

コンピューターを活用した凝固点降下測定の実践例

A Case Study of Freezing-Point Depression Using a Computer

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化学教室)

2009年10月5日受理

Abstract

We intend in the present study to automatically measure the freezing-point depression of sodium chloride, ethanol, and acetic acid using a computer. Observed K_f values were mostly coincided with the reported data. Moreover, we also succeeded in determining the freezing-point depressions of the hard water, seawater, vinegar, and refreshing drink in our life. The results of the hard water and seawater of an electrolytic solution were closely connected with the electrical conductivity data.

1. 序

近年、中学校や高等学校の教科書で、温度センサーを使った沸点や凝固点、反応熱などの測定の実験が探求活動の中で紹介されている。^{1,2)} アルコール温度計や水銀温度計などで得られる温度は誤差が大きく、正確に温度を測る際には、温度センサーが有効である。さらに、凝固点降下をテーマに用いた実験はセンサーとコンピューターを組み合わせることにより、比較的簡単にデータを処理し凝固点を決定することが可能となる。

また、教科書³⁾の実験に載っている溶媒のほとんどがベンゼンであるが、ベンゼンは非常に有毒な化合物である。そこで、今回、溶媒に水を用いた実験をいくつか試みてみた。さらに、身の回りにある海水や食酢、醤油、清涼飲料水などの凝固点も同様の方法を用いて測定してみた。

2. 実験

今回、水（イオン交換水）に、種々の溶質（塩化ナトリウム、酢酸、エタノールなど）を溶かし凝固点を測定した。

寒剤には、氷水-食塩を用いて実験を行った。温度測定データは、島津理化器械(株)製PS-2125温度センサーとPS-2100 インターフェイスを用いてコンピューターによる自動計測を行った（図1）。

3. 結果と考察

まず、温度センサーを使ってオルガノ株式会社製のカートリッジ純水器G-10型で得たイオン交換水の凝固点 (T_f / K) を正確に測り取った。得られた冷却曲

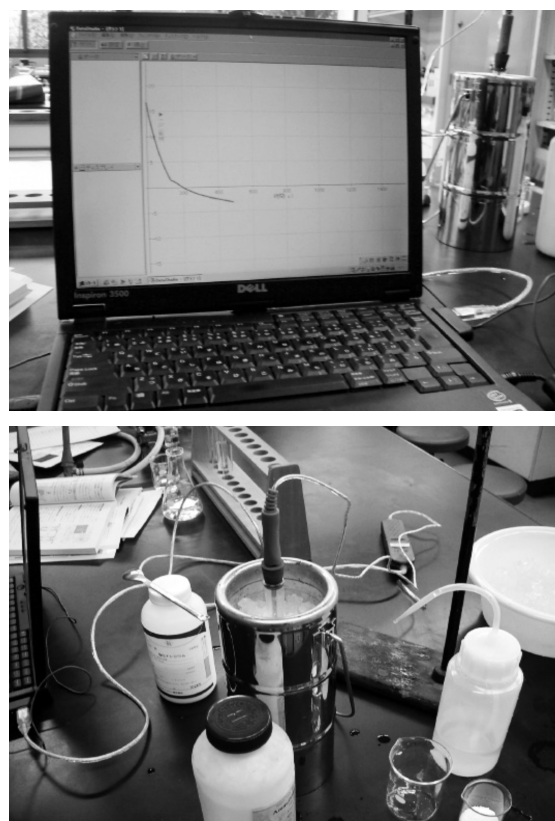


図1. コンピューターによる自動計測と温度センサーを使った測定の様子

線を図2に示す。この冷却曲線から、凝固点を見積もると $T_f = 273.13$ K となった。この値は教科書で示されている値 ($0\text{ }^\circ\text{C} = 273.15$ K) にほぼ一致した。よって、この測定方法は非常に精度の良い方法であるのがわかった。

