

原 著

## 飲用水中カリウム，ナトリウム，カルシウム，マグネシウムイオンのキャピラリー電気泳動法による同時分析

楊井理恵\*<sup>1</sup> 河辺聡子\*<sup>2</sup> 藤井俊子\*<sup>2</sup>

### 要 約

4種類の金属イオン ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) のキャピラリー電気泳動法による同時分析を実施した。これらの金属イオンは、泳動溶液として10 mM Imidazole, 5 mM 2-Hydroxy-iso-butyric Acid, 2 mM 18-Crown-6 および酢酸 200 $\mu$ L を蒸留水を用いて100 mL に定容した泳動溶液を用いて、間接 UV 法 (215 nm) で溶融シリカキャピラリー上に分離泳動した。各イオンの移行時間 (分) の平均値 $\pm$ 標準偏差はピーク出現順に,  $K^+$ ,  $3.56\pm 0.01$ ;  $Ca^{2+}$ ,  $4.23\pm 0.01$ ;  $Na^+$ ,  $4.39\pm 0.01$ ;  $Mg^{2+}$ ,  $4.54\pm 0.01$ であった。1分析に要する時間は5分以内であった。回帰直線は5~100 ppm の範囲で、すべてのイオンは良好な直線性を示した ( $r = 0.9998$ )。検出限界 (ppm) は,  $K^+$ , 0.12;  $Na^+$ , 0.05;  $Ca^{2+}$ , 0.05;  $Mg^{2+}$ , 0.02であった。4つのイオンの併行精度の相対変動係数は5%以内、室内再現精度は10%以内を示した。本方法を用いて飲用水中の4つの金属イオンを定量した。そのうち、 $Ca^{2+}$  の平均濃度 $\pm$ 標準偏差 (ppm) は、外国産ミネラルウォーターが $108.1\pm 119.5$ 、日本産ミネラルウォーターが $12.2\pm 6.6$ であった。

### 緒 言

成人は一日に食品中の水分として1リットル、飲用水として1~1.2リットル、合計約2.5リットル程度の水分を摂取している<sup>1)</sup>。我が国では飲用水としてこれまでは主に上水道水(以下、水道水)を摂取していたが、近年の河川などの原水の汚染による水質低下により水道水への不安が募り、消費者の自然志向やミネラルの供給源などの要因があいまってミネラルウォーターの消費が急増している<sup>2)</sup>。我が国のミネラルウォーターの年間生産量についてみると、1982年には約9万キロリットルであったが、1990年には2倍になり、2002年現在では約15倍の137万キロリットルとなっている。国産品、輸入品別にみると、輸入品のシェアは2002年現在20%を占めている。輸入品のシェアが増えた理由として、①日本の水道水の質の劣化、②1986年の食品衛生法の改正で、加熱殺菌しない天然水が輸入可能となって急増したこと、③日本の清涼飲料の主役が炭酸飲料から果汁飲料、さらに茶系飲料へと薄味・無糖飲料へシフトしてきていること、④1996年の輸入品の異物混入問題などで、輸入品に対する食品検査や品質管理の強化

などが図られて、安全性・信頼性が回復してきていること、などがあげられている<sup>3,4)</sup>。

市販のミネラルウォーターには、カリウムイオン(以下、 $K^+$ )、ナトリウムイオン(以下、 $Na^+$ )、カルシウムイオン(以下、 $Ca^{2+}$ )、マグネシウムイオン(以下、 $Mg^{2+}$ )の含有量が表示されている。ミネラルウォーターをミネラルの給源として考える場合、たとえば、カルシウムでは所要量が日本人成人男女では1日600 mgと定められているが<sup>5)</sup>、摂取量は最近では所要量の約90%の充足率を示している<sup>6)</sup>。したがって、カルシウム含有量の高いミネラルウォーターを摂取することによって所要量を満たすことができるが、一方では、カルシウムには許容上限摂取量が1日2,500 mgと定められているので、過剰摂取が生じるおそれもある。現在、日本人1人当たりの市販ミネラルウォーターの消費量を諸外国と比較してみると、1999年現在、1年間に8.9リットルであり、ドイツ、フランス、イタリアなどのヨーロッパ諸国の10%以内であるが、今後は日本のミネラルウォーターの消費量がのび続けるであろうと予測されている<sup>3,4)</sup>。

