調製方法と酸素発生に関するWeb自動サービス』埼

- 玉大学紀要教育学部、第60巻第2号、181-191頁(2011)
- 13) 芦田実 『水酸化カリウム水溶液の濃度計算・調製方法に関するWeb自動サービス』 埼玉大学紀要教育学部、第61巻第1号、201-214頁(2012)
  - 14) 芦田実ほか 『pH緩衝液の濃度計算と調製方法の自動サービス - Webによる理科教員への遠隔支援 - 』 埼玉大学教育学部附属教育実践総合センター紀要、第11号、79-86(2012)
  - 15) 芦田実ほか 『定量分析シミュレーションのインターネットによる自動サービス - 酸・塩基滴定 - 』 化学教育ジャーナル(CEJ)、第10巻第1号(通巻18号)、採録番号10-4(2007)
  - 16) 芦田実ほか 『定量分析シミュレーションのインターネットによる自動サービス - 混合滴定 - 』 化学教育ジャーナル(CEJ)、第11巻第1号(通巻20号)、採録番号11-5(2008)
  - 17) 芦田実ほか 『定量分析シミュレーションのインターネットによる自動サービス - 酸化・還元滴定 - 』 化学教育ジャーナル(CEJ)、第11巻第1号(通巻20号)、採録番号11-6(2008)
  - 18) 増田貴司 『「理科離れ」解消のために何が必要か』 TBR産業経済の論点、東レ経営研究所(2007)
  - 19) 『平成20年度中学校理科教師実態調査集計結果』 科学技術振興機構理科教育支援センター・国立教育政策研究所教育課程研究センター(2008)
  - 20) 分析化学研究会編著 『分析化学の理論と計算 修正版』 216-220、230-235頁、廣川書店(1998)
  - 21) <http://www.saitama-u.ac.jp/ashida/cgi-bin/calgramc.cgi>
  - 22) <http://www.saitama-u.ac.jp/ashida/calcggrap/AppletT05.htm>
  - 23) 日本化学会編 『改訂4版化学便覧基礎編』 465-468頁、丸善(株)(1993)
  - 24) 高橋和也ほか 『Java逆引き大全500の極意』 (株)秀和システム(2002)
  - 25) 田中秀治 『Jbuilder5で入門! Javaプログラミング』 ソーテック社(2001)
  - 26) 松浦健一郎、司ゆき 『はじめてのJBUILDER6』 ソフトバンク(株)(2002)
  - 27) 赤間世紀 『Java2による数値計算』 技報堂出版(株)(1999)
  - 28) 青野雅樹 『Javaで学ぶコンピュータグラフィックス』 (株)オーム社(2002)
  - 29) 中山茂 『Java2グラフィックスプログラミング入門』 技報堂出版(株)(2000)
  - 30) <http://www2.biglobe.ne.jp/~sota/>
  - 31) 『ホームページ・ビルダー2001ユーザズ・ガイド』 日本アイ・ビー・エム(株)(2006)
  - 32) アンク 『HTMLタグ辞典』 翔泳社(2000)
  - 33) 『Dreamweaver MXファーストステップガイド』 マクロメディア(株)(2002)

(2012年 11月 12日提出)

(2013年 1月 11日受理)

# **Automatic Service of the Simulation of Iodometric Titrations by Using Internet**

**ASHIDA, Minoru**

Faculty of Education, Saitama University

**SUZUKI, Takahiro**

Graduate School of Education, Saitama University

**ETOU, Daimon**

Kawaguchi Municipal Kamine Junior High School

## **Abstract**

Dislike of science is now spreading over students and even teachers in Japanese elementary schools. It seems that interest in science (chemistry) may often be generated through experiments. Therefore, we started an automatic service in the homepage of our chemical laboratory on how to prepare aqueous solutions (calculating concentrations and preparation methods) and on simulations of quantitative analysis which are the bases of some chemical experiment, in order to reduce dislike of science. Even a person who has no background in computers can use it anytime when it is necessary. Furthermore, we started a download service, so you can carry out this program even in a PC (offline) if you download a compressed file and extract it. On previous reports, we discussed about acid-base titrations and redox titrations, and already started service in the homepage. In this report, we have developed the program for the simulation of iodometric titrations.

**Key Words** : Quantitative analysis, Iodometric titration, Calculating concentration, Remote aid

