

二成分系溶液の組成とそれらの相互変換式に関する再検討 (2)

— 濃度-コンテンツおよび濃度-分率の相互変換 —

中 川 徹 夫

Revisiting Compositions of Binary Solutions and Their Interconversion Equations, Part 2
— Interconversions of Compositions in Concentrations-Contents and Concentrations-Fractions —

NAKAGAWA Tetsuo

要 旨

我々はすでに二成分系溶液における4種類の濃度間、3種類のコンテンツ間、3種類の分率間および3種類の比間の関係について検討し、これらに関する相互変換式を得た。本研究では、継続して濃度-コンテンツおよび濃度-分率間の相互変換式を系統的に誘導した。誘導した式の有効性を検証するため、エタノールの質量分率が0.500のエタノール水溶液を例にとり、この値をモル濃度、数濃度、質量濃度、および体積濃度へ、さらに、エタノールのモル分率0.281および体積分率0.558（いずれも質量分率0.500に相当）を、モル濃度へ変換した。相互変換式を用いて算出した組成の値は元の値と有効数字3桁で一致した。それゆえ、相互変換式は、溶液科学の定量的な研究や高等学校や大学で化学を指導する際に有用であろう。

キーワード：二成分系溶液、組成、濃度、分率、相互変換

Abstract

We have already investigated relations among four concentrations, three contents, three fractions, and three ratios in binary solutions, and obtained their interconversion equations. In this study, successively, we have systematically derived the interconversion equations in concentrations-contents and concentration-fractions in binary solutions. In order to examine their validity, we have selected an aqueous ethanol solution whose mass fraction of ethanol is 0.500 as a sample, and converted this value to the four concentrations such as molar, number, mass, and volume concentrations, and 0.281 mole and 0.558 volume fractions of ethanol, both of which are 0.500 mass fraction of ethanol, to the molar concentration. All composition values estimated using the interconversion equations are in agreement with the original ones within three significant figures. Therefore, these equations will be useful for investigating quantitative solution science and teaching chemistry to high school and university students.

Keywords: binary solution, composition, concentration, fraction, interconversion

1 はじめに

溶質と溶媒の2成分から構成される二成分系溶液は、小学校理科、中学校理科、高校化学、大学化学の教材として幅広く取り扱われている。とりわけ、二成分系溶液が関与する化学量論的な議論を行う場合、その組成の表示法やそれらの相互変換に関する知見が不可欠である。前報¹⁾では、二成分系溶液のうち、溶質が非電解質でかつ溶媒和分子を含まないものの組成を、溶質の示量性量を溶液の示量性量、溶媒と溶質の示量性量の和、および溶媒の示量性量で除して得られる3種類の示強性量（濃度・コンテンツ、分率、比）に大別し、それぞれの示強性量内の相互変換式を誘導した。しかし、これらの示強性量間の相互変換については議論しておらず、検討する余地がある。

本研究では、濃度-コンテンツおよび濃度-分率の相互変換式の系統的な誘導を試み、それらの有用性についても検討した。なお、物理量の記号は、Cvitaš²⁾、IUPACのGold Book³⁾およびGreen Book⁴⁾の表記に準拠した。

2 二成分系溶液の組成の分類

2-1 研究対象と用いた物理量の記号

本研究の対象は、溶質と溶媒の2成分からなる二成分系溶液であり、溶質を成分1、溶媒を成分2とする。ただし、溶解前の溶質は溶媒和分子を含まない非電解質と仮定し、溶質（成分1）の組成に着目した。

溶液の組成を表現するのに用いた物理量の記号は、質量を m 、体積を V 、物質量を n 、アボガドロ定数を N_A 、密度を d 、モル質量を M とする。溶液調製前の成分1および成分2に関する物理量には、物理量の記号の右下に添字1および2を付す。また、調製された溶液に関する物理量には、添字を付さない。