輸入品のミネラルウォーターに表示されているカルシウム濃度は、著者らが行った市場調査では国産品に

\*1 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 臨床栄養学専攻 \*2 川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床栄養学科 (連絡先) 楊井理恵 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学

比べて概して高いものが多かった。一方、ミネラルウォーターに比べて、比較できないほど多量に飲用されている水道水は、水質基準で水銀や鉛等の有害ミネラルについては基準値が定められており、また、水道水が有すべき性状として、味に關与するナトリウム、硬度に關与するカルシウムとマグネシウムについても基準値が定められている。しかし、水道水の金属イオン濃度に関する実態調査報告は見られない。

食品および水質中のカルシウムやマグネシウムなどのミネラルは、原子吸光光度法等で測定されている<sup>7)</sup>が、近年、微量分析の分野で試料の前処理等の操作法が簡便で、分析時間が短く、試薬の使用量が少ない等の利点をもつキャピラリー電気泳動法(HPCE)を用いてミネラルイオンに関する研究が行われはじめた。例えば、HPCEによる環境水や生体試料中アルカリ土類金属の定量法の検討<sup>8)</sup>、河川水や血清試料でのカルシウムイオン、マグネシウムイオンの高感度定量<sup>9)</sup>などがあげられる。その他にも、HPCEによる無機陽イオンの同時分析法<sup>10,11)</sup>が報告されているが、分析試料数が少ないのが難点である。

我が国におけるミネラルウォーターの消費拡大が予想される現在、市販ミネラルウォーターおよび水道水のミネラル濃度を正確に把握することはカルシウム等の摂取実態を把握する上で必要である。

本研究の目的は、市販ミネラルウォーター26種類および日本の5地域の水道水について、HPCEによる4つの金属イオン( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )の同時分析によりそれらの濃度を調べることである。

## 方 法

### 1. 試薬および試薬調製法

アンモニウムイオン( $NH_4^+$ )、カリウムイオン( $K^+$ )、ナトリウムイオン( $Na^+$ )、カルシウムイオン( $Ca^{2+}$ )およびマグネシウムイオン( $Mg^{2+}$ )の1,000 ppm (mg/l) 標準溶液(イオンクロマトグラフ用)および蒸留水は、和光純薬工業株式会社製を用いる。泳動溶液には $\alpha$ -ISOC4 (10 mM Imidazole, 5 mM 2-Hydroxy-iso-butyric Acid, 2 mM 18-Crown-6, Acetic Acid 200  $\mu$ L/100 mL, 大塚電子株式会社製)を用いる。

標準溶液は、上記の各陽イオンの1,000 ppm 標準溶液を用いて、先ず各100 ppmの標準混合溶液を調製しておく。

### 2. 試料および試料調製法

表1に分析用市販ミネラルウォーターについて、採水地、内容量(mL)および1本当たりの価格(円)を示す。なお、No. 1~12は外国産、No. 13~26は日本産で