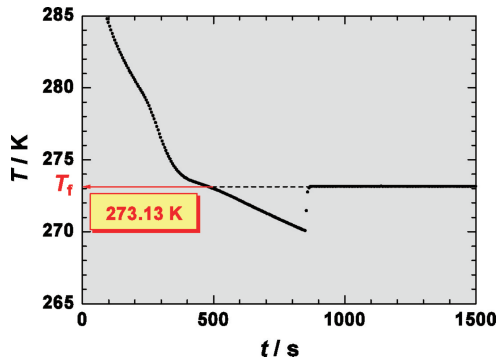


図2. コンピューターによる自動計測によって得られた純水（イオン交換水）の冷却曲線

次に、質量モル濃度 0.2 mol kg^{-1} の塩化ナトリウム水溶液において得られた冷却曲線を図3に示す。

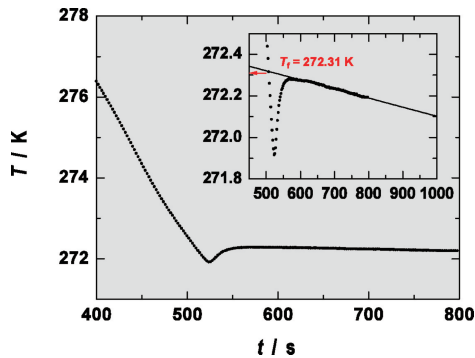


図3. 質量モル濃度 0.2 mol kg^{-1} の塩化ナトリウム水溶液において得られた冷却曲線

得られた冷却曲線から凝固点を見積もったところ、 $T_f = 272.31 \text{ K}$ となった。パソコンによってデータを自動的に採取しているので、測定点が多く正確に凝固点を決定することが可能である。さらに、さまざまな質量モル濃度の溶液を作製し、凝固点降下度を測定した結果、図4のようなグラフが得られた。

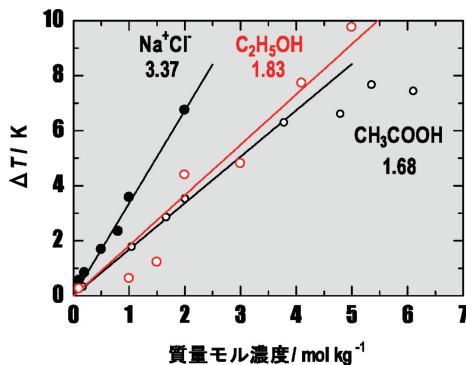


図4. 塩化ナトリウム、エタノール、酢酸水溶液における凝固点降下度と質量モル濃度の関係

図4は、塩化ナトリウム (Na^+Cl^-)、エタノール

($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)、酢酸 (CH_3COOH) 水溶液における凝固点降下度の濃度依存性の違いを表したものである。塩化ナトリウム、酢酸水溶液の測定データはばらつきが小さく一直線上に現れた。一方、エタノールのデータはばらつきが大きくなった。さらに、これらのデータから得た直線の傾きを比較すると、塩化ナトリウムとエタノール、酢酸とでは大きく異なった。これは、塩化ナトリウムがすべて電離しているためである。得られた直線の傾きから各々の化合物の K_f 値を見積もったところ、1.68 (塩化ナトリウム、酢酸)、1.83 (エタノール) となり、文献値1.86に近い値となった。

また、酢酸水溶液では質量モル濃度が約 5 mol kg^{-1} 以上から凝固点降下度にあまり大きな変化が見られない。これは、高濃度の酢酸水溶液では、酢酸分子間に分子間水素結合などの相互作用が強く働くためであると思われる。

最後に、身の回りにおけるさまざまな水溶液の凝固点と電気伝導度 (σ) を同時に測定した。電気伝導度を測定することにより、水溶液中にイオンがどの程度溶け込んでいるかを相対的な情報として得ることができる。