2-2 組成の分類

2-2-1 濃度とコンテンツ

濃度は、溶液の示強性量を体積 V で表現した組成である。これには、モル濃度（物質濃度） c_1 、数濃度 C_1 、質量濃度 ρ_1 、体積濃度 σ_1 がある¹⁾。

$$c_1 = n_1/V \quad (1)$$

$$C_1 = N_1/V \quad (2)$$

$$\rho_1 = m_1/V \quad (3)$$

$$\sigma_1 = V_1/V \quad (4)$$

溶液の示強性量を質量 m で表現した組成が、コンテンツ (content) である。これには、モルコンテンツ (物質質量コンテンツ) k_1 、数コンテンツ K_1 、体積コンテンツ κ_1 がある¹⁾。

$$k_1 = n_1/m \quad (5)$$

$$K_1 = N_1/m \quad (6)$$

$$\kappa_1 = V_1/m \quad (7)$$

2-2-2 分率

分率は、混合前の溶質の示量性量を、混合前の溶質と溶媒の示量性量の和で除した組成である。これには、モル分率 (物質質量分率) x_1 、質量分率 w_1 、体積分率 ϕ_1 がある¹⁾。

$$x_1 = n_1/(n_1 + n_2) = n_1/n \quad (8)$$

$$w_1 = m_1/(m_1 + m_2) = m_1/m \quad (9)$$

$$\phi_1 = V_1/(V_1 + V_2) \quad (10)$$

3 二成分系溶液の組成の相互変換

3-1 濃度-コンテンツの相互変換

3-1-1 c_1 と k_1 の相互変換

式(1)、(5)より、

$$c_1 = n_1/V = n_1/(m/d) = dn_1/m = dk_1 \quad (11)$$

$$k_1 = c_1/d \quad (12)$$

が得られる。

3-1-2 c_1 と K_1 の相互変換

式(11)と前報¹⁾の表 2 より、

$$c_1 = dk_1 = dK_1/N_A \quad (13)$$

$$K_1 = N_A c_1/d \quad (14)$$

が得られる。

3-1-3 c_1 と κ_1 の相互変換

式(11)と前報¹⁾の表 2 より、

$$c_1 = dk_1 = dd_1 \kappa_1 / M_1 \quad (15)$$

$$\kappa_1 = M_1 c_1 / (dd_1) \quad (16)$$

が得られる。

3-1-4 C_1 と k_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(11)より、

$$C_1 = N_A c_1 = dN_A k_1 \quad (17)$$

$$k_1 = C_1 / (dN_A) \quad (18)$$

が得られる。

3-1-5 C_1 と K_1 の相互変換

式(2)、(6)より、

$$C_1 = N_1 / V = N_1 / (m/d) = dN_1 / m = dK_1 \quad (19)$$

$$K_1 = C_1 / d \quad (20)$$

が得られる。

3-1-6 C_1 と κ_1 の相互変換

式(19)と前報¹⁾の表2より、

$$C_1 = dK_1 = dd_1 N_A \kappa_1 / M_1 \quad (21)$$

$$\kappa_1 = M_1 C_1 / (dd_1 N_A) \quad (22)$$

が得られる。

3-1-7 ρ_1 と k_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(11)より、

$$\rho_1 = M_1 c_1 = dM_1 k_1 \quad (23)$$

$$k_1 = \rho_1 / (dM_1) \quad (24)$$

が得られる。

3-1-8 ρ_1 と K_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(19)より、

$$\rho_1 = M_1 C_1 / N_A = dM_1 K_1 / N_A \quad (25)$$

$$K_1 = N_A \rho_1 / (dM_1) \quad (26)$$

が得られる。

3-1-9 ρ_1 と κ_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(15)より、

$$\rho_1 = M_1 c_1 = dd_1 \kappa_1 \quad (27)$$

$$\kappa_1 = \rho_1 / (dd_1) \quad (28)$$

が得られる。

3-1-10 σ_1 と k_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(11)より、

$$\sigma_1 = M_1 c_1 / d_1 = dM_1 k_1 / d_1 \quad (29)$$

$$k_1 = d_1 \sigma_1 / (dM_1) \quad (30)$$

が得られる。

3-1-11 σ_1 と K_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(19)より、

$$\sigma_1 = M_1 C_1 / (d_1 N_A) = dM_1 K_1 / (d_1 N_A) \quad (31)$$

$$K_1 = d_1 N_A \sigma_1 / (dM_1) \quad (32)$$

が得られる。

3-1-12 σ_1 と κ_1 の相互変換

式(4)、(7)より、

$$\sigma_1 = V_1 / V = V_1 / (m/d) = dV_1 / m = d\kappa_1 \quad (33)$$

$$\kappa_1 = \sigma_1 / d \quad (34)$$

が得られる。

以上の結果を、表1および表2に整理した。これらの表を利用すれば、あらゆる場合の濃度-コンテンツ間の相互変換が可能となる。

表1 濃度からコンテンツへの変換表

	c_1	C_1	ρ_1	σ_1
$k_1 =$	c_1 / d	$C_1 / (dN_A)$	$\rho_1 / (dM_1)$	$d_1 \sigma_1 / (dM_1)$
$K_1 =$	$N_A c_1 / d$	C_1 / d	$N_A \rho_1 / (dM_1)$	$d_1 N_A \sigma_1 / (dM_1)$
$\kappa_1 =$	$M_1 c_1 / (dd_1)$	$M_1 C_1 / (dd_1 N_A)$	$\rho_1 / (dd_1)$	σ_1 / d