ある。水道水は表2に示す国内5地域の水を用いた。

表1 分析に用いたミネラルウォーター

試料 No.	採水地	内容量 (mL)	価格 (円)
1.	フランス	500	118
2.	フランス	500	198
3.	フランス	500	198
4.	フランス	500	210
5.	フランス	300	198
6.	イギリス	500	230
7.	イギリス	330	600
8.	イタリア	250	330
9.	イタリア	500	180
10.	イタリア	500	130
11.	アメリカ合衆国	500	88
12.	カナダ	593	530
13.	山梨県南都留郡	1000	198
14.	高知県室戸沖	500	230
15.	山口県玖珂郡	2000	158
16.	山梨県北巨摩郡	500	118
17.	神戸市灘区	2000	165
18.	高知県東津野村	2000	100
19.	山梨県北巨摩郡	2000	228
20.	山梨県富士吉田市	500	98
21.	山梨県富士吉田市	500	120
22.	山形県東田川郡	500	108
23.	島根県那賀郡	500	120
24.	愛媛県西条市	2000	147
25.	群馬県吾妻郡	2000	198
26.	(日本生活協同組合販売)	2000	200

表2 分析に用いた水道水

試料 No.	採水地
1.	岡山県倉敷市
2.	岡山県岡山市
3.	滋賀県大津市
4.	山口県玖珂郡錦町
5.	山口県玖珂郡美川町

炭酸入りの試料は超音波脱気した後、分析に供する。また、表示  $Ca^{2+}$  濃度の高い試料については蒸留水で適宜希釈した後、分析に供する。

### 3. 分析装置および分析条件

分析装置には、キャピラリー電気泳動装置フォトダイオードアレイ検出器付(CAPI-3300, 大塚電子株式会社製)を、キャピラリーは、溶融シリカ製(75  $\mu$ m I.D.  $\times$  725 mm L., 有効長; 600 mm)を用いる。

分析は、印加電圧が25 kV, 測定温度が25℃, 測定波長が215 nm(Indirect UV)で行う。注入量は、

落差方式 (25 mm × 30 sec) で約 10 nL となる。

4. 分析法バリデーション<sup>12)</sup>

分析法バリデーションのパラメータのうち併行精度、室内再現精度、検出限界、直線性を調べた。

併行精度は、短時間の間に同一条件下で測定する場合の精度、室内再現精度は、同一施設内において、試験日、試験実施者、器具、機器等を変えて測定する場合の精度、検出限界は、試料中に存在する分析対象物の検出可能な最小濃度、直線性は、一定の範囲内で試料中の分析対象物の濃度(量)と直線関係にある測定値を与える能力をいう。

本研究では、併行精度と室内再現精度は、各イオン 10 ppm の混合溶液を用いて、併行精度は、同一日に続けて 9 回分析操作を行い、室内再現精度は、6 日間連続で 1 日 1 回 (n=3) 分析操作を行った。精度は、移行時間、ピーク面積、ピーク高の相対変動係数(標準偏差/平均値×100, 以下, R.S.D., %) で表す。検出限界は、ノイズ面積の平均値の 3 倍値をシグナルとして算出する。回帰直線と相関係数は、標準混合溶液を 5, 10, 20, 40 および 100 ppm の 5 段階の濃度のピーク面積による 5 点検量で求める。

5. 分析試料中の金属イオン濃度の測定

市販ミネラルウォーター 26 種類および水道水 5 種類をキャピラリー電気泳動法により分析し、ピーク面積から濃度を算出する。ミネラルウォーター中の各金属イオンの表示濃度と実測濃度の両群について、関連 2 群の差の検定<sup>13)</sup>を行う。

6. 産地別の金属イオン濃度平均値の差の検定

各金属イオンの実測値には外国産と日本産で 2 群の母平均には対応関係がないため、先ず各群の平均値が等分散か否かを検定した後、独立 2 群の平均値の差の検定<sup>14)</sup>を行う。

結果および考察

1. 陽イオンのエレクトロフェログラム

図 1 の A に陽イオン標準混合溶液(各 20 ppm), B に外国産ミネラルウォーター, C に日本産ミネラルウォーター, D に水道水の 215 nm におけるエレクトロフェログラムを示す。NH<sub>4</sub><sup>+</sup> は、本来、飲用水に含有されてはならないが、分析の内部標準として用いることができる。移行時間の平均値 ± 標準偏差(分)をピーク出現順にみると、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 3.27±0.01; K<sup>+</sup>, 3.56±0.01; Ca<sup>2+</sup>, 4.23±0.01; Na<sup>+</sup>, 4.39±0.01; Mg<sup>2+</sup>, 4.54±0.01であった。したがって、本法により 4 種類の金属イオンは同時分

