

## キャピラリー電気泳動法による温泉水の分析

朝井 知子、濱田 健史、茶山 健二  
(機能分子化学科)

(受理日 2006年4月15日)

### 1. 緒言

現在、日本各地の温泉地では、温泉法に基づき源泉の含有成分について測定を行い、表示している。源泉の測定は一度きり、あるいは十年に一度程度しか行われていないのが現状である。そのため近年、加水、加温、循環ろ過を行ったり、入浴剤を添加したりしているにも関わらず、「源泉100%」、「天然温泉100%」など、源泉をそのまま利用しているような事実と異なる表示を行い、消費者に誤解を招いていることが問題となった。

そこで公正取引委員会は2003年7月「温泉表示に関する実態調査」を実施し、消費者に対する温泉の表示の問題を指摘した。また、環境省は、2003年8月から「温泉の保護と利用に関する懇談会」を行い、2004年6月「温泉の保護と利用に関する課題」の中間報告を行った。その中で、温泉と温泉利用をめぐる状況として、温泉（源泉、湧出量など）の動向、温泉利用（利用施設、利用者数など）の動向、温泉利用者・国民の視点、温泉地・温泉事業者の視点などからの問題が挙げられた。特に、温泉利用者・国民の視点においての問題点は、レジオネラ症問題などによる衛生管理への不安、循環利用への不信などが、また、温泉地・温泉事業者の視点では、温泉資源の制約、枯渇問題及び循環ろ過方式の利用による衛生問題が指摘された。そして、それらの課題として、温泉源の保護を進めること、温泉利用の適正管理と情報提供を進めることなどが挙げられ、温泉の成分表示の厳格化を行うことが示された。2005年6月には、温泉法施行規則が改正され、加水・加温、循環濾過装置の使用、消毒処理を行った場合、その旨を記載することが新たに付け加えられた。

温泉水の分析は、環境省自然環境局発行の「鉱泉分析法指針」に基づき、物理試験、物理化学試験、及び化学試験が行われている。その中でも特に化学試験が重点的に行われ、その測定方法はイオン種によって異なる (Table 1)。また、陰イオンの一斉測定法として、イオンクロマトグラフ法が挙げられている。Table 1より明らかなように、陽イオンの測定には原子吸光光度法が主に使用されている。ところが、原子吸光光度法は、測定するイオン種ごとにランプを交換しなくてはならないため、混合されたイオン種を同時に分析することが困難であり、測定に時間を要する。また、陰イオンの一斉分離に用いられているイオンクロマトグラフ法は、イオン交換カラムが高価であり、陽イオンと陰イオンでは使用するカラムを交換する必要がある。

そこで、本研究では、キャピラリー電気泳動 (Capillary Electrophoresis : CE) 法を用いて、これらの方法より簡便かつ迅速に一斉分離を行える測定法を開発することを目的とした。CE法においては、多成分一斉分離が可能であり、キャピラリーはイオンクロマト

Table 1 Method of Hot Spring Water

Agent	Method	Agent	Metod
Na	炎光法・間接重量法	F	イオン電極法・比色法
K	炎光法・間接重量法	Cl	ホルハルト法・モール法・イオン電極法
NH <sub>3</sub>	インドフェノール法	Br	フルオレスセイン法
Mg	キレート法・原子吸光法	I	ヨウ素デンプン法
Ca	キレート法・原子吸光法	S	ヨウ素滴定法・臭素酸化法
Sr	炎光法	HS	水蒸気蒸留法
Ba	炎光法	SO <sub>3</sub>	比色法
Al	アルミノン法・比色法・原子吸光法	SO <sub>4</sub>	硫酸バリウム法
Cr	比色法・原子吸光法	PO <sub>4</sub>	比色法
Mn	比色法・原子吸光法	As	比色法・原子吸光法
Fe	比色法・原子吸光法	CO <sub>3</sub>	重量法・容量法・分離滴定法
Cu	比色法・原子吸光法	SiO <sub>3</sub>	重量法・比色法
Zn	原子吸光法	BO <sub>2</sub>	容量法・比色法
Hg	還元気化法・原子吸光法	Cd	原子吸光法

カラムに比べ安価で、コンディショニングをするだけで、陽イオンと陰イオンを同一キャピラリーで測定することが可能であるという利点がある。

また、ダイナミックレンジが広く、多成分一斉同時分析が可能であり、様々な分析分野で、幅広く使用されている誘導結合プラズマ (Inductively Coupled Plasma : ICP) 発光分光分析法においても測定を行い、値の評価を行った。

