

数値計算によるイオンかん水濃縮特性値の算出

長谷川正巳

要 旨

イオンかん水の濃縮特性値の算出に必要な物性値を実験式で表すことにより、一連の計算ロジックを数式化し、簡便に濃縮特性値を算出可能な数値計算法を提案した。

1. ま え が き

イオン交換膜製塩法では、海水の温度変化、イオン交換膜電気透析装置の操作条件によって、得られるかん水の純塩率、塩分濃度が変化する。そのため、せんごう工程における操作条件をかん水組成によって適切に決定しなくてはならない。イオン製塩数値表¹⁾は、イオンかん水を苦汁まで濃縮した場合の濃縮特性値を表から読み取ることができ、簡便であるが、表の読み取りに按分計算が必要など、コンピュータなどによる数値計算法としては適していない。そこで、本報では、まず濃縮特性値の算出に必要な物性値を数式化し、それより濃縮特性値を数値計算で算出可能な方法を検討したので報告する。

2. 物性値の数式化

2.1 塩化ナトリウム飽和濃度 C_N [g/kg] (塩化カリウム飽和)

イオン製塩数値表で使用されている濃縮データは松尾ら²⁾が報告したもので、本報でも採用した。データは25, 45, 70, 90 および 110℃で測定されたものであるが、それを塩化マグネシウムと塩化カルシウムの合計濃度 (以降 $MgCl_2 + CaCl_2$ 濃度と略記) を説明変数とし、それに温度による補正を加えると (1) 式のようなになる。

$$C_N = 8.653 \times 10^{-4}C + (2.135 \times 10^{-3}T - 0.966)C + 212.17 - 0.417T \quad (1)$$

ただし、

C : $MgCl_2 + CaCl_2$ 濃度 [g/kg]

T : 温度 [℃]

(1) 式を用いて算出した塩化ナトリウム飽和濃度 C_N と松尾らの測定値を点綴して Fig. 1 に示すが、相関係数 0.99 以上と良好な相関が得られた。これにより 25℃～110℃の範囲で任意の温度、任意の $MgCl_2 + CaCl_2$ 濃度におけ

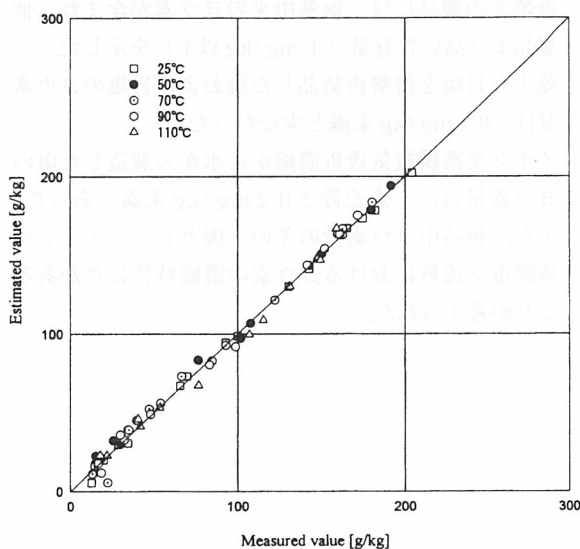


Fig. 1 Estimation results of saturated concentration of sodium chloride

る塩化ナトリウム飽和濃度を算出できる。

2.2 塩化カリウム飽和濃度 C_K [g/kg] (塩化ナトリウム飽和)

上記と同様、 $MgCl_2 + CaCl_2$ 濃度との関係に温度による補正を加えると、(2) 式で表すことができる。

$$C_K = 76.42 + 1.386T - (0.239 + 2.154 \times 10^{-3}T)C \quad (2)$$

(2) 式を用いて算出した塩化カリウム飽和濃度 C_K と実測値を点綴して Fig. 2 に示すが、相関係数 0.99 以上と良好な相関が得られ、塩化ナトリウム飽和濃度同様に 25℃～110℃の範囲で任意の温度、任意の $MgCl_2 + CaCl_2$ 濃度における塩化カリウム飽和濃度を算出できる。

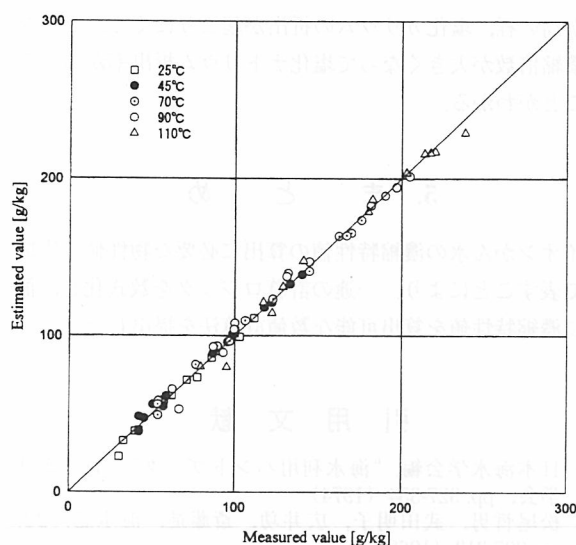


Fig. 2 Estimation results of saturated concentration of potassium chloride

3. 計算手順

3.1 塩化カリウム析出点 C_c [g/kg] の計算

まずかん水中の塩化カリウム濃度 K_0 と $MgCl_2 + CaCl_2$ 濃度 C_0 の比を塩化カリウムの濃縮線の傾きとして計算し、この濃縮線 (K_0 / C_0) C と (2) 式で表される塩化カリウム飽和濃度線との交点を塩化カリウム析出点における