析できることが認められた。

2. 分析法バリデーションの検討

併行精度を表 3 に、室内再現精度を表 4 に示す。併行精度は、移行時間、ピーク面積、ピーク高のいずれにおいても R.S.D. が 5 % 以内(ただし、Mg<sup>2+</sup> のピーク高は 5.94%) となり、併行精度はすべての金属イオンできわめて高いことが認められた。室内再現精度は、移行時間についてはすべてのイオンで R.S.D. が 5 % 以内を示したが、ピーク面積の R.S.D. は 7 % 前後、ピーク高は K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> で約 4 %, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> で 5 % 以上になった。室内再現精度は併行精度にくらべて精度が若干劣るので、定量は測定日ごとに標準溶液による補正をすることが望ましいと思われる。

表 3 金属イオンの併行精度

金属イオン	移行時間	R. S. D. ( % )	
		ピーク面積	ピーク高
K <sup>+</sup>	0.21	1.91	2.39
Na <sup>+</sup>	0.18	1.19	2.87
Ca <sup>2+</sup>	0.20	1.14	2.80
Mg <sup>2+</sup>	0.17	1.28	5.94

併行精度; 本文参照.

相対変動係数(R. S. D.) = 標準偏差 / 平均値 × 100.

表 4 金属イオンの室内再現精度

金属イオン	移行時間	R. S. D. ( % )	
		ピーク面積	ピーク高
K <sup>+</sup>	3.00	6.90	4.23
Na <sup>+</sup>	3.58	7.28	5.42
Ca <sup>2+</sup>	3.48	6.89	4.22
Mg <sup>2+</sup>	3.74	7.49	9.26

室内再現精度; 本文参照.

相対変動係数(R. S. D.) = 標準偏差 / 平均値 × 100.

検出限界を表 5 に示す。ピーク面積による検出限界(ppm)は、K<sup>+</sup>, 0.12; Na<sup>+</sup>, 0.05; Ca<sup>2+</sup>, 0.05; Mg<sup>2+</sup>, 0.02であった。検出限界については、4 つの金属イオンすべてが 0.1 ppm とするもの<sup>10)</sup>、また、本成績よりそれぞれが 10 倍以上大きい値のもの<sup>11)</sup>が報告されており、本研究成績は精度が高いことが認められた。

