

## VIII 付帶資料

# 1. 化学分析の単位と計算式、単体と酸化物の表し方、SI単位系一覧

## 1. 1 化学分析に用いる単位と計算式

### 1) 重さの単位

- (1) 1mg (ミリグラム) : gの1000分の1。1.0gは1000mg。
- (2)  $\mu$ g (マイクログラム) : mgの1000分の1。1.0mgは1000  $\mu$ g。

### 2) 体積の単位

- (1) mL(ミリリットル) : L(リットル)の1000分の1。1cm<sup>3</sup>と同じである。水1mLは1gである。
- (2) 1 $\mu$ L(マイクロリットル) : mLの1000分の1である。

### 3) 比率の単位

- (1) ppm(ピーピーエム) : 百万分の1のことである。水1g(1mL)中に1 $\mu$ gの物質を含むと、この物質は1ppmの水溶液となる。水1L中に1mgの物質が溶けているのも同じ1ppmである。
- (2) ppb(ピーピービー) : ppmの1000分の1の濃度、10億分の1の単位である。水1kg(1L)中に1 $\mu$ gの物質を含むこと。

### 4) 濃度の表し方

- (1) モル(mole)とモル濃度(M) : 化学分子式

ある化合物について、それを構成している元素の原子量の合計を式量(分子量)という。この式量をgで表わしたのが1モル(mole)であり、単位記号はmolである。

1molの物質が1Lに溶けているときの濃度を1Mと書く。したがって、モル(mole)は物質の量を表わし、モル濃度は単位体積当たり(1L中)の物質を示す。

$$\begin{aligned} \text{例 硫安} : 2\text{N} + 8\text{H} + \text{S} + 4\text{O} &= (2 \times 14.007) + (8 \times 1.008) + 32.066 + (4 \times 15.999) \\ &= 132.140 = \text{式量 (分子量)} \end{aligned}$$

$$1 \text{モル (mole)} = 132.140$$

- (2) 規定濃度(Normality) :

現在、規定濃度は使うことが推奨されていないが、以下に従来の説明を記しておく。規定濃度とは溶液1L中に溶けている物質を当量で表わしたものである。この濃度表示は中和滴定反応などの化学量論的計算に便利である。たとえば塩酸(HCl)の分子量は36.461であって、1L中にHClを36.461g含む溶液は1Mの濃度であると同時に、1規定(N・ノルマル)の溶液である。ところが硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)の分子量は98.08であって、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>98.08gを1Lに含む溶液は1Mの濃度であるが、規定濃度では2Nの溶液とする。すなわち、塩酸は1分子に1個の水素(H)しかもっていないが、硫酸は1分子中に2個の水素をもっている。そのため、硫酸は酸の強さとしては2倍の濃度となる。

酸、アルカリの中和反応では、モル濃度ではなく、水素イオン(H<sup>+</sup>)や水酸イオン(OH<sup>-</sup>)の濃度で表わす方が便利であって、このような時は規定濃度を用いる。主な無機酸のモル濃度と規定濃度の関係を表1に示す。

表1 各種の酸のモル濃度と規定濃度の比較

| 酸  | 分子式                            | モル濃度 | 規定濃度 |
|----|--------------------------------|------|------|
| 硫酸 | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 1M   | 2N   |
| 硝酸 | HNO <sub>3</sub>               | 1M   | 1N   |
| 塩酸 | HCl                            | 1M   | 1N   |

表2 各種の酸および塩基の比重と濃度

| 酸および塩基       | 分子式                            | 比重    | 規定濃度      |
|--------------|--------------------------------|-------|-----------|
| 塩酸           | HCl                            | 1.19  | 12        |
| 硝酸           | HNO <sub>3</sub>               | 1.38  | 13        |
| 〃            | 〃                              | 1.42  | 16        |
| 硫酸           | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 1.83  | 36        |
| 氷酢酸          | CH <sub>3</sub> COOH           | 1.05  | 17.4      |
| 過塩素酸 (60%)   | HClO <sub>4</sub>              | 1.54  | 9.2       |
| リン酸 (85%)    | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 1.685 | 43.8      |
| アンモニア水 (26%) | NH <sub>4</sub> OH             | 0.904 | 13.8      |
| 水酸化ナトリウム飽和溶液 | NaOH                           | -     | 20 (20°C) |
| 〃            | 〃                              | -     | 17 (15°C) |

