

# パソコン連動型温度センサーを用いた身近な気体と水溶液の熱の伝わりやすさおよび反応熱の測定について

## Measurements of Thermal Conductivities of Various Gases and Solutions and Heat of Reactions Using PC Linkage Type Sensors

木村 憲喜 谷口 直紀 西村 翔 西浦 譲  
Noriyoshi KIMURA Naoki TANIGUCHI Sho NISHIMURA Yuzuru NISHIURA

四方田 大樹 暁 竜二 佐武 昇 石塚 亙  
Hiroki YOMODA Ryuji HIKARI Noboru SATAKE Wataru ISHIZUKA

(和歌山大学教育学部)

2011年7月22日受理

### Abstract

We have performed in measuring the thermal conductivities of various gases and water solutions using PC linkage type sensors in the present study. Furthermore, we measured the heat of reactions of various organic acids and sodium bicarbonate in water using the temperature sensor. Observed temperature data could be collected continuously by using PC, and it succeeded in clarifying sight temperature change and difference.

### 1. はじめに

最近、中等高等学校の教科書ではパソコン(PC)連動型の温度センサーやpHセンサーを用いたさまざまな測定例が紹介されている。<sup>1,2)</sup>そして、我々はすでに温度センサーを使った凝固点降下<sup>3)</sup>や日食時の気温変化の実験例<sup>4)</sup>を報告した。今回、小学校で取り扱われる「もののあたたまり方」<sup>5)</sup>や「入浴剤作り」<sup>6)</sup>に関係した実験において、PC連動型温度センサーや電子天秤を使った測定例を紹介する。

今回の「もののあたたまり方」に関する実験では、身の回りの気体である窒素、酸素、二酸化炭素の熱の伝わりやすさ、さらに塩化ナトリウムを少量混ぜた水溶液や水道水の熱の伝わりやすさを、PC連動型温度センサーを使って観察した。

さらに、我々は最近、和歌山市立浜宮小学校や橋本市立城山小学校において、「クエン酸」と「重そう」を使った入浴剤を製作し、シャボン玉を浮かばせた。<sup>7,8)</sup>

この実験では、我々は二酸化炭素を発生させるために「クエン酸」と「重そう」を用いた。しかしながら、クエン酸以外にも身の回りにはさまざまな有機酸があり、市販されている入浴剤にはフマル酸やコハク酸が使用されている。そこで、本研究では、クエン酸とフマル酸、コハク酸の反応性の違いやさまざまな有機酸の反応性を、PC連動型の電子天秤や温度センサーを使って明らかにすることを試みた。

また、塩化ナトリウム、硝酸アンモニウム、砂糖の溶解時における温度変化や果物電池、水の電気分解時



図1-1 入浴剤を使ってシャボン玉を浮かばせた実験風景  
入浴剤と水を反応させ二酸化炭素を発生させることにより、シャボン玉が静止する。

における水溶液のpHや温度変化についても同様に測定してみた。

### 2. 身の回りの気体である窒素、酸素、二酸化炭素の熱の伝わりやすさ

今回、窒素、酸素、二酸化炭素の熱の伝わりやすさについて、2種類の気体を同時に測定した。ナスフラスコにそれぞれの気体を封入し、電球のスイッチを入れた。温度測定は、島津理化器械(株)社製PS-2125温度センサーとPS-2100インターフェースを用いてPCによる自動計測を行った。

本研究で得られた測定結果を図2-1に示す。このとき、温度センサーの先端に黒い発泡スチロール球を付けて測定し、何も付けない時との温度の上がり方も調べてみた。図2-1中のblack ballの温度変化が黒い発

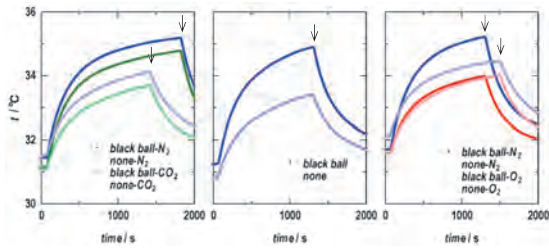


図 2-1 窒素ガス、酸素ガス、二酸化炭素ガスの温度変化  
 黒玉発泡スチロールを使った温度変化は●(窒素)、●(酸素)、●(二酸化炭素)で示し、センサーのみは●(窒素)、●(酸素)、●(二酸化炭素)である。矢印(↓)は電球を切った時間を示す。