## 2. CE 法による実験

### 2.1 はじめに

温泉水中の陰イオン成分の測定は、鉱泉分析法指針に基づき、イオンクロマトグラフ (Ion Chromatography : IC) 法で行われてきた。しかし、IC法では、多量の溶離液を必要とし、また、温泉水中の主要成分である炭酸イオンの測定が困難であるなどの問題を抱えている。また、陽イオン成分の測定には、イオン種ごとに複数の測定方法が示されており、それらを実施することで、より正確な値を算出していると考えられる。ところが、陽イオンの一斉分離の方法として挙げられている原子吸光光度法では、成分ごとに吸収波長が異なるため、ランプを交換する必要があるため、一斉分離を行うことは困難である。そこで本研究では、CE法を用いて、主要陰イオン及び陽イオンの一斉分離を行うことを目的とした。

陰イオンの測定においては、陰イオンは吸収を持たないものが多く含まれるため、泳動溶液に吸収を持つ安息香酸を加え、間接検出法で検出を行った。また一般的な電気泳動法

では、溶液は負極から正極に流れるため、陰イオンを検出するためには多くの時間が必要となる。そこで、泳動溶液に第4級アンモニウムの陰イオン性界面活性剤を加えることによって、キャピラリー内の電気二重層にさらに一層加え、電気三重層とすることで電気浸透流を逆転させることが可能となる。この第4級アンモニウムの陰イオン性界面活性剤には、一般に、臭化ヘキサデシルトリメチルアンモニウムや塩化ヘキサデシルトリメチルアンモニウムが用いられるが、今回は、測定対象物質中に臭化物イオン及び塩化物イオンが含まれているため、水酸化ヘキサデシルトリメチルアンモニウムを用いることにした。印加電圧、キャピラリー恒温槽温度、及び泳動溶液のpHを変化させることにより、最適条件を決定した。それらの条件を基に検量線を作製し、検出限界、及び相対標準偏差を算出した。そして実試料に適用し、実試料中の成分濃度を測定した。

陽イオンの測定においては、測定対象とした成分の多くが光吸収を持っているが、同一波長での検出が困難であるので、泳動溶液に吸収を持つ銅-エチレンジアミン錯体を加えることで、間接検出法で成分の検出を行った。キャピラリー有効長、印加電圧、キャピラリー恒温槽温度、及び泳動溶液のpHを変化させることにより、最適条件を決定した。それらの条件を基に検量線を作製し、検出限界、及び相対標準偏差を算出した。そして実試料に適用し、実試料中の成分濃度を測定した。

## 2.2 装置

装置には、大塚電子社製 CAPI-3200Q を使用した。また、分離キャピラリーには、大塚電子社製内径 50  $\mu\text{m}$ 、全長 92 cm、有効長 80 cm の内面未処理フューズドシリカキャピラリーを用いた。

## 2.3 試薬

陰イオン 1000 ppm 標準溶液には、和光純薬工業の試薬特級フッ化ナトリウム、硫酸ナトリウム、及びリン酸二水素ナトリウムと、和光純薬工業の試薬一級臭化ナトリウム、和光純薬工業の試薬硝酸ナトリウム、及びナカライテスクの塩化ナトリウムを使用した。また泳動溶液には、和光純薬工業の試薬特級安息香酸とナカライテスクの水酸化ヘキサデシルトリメチルアンモニウム、及びヒドロキシメチルアミノメタンを使用し、pH 調整のために和光純薬工業の精密分析用塩酸を使用した。さらにキャピラリーコンディショニングには、和光純薬工業の試薬特級シュウ酸、及びナカライテスクの水酸化ナトリウムを使用した。

陽イオン 1000 ppm 標準溶液には、和光純薬工業の塩化マグネシウム六水和物、塩化カリウム、塩化カルシウム二水和物、水酸化リチウム一水和物及び塩化バリウム二水和物と、ナカライテスクの塩化ナトリウムを使用した。また泳動溶液には、和光純薬工業の化学用酢酸銅(II)、和光純薬工業の試薬特級エチレンジアミンを使用し、pH 調整には和光純薬工業の精密分析用塩酸を使用した。さらにキャピラリーコンディショニングには、和光純薬工業の試薬特級シュウ酸及びナカライテスクのメタノールを使用した。