表2 コンテントから濃度への変換表

	k_1	K_1	κ_1
$c_1 =$	dk_1	dK_1 / N_A	$dd_1 \kappa_1 / M_1$
$C_1 =$	$dN_A k_1$	dK_1	$dd_1 N_A \kappa_1 / M_1$
$\rho_1 =$	$dM_1 k_1$	$dM_1 K_1 / N_A$	$dd_1 \kappa_1$
$\sigma_1 =$	$dM_1 k_1 / d_1$	$dM_1 K_1 / (d_1 N_A)$	$d\kappa_1$

3-2 濃度一分率の相互変換

3-2-1 c_1 と x_1 の相互変換

式(1)より、

$$c_1 = n_1/V = n_1/[(m_1 + m_2)/d] = dn_1/(m_1 + m_2) = dn_1/(M_1n_1 + M_2n_2) \quad (35)$$

となる。分母、分子を $n = n_1 + n_2$ で除すと、式(8)より、

$$\begin{aligned} c_1 &= d(n_1/n)/(M_1n_1/n + M_2n_2/n) = dx_1/(M_1x_1 + M_2x_2) \\ &= dx_1/[M_1x_1 + M_2(1 - x_1)] \end{aligned} \quad (36)$$

が得られる。式(36)を x_1 について解くと、

$$x_1 = M_2c_1/[(M_2 - M_1)c_1 + d] \quad (37)$$

が得られる。なお、式(36)、(37)は、すでに中川が誘導している⁵⁻⁶⁾。

3-2-2 c_1 と w_1 の相互変換

式(1)、(9)より、

$$c_1 = n_1/V = (m_1/M_1)/[(m_1 + m_2)/d] = (d/M_1)[m_1/(m_1 + m_2)] = dw_1/M_1 \quad (38)$$

$$w_1 = M_1c_1/d \quad (39)$$

が得られる。なお、式(38)、(39)も、すでに中川が誘導している⁵⁻⁶⁾。

3-2-3 c_1 と ϕ_1 の相互変換

式(38)と前報¹⁾の表 3 より、

$$c_1 = dw_1/M_1 = (dd_1\phi_1/M_1)/[d_1\phi_1 + d_2(1 - \phi_1)] \quad (40)$$

となる。式(40)を ϕ_1 について解くと、

$$\phi_1 = d_2M_1c_1/[M_1(d_2 - d_1)c_1 + dd_1] \quad (41)$$

が得られる。

3-2-4 C_1 と x_1 の相互変換

前報¹⁾の表 1 と式(36)より、

$$C_1 = N_Ac_1 = dN_Ax_1/[M_1x_1 + M_2(1 - x_1)] \quad (42)$$

となる。式(42)を x_1 について解くと、

$$x_1 = M_2C_1/[(M_2 - M_1)C_1 + dN_A] \quad (43)$$

が得られる。

3-2-5 C_1 と w_1 の相互変換

前報¹⁾の表 1 と式(38)より、

$$C_1 = N_Ac_1 = dN_Aw_1/M_1 \quad (44)$$

$$w_1 = M_1 C_1 / (dN_A) \quad (45)$$

となる。

3-2-6 C_1 と ϕ_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(40)より、

$$C_1 = N_A c_1 = (dd_1 N_A \phi_1 / M_1) / [d_1 \phi_1 + d_2(1 - \phi_1)] \quad (46)$$