標準溶液の回帰直線と相関係数を表 6 に示す。回帰直線は各金属イオンのいずれも良好な直線性を示し、

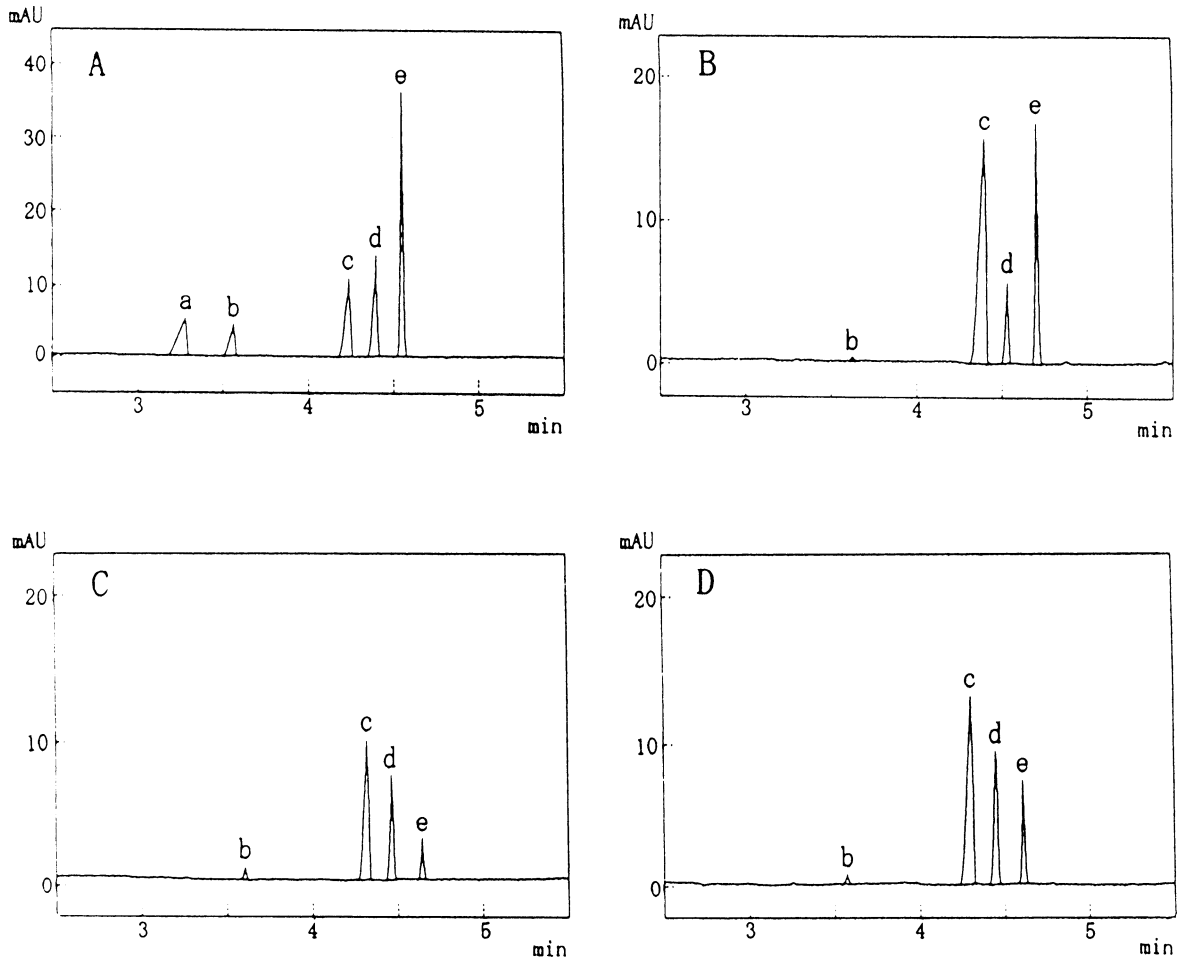


図1 陽イオンのエレクトロフェログラム

A 標準溶液(各イオン 20ppm), B 外国産ミネラルウォーター(試料 No.6).  
 C 日本産ミネラルウォーター(試料 No.15). D 上水道水(岡山県倉敷市).  
 ピーク: a, アンモニウムイオン( $\text{NH}_4^+$ ); b, カリウムイオン( $\text{K}^+$ ); c, カルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ ); d, ナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ ); e, マグネシウムイオン( $\text{Mg}^{2+}$ )

表5 金属イオンの検出限界

金属イオン	検出限界 (ppm)
$\text{K}^+$	0.12
$\text{Na}^+$	0.05
$\text{Ca}^{2+}$	0.05
$\text{Mg}^{2+}$	0.02

検出限界; 本文参照.

相関係数はすべてのイオンできわめて高かった ( $r = 0.9998$ ). したがって, これらの回帰直線を用いて, 試料中の金属イオン濃度を定量できることが認められた.