たとえば濃塩酸を用いて1Nの希塩酸を10L作るには12Nの塩酸991.7g<sup>注1)</sup>、または833.4mLを水でうすめて10Lにすればよい。市販の500g入り塩酸を水でうすめて5Lにするとほぼ1Nの希塩酸になる。

同様に、濃硫酸を用いて1Nの希硫酸を10L作るには、8~9Lの水に508.3gまたは277.8mLの濃硫酸<sup>注2)</sup>を少しずつかきまぜながら加えていき、溶液の温度が室温まで低下してから、水で正確に10Lとする。硫酸に水をそそぐと危険であるから手順を間違えてはならない。

実験室では主に0.1Nの塩酸、または硫酸を使うことが多いが、その場合はこれらを10倍にうすめて使用すればよい。

$$\text{注1) } \text{HCl (g)} = 10\text{L} \times 1.19 \times 1000 / 12\text{N} = 991.7\text{g}$$

$$\text{HCl (mL)} = 991.7\text{g} \div 1.19 = 833.4\text{mL}$$

$$\text{注2) } \text{H}_2\text{SO}_4\text{ (g)} = 10\text{L} \times 1.83 \times 1000 / 36\text{N} = 508.3\text{g}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4\text{ (mL)} = 508.3\text{g} \div 1.83 = 277.8\text{mL}$$

希塩酸や希硫酸と同様に使用される塩基が水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）溶液である。1Nの水酸化ナトリウム溶液は1L中に39.99gのNaOHを含む。

飽和水酸化ナトリウム溶液は20°Cで約20Nであり、15°Cで17Nである。

これら希酸、希アルカリ溶液は正確に濃度を合わせることが難しく、また濃度に変化が生ずる場合があるから、時々力価（f、ファクター）を計算し、実験値を補正していく必要がある。

#### ●力価の検定例

①0.1Nシュウ酸（f=1.000）液10.00mLを三角フラスコにとる。

②フェノールフタレン指示薬添加。

③0.1N-NaOHで滴定。

④滴定値が9.85mLの場合、0.1N-NaOHのf=1.000×10mL/9.85mL = 1.0152 と計算される。

⑤0.1N-HCl液10.00mLを三角フラスコにとる。

⑥フェノールフタレン指示薬添加。

⑦0.1N-NaOH（f=1.0152）で滴定。

⑧滴定値が9.75mLの場合、0.1N-HCl液のf=1.0152×9.75mL/10mL = 0.9898 と計算される。

fの明確なシュウ酸溶液は自分で作ってもよいし、市販されているものを使ってもよい。あまり古いシュウ酸溶液は使わない方がよい。

(3) グラム当量：原子またはイオンのグラム当量はその元素のグラム原子量を原子価で割った値をいう。

$$\text{グラム当量} = \text{原子量 (g)} / \text{原子価}$$

たとえばカリウム (K) の原子価は1であるので、原子量とグラム当量は等しく 39.1 である。カルシウム (Ca) の原子量は 40.08 であるが、原子価は 2 であるので、グラム当量は 20.04 になる (表3)。2種類以上の元素で化合物をつくる時、これらは当量比に等しい重量比になる。

表3 各イオンのミリグラム当量 (me)

| イオン              | (酸化物)               | 原子価 | ミリグラム当量 | 酸化物単位の<br>ミリグラム当量 |
|------------------|---------------------|-----|---------|-------------------|
| Na <sup>+</sup>  | (Na <sub>2</sub> O) | 1   | 22.99   | 30.99             |
| K <sup>+</sup>   | (K <sub>2</sub> O)  | 1   | 39.102  | 47.1              |
| Mg <sup>2+</sup> | (MgO)               | 2   | 12.156  | 20.15             |
| Ca <sup>2+</sup> | (CaO)               | 2   | 20.04   | 28.04             |