となる。式(46)を ϕ_1 について解くと、

$$\phi_1 = d_2 M_1 C_1 / [M_1(d_2 - d_1)C_1 + dd_1 N_A] \quad (47)$$

が得られる。

3-2-7 ρ_1 と x_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(36)より、

$$\rho_1 = M_1 c_1 = dM_1 x_1 / [M_1 x_1 + M_2(1 - x_1)] \quad (48)$$

となる。式(48)を x_1 について解くと、

$$x_1 = M_2 \rho_1 / [(M_2 - M_1)\rho_1 + dM_1] \quad (49)$$

が得られる。

3-2-8 ρ_1 と w_1 の相互変換

式(3)、(9)より、

$$\rho_1 = m_1 / V = m_1 / [(m_1 + m_2) / d] = dm_1 / (m_1 + m_2) = dw_1 \quad (50)$$

$$w_1 = \rho_1 / d \quad (51)$$

が得られる。

3-2-9 ρ_1 と ϕ_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(40)より、

$$\rho_1 = M_1 c_1 = d_1 d \phi_1 / [d_1 \phi_1 + d_2(1 - \phi_1)] \quad (52)$$

となる。式(52)を ϕ_1 について解くと、

$$\phi_1 = d_2 \rho_1 / [(d_2 - d_1)\rho_1 + dd_1] \quad (53)$$

が得られる。

3-2-10 σ_1 と x_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(48)より、

$$\sigma_1 = \rho_1 / d_1 = (dM_1 x_1 / d_1) / [M_1 x_1 + M_2(1 - x_1)] \quad (54)$$

となる。式(54)を x_1 について解くと、

$$x_1 = M_2 d_1 \sigma_1 / [(M_2 - M_1) d_1 \sigma_1 + d M_1] \quad (55)$$

が得られる。

3-2-11 σ_1 と w_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(50)より、

$$\sigma_1 = \rho_1 / d_1 = d w_1 / d_1 \quad (56)$$

$$w_1 = d_1 \sigma_1 / d \quad (57)$$

が得られる。

3-2-12 σ_1 と ϕ_1 の相互変換

前報¹⁾の表1と式(52)より、

$$\sigma_1 = \rho_1 / d_1 = d \phi_1 / [d_1 \phi_1 + d_2 (1 - \phi_1)] \quad (58)$$

となる。式(58)を ϕ_1 について解くと、

$$\phi_1 = d_2 \sigma_1 / [(d_2 - d_1) \sigma_1 + d] \quad (59)$$

が得られる。

以上の結果を、表3および表4に整理した。これらの表を利用すれば、あらゆる場合の濃度-分率間の相互変換が可能となる。

表3 濃度から分率への変換表

	c_1	C_1	ρ_1	σ_1
$x_1 =$	$\frac{M_2 c_1}{[(M_2 - M_1) c_1 + d]}$	$\frac{M_2 C_1}{[(M_2 - M_1) C_1 + d N_A]}$	$\frac{M_2 \rho_1}{[(M_2 - M_1) \rho_1 + d M_1]}$	$\frac{M_2 d_1 \sigma_1}{[(M_2 - M_1) d_1 \sigma_1 + d M_1]}$
$w_1 =$	$M_1 c_1 / d$	$M_1 C_1 / (d N_A)$	ρ_1 / d	$d_1 \sigma_1 / d$
$\phi_1 =$	$\frac{d_2 M_1 c_1}{[M_1 (d_2 - d_1) c_1 + d d_1]}$	$\frac{d_2 M_1 C_1}{[M_1 (d_2 - d_1) C_1 + d d_1 N_A]}$	$\frac{d_2 \rho_1}{[(d_2 - d_1) \rho_1 + d d_1]}$	$\frac{d_2 \sigma_1}{[(d_2 - d_1) \sigma_1 + d]}$

表4 分率から濃度への変換表

	x_1	w_1	ϕ_1
$c_1 =$	$\frac{d x_1}{[M_1 x_1 + M_2 (1 - x_1)]}$	$d w_1 / M_1$	$\frac{(d d_1 \phi_1 / M_1)}{[d_1 \phi_1 + d_2 (1 - \phi_1)]}$
$C_1 =$	$\frac{d N_A x_1}{[M_1 x_1 + M_2 (1 - x_1)]}$	$d N_A w_1 / M_1$	$\frac{(d d_1 N_A \phi_1 / M_1)}{[d_1 \phi_1 + d_2 (1 - \phi_1)]}$
$\rho_1 =$	$\frac{d M_1 x_1}{[M_1 x_1 + M_2 (1 - x_1)]}$	$d w_1$	$\frac{d_1 d \phi_1}{[d_1 \phi_1 + d_2 (1 - \phi_1)]}$
$\sigma_1 =$	$\frac{(d M_1 x_1 / d_1)}{[M_1 x_1 + M_2 (1 - x_1)]}$	$d w_1 / d_1$	$\frac{d \phi_1}{[d_1 \phi_1 + d_2 (1 - \phi_1)]}$