泡スチロール球を付けて測定したデータである。図中の左のグラフは窒素と二酸化炭素ガスの組み合わせの測定結果である。二酸化炭素ガスよりも窒素ガスのほうが温度の上がり方が大きくなっている。さらに、センサーに黒い発泡スチロール球を付けて測定したほうが同様に、二酸化炭素よりも窒素のほうが温度の上がり方が大きくなっている。中央のグラフは窒素ガスの測定結果で、黒い発泡スチロール球を付けた方が温度の上昇が大きいことがわかる。右のグラフから、窒素ガスと酸素ガスの比較では、窒素ガスのほうが温度の上がり方が大きいことがわかった。これは、窒素ガスの熱容量(表2-1)が酸素および二酸化炭素に比べ小さいためであると思われる。

表 2-1 本研究で使用した気体のモル熱容量の値<sup>9)</sup>

気体の種類	T/K	$C_v/\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$	$C_p/\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$
N <sub>2</sub>	300	20.82	29.17
O <sub>2</sub>	300	21.09	29.44
CO <sub>2</sub>	300	29.03	37.53

3. さまざまな水溶液における熱の伝わりやすさ

水溶液の加熱は、濃度の決まった水溶液を市販の簡易水熱量計(ケニス社製)に入れ、電流値 2 A、電圧値 3 V の定電流をニクロム線に流し行なった。温度測定は、島津理化器械(株)社製 PS-2125 温度センサーと PS-2100 インターフェイスを用いて PC による自動計測を行なった。

1 wt% 塩化ナトリウム水溶液とイオン交換水(純水)の温度変化を図 3-1 に示す。

図 3-1 より、塩化ナトリウムを少量加えることによって、水溶液の温度が上昇しやすくなったことが明らかとなった。これは、水溶液の密度の大きさが関係していると示唆される。一般に、密度が大きくなると、分子の衝突回数が増え、分子の振動エネルギーが伝わりやすくなり温度が上昇しやすくなると考えられる。次に、水道水とイオン交換水の温まりやすさを比較した。得られた結果を図 3-2 に示す。

図 3-2 より、イオン交換水より水道水の方が温まり

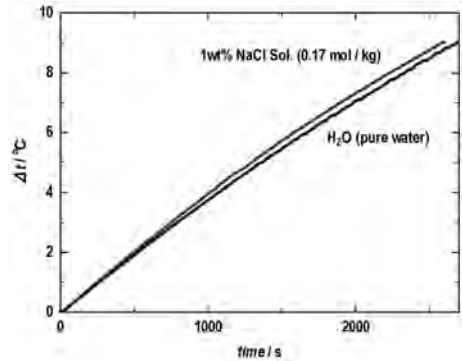


図 3-1 電流値  $I = 2 \text{ A}$ 、電圧値  $E = 3 \text{ V}$  の定電流をニクロム線に流した後の塩化ナトリウム水溶液温度の時間依存性

測定サンプルはイオン交換水(pure water)と 1 wt% 塩化ナトリウム水溶液(NaCl Sol.)である。実験時におけるイオン交換水の量は 300 mL とした。また、図中のデータはすべて測り始めの温度(約 14°C)を基準として、上昇した温度( $\Delta t$ )をプロットしている。

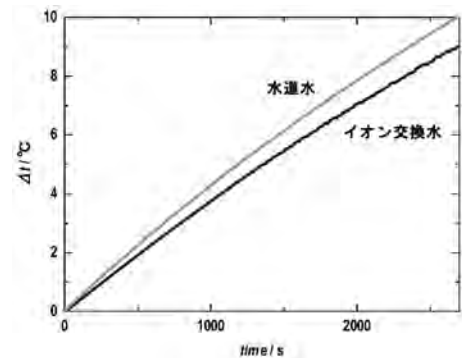


図 3-2 電流値  $I = 2 \text{ A}$ 、電圧値  $E = 3 \text{ V}$  の定電流をニクロム線に流した後の水道水の温度の時間依存性

測定サンプルはイオン交換水と水道水である。実験時における水の量は 300 mL とした。また、図中のデータはすべて測り始めの温度を基準として、上昇した温度( $\Delta t$ )をプロットしている。