3. 市販ミネラルウォーター中の金属イオン濃度

表7(1)に市販ミネラルウォーター中の金属イオンの表示濃度と実測濃度を示す. 表示濃度と実測濃度

表6 金属イオンの回帰直線と相関係数

金属イオン	回帰直線	相関係数( $r$ )
$\text{K}^+$	$y=0.49x-0.27$	0.9998
$\text{Na}^+$	$y=1.16x-0.25$	0.9998
$\text{Ca}^{2+}$	$y=1.19x-0.61$	0.9998
$\text{Mg}^{2+}$	$y=2.22x-1.74$	0.9998

x; 濃度 (ppm), y; Area (mAU×sec),

は, 4つのイオンのすべてにおいて表示濃度と実測濃度に有意水準1%で差がないことが認められた. したがって, 市販ミネラルウォーターの表示はかなり信頼できると考えられる.

表7(2)に外国産試料12種類, 日本産試料14種類の各イオンの実測濃度の平均値±標準偏差を示す. 外国産と日本産の2群の母平均が等分散であるものは  $\text{K}^+$  と  $\text{Mg}^{2+}$ , 等分散でないものは  $\text{Na}^+$  と  $\text{Ca}^{2+}$  で

あった。K<sup>+</sup>とNa<sup>+</sup>では両群の各金属イオン平均濃度には有意水準 1% で差が認められなかった。一方、Ca<sup>2+</sup>は有意水準 1% で、Mg<sup>2+</sup>は有意水準 5% で両群の平均濃度に差が認められ、Ca<sup>2+</sup>とMg<sup>2+</sup>は外国産の平均濃度が日本産にくらべて有意に高いことが認められた。金属イオンの測定法としては、主に原子吸光度法、ICP 発光光度法等が用いられており、キャピラリー電気泳動法による測定法はこれまではきわめて少なかった。キャピラリー電気泳動法による金属イオンの測定法として報告されているものは、金属イオンとキレート錯体を形成後に測定を行って

いるが、この方法では前処理が煩雑であり、Ca<sup>2+</sup>とMg<sup>2+</sup>以外の金属については定性のみがなされている<sup>8,9)</sup>。本研究での分析法は試料の前処理がきわめて簡便でありながら、高い精度の分析が可能であることを明らかにした。しかし、同一試料の分析を別の分析法(たとえば、原子吸光度法等)で確認する必要があり、今後の検討課題としたい。

これまでは、栄養摂取量調査ではミネラルウォーターのミネラル濃度は計上されていなかった。しかし、たとえば試料No.4のミネラルウォーターでは1.5リットルの消費でCa<sup>2+</sup>が1日の所要量の600 mgに近い値と

表7 ミネラルウォーターの金属イオン濃度

1. 表示濃度(A)と実測濃度(B)

試料 No.	K <sup>+</sup>		Na <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1.	—	1.0	5.0	6.3	78.0	68.6	24.0	25.9
2.	—	5.0	7.3	7.7	91.0	93.5	19.9	20.7
3.	6.2	6.4	11.6	11.9	11.5	11.7	8.0	8.3
4.	3.2	3.3	9.1	11.7	486.0	390.5	84.0	68.7
5.	0.4	0.5	9.0	12.3	147.3	172.2	3.4	4.2
6.	0.6	0.6	6.0	5.3	35.0	31.9	8.5	7.8
7.	1.0	1.1	25.0	21.5	22.0	21.9	11.0	12.7
8.	2.9	2.6	41.2	39.7	201.6	219.9	57.4	58.6
9.	—	9.2	114.0	93.0	202.0	219.4	30.0	35.7
10.	0.5	0.5	4.4	4.1	59.0	59.9	3.4	3.5
11.	1.8	1.4	11.3	10.1	6.4	5.3	5.4	4.6
12.	0.1	0.2	—	0.9	0.4	2.7	0.04	0.3
13.	0.2	ND	2.4	2.2	8.0	7.7	1.4	1.4
14.	17.3	17.9	18.5	18.7	17.8	18.9	50.0	54.4
15.	1.2	1.9	7.4	8.0	16.0	14.4	1.3	1.3
16.	2.8	3.6	4.9	7.3	9.7	9.6	1.4	2.1
17.	0.4	0.5	16.9	16.8	25.1	24.3	5.2	5.2
18.	0.6	0.6	3.7	4.8	7.7	4.5	1.1	0.8
19.	1.6	1.1	20.2	15.6	6.7	7.3	2.7	2.6
20.	0.7	0.9	4.6	5.1	6.4	6.6	2.6	2.9
21.	0.7	0.9	4.6	4.8	6.4	6.3	2.6	2.5
22.	0.6	0.7	16.0	16.9	12.0	12.6	5.2	5.6
23.	0.4	0.5	24.0	26.0	18.0	18.2	0.04	0.1
24.	0.5	0.7	2.8	4.7	12.0	13.4	1.5	2.0
25.	1.2	1.6	3.4	4.7	4.8	5.3	0.3	1.1
26.	—	1.4	—	10.6	—	22.2	—	3.3