土壌粒子の表面に吸着している塩基はこの当量で表示すると便利である。そこで土壌中の塩基 (Na、K、Mg、Ca など) の飽和度を表わす時はグラム当量の 1000 分の 1 の単位であるミリグラム当量 (me または meq) を用いる。

たとえば土壌 100g 当り Na : 5mg、K : 35mg、Mg : 50mg、Ca : 250mg (Na<sub>2</sub>O : 6.74mg、K<sub>2</sub>O : 42.2mg、MgO : 82.9mg、CaO : 350mg) を含む場合は、

$$\text{Na} : 5\text{mg} / 22.99 = 0.2\text{me} / 100\text{g} \quad (\text{Na}_2\text{O} : 6.74\text{mg} / 30.99 = 0.2\text{me} / 100\text{g})$$

$$\text{K} : 35\text{mg} / 39.102 = 0.9\text{me} / 100\text{g} \quad (\text{K}_2\text{O} : 42.2\text{mg} / 47.10 = 0.9\text{me} / 100\text{g})$$

$$\text{Mg} : 50\text{mg} / 12.156 = 4.1\text{me} / 100\text{g} \quad (\text{MgO} : 82.9\text{mg} / 20.15 = 4.1\text{me} / 100\text{g})$$

$$\text{Ca} : 250\text{mg} / 20.04 = 12.5\text{me} / 100\text{g} \quad (\text{CaO} : 350\text{mg} / 28.04 = 12.5\text{me} / 100\text{g})$$

$$\text{計} \quad \quad \quad 17.7\text{me} / 100\text{g} \quad \quad \quad (17.7\text{me} / 100\text{g})$$

となる。もし、この土壌の塩基交換容量 (CEC) が 25me / 100g であるとする、この土壌の塩基飽和度は  $17.7 / 25 \times 100 = 70.8\%$  となる。

## 1.2 単体と酸化物の表し方

化学分析は長い間、重量分析法主流の時代があって、そのなごりから、リン (P) やカリウム (K)、マグネシウム (Mg)、カルシウム (Ca) をそれぞれ $P_2O_5$ 、 $K_2O$ 、 $MgO$ 、 $CaO$ として表現する習慣が農業関係者にある。しかしながら、近年関心を呼んでいる重金属類、すなわち銅 (Cu)、カドミウム (Cd)、亜鉛 (Zn)、鉛 (Pb)、ニッケル (Ni)、クロム (Cr) などは単体で用いられることが多い。水質調査などのように、農業関係者以外の人の多く活躍する分野ではリンもPとして表示し、酸化物として表示することは減ってきている。診断基準についても、これは論議のあった点であったが、長い習慣を考慮し、一般土壌分析においては酸化物表示を残す結果となっている。将来は単体表示に切り換えることも考えられる。そこで以下には単体-酸化物の読み換え表を示す。

表4 単体 - 酸化物の読み換え表 (係数)

| 単体 | 酸化物       | 酸化物から<br>単体 | 単体から<br>酸化物 |
|----|-----------|-------------|-------------|
| Al | $Al_2O_3$ | 0. 5293     | 1. 8895     |
| As | $As_2O_3$ | 0. 7574     | 1. 3203     |
| As | $As_2O_5$ | 0. 6519     | 1. 5339     |
| B  | $B_2O_3$  | 0. 3106     | 3. 2199     |
| Ca | $CaO$     | 0. 7147     | 1. 3992     |
| C  | $CO_2$    | 0. 2729     | 3. 6641     |
| C  | $CO_3$    | 0. 2002     | 4. 9962     |
| Cu | $CuO$     | 0. 7989     | 1. 2518     |
| Fe | $FeO$     | 0. 7773     | 1. 2865     |
| Fe | $Fe_2O_3$ | 0. 6994     | 1. 4297     |
| K  | $K_2O$    | 0. 8301     | 1. 2046     |
| Mg | $MgO$     | 0. 6030     | 1. 6583     |
| Mn | $MnO$     | 0. 7745     | 1. 2912     |
| Mn | $MnO_2$   | 0. 6319     | 1. 5825     |
| Mo | $MnO_3$   | 0. 6665     | 1. 5003     |
| Na | $Na_2O$   | 0. 7419     | 1. 3480     |
| Ni | $NiO$     | 0. 7858     | 1. 2726     |
| N  | $NO_3$    | 0. 2259     | 4. 4268     |
| Pb | $PbO$     | 0. 9283     | 1. 0772     |
| P  | $PO_4$    | 0. 3261     | 3. 0662     |
| P  | $P_2O_5$  | 0. 4364     | 2. 2914     |
| S  | $SO_4$    | 0. 3338     | 2. 9958     |
| Si | $SiO_2$   | 0. 4674     | 2. 1393     |
| Zn | $ZnO$     | 0. 8034     | 1. 2447     |

