

音叉振動式粘度測定法を用いたスラリーアイス粘度の解明

ものづくり先端技術研究室 1180179 横山 皓平

1. 結論

スラリーアイスとは、粒子径が 0.2mm 程度の微少な氷粒子と水溶液が混在した流動体である。1.0wt%~2.0wt%の NaCl 水溶液または希釈海水からスラリーアイスを生じると、凝固点降下によりスラリーアイスの温度を、 -0.6°C ~ -1.8°C の間で調整することができる。1wt%の NaCl 水溶液から氷充填率 (以下、Ice Packing Factor :*IPF*)20~30wt%のスラリーアイスを生じると、スラリーアイスの温度を -0.8°C ~ -0.9°C とすることができ、魚介類の凍結温度に近い温度で凍結させず保存することが可能となる。また、スラリーアイスは $IPF \leq 30\text{wt}\%$ では、攪拌操作を行うことで流動状態となり、ポンプにて移送することが可能である。しかし、スラリーアイスは使用する水溶液、*IPF*、氷粒子径など様々な要素があり、物理的性質については解明されていない点が多い。本研究では、重要な物性値である粘度について着目した。スラリーアイスの流動特性については、*IPF* の変化によってビンガム流体や、擬塑性流体などと言われている。スラリーアイスの粘度を測定し、流動特性を把握することで、スラリーアイス製造装置の最適な設計を行えるようになるため、解明が求められている。

スラリーアイスの粘度測定において、水溶液と氷粒子の密度差による浮遊や氷粒子の凝集によりサンプル容器内の氷粒子の分布が一般的な状態とならないことや、サンプリングした際の *IPF* が把握できない、また、氷粒子が融解してしまうことで正確な測定ができないという課題がある。本研究では、サンプル容器内が一般的な状態で、氷粒子の融解が生じない粘度測定方法を検討し、スラリーアイスの粘度の解明を目的とする。本研究の取り組みは、試料が攪拌、流動している状態でも測定することが可能な音叉振動式粘度測定法を用いて、攪拌状態における測定への影響について検討した。

2. 攪拌による測定値の変化

2.1 実験目的

音叉振動式粘度測定法には、攪拌により流動している状態でも粘度の測定が可能という特徴がある。しかし、通常は、試料が静止した状態で測定される。従って、流動している状態では実際の測定に影響があるのではないかと考えた。そこで本実験では、攪拌状態で粘度既知の蒸留水と 10wt%刻みのグリセリン水溶液 10~50wt%を作成し、測定を行い、攪拌による測定への影響を明らかにすることを目的とした。

2.2 実験方法

実験は図 1 のように、粘度が既知である蒸留水をマグネティックスターラ(CORNIG 製,PC-220)と $\phi 8 \times 50\text{mm}$ の回転子を用いて攪拌しながら、音叉振動式レオメータ(エー・アンド・デイ製, RV-10000A)により粘度の測定を雰囲気温度 20°C で行った。スターラには 1~10 までの目盛りがあり、それにより回転数を変更し、各回転数で測定を行った。音叉振動式粘度測定法では、粘度と密度の積である静粘度が測定されるため、測定終了後、密度計(Anton Paar 製, AMD35)により密度

を測定し、測定値を密度で除すことで粘度を算出した。実験は各濃度、各回転数につき 3 回行った。

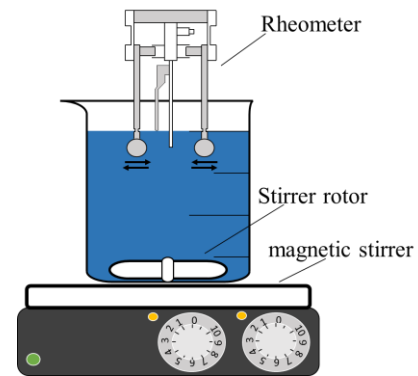


Fig.1 Schematic of experimental set up

2.3 実験結果と考察

回転数 3.4 s^{-1} までの実験結果を図 2 に示す。すべての試料に対して、回転数の上昇とともに測定値も上昇するという結果が得られた。回転数が 3.4 s^{-1} となる目盛り 5 までは測定値の上昇は見られるが、安定して測定することができた。しかし、回転数が 4.7 s^{-1} となる目盛り 6 以上では、試料の液面が変動し、測定することができなかった。したがって、液面が変動しない程度の攪拌状態で測定をすることが可能であるが、測定値に対して補正、または測定値の変化から粘度を予測する必要があることが分かった。