やすいことがわかった。これは、先程の塩化ナトリウム水溶液の測定結果と同様に、水道水中に少量の塩化物イオンやカルシウムイオンなどが溶けているためであると考えられる。このため、水道水はイオン交換水に比べて水溶液の密度が増加し、温度が上昇しやすくなったと思われる。

4. さまざまな有機酸と重そうの反応性

今回、重そう 5 g と図 4-1 に示した 6 種類の有機酸 5 g をイオン交換水 40 mL に溶かし気体を発生させた。また、コハク酸、フマル酸、マレイン酸に関しては、重そう 1 g と有機酸 1 g をイオン交換水 40 mL で反応させる実験も並行して行なった。

このとき、これらの有機酸はいずれも水溶液中で、二酸化炭素ガスを発生する。コハク酸と重そうの反応例を図 4-2 に示す。

有機酸と重そうとの反応では、多くの場合気体の二

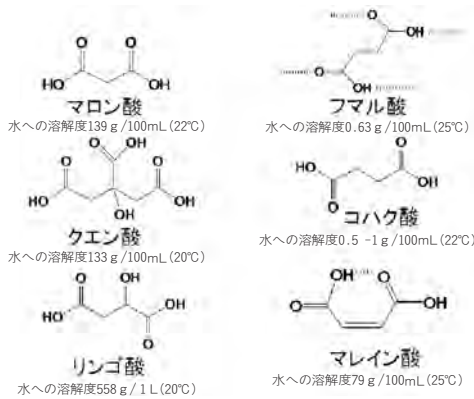


図 4-1 本研究で使用した有機酸と水への溶解度<sup>9)</sup>

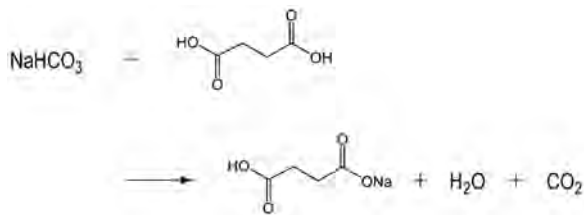


図 4-2 重そうとコハク酸の反応

酸化炭素が発生するため吸熱反応となり、水溶液の温度が下がる。今回、この水溶液の重さや温度について、パソコンを使って連続測定を試みた。反応時の重さは、反応前の容器と水の重さを差し引いた重さである。重さの測定は、電子天秤(エーアンドデイ GX-2000)にPCを接続して行った。温度測定は、島津理化器械社製 PS-2125温度センサーとPS-2100インターフェースを用いてPCによる自動計測を行った。

得られた水溶液の重さの時間変化を図 4-3 に示す。そして、有機酸と重そうとの反応時の様子を図 4-4 に、有機酸の酸性度の違いを表 4-1 に示す。

表 4-1 より、有機酸の酸性度はコハク酸<リンゴ酸<マレイン酸<クエン酸<マロン酸<フマル酸の順に大きくなっている。次に、図 4-3 から、フマル酸とマレイン酸を除く有機酸と重そうの反応では、有機酸