### 1.3 SI単位系一覧

表5 日本土壌肥料学会発行の雑誌で使用が推奨される単位の例<sup>1)</sup>

| 量                     | 基本となるSI単位                     | 10の整数乗倍および使用してよい非SI単位   | 推奨しがたい非SI単位からの換算例および備考   |
|-----------------------|-------------------------------|---|--|
| 長さ                    | m                             | nm, $\mu\text{m}$ , cm, km  |  |
| 面積                    | $\text{m}^2$                  | $\text{cm}^2$ , $\text{km}^2$ , ha  |  |
| 体積                    | $\text{m}^3$                  | $\text{cm}^3$ , $\text{dm}^3$ , $\mu\text{L}$ , mL, L                             | リットルは数字の1との混同を避けるために大文字Lを使用する  |
| 時間                    | s                             | min, h, d   |  |
| 質量                    | kg                            | pg, ng, $\mu\text{g}$ , mg, g, Mg   |  |
| 力                     | N                             | mN, kN  | 1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N, 1 kgf = 9.80665 N  |
| 圧力                    | Pa                            | hPa, kPa, MPa   | p.61 表3, 4参照   |
| 仕事エネルギー               | J                             | mJ, kJ, MJ  | 1 erg = 10 <sup>-7</sup> J, 1 cal = 4.18605 J  |
| 導電率                   | $\text{S m}^{-1}$             | $\mu\text{S m}^{-1}$ , $\text{mS m}^{-1}$   | 1 mmho $\text{cm}^{-1}$ = 1 $\text{dSm}^{-1}$  |
| 物質質量                  | mol                           |   |  |
| 陽イオン交換容量              | $\text{mol}_c \text{kg}^{-1}$ | $\text{c mol}_c \text{kg}^{-1}$   | 1 meq/100g = 1 $\text{c mol}_c \text{kg}^{-1}$ 1 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ = 1 $\text{c mol}_c \text{kg}^{-1}$ |
| 陰イオン交換容量              | $\text{mol}_c \text{kg}^{-1}$ | $\text{c mol}_c \text{kg}^{-1}$   | 1 meq/100g = 1 $\text{c mol}_c \text{kg}^{-1}$ 1 $\text{cmol}(-) \text{kg}^{-1}$ = 1 $\text{c mol}_c \text{kg}^{-1}$ |
| 密度                    | $\text{kg m}^{-3}$            |   |  |
| 比表面積                  | $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$   |   |  |
| 含水比                   | $\text{kg kg}^{-1}$           |   | 1 % = 0.01 $\text{kg kg}^{-1}$   |
| 質量分率<br>含水率           | $\text{kg kg}^{-1}$           |   | 1 % = 0.01 $\text{kg kg}^{-1}$ , 1 ppm = 10 <sup>-6</sup> $\text{kg kg}^{-1}$  |
| 体積分率<br>体積含水率         | $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$    |   | 1% = 0.01 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$   |
| 質量濃度                  | $\text{kg m}^{-3}$            | $\mu\text{g m}^{-3}$ , $\text{mg m}^{-3}$ , $\text{g m}^{-3}$ , $\text{g L}^{-1}$ | ppm, ppb, ppt は用いない  |
| モル濃度                  | $\text{mol m}^{-3}$           | $\mu\text{mol m}^{-3}$ , $\text{mmol m}^{-3}$ , $\text{mol L}^{-1}$               | N (規定度) は用いない  |
| 質量モル濃度                | $\text{mol kg}^{-1}$          |   |  |
| 水分ポテンシャル<br>(圧力として表示) | Pa                            | kPa, MPa  | 1 cm H <sub>2</sub> O = 98.0665 Pa, pFは用いない  |
| 水分ポテンシャル<br>(水頭として表示) | m                             | cm  |  |
| 透水係数                  | $\text{m s}^{-1}$             |   |  |
| 放射能                   | Bq                            | kBq, MBq  | 1 Ci = 3.7×10 <sup>10</sup> Bq   |
| 施肥量                   | $\text{kg m}^{-2}$            | $\text{g m}^{-2}$ , $\text{kg ha}^{-1}$ , $\text{Mg ha}^{-1}$                     | 1 kg/10a = 10 $\text{kg ha}^{-1}$  |
| 収量                    | $\text{kg m}^{-2}$            | $\text{g m}^{-2}$ , $\text{kg ha}^{-1}$ , $\text{Mg ha}^{-1}$                     | 1 kg/10a = 10 $\text{kg ha}^{-1}$  |