試料No. 1~12は外国産ミネラルウォーター、No. 13~26は日本産ミネラルウォーター。濃度, ppm; —, 表示なし; ND, 不検出。

2. 産地別の平均実測濃度

試料数(n)	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
外国産 12	2.7±2.8	18.7±25.5	108.1±119.5 **	20.9±22.6 *
日本産 14	2.5±4.7	10.4±7.1	12.2±6.6 **	6.1±14.0 *

濃度, ppm; 平均値±標準偏差; \*, p<0.05; \*\*, p<0.01.

なる。その上、食事の内容によって $\text{Ca}^{2+}$ を多く摂取した場合、または、運動や労働後にミネラルウォーターを多量に摂取した場合などでは、仮に試料 No.4 のミネラルウォーターを5リットル摂取すると $\text{Ca}^{2+}$ 量は2,000 mg 程度となり、許容上限摂取量の2,500 mg を超えるおそれが生じる。したがって、ミネラルウォーターからの $\text{Ca}^{2+}$  摂取量については、栄養摂取量調査に計上することが望ましいと考えられる。

#### 4. 水道水中の金属イオン濃度

表8に水道水中の金属イオンの実測濃度を示す。本調査成績での金属イオンの濃度(ppm)の範囲は、 $\text{K}^+$ は0.6~2.1、 $\text{Na}^+$ は3.8~16.6、 $\text{Ca}^{2+}$ は6.2~23.1、 $\text{Mg}^{2+}$ は0.9~3.2であった。なお、水道水のミネラルの定量法は、現在は原子吸光度法が常法なので、キャピラリー電気泳動法による定量法との比較に原子吸光度法による検討も必要であると思う。

表8 水道水中の金属イオン濃度

試料 No.	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
	実測値	実測値	実測値	実測値
1.	1.4	10.5	21.8	3.2
2.	1.6	8.9	13.6	2.8
3.	2.1	11.3	12.0	2.5
4.	0.8	16.6	23.1	0.9
5.	0.6	3.8	6.2	1.4

濃度；ppm.

#### 終わりに

最近の国民栄養調査成績(平成13年度、速報値)によると、国民の多くはビタミン・ミネラルの摂取不足を意識して、錠剤やカプセル、ドリンクとして「ほぼ毎日」摂取しているものが多数いることが示されている。本研究成績から見て、①市販ミネラルウォーター表示のうち、各金属イオンの表示濃度は信頼できる、②日本産のミネラルウォーターや水道水では、カルシウムやマグネシウム含量が少ないが、外国産のミネラルウォーターの中にはカルシウムやマグネシウム含量がかなり高いものがある、などの情報の周知が必要であると考えられた。