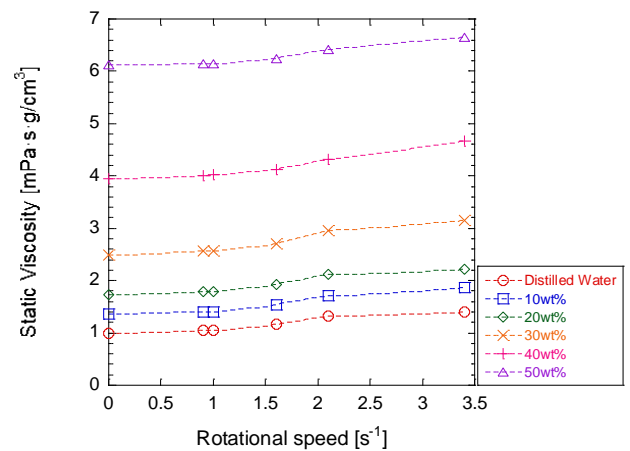


Fig.2 Variation of measured values by stirring

音叉振動式レオメータは、一定の振幅で一定の振動速度を与える加振力から粘度を求めている。音叉振動式レオメータの測定理論モデルは式(1)で表される²⁾。測定する試料によって変化する値は、加振力と粘度、密度である。

$$\frac{F}{Ve^{i\omega t}} = A\sqrt{\pi f \mu \rho} \quad (1)$$

F : 加振力(N), $Ve^{i\omega t}$: 振動速度(m/s), A : 振動子表面積(m²), f : 振動周波数(Hz), μ : 液体の粘度(Pa·s), ρ : 液体の密度(kg/m³)

ここで、測定された静粘度の増加量を ξ とおくと、式(1)より真の静粘度は式(2)で表され、式(2)の右辺第1項は測定された静粘度を表している。

$$\mu \rho = \frac{1}{(Ve^{i\omega t})^2 \pi f} \cdot \left(\frac{F}{A}\right)^2 - \xi \quad (2)$$

静粘度の増加量と回転数との関係を図3に示す。回転数が3.4s⁻¹ではばらつきが見られるが、すべての濃度で静粘度の増加量は同様の傾向を示している。したがって、各回転数における静粘度の増加量の平均値を求め、各回転数で測定された静粘度より、攪拌による静粘度の増加量の平均値を除き、補正した。20wt%までの結果を図4、30~50wt%の結果を図5に示す。