各溶液の調製には、ミリポア製 Milli-Q Simpli Lab にて精製した超純水を使用した。

## 2.4 試薬の調製

陰イオンの泳動溶液は、20 mM 安息香酸、0.068 % v/v 水酸化ヘキサデシルトリメチルアンモニウム、50 mM ヒドロキシメチルアミノメタンを水で混合し、pH 調整に 10 mM 塩酸を加えて pH 7.0、8.0、9.0、10.0 とした。また、試料溶液は、フッ化物、塩化物、臭化物、硝酸、硫酸、及びリン酸がそれぞれ 100 mg になるようにフッ化ナトリウム、塩化ナトリウム、臭化ナトリウム、硝酸ナトリウム、硫酸ナトリウム、及びリン酸二水素ナトリウムを秤量し、それぞれ水で 100 ml に調製した 1000 ppm 標準溶液を保存し、測定毎に、希釈して使用した。

陽イオンの泳動溶液は、5 mM 酢酸銅(II)、10 mM エチレンジアミンを水で混合し、pH 調整に 10 mM 塩酸を加えて pH 5.0、6.0、7.0、8.0 とした。また、試料溶液は、ナトリウム、マグネシウム、カリウム、カルシウム、リチウム及びバリウムがそれぞれ 100 mg になるように、塩化ナトリウム、塩化マグネシウム、塩化カリウム、塩化カルシウム、水酸化リチウム及び塩化バリウムを秤量し、それぞれ水で 100 ml に調製した 1000 ppm 標準溶液を保存し、測定毎に、希釈して使用した。

## 2.5 実試料の調製法

実試料には、A から F の 6 種の温泉を使用した。それぞれ採水した温泉水を、0.45  $\mu\text{m}$  のメンブレンフィルターでろ過後、水で 2、5、10、20 倍希釈し、測定を行った。

## 2.6 分析手順

陰イオンの測定においては、キャピラリーを 0.1 M シュウ酸溶液で 15 分間、及び 0.1 mM 水酸化ナトリウム溶液で 7 分間コンディショニングし、測定毎に、水 5 分間、メタノール 7 分間、及び水 7 分間洗浄し、泳動溶液を 7 分間充填した。その後、試料溶液を落差 25 mm で 300 秒間注入した。泳動時の印加電圧は、-10、-15、-20 kV、キャピラリーの恒温槽温度は、15、25、35  $^{\circ}\text{C}$  とし、測定波長は 220 nm とした。

陽イオンの測定においては、キャピラリーを 0.1 M シュウ酸溶液で 15 分間コンディショニングし、測定毎に、水 5 分間、メタノール 7 分間、及び水 7 分間洗浄し、泳動溶液を 7 分間充填した。その後、試料溶液を落差 25 mm で 300 秒間注入した。泳動時の印加電圧は、10、15、20 kV、キャピラリーの恒温槽温度は、15、25、35  $^{\circ}\text{C}$  とし、測定波長は 220 nm とした。

## 3. ICP 発光分光分析法による実験

### 3.1 はじめに

「鉱泉分析法指針」に示される分析法の問題点については、前に示したとおりである。CE 法において、測定した値の評価を行うために温泉地に掲示されている温泉成分表を入手したが、この温泉成分表の作成に関する規定はないため、温泉によっては、十数年以上も前に測定した値をそのまま表示している場合も多い。しかし、温泉も自然なものであり、時が経つにつれ、泉質が変化している可能性も考えられる。実際、新潟県栃尾又温泉においては、泉温 35~36  $^{\circ}\text{C}$ 、湧出量 102 l/min の温泉が、2004 年 10 月 23 日の中越地震の発生

により、泉温が32℃まで低下した。地下の変化に伴い、成分濃度が変化していることも考えられるだろう。したがって、本研究において、CE法により測定した値の整合性をみるため、多成分同時分析が可能で、ダイナミックレンジが広く、高感度に測定することができるICP発光分光分析法により温泉水の測定を行い、CE法で得られた値の評価を行った。

### 3.2 装置

装置には、セイコーインスツルメンツ社製Vista-MPXを使用した。各成分の測定に用いた分析線の波長をTable 2に示した。

### 3.3 試薬

1000 ppm標準溶液には、和光純薬工業の塩化マグネシウム六水和物、塩化カリウム、塩化カルシウム二水和物、塩化アルミニウム六水和物、塩化クロム(Ⅲ)六水和物、塩化マンガン四水和物、塩化銅(Ⅱ)、塩化鉄(Ⅲ)六水和物、及び塩化亜鉛と、ナカライテスクの塩化ナトリウムを使用した。内部標準物質には、和光純薬工業のイットリウム1000 ppm標準溶液を使用した。