$MgCl_2 + CaCl_2$ 濃度 C_c とする。すなわち、

$$C_c = (76.42 + 1.386T) / \{K_0 / C_0 + (0.239 + 2.154 \times 10^{-3} T)\} \quad (3)$$

が得られる。

3.2 濃縮倍数 χ [-] の算出

濃縮倍数 χ は塩化カリウム析出点においてかん水が何倍まで濃縮されているかを表す指標と定義し、かん水中の $MgCl_2 + CaCl_2$ 濃度 C_0 と塩化カリウム析出点における $MgCl_2 + CaCl_2$ 濃度 C_c から (4) 式によって算出する。

$$\chi = C_c / C_0 \quad (4)$$

3.3 塩化ナトリウム析出率 D_R [%]

塩化ナトリウム析出率 D_R は塩化カリウム析出点における塩化ナトリウム飽和濃度 N_c を (1) 式を用いて求め、(5) 式により算出する。

$$D_R = \{N_0 - N_c / \chi\} \cdot 100 / N_0 \quad (5)$$

3.4 かん水 1 kg 当たりの塩化ナトリウム析出量 S_N [g/kg-brine]

かん水 1 kg 当たりの塩化ナトリウム析出量 S_N はかん水中の塩化ナトリウム濃度 N_0 と、(5) 式で得た塩化ナトリウム析出率 D_R から求めることができる。

Table 1 The example of calculation of a concentration characteristic value

濃縮 温度 [°C]	かん水組成 [g/kg]									KCl析出点における組成 [g/kg]				濃縮特性値			
	CaSO ₄	CaCl ₂	MgCl ₂	KCl K ₀	NaCl N ₀	MgCl ₂ + CaCl ₂ C ₀	H ₂ O W ₀	K ₀ / C ₀	純塩率 P [%]	KCl K _c	NaCl N _c	MgCl ₂ + CaCl ₂ C _c	H ₂ O W _c	濃縮 倍数 χ [-]	NaCl 析出率 D_R [%]	NaCl 析出量 S_N *1	蒸発 水分量 D_w *2
110	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	124.18	47.86	219.99	607.97	22.87	98.77	168.19	4.68
105	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	121.68	49.21	215.57	613.55	22.41	98.71	168.08	4.67
100	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	119.12	50.73	211.04	619.11	21.94	98.64	167.97	4.67
95	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	116.51	52.42	206.42	624.64	21.46	98.57	167.84	4.67
90	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	113.85	54.29	201.70	630.16	20.97	98.48	167.69	4.67
85	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	111.13	56.34	196.88	635.65	20.47	98.38	167.53	4.67
80	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	108.35	58.58	191.95	641.12	19.95	98.28	167.34	4.67
75	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	105.50	61.03	186.91	646.56	19.43	98.16	167.14	4.66
70	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	102.59	63.68	181.76	651.97	18.89	98.02	166.91	4.66
65	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	99.62	66.55	176.49	657.34	18.35	97.87	166.65	4.66
60	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	96.58	69.65	171.10	662.68	17.79	97.70	166.36	4.66
55	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	93.46	72.98	165.58	667.98	17.21	97.51	166.04	4.66
50	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	90.27	76.56	159.93	673.24	16.62	97.30	165.67	4.66
45	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	87.01	80.40	154.15	678.45	16.02	97.05	165.26	4.66
40	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	83.66	84.51	148.22	683.61	15.41	96.78	164.80	4.66
35	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	80.24	88.89	142.15	688.72	14.78	96.47	164.26	4.66
30	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	76.73	93.57	135.93	693.76	14.13	96.11	163.66	4.67
25	1.79	1.59	8.03	5.43	170.28	9.62	812.88	0.56	91.00	73.13	98.56	129.56	698.75	13.47	95.70	162.96	4.67

*1 S_N [g/kg-brine]

*2 D_w [t/t-NaCl]

$$S_N = N_0 \cdot D_R / 100 \quad (6)$$

3.5 塩化ナトリウム析出 1 t 当たりの蒸発水分量 D_W [t / t-brine]

塩化カリウム析出点における水分量 W_C から (6) 式を用いて算出できる。

$$D_W = (W_0 - W_C / \chi) / (N_0 - N_C / \chi) \quad (7)$$

4. 使 用 例

Table 1 は上記計算法を表計算ソフトウェア (EXCEL 2000) に組み込み、イオン製塩数値表で例示されたかん水組成¹⁾を対象に、濃縮温度が 25℃ から 110℃ まで変化した場合の濃縮特性値を示したものである。本表より濃縮温

度が高い程、塩化カリウムの析出が起こりにくく、そのため濃縮倍数が大きくなって塩化ナトリウム析出率が高くなることがわかる。

5. ま と め

イオンかん水の濃縮特性値の算出に必要な物性値を実験式で表すことにより、一連の計算ロジックを数式化し、簡便に濃縮特性値を算出可能な数値計算法を提出した。

引 用 文 献

- 1) 日本海水学会編, “海水利用ハンドブック”, 日本海水学会, pp. 327-354 (1974)
- 2) 松尾哲男, 武田明子, 広井功, 斎藤進, 海水誌, 22, pp. 307-313 (1968)

Abstract

Numerical Calculation of the Concentration Characteristic Value of Brine Obtained by Ion-Exchange Membrane Method

Masami HASEGAWA

By expressing a physical-property value required for calculating the concentration characteristic value of brine obtained by an ion-exchange membrane method with an empirical formula, a series of logical calculations was made to constitute the formula, and a numerical computation method that can simply compute the concentration characteristic value was proposed.