本研究に御協力いただいた臨床栄養学科9期生 中村梨沙氏、古屋瑞枝氏、村田善一氏に感謝します。

#### 文 献

- 1) 吉田勉 編：総論 栄養学。第3版，医歯薬出版株式会社，東京，134，1997。
- 2) サントリーミネラルウォーターレポート No.8220，2002。
- 3) 清涼飲料関係統計資料，日本ミネラルウォーター協会，2002。
- 4) 財務省関税局：日本貿易統計，2002。
- 5) 健康・栄養情報研究会 編：第六次改訂日本人の栄養所要量 食事摂取基準。初版，第一出版株式会社，東京，16，1999。
- 6) 健康・栄養情報研究会 編：国民栄養の現状(平成12年厚生労働省国民栄養調査結果)。第1刷，第一出版株式会社，東京，69-74，2002。
- 7) 日本薬学会 編：衛生試験法・注解。金原出版株式会社，東京，161-162，698-700，720，2000。
- 8) Shoji Motomizu, Mitsuko Oshima and Masayoshi Kuwabara: Separation and Sensitive Determination of Metal Ions by Capillary Zone Electrophoresis with 2-(5-Bromo-2-pyridylazo)-5-(N-propyl-N-sulfopropylamino)phenol. *Analyst*, **119**, 1787-1792, 1994。
- 9) 本水昌二，森本浩司，桑原正良，小畑義光，泉国辰：キャピラリー電気泳動によるN,N'-ジ(2-ヒドロキシベンジル)エチレンジアミン-N,N'-二酢酸を用いる金属イオンの分離とカルシウム及びマグネシウムイオンの定量。分析化学，**42**，8-15，1993。
- 10) 佐藤康博：キャピラリー電気泳動による環境水試料の無機イオン分析。キャピラリー電気泳動ジャーナル CEアドバンス，59-62，2002。
- 11) Hans Toepfer(Ed.): New Cation Analysis Kit for CE. Hewlett-Packard *PEAK*, **2**，16-17，1999。

- 12) 岡田哲男, 山本敦, 井上嘉則 編: クロマトグラフィーによるイオン性化学種の分離分析. 株式会社エヌ・ティー・エス, 東京, 187-188, 2002.
- 13) 市原清志: バイオサイエンスの統計学. 第5刷, 南江堂, 東京, 28-29, 1991.
- 14) 同上, 72-75.

(平成15年5月30日受理)

## Simultaneous Determination of Potassium, Sodium, Calcium and Magnesium Ions in Drinking Water Samples by Capillary Electrophoresis.

Rie YANAI, Satoko KAWABE and Toshiko FUJII

(Accepted May 30, 2003)

Key words : HIGH-PERFORMANCE CAPILLARY ELECTROPHORESIS (HPCE), MINERAL ION  
SIMULTANEOUS DETERMINATION, MINERAL WATER, TAP WATER.

### Abstract

A simple and rapid method for the simultaneous determination of the four cations, potassium, calcium, sodium and magnesium, in standard solutions and drinking water samples using high-performance capillary electrophoresis (HPCE) is described. The cations were well separated from each other on a fused-silica capillary utilizing an electrophoretic buffer containing 10 mM imidazol, 5 mM 2-hydroxy isobutyric acid, 2 mM 18-Crown-6 and 0.2 % acetic acid and indirect ultraviolet detection at 215 nm. The total analysis time was less than five minutes per sample. Linearity was checked for concentrations ranging from 5 to 100 mg/l of the standard solution and correlation coefficients for all the cations were greater than 0.9998. The limits of detection for potassium, calcium, sodium and magnesium ions were 0.12, 0.05, 0.05 and 0.02 mg/l, respectively. Repeatability for any given day showed relative standard deviations of less than five percents and reproducibility on successive days showed relative standard deviations of less than ten percents for all four ions. Using the proposed method, the four cations were determined in drinking water samples. The mean amounts of calcium ion with standard deviations in imported mineral water samples and domestic mineral water samples were  $108.1 \pm 119.5$  and  $12.2 \pm 6.6$  mg/l, respectively.

Correspondence to : Rie YANAI

Master's Program in Clinical Nutrition, Graduate School of  
Medical Professions, Kawasaki University of Medical Welfare  
Kurashiki, 701-0193, Japan  
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.13, No.1, 2003 103-109)