各溶液の調製には、Barnsted社製NANO pure II超純粋装置にて精製した超純水を使用した。

### 3.4 試薬の調製

試料溶液は、ナトリウム、マグネシウム、カリウム、カルシウム、アルミニウム、クロム、マンガン、鉄、銅及び亜鉛がそれぞれ100 mgになるように、塩化ナトリウム、塩化マグネシウム、塩化カリウム、塩化カルシウム、塩化クロム、塩化マンガン、塩化鉄、塩化銅、及び塩化亜鉛を秤量し、それぞれ水で100 mlに調製した1000 ppm標準溶液を保存し、測定毎に、希釈して使用した。

### 3.5 実試料の調製法

実試料には、D温泉及びF温泉を用い、イットリウム1 ppm、0.1 M硝酸酸性になるよう調製した。

Table 2 Analysis line of ICP-AES

Agent	Wavelength (nm)	Agent	Wavelength (nm)
Na	589.592	Cr	267.716
Mg	279.553	Mn	257.610
Al	396.152	Fe	238.204
K	766.491	Cu	324.754
Ca	396.847	Zn	213.857

## 4. 結果と考察

### 4.1 CE法

#### 4.1.1 泳動条件の検討

##### 4.1.1.1 陰イオン

泳動溶液のpHを8.0、9.0、10.0に調製し、泳動させた結果をFig.1に示す。pHにおいては、それほど大きな違いが見られなかったため、pH9.0を最適とした。次に、印加電圧の検討を行った。印加電圧を-10、-15、-20 kVと変化させた結果をFig.2に示す。-10 kVにおいては検出に時間がかかる上、検出の遅い成分ほどピークがブロードになった。また、-20 kVにおいては、検出時間は早いですが、成分イオンのピークが重なり、完全分離が困難であった。-15 kVにおいては、比較的検出時間が早い上、成分ピークの重なりもなく、完全分離を達成することができたので、-15 kVを最適とした。

さらに、キャピラリー恒温槽温度を15、25、35℃と変化させて検討を行った (Fig.3)。その結果、35℃において検出時間が最も早くなったが、成分ピークの重なり、及びピーク

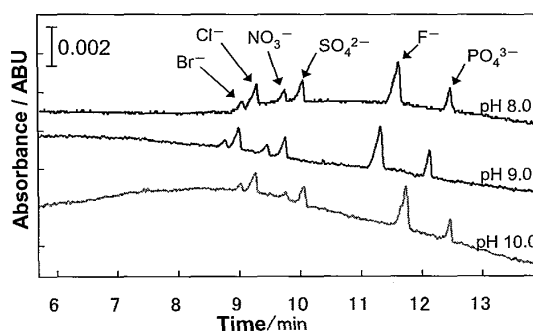


Fig. 1 Electropherogram of anions. Experimental conditions: capillary, 92 cm (80 cm do the detector) 50  $\mu$ m I.D.; detection wavelength,  $\lambda=220$  nm.

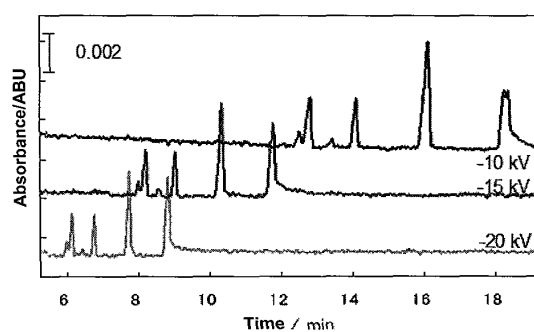


Fig. 2 Electropherogram of anions. Experimental conditions: capillary, 92 cm (80 cm do the detector) 50  $\mu$ m I.D.; detection wavelength,  $\lambda=220$  nm.

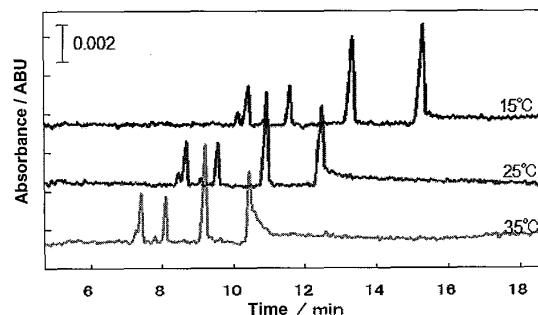


Fig. 3 Electropherogram of anions. Experimental conditions: capillary, 92 cm (80 cm do the detector) 50  $\mu$ m I.D.; detection wavelength,  $\lambda=220$  nm.

