

1. 海洋深層水の凍結による Mg 高濃度ミネラル液の生産と NaCl の除去

○手塚正博 (ICE2.0 LLC)

1. 栄養素ミネラル Mg、Ca 及び Na

Mg の軽度・中度の欠乏は、血清濃度、または食事摂取量基準では知ることができない (e.g. Costello 2017)。一方、最近 Mg の細胞内での働きの解明が進み、Mg が免疫機能 (ウイルス等の防御) へ大きく関係していることが明らかにされてきている (e.g. de Baij et al., 2015)。

Ca の不足は、非常に多くの疾患の原因となる。

Na は、世界的に過剰摂取が警告 (WHO) されているミネラルである。

2. コロナウイルスと Mg、Ca、K 及び Na

Mg の摂取不足は、新型コロナウイルス感染を重症化させることが指摘されている (Oliver M et al., 2020)。

新型コロナウイルス感染による重症度が、Ca、K 及び Na の血清濃度の低下と関係していることが報告されている (Lippi G et al., 2020)。

3. 海水の凍結と Mg、Ca、K 及び Na

海水 (塩分濃度 3.5wt%) はミネラル Mg, Ca, K 及び Na (10.5g/kg) 含んでいる。海水を低温度で冷却した場合、海水温度 -1.8°C から氷を析出し (濃縮)、また -6°C (塩分濃度 10wt%) から Na_2SO_4 を析出し (Ca を保持し、かつ Na が低減する)、さらに -22.9°C (塩分濃度 24.8wt%) から $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を多量に析出する (Na が低減する)。左記過程において濃縮液の Mg, Ca 及び K の濃度は Cl 濃度 (≒ 水分の除去割合) に正確に比例して増加する。なお Ca は、左記冷却濃縮液の数ヶ月の常温放置で (CaSO_4 の析出により) 少し減少する (濃縮液塩分濃度 20wt% で Ca が約 12% 減少する) (馬野ら 1958)。この低温度における海水の結晶析出の特性は、Mg, Ca 及び K を多量に含み、 $\text{Ca/Mg} < 2$ (Ca の摂取に必要) で、かつ (Ca が) 海水の塩辛さ・苦味を抑え、さらに Na の低減された良質で天然のミネラル濃縮液が得られる可能性を示している。

4. 凍結濃縮による Mg 高濃度液の生産

溶液の凍結による濃縮技術は省エネルギーな技術である (水溶液の凝固潜熱は蒸発潜熱の 1/7)。しかし、装置コストが非常に高く普及していない。

4.1 試作凍結濃縮装置の最適稼働条件

本研究では、凍結濃縮技術において装置コストに優位性を持つ冷却回転円筒氷液混合物生成機 (氷生成機) 及び差速掻取刃分離機から構成される装置を試作・開発した (特許 6533936)。この装置の稼働条件は、海洋深層水原液濃度、氷生成機回転円筒の冷却温度・回転速度、分離機の回転速度・氷液混合物滞留時間及び装置冷却室の温度であり、またその稼働結果は、濃縮液濃度、溶質回収率及び処理量である。上記の装置の稼働条件と結果の多変量解析及びその programming 計算により濃縮液濃度を出来るだけ高く、かつ溶質回収率が 80% 以上となる (最適) 稼働条件を求めた。その結果、原液濃度 5wt% (Na 濃度 14g/kg)、氷生成機回転円筒の温度 -20~-22°C において濃縮液濃度 13.6-14.2wt%、溶質回収率 80-87%、処理量 22.6-23.2kg/h を得た。なお、上記最適稼働条件の原液濃度を 5wt% としたのは、既存の海洋深層水事業会社は硬度液 (低 Mg 及び Ca 濃度) を生産し、この時 RO 膜からの塩分濃度約 5 wt% の濃縮深層水を廃棄している事による。

4.2 再処理

上記装置により得られた塩分濃度 13.6-14.2wt% 液 (Na 濃度約 40g/kg) からのさらなる高濃度への濃縮 (Mg, Ca 及び K は保持) は、左記溶液を原液として凍結濃縮処理をさらに行う事により可能となるように思われる。この再処理において海水は -22.9°C (Na 濃度 70g/kg) で共晶点に達し、氷と同時に $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を多量に析出し始め、Na (NaCl) 濃度が急激に低下する (氷点 -30°C 濃縮液の Na 濃度は 30g/kg である)。なお、この再処理を蒸発濃縮とした場合、 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ を析出し Ca 濃度が減少することになる (馬野ら 1959)。