4 組成の相互変換式の有用性の検証

誘導した組成の相互変換式の有用性を、具体的に再度前報¹⁾に示したエタノールの質量分率が0.500であるエタノール水溶液の例を用いて検証した。エタノール水溶液中の各種組成（濃度および分率）の値を、今回誘導した相互変換式のうち、質量分率 w_1 から他の濃度 c_1 、 C_1 、 ρ_1 、 σ_1 への変換およびモル分率 x_1 、体積分率 ϕ_1 からモル濃度 c_1 への変換に注目し、定義から算出した値と比較した。

(例) エタノール50.0 g と水50.0 g を混合して調製したエタノール水溶液がある。この場合、エタノールを溶質（成分1）、水を溶媒（成分2）とし、以下のエタノールの種々の組成を算出する。ただし、混合前のエタノールの密度 d_1 を $0.789 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、水の密度 d_2 を $0.998 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、混合後のエタノール水溶液の密度 d を $0.914 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ とする（いずれも20℃の値⁷⁾。また、エタノールのモル質量 M_1 を $46.1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 、水のモル質量 M_2 を $18.0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ と、アボガドロ定数 N_A を、 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ とする。

前報¹⁾の結果より、定義から算出した分率および濃度は、下記の通りである⁸⁾。ただし、有効数字3桁で算出した場合、最後の桁には誤差が含まれる。そこで、途中の計算には5桁まで算出した値（括弧内）を用いて、最終的な答を有効数字3桁で算出した。

$$\begin{aligned}w_1 &= 0.500(0.50000 \cdots), \quad x_1 = 0.281(0.28081 \cdots), \quad \phi_1 = 0.558(0.55847 \cdots), \\ \rho_1 &= 457(457.00 \cdots) \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}, \quad c_1 = 9.91(9.9131 \cdots) \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}, \\ C_1 &= 5.97(5.9677 \cdots) \times 10^{24} \text{ L}^{-1}, \quad \sigma_1 = 0.579(0.57921 \cdots)\end{aligned}$$

(1) w_1 から c_1 、 C_1 、 ρ_1 、 σ_1 への変換

w_1 から c_1 へ

式(38)より、

$$\begin{aligned}c_1 &= dw_1/M_1 \\ &= (0.914 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}) \cdot (0.50000 \cdots) / (46.1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}) = 9.9132 \cdots \times 10^{-3} \text{ mol/mL} \\ &= 9.9132 \cdots \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \quad (\text{答}) 9.91 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\end{aligned}$$

w_1 から C_1 へ

式(44)より、

$$\begin{aligned}C_1 &= dN_A w_1 / M_1 \\ &= (0.914 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}) \cdot (6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) \cdot (0.50000 \cdots) / (46.1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}) \\ &= 5.9677 \cdots \times 10^{21} \text{ mL}^{-1} = 5.9677 \cdots \times 10^{24} \text{ L}^{-1} \quad (\text{答}) 5.97 \times 10^{24} \text{ L}^{-1}\end{aligned}$$

w_1 から ρ_1 へ

式(50)より、

$$\begin{aligned}\rho_1 &= dw_1 = (0.914 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}) \cdot (0.50000 \cdots) = 0.45700 \cdots \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1} \\ &= 457.00 \cdots \text{ g}\cdot\text{L}^{-1} \quad (\text{答}) 457 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}\end{aligned}$$

w_1 から σ_1 へ

式(56)より、

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= dw_1/d_1 = (0.914 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}) \cdot (0.50000 \cdots) / (0.789 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}) \\ &= 0.57921 \cdots \quad (\text{答}) 0.579\end{aligned}$$

(2) x_1 、 ϕ_1 から c_1 への変換

x_1 から c_1 へ

式(36)より、

$$\begin{aligned}c_1 &= dx_1 / [M_1 x_1 + M_2 (1 - x_1)] \\ &= (0.914 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}) \cdot (0.28081 \cdots) / [(46.1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}) \cdot (0.28081 \cdots) + \\ &\quad (18.0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}) \cdot (1 - 0.28081 \cdots)] = 9.9133 \cdots \times 10^{-3} \text{ mol/mL} \\ &= 9.9133 \cdots \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \quad (\text{答}) 9.91 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\end{aligned}$$