のテーリングが生じた。15℃、及び25℃では成分ピークの重なりがなく、ほぼ完全分離することができたので、より検出時間の早い、25℃を最適と決定した。

以上のことから、陰イオン成分の分離における最適条件は、キャピラリー有効長80 cmで、泳動溶液のpH 9.0、印加電圧-15 kV、キャピラリー恒温槽温度25℃と決定した。

#### 4.1.1.2 陽イオン

当初、分離に用いるキャピラリーの有効長を50 cmとして実験を行った。まず、泳動溶液のpHを5.0、6.0、7.0、8.0に調製し、泳動させたが完全分離は達成されなかった。そこで最も良い分離であったpH 6.0を最適とした (Fig.4)。次に、印加電圧の検討を行った。印加電圧を10、15、20 kVと変化させた結果も完全分離は達成されなかったが、最も良い分離ができた15 kVを最適とした (Fig.5)。さらに、キャピラリー恒温槽温度を15、25、35℃と変化させて検討を行った。その結果、pH及び印加電圧と同様、完全分離は達成されなかったが、ピークの形状の良い、25℃を最適とした (Fig.6)。

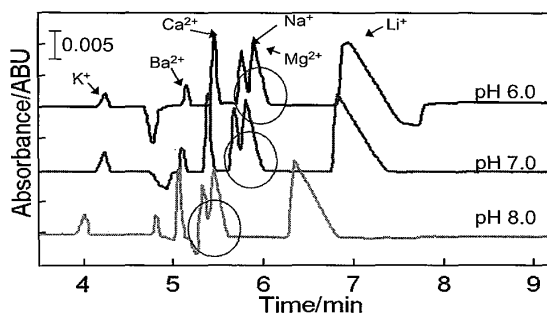


Fig. 4 Electropherogram of cations. Experimental conditions: capillary, 62 cm (50 cm do the detector) 50 μm I.D.; detection wavelength, λ=220 nm.

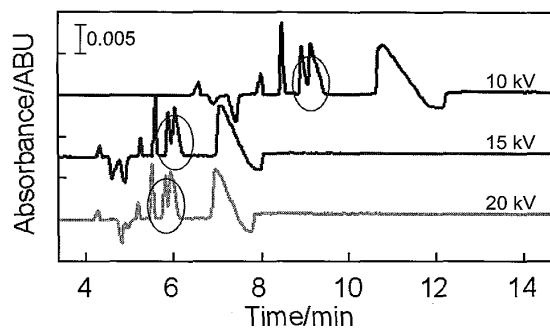


Fig. 5 Electropherogram of cations. Experimental conditions: capillary, 62 cm (50 cm do the detector) 50 μm I.D.; detection wavelength, λ=220 nm.

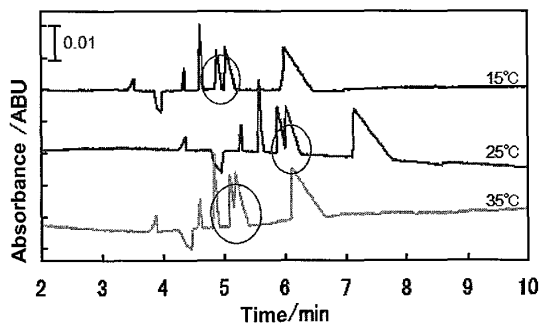


Fig. 6 Electropherogram of cations. Experimental conditions: capillary, 62 cm (50 cm do the detector) 50 μm I.D.; detection wavelength, λ=220 nm.

以上三つの最適条件の検討結果より、分析対象とした成分イオンの完全分離が困難であった。この原因として、ナトリウム及びマグネシウムの性質、原子量、及び原子半径が近似しているため、移動度が近似し、電気泳動を行っても分離が難しかったのではないかと考えられる。そこで、分離のためのキャピラリー有効長を 80 cm とし、改めて同様の検討を行った。

まず、泳動溶液の pH を 6.0、7.0、8.0 に調製し、泳動させた結果、pH 6.0 において、完全分離を達成することができた。次に、印加電圧を 10、15、20 kV と変化させた結果、検出時間及びピークの形状から 15 kV を最適とした。最後に、キャピラリー恒温槽温度の検討を行った。15、25、35 °C と変化させた結果、検出時間及びピークの形状から 25 °C を最適とした。以上のことから、陽イオン成分の分離における最適条件は、キャピラリー有効長 80 cm、泳動溶液の pH 6.0、印加電圧 15 kV、キャピラリー恒温槽温度 25 °C と決定した。