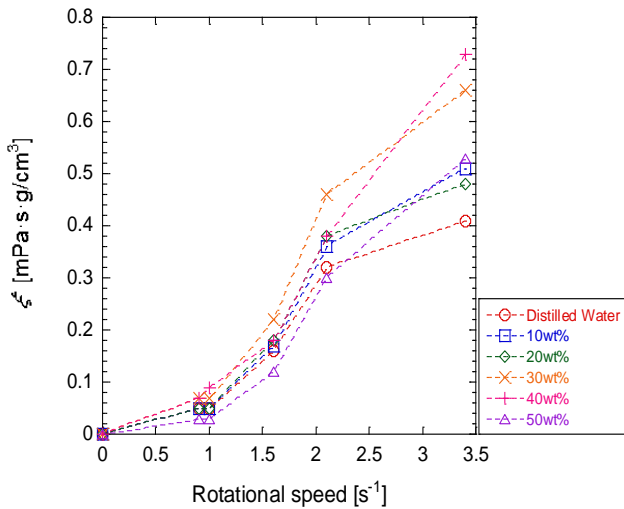


Fig.3 Increase in static viscosity by stirring

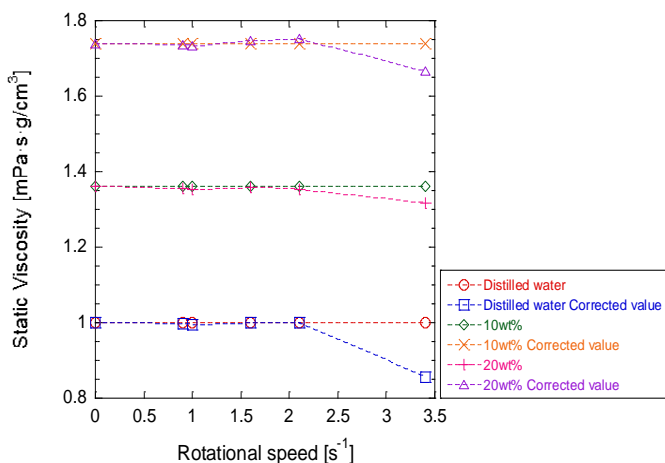


Fig.4 True value and corrected experiment value of 0,10,20wt%

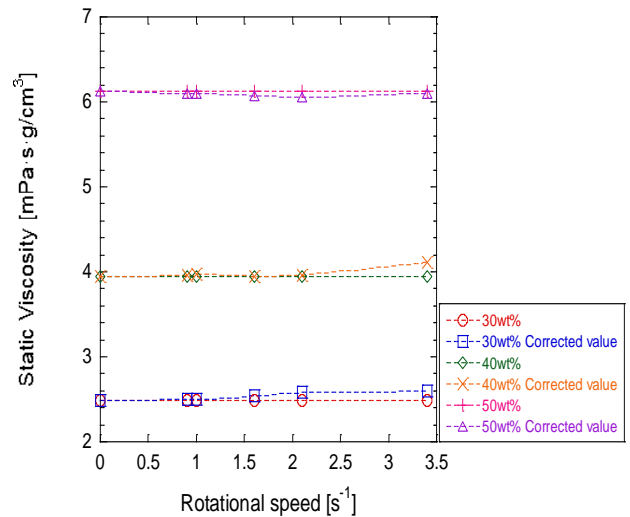


Fig.5 True value and corrected experiment value of 30,40,50wt%

すべての濃度において回転数2.1s⁻¹までは誤差が見られない。しかし、3.4s⁻¹では少し誤差が見られる。これは、回転数が3.4s⁻¹で増加量にばらつきがあることと、増加量の平均値をとっているため、粘度の低い20wt%までの試料では30~50wt%までの結果と比べ、誤差が出ていると考える。

3. 結言

本研究では、試料が攪拌、流動している状態でも測定することが可能な音叉振動式粘度測定法を用いて、攪拌状態における測定への影響について検討および実験を行った。実験結果より、攪拌することにより、静粘度の測定値が上昇することが分かった。また、各回転数における増加量の平均値より補正をすることができた。粘度の低い試料では回転数3.4s⁻¹で誤差が見られるが、スラリーアイスが水溶液と氷粒子が混在した流動体であるので、本実験で使用した最も粘度の低い蒸留水より、低IPFであっても粘度は高くなると考えられるので、誤差は小さいと考える。

しかし、本研究はニュートン流体である蒸留水とグリセリン水溶液を用いているため、氷粒子が存在するスラリーアイスでは、異なる傾向を示す可能性がある。スラリーアイスは非ニュートン流体であると言われているため、今後はビンガム流体や擬塑性流体などの非ニュートン流体を攪拌状態で測定し、その測定値の変化の傾向を把握することにより、スラリーアイスの粘度も攪拌状態で測定を行い、補正をすることが可能ではないかと考える。本研究では、スラリーアイスの粘度の測定に至らなかったため、今後の課題としてスラリーアイスの粘度測定を行い、スラリーアイスの粘度について検討する。

参考文献

- 1) 松本泰典 生鮮魚介類の鮮度を保持するためのスラリーアイス製造装置の開発
- 2) 出雲直人 小岩井淳志 静粘度 [sv] と振動式粘度計について (2007) 第24回センシングフォーラム