<sup>1)</sup> 日本土壌肥料学会のHPより一部を抜粋。

表6 10の整数乗倍のSI接頭語

| 倍数               | 接頭語   | 読み方 | 記号 | 倍数                | 接頭語   | 読み方  | 記号 |
|------------------|-------|-----|----|-------------------|-------|------|----|
| 10 <sup>18</sup> | exa   | エクサ | E  | 10 <sup>-1</sup>  | deci  | デシ   | d  |
| 10 <sup>15</sup> | peta  | ペタ  | P  | 10 <sup>-2</sup>  | centi | センチ  | c  |
| 10 <sup>12</sup> | tera  | テラ  | T  | 10 <sup>-3</sup>  | milli | ミリ   | m  |
| 10 <sup>9</sup>  | giga  | ギガ  | G  | 10 <sup>-6</sup>  | micro | マイクロ | μ  |
| 10 <sup>6</sup>  | mega  | メガ  | M  | 10 <sup>-9</sup>  | nano  | ナノ   | n  |
| 10 <sup>3</sup>  | kilo  | キロ  | k  | 10 <sup>-12</sup> | pico  | ピコ   | p  |
| 10 <sup>2</sup>  | hecto | ヘクト | h  | 10 <sup>-15</sup> | femto | フェムト | f  |
| 10               | deca  | デカ  | da | 10 <sup>-18</sup> | atto  | アト   | a  |

## 2. ろ紙の特性と価格

表7 一般分析用定量ろ紙の特性<sup>1)</sup>

| 種類<br>No. | 厚さ<br>mm | ろ水<br>時間s | 湿潤破碎<br>強度cm | 保留粒子<br>径μm | 灰分<br>% | 価格<br>円 <sup>2)</sup> | 特徴   |
|-----------|----------|-----------|--------------|-------------|---------|-----------------------|--|
| 3         | 0.23     | 130       | 20           | 5           | 0.01    | 1330                  | 定量ろ紙の中では比較的ろ過速度が速く、生産工程での品質管理用として使用される。      |
| 5A        | 0.22     | 60        | 15           | 7           | 0.01    | 1700                  | 定量ろ紙の中では最もろ過速度が速く、粗大沈殿物のろ過に適している。            |
| 5B        | 0.21     | 195       | 20           | 4           | 0.01    | 1700                  | ろ水時間は中程度であり、広範な定量分析の沈殿物のろ過に適している。            |
| 5C        | 0.22     | 570       | 25           | 1           | 0.01    | 1700                  | ろ過速度は遅いが、微細な沈殿物のろ過に適している。                    |
| 6         | 0.20     | 300       | 15           | 3           | 0.01    | 1700                  | 定量ろ紙として一般的に使用される。厚さは薄く、沈殿物保持性はNo. 5Bより優れている。 |

1) アドバンテックのHPより一部抜粋。

2) 直径110mm、100枚/箱の価格。



---

土壌・作物栄養診断のための分析法 2012

2012年（平成24年）8月発行

発行者 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 農業研究本部

〒069-1395 夕張郡長沼町東6線北15号 電話 0123-89-2001

印刷 社会福祉法人 北海道リハビリ

---