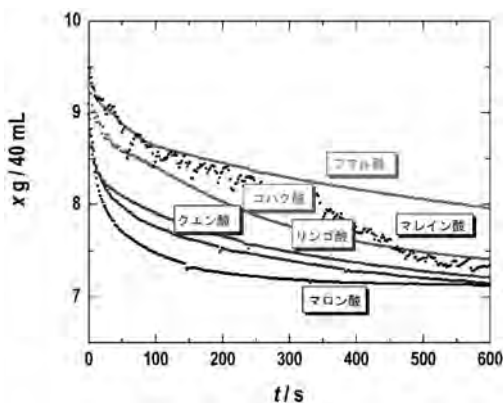


図 4-3 さまざまな有機酸と重そうの反応時における水溶液の重さの時間変化

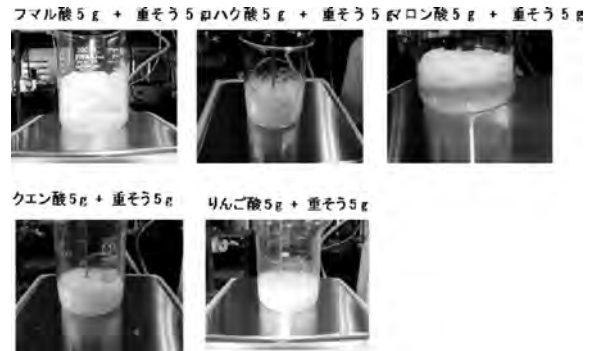


図 4-4 さまざまな有機酸と重そうの反応時の写真

化合物	pK <sub>1</sub>	pK <sub>2</sub>	pK <sub>3</sub>
マレイン酸	1.84	5.83	
マロン酸	2.60	5.29	
クエン酸	2.90	4.35	5.69
フマル酸	3.07	4.56	
リンゴ酸	3.23	4.77	
コハク酸	3.99	5.20	
炭酸	6.11	9.87	

化学便覧5版, pp. 340-341 (2004)

表 4-1 本研究で用いた有機酸のpK値<sup>9)</sup>

における酸の強さが二酸化炭素の発生量と関係していることがわかった。フマル酸は図 4-4 の写真より、溶解度が非常に小さいことがわかる。そのため、反応速度が小さくなり、二酸化炭素の発生量が少なくなったと考えられる。溶解度が小さかったフマル酸とコハク酸について、有機酸と重そうの重さをともに5分の1の量(1g)にして同様の実験を行った。しかし、図 4-3 の結果と同様に、フマル酸の反応速度の方が小さくなった。

有機酸と重そうの反応時における水温の温度変化を図 4-5 に示す。

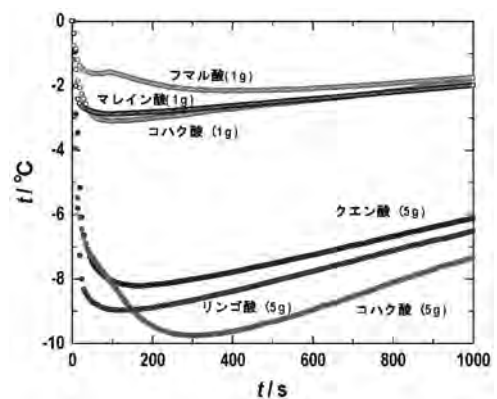


図 4-5 さまざまな有機酸と重そうの反応時における水溶液の温度変化

図 4-5 より、5gの有機酸と重そうとの反応で8-10°C、1gの有機酸と重そうで約2°C、水溶液の温度が下がることがわかった。温度変化では、有機酸による大きな違いは見られなかった。



## 5. 塩化ナトリウム、硝酸アンモニウム、砂糖の溶解時における温度変化

今回、塩化ナトリウム(NaCl)(食塩)、硝酸アンモニウム( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )(片山化学)、市販の砂糖を1、10、20wt%の水溶液の濃度になるようにイオン交換水で調製した。温度測定は、島津理化器械社製PS-2125温度センサーとPS-2100インターフェースを用いてPCによる自動計測を行った。

1、10、20wt%塩化ナトリウム水溶液、硝酸アンモニウム水溶液、砂糖水における溶解時の温度変化をそれぞれ図5-1、2、3に示す。

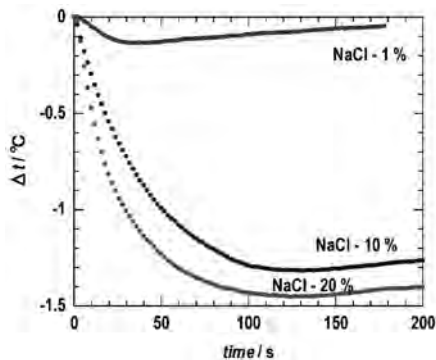


図5-1 1、10、20%塩化ナトリウム(NaCl)水溶液における溶解時の温度変化

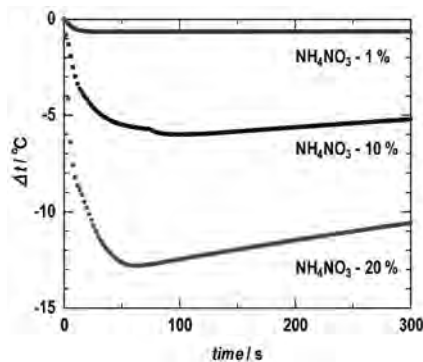


図5-2 1、10、20%硝酸アンモニウム( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )水溶液における溶解時の温度変化