ϕ_1 から c_1 へ

式(40)より、

$$\begin{aligned}c_1 &= (dd_1 \phi_1 / M_1) / [d_1 \phi_1 + d_2 (1 - \phi_1)] \\ &= [(0.914 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}) \cdot (0.789 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}) \cdot (0.55847 \cdots) / (46.1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})] \\ &\quad / [(0.789 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}) \cdot (0.55847 \cdots) + (0.998 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}) \cdot (1 - 0.55847 \cdots)] \\ &= 9.9130 \cdots \times 10^{-3} \text{ mol/mL} = 9.9130 \cdots \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \quad (\text{答}) 9.91 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\end{aligned}$$

いずれの場合も、定義から算出した組成の値と相互変換式から算出した組成の値は、有効数字3桁以内で完全に一致した。これより、組成の相互変換式はいずれも正確に誘導できたと思われる。

5 おわりに

本研究では、二成分系溶液の組成に関して、濃度-コンテンツおよび濃度-分率の相互変換式を系統的に誘導した。これより、すでに前報¹⁾で誘導した濃度、コンテンツ、分率、比に関するそれぞれの相互変換に加えて、新たに濃度-コンテンツおよび濃度-分率の相互変換も可能となった。

これらの相互変換式を誘導する際、使用した数式はいずれも単純な多項式のみで、しかも、途中の過程を極力省略せずに示した。高校生や自然科学を専門としない大学生でも、高等学校1年次程度の初等数学の知識があれば、容易に追試が可能である。それゆえ、高等学校や大学の物理学、化学の平素の授業に加え、探究活動や課題研究などの生徒・学生が自主的にとりくむ研究活動における活用も期待できる。

今回研究の対象から除いた二成分系溶液の比に関する相互変換式や、これまでに誘導した相互変換式の高等学校や大学の教育・研究における具体的な活用事例については、別の機会に検討したい。

文献と註

- 1) 中川徹夫, 「二成分系溶液の組成とそれらの相互変換式に関する再検討 (1) —濃度、コンテンツ、分率、および比の相互変換—」, 神戸女学院大学論集, **66**(1), 1-13 (2019).
- 2) T. Cvitaš, “Quantities describing composition of mixtures,” *Metrologia*, **33**(1), 35-39 (1996).
- 3) <https://goldbook.iupac.org/> (IUPAC Gold Book), 2019年8月アクセス.
- 4) E. R. Cohen, T. Cvitaš, J. G. Frey, B. Holmström, K. Kuchitsu, R. Marquardt, I. Mills, F. Pavese, M. Quack, J. Stohner, H. L. Strauss, M. Takami, and A. J. Thor, “Quantities, Units, and Symbols in Physical Chemistry,” IUPAC Green Book, 3rd Edition, IUPAC & RSC Publishing, Cambridge (2007).
- 5) T. Nakagawa, “Concentration units on the table,” *Education in Chemistry*, **35**(4), 108-109 (1998).
- 6) 中川徹夫, 「高等学校化学 IB における 2 成分混合系の濃度の相互変換式の誘導とその利用」, 日本科学教育学会研究会研究報告, **14**(5), 1-4 (2000).
- 7) “Density of Ethanol-Water Mixtures,” in *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 99th edition, Section 15, J. R. Rumble (Editor-in-Chief), CRC Press, Boca Raton, 40 (2018).
- 8) 文献 1 の数濃度 C_1 の計算式と答 (p. 11) に誤りがあった。以下のように訂正する。
(誤) 「式(2)より、 $C_1 = \dots = 5.967 \dots \times 10^{23} \text{ L}^{-1}$ (答) $5.97 \dots \times 10^{23} \text{ L}^{-1}$ 」
→ (正) 「式(2)より、 $C_1 = \dots = 5.967 \dots \times 10^{24} \text{ L}^{-1}$ (答) $5.97 \times 10^{24} \text{ L}^{-1}$ 」
(誤) 「式(20)より、 $C_1 = \dots = 5.967 \dots \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (答) $5.97 \dots \times 10^{23} \text{ L}^{-1}$ 」
→ (正) 「式(20)より、 $C_1 = \dots = 5.967 \dots \times 10^{24} \text{ L}^{-1}$ (答) $5.97 \times 10^{24} \text{ L}^{-1}$ 」

(原稿受理日 2019年9月29日)