#### 4.1.2 検出限界、検量線及び再現性

最適条件においてピーク高さに対する検出限界 (S/N=3) を算出した (Table 3)。検出波長 220 nm において、ナトリウム、マグネシウム、カルシウム、リチウム、バリウム、フッ化物、塩化物、硫酸、及びリン酸の各イオンは、検出限界が 0.5 ppm 以下となり、微量成分の検出が可能であることが明らかとなった。しかし臭化物、及び硝酸の各イオンは、検出限界が 1 ppm を超え、微量検出が困難である。この原因について、臭化物イオンは比較的原子量が大きく、10 ppm 中に含まれる原子の数が少ないため、吸光光度の原理を利用する CE 法の検出では検出が困難であるのではないかと考えられる。また、硝酸イオンに関しては、それ自身、光吸収を持つ物質であり、220 nm においても光吸収しているた

Table 3 Detection limits and Reproducibility of migration time and peak area.

	LOD (ppm)	RSD n=5 (%)	
	S/N=3	Time	Peak Area
Na <sup>+</sup>	0.20	0.42	0.99
Mg <sup>2+</sup>	0.20	0.41	2.1
K <sup>+</sup>	0.56	0.35	1.9
Ca <sup>2+</sup>	0.12	1.3	2.4
Li <sup>+</sup>	0.17	0.30	1.6
Ba <sup>2+</sup>	0.38	0.41	1.7
F <sup>-</sup>	0.26	0.14	2.2
Cl <sup>-</sup>	0.35	0.12	1.9
Br <sup>-</sup>	1.1	0.11	1.0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.6	0.10	2.5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.36	0.11	1.7
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.14	0.11	2.0



め、泳動溶液の光吸収と同量光吸収していると考えられ、230 nmにおいて比較的大きなピークとして得ることが可能であった。

次に、最適条件におけるピーク面積の検量線 (Fig.7) と、再現性を調べるために5回の測定結果における泳動時間、及びピーク面積の相対標準偏差 (Relative Standard Deviation : RSD) を算出した (Table 3)。泳動時間におけるRSDはカルシウムを除く陽イオン成分において0.50%以下、全ての陰イオン成分において0.15%以下を達成した。また、ピーク面積に関しても2.5%以下と比較的良好な結果が得られ、これらを実試料に適用することにした。

#### 4.1.3 実試料への適用

最適条件の下、実試料の測定を行った。良好な結果を得ることができた、A温泉の結果をFig.8に、B温泉の結果をFig.9に示す。また、測定を行ったAからFまでの温泉について

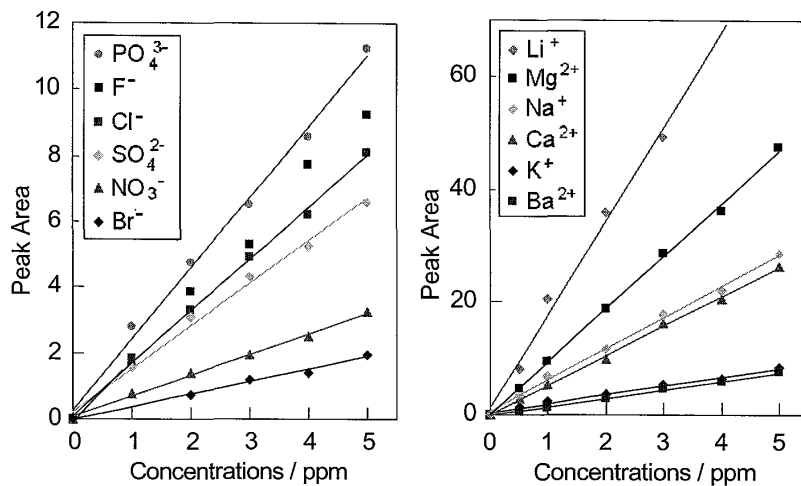


Fig. 7 Graf of Calibration curve (a) anions, (b) cations.