得られた結果を図5と表1に示す。

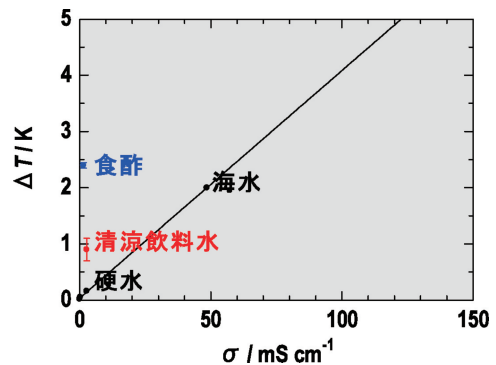


図5. さまざまな水溶液における電気伝導度 (σ) と凝固点降下度 (ΔT) との関係

表1より、イオン交換水、水道水、ミネラルウォーター（軟水）の凝固点はほぼ 0°C であることがわかった。一方、海水の凝固点は -1 から -2°C であることが示された。海水中の主要成分は塩化ナトリウムであり、塩化ナトリウム量は約 0.5 mol kg^{-1} である。⁴⁾ これを考慮すると、海水の凝固点降下度は図4から予想される結果とほぼ一致した。

日本酒の凝固点は -6.4°C であり、図4のエタノールの直線関係から日本酒中のエタノール成分の濃度を見積もったところ、容量パーセント濃度が約10%となった。この値は表示濃度13-14%の値に近く、溶け込んでいるアルコールの量を簡単に測定できることがわかった。

さらに、食酢についても同様の実験を行い、図4の酢

表 1 さまざまな水溶液の凝固点と電気伝導度

	凝固点/K(°C)	伝導度(σ)/mS cm ⁻¹ (21°C)
イオン交換水	273.13(-0.02)	0.00220
水道水(和歌山市)	273.10(-0.05)	0.1887
ミネラルウォーター(軟水)	273.15(0.00)	0.242
海水(和歌山市和歌浦)	271.2(-2.0) 271.85(-1.30)	48.5
深層水(硬水)(室戸海洋深層水)	272.99(-0.16)	2.67
清涼飲料水(スポーツドリンク)	≈272.3(≈-0.9)	2.67
日本酒	266.75(-6.40)	0.628
食酢	270.75(-2.40)	1.48
醤油	-----	105

酸の直線関係から食酢中における酢酸の容量パーセント濃度を見積もったところ約8%となった。表示濃度が4.2%であり、今回実験で得られた値は少し大きくなった。醤油については、凝固点を正確に決定することができなかった。

次に、図5の凝固点降下度と伝導度の関係を見ると、純水や硬水、海水の測定データが一直線上に現れた。これは、硬水や海水に溶け込んでいる主成分が電解質であるためである。一方、食酢や清涼飲料水に溶け込んでいる主成分は非電解質であるため、測定点が直線上から大きく離れた。これらの実験結果から、凝固点や伝導度を測定することにより、電解質と非電解質の違いや電離度なども議論できることが本実践研究から明らかとなった。

4. まとめ

今回、さまざまな溶質(塩化ナトリウム、酢酸、エタノール)について、簡易型温度センサー(測定範囲：

-35~135°C)を用いて凝固点の質量モル濃度依存性を測定した結果、 K_f 値が1.68(塩化ナトリウム、酢酸)、1.83(エタノール)となり、文献値1.86に近い値が得られた。

高濃度の酢酸水溶液では、凝固点が予想される温度に比べ小さい値が得られた。この理由として、酢酸分子間の相互作用が大きく起因しているものと思われる。

さらに、今回、海水や食酢、清涼飲料水などの凝固点を測定することに成功したが、醤油の凝固点を正確に決定することはできなかった。

参考文献

1. 未来へひろがるサイエンス1分野上, 啓林館, pp.61(2007).
2. 化学II, 啓林館, pp.269(2004).
3. 化学II, 東京書籍, pp.130(2003).
4. J. アンドリューズ, P. プリンブルコム, T. ジッケルズ, P. リス, 地球環境化学入門, シュプリンガー・フェアラーク東京, pp.147(1997).