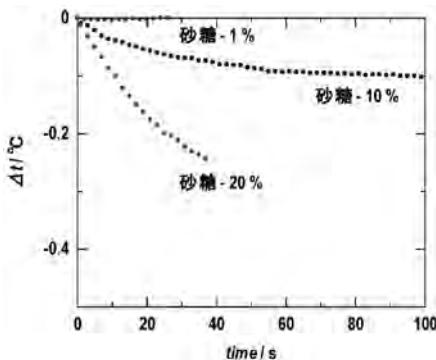


図5-3 1、10、20%砂糖水における溶解時の温度変化

塩化ナトリウム水溶液では、20%濃度で水溶液の温度が1.5°C(図5-1)、硝酸アンモニウム水溶液では、20%濃度で13°C下がった(図5-2)。一方、砂糖水の温度は、20%濃度で、わずか0.2°C下がっただけであった(図5-3)。これらの実験結果は、表5-1に示した溶解熱によって説明できる。溶解熱が負の値を示すときは吸熱反応であり、絶対値が大きいほど吸熱量が大きいと言える。したがって、本研究では溶解熱の最も小さな硝酸アンモニウム水溶液の温度が最も下がると予想され、次に塩化ナトリウム、砂糖水となる。今回の測定結果はこれらの予想と完全に一致した。

表5-1 砂糖、塩化ナトリウム、硝酸アンモニウムの溶解熱<sup>9)</sup>

物質	溶解熱/ $\text{J g}^{-1}$
砂糖(ショ糖)	-18.9
塩化ナトリウム	-66.4
硝酸ナトリウム	-321.1

次に、果物電池で起こる反応のpH依存性をPC連動型のpHメータを用いて測定した。今回測定した果物はオレンジ、リンゴで、比較のため市販のクエン酸についても同様の方法で行った。極板は最も起電力が大きいと予想される銅板と亜鉛板の組み合わせで実験を行った。そして、パソコン連動型pHメータを使い、銅板側、亜鉛板側のpHをそれぞれ測定した。その結果、長時間反応させると亜鉛板が溶け出すことがわかった。さらに、発生した水素ガスが電極で酸化されるため水素イオンが発生し、両極のpHが少しずつ下がることが本実験から明らかとなった。

また、我々は水の電気分解時における温度変化をPC連動型の温度センサーを用いて測定することも試みた。測定に使用した電極は、陽極、陰極ともに炭素棒を使用した。市販の電気分解装置(ケニス社製)にイオン交換水を入れ、濃硫酸あるいは水酸化ナトリウムを加え、24Vの電圧を加えた。そのときの電極付近の水温の変化を、パソコン連動型温度センサーを用いて詳細に測定した。

得られた測定結果は、電気分解することによって電極付近の温度が少し上昇することが確認できた。この温度上昇は、金属の電気抵抗と同じで、移動するイオンと溶媒の水分子との衝突による振動が原因であると考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、身近な材料を用いてさまざまな化学物質の温度変化や反応時の重さを測定した。その結果、PCを用いることにより連続的に精密なデータを収集することができ、ごくわずかな変化や違いを見出すことに成功した。今後、これらのデータを教育現場で実

践していこうと考えている。

本研究は科研費(21500875)の助成を受けたものである。

#### 参考文献

1. 三浦登, 岡村定矩, 新しい科学 1 下, 東京書籍, pp. 95(2010).
2. 井口洋夫, 木下實, 化学 I, 実教出版, pp.85(2009).
3. 小川久美子, 岡本航大, 鈴木良朋, 木村憲喜, 和歌山大学

教育学部紀要(自然科学), **60**, 37(2010).

4. 木村憲喜, 石塚互, 和歌山大学教育学部紀要(自然科学), **61**, 27(2011).
5. 吉川弘之他, わくわく理科 4 下, 啓林館, pp.28(2005).
6. 朝日小学生新聞編集、わくわく理科タイム, 東洋館出版社, pp.119(2006).
7. 滝川洋二, 理科の実験, 成美堂出版, pp.48(2011).
8. 滝川洋二, 知地国夫, 白敷哲久, 原口智, 古野博, 吉村利明, のぼ, 小学館, pp.144(2009).
9. 日本化学会編, 5 版化学便覧基礎編II, 丸善(2004).