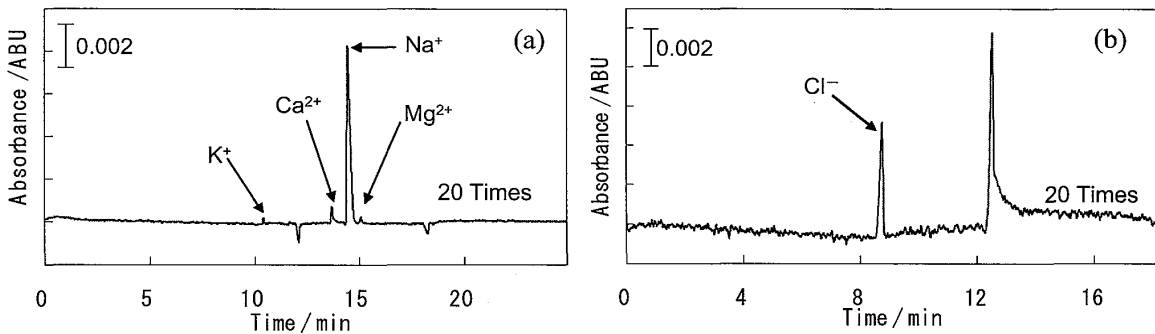


Fig.8 Electropherogram of Hot Spring water type A. (a) is cations. (b) is anions. Experimental conditions: capillary, 92 cm (80 cm do the detector) 50  $\mu$ m I.D.; detection wavelength,  $\lambda=220$  nm.; temperature 25  $^{\circ}$ C.

て、検量線から算出した実試料中の成分濃度を Table 4 に示す。これらの結果から、それぞれの実試料において、成分の分離、及び検出を達成した。

#### 4.2 ICP 発光分光分析法との比較

ICP 発光分光分析法において測定を行った温泉 D 及び F について、その結果を CE 法及び温泉成分表と比較を行った (Table 5)。F 温泉のナトリウム、マグネシウム及びカルシウムなど、低濃度成分については、CE 法、ICP 発光分光分析法、及び温泉成分表の値が、ほぼ一致し、良好な結果が得られたと考えられる。また、D 温泉のナトリウム、カリウム

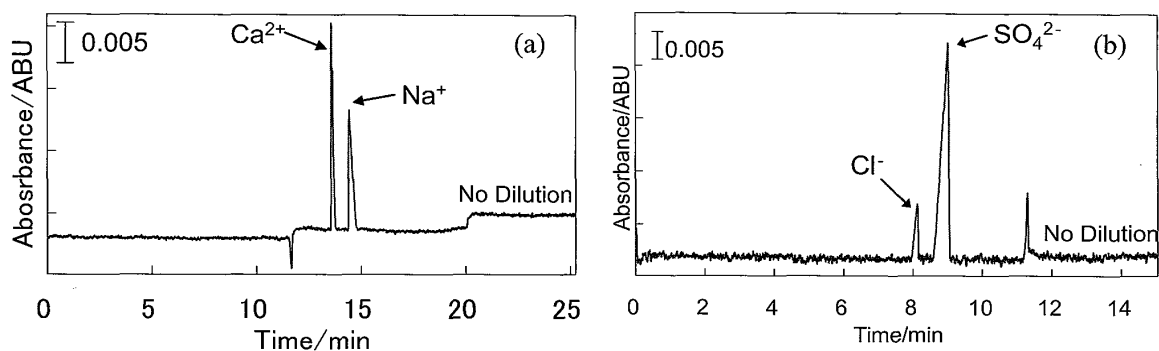


Fig.9 Electropherogram of Hot Spring water type E. (a) is cations. (b) is anions. Experimental conditions: capillary, 92 cm (80 cm do the detector) 50  $\mu\text{m}$  I.D.; detection wavelength,  $\lambda=220$  nm.; temperature 25  $^{\circ}\text{C}$ .

Table 4 Measurement results and comparison with the ingredient lists.

	A spring		B spring		C spring		D spring		E spring		F spring	
	CE	List	CE	List	CE	List	CE	List	CE	List	CE	List
Na <sup>+</sup>	302.0	306.8	189.0	257.5	511.0	722.8	1438	1412	59.5	60.0	20.8	21.9
Mg <sup>2+</sup>	3.2	4.4	6.1	5.3	16.7	18.6	ND	4.3	ND	—	1.5	1.4
K <sup>+</sup>	5.9	4.8	7.9	4.8	14.8	11.2	90.3	123.2	ND	1.8	ND	0.4
Ca <sup>2+</sup>	13.9	15.8	10.2	0.05	33.0	48.3	532.9	547.2	56.4	53.5	48.4	48.4
Li <sup>+</sup>	ND	—	ND	—	ND	—	ND	4.3	ND	—	ND	0.3
Ba <sup>2+</sup>	ND	—	ND	—	ND	—	ND	ND	ND	—	ND	ND
F <sup>-</sup>	ND	0.2	ND	0.1	ND	0.1	ND	2.7	ND	0.7	ND	0.1
Cl <sup>-</sup>	250.1	244.8	59.9	114	510.9	841.9	3228	3199	31.1	27.9	3.0	5.7
Br <sup>-</sup>	ND	—	ND	—	ND	—	ND	8.7	ND	ND	ND	ND
NO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	ND	—	ND	—	ND	—	ND	—	ND	ND	ND	ND
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ND	<0.1	ND	0.1	ND	0.1	73.3	78.3	182.7	219.8	82.6	100.6
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ND	—	ND	—	ND	—	ND	—	ND	ND	ND	0.03

Table 5 Comparison with the ingredient lists and ICP-AES.

	D spring			F spring		
	CE	ICP-AES	List	CE	ICP-AES	List
Na <sup>+</sup>	1438	1478	1412	20.8	21.7	21.9
Mg <sup>2+</sup>	ND	4.4	4.3	1.5	1.44	1.4
K <sup>+</sup>	90.3	116	123.2	ND	0.67	0.4
Ca <sup>2+</sup>	532.9	485.1	547.2	48.4	44.1	48.4
Li <sup>+</sup>	ND	—	4.3	ND	—	0.3
Ba <sup>2+</sup>	ND	—	ND	ND	—	ND

及びカルシウムの高濃度成分については、値にばらつきがあらわれたようにみえるが、誤差としてはそれほど大きな差ではないと考えられる。このことから、今回測定を行った温泉では、温泉成分表の値がほとんど変化していないこと、また、CE法及びICP発光分光分析法の測定が適切なものであったことが言える。

## 5. 結論

CE法において、キャピラリー有効長、泳動溶液のpH、印加電圧及び恒温槽温度を最適化することにより、ナトリウム、マグネシウム、カリウム、カルシウム、リチウム及びバリウムの陽イオン6種類、フッ化物、塩化物、臭化物、硝酸、硫酸及びリン酸の陰イオン6種類の測定が可能となった。また、これらの最適条件を温泉の実試料に展開し、測定することが可能となった。さらに、CEでの測定値をICP発光分光分析法により消化した結果、良好な値を得ることができた。

今後、さらに測定対象物質を増加させ、温泉水中に含まれる多成分を同時一斉分析することを可能とすることができれば、マイクロチップ電気泳動法に応用することで、さらなる発展が期待される。

## 参考文献

- [1] キャピラリー電気泳動 基礎と実際：本田進,寺部茂編（講談社サイエンティフィック）
- [2] 温泉研究 第3号：温泉学会
- [3] 鉱泉分析法指針：環境省自然環境局
- [4] J.Terasawa et.al., *BUNSEKI KAGAKU*, Vol. 50, No.12, 813-817, (2001)
- [5] T.Asai et.al., *MSB2006 (International Symposium of Microscale Bioseparations)*, p172-173

## Analysis of Japanese Hot Springs by Capillary Electrophoresis

Tomoko Asai, Kenji Hamada and Kenji Chayama

Department of Chemistry, Faculty of Science and Engineering, Konan University  
Okamoto 8-9-1, Higashinada-ku, Kobe 658-8501, Japan

(Received April 15, 2006)

### Abstract

The aim of this study was to develop a new method for determination of inorganic cations and anions in hot spring water with capillary electrophoresis and indirect UV detection. Separations were performed with fused-silica capillary (92 cm (80 cm to the detector)  $\times$  50  $\mu$ m I.D.). Sodium, magnesium, potassium, calcium, lithium and barium as cation sample, and fluoride, chloride, bromide, nitrate, sulfate and phosphate as anions were examined. Background electrolyte solution for cations was solution containing copper (II) acetate and ethylenediamine, and background electrolyte solution for anions was solution of benzoic acid, Tris, and hexadecyltrimethylammoniumhydroxide. Concentrations, pH of background electrolyte solution and capillary temperature, applied voltage, and so on were examined. Electropherograms were obtained by means of indirect UV detection at 220 nm. Separation of six cations and six anions were achieved. The detection limits for cations and anions ranged from 0.12 to 1.6 ppm. The relative standard deviations (RSDs) of migration times ranged from 0.10 to 1.3%, and the RSDs of peak areas ranged from 0.99 to 2.5%. This method was applied to determine these species in different samples of hot spring water at city of Kobe in Japan.

This study was reported at MSB 2006 (20th International Symposium on Microscale Bioseparations).