

熊本の地下水と市販ペットボトル水の水質比較

赤星博興 末吉栄志 津留靖尚 中熊秀光 田島幸治

1 緒言

熊本市は豊富で良質な地下水に恵まれており、水道水はすべて地下水に依存している。人口が60万人を超えるような都市で、水道水の全量を地下水で賄っている都市は世界的にも珍しい存在である。また、熊本の地下水は豊富であることばかりでなく、おいしいことでも知られており、1985年には旧厚生省の「おいしい水研究会」や東京都の利き水名人により全国でもトップクラスのおいしい水であるということが新聞¹⁾や書籍²⁾で紹介されている。

熊本市では、この清冽で豊かな地下水を都市戦略の資源と位置付けて、市民とともに熊本の水の優位性を再認識し、水環境の保全を進めながら、地下水を活用した魅力あるまちづくりに取り組んでいる。

そこで、当研究所では、熊本の地下水の水質特性を明らかにするために、名水として全国で販売されている市販ペットボトル水を分析し、熊本の地下水と水質組成を化学的な面から比較したので報告する。

2 調査方法

(1) 試料

全国で市販されているペットボトル水のうち、ナチュラルミネラルウォーターを中心に国内産110品目を入手し、これを試料とした。また、参考のため海洋深層水9品目、温泉水を原水としているもの6品目及び外国産31品目も併せて分析した。

(2) 分析項目

ペットボトル水の分析は、蒸発残留物を重量法、pHをガラス電極法、硬度をEDTA滴定法、アルカリ度を硫酸滴定法、TOCを燃焼酸化-赤外線式TOC自動計測法、Na⁺などのイオン成分をイオンクロマトグラフ法、SiO₂をモリブデン黄吸光光度法にて行った。

3 結果と考察

(1) 市販ペットボトル水の水質特性

試料を地域別、水源の種類別に分けたものを表1~3に示す。市販ペットボトル水は、水源の種類、場所、水量及びペットボトル水製造会社の規模等により品目の流通量が異なるため、国内産の水については、北海道・東北、中部、九州地方を水源地とする水が他の地域より多くなり、外国産の水はフランスとイタリアを中心としたヨーロッパの水が多くなった。また、水源の種類としては地域により差が見られるが、国内産市販ペットボトル水は鉱水・鉱泉水が約半数を占め、次いで湧水の順であった。

表1 国内産市販ペットボトル水、海洋深層水及び温泉水の水源地域の内訳

| 地 域 | 都道府県数 | 国内産 | 海洋深層水 | 温泉水 |
|--------|-------|-----|-------|-----|
| 北海道・東北 | 7 | 27 | 1 | 0 |
| 関東 | 7 | 6 | 1 | 0 |
| 中部 | 9 | 36 | 0 | 1 |
| 近畿 | 7 | 7 | 0 | 0 |
| 中国・四国 | 9 | 9 | 4 | 0 |
| 九州 | 8 | 25 | 3 | 5 |
| 合計 | 47 | 110 | 9 | 6 |

表2 国内産市販ペットボトル水の水源地域の内訳

| 地 域 | 都道府 県数 | 湧水 | 浅井戸 水 | 深井戸 水 | 鉱水・ 鉱泉水 | 水道水 | 不明・ その他 | 計 |
|--------|-----------|----|----------|----------|------------|-----|------------|-----|
| 北海道・東北 | 7 | 10 | 1 | 0 | 14 | 1 | 1 | 27 |
| 関東 | 7 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 6 |
| 中部 | 9 | 4 | 0 | 11 | 20 | 0 | 1 | 36 |
| 近畿 | 7 | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 7 |
| 中国・四国 | 9 | 2 | 0 | 1 | 5 | 0 | 1 | 9 |
| 九州 | 8 | 5 | 0 | 9 | 8 | 0 | 3 | 25 |
| 合計 | 47 | 27 | 1 | 21 | 52 | 2 | 7 | 110 |

表3 外国産ペットボトル水の水源地及び水源の種類の内訳

| 地 域 | 品目数 | 湧水 | 鉱泉水 | 不明・その他 | 計 |
|----------|-----|----|-----|--------|----|
| フランス | 10 | 0 | 8 | 2 | 10 |
| イタリア | 10 | 9 | 0 | 1 | 10 |
| カナダ | 3 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| アメリカ合衆国 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| イギリス | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| ベルギー | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| ドイツ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| アラブ首長国連邦 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 中国 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| オーストラリア | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 合計 | 31 | 12 | 13 | 6 | 31 |

(a) 熊本市の地下水の水質特性

熊本市の地下水質は、山地部等では溶存イオン量が少なく、台地・低地と下がるにしたがい溶存イオン量が増加する傾向があるなど地域的な特性を持っており、溶存成分をもとに作成したダイヤグラムパターンから白川中流・託麻台地ブロックや金峰山ブロックなどいくつかのブロックに分類されている³⁾。そこで、熊本市を代表する水として、給水人口の約3分の1にあたる地域に配水している健軍水源地の水を選択した。

健軍水源地で揚水している地下水の源は、阿蘇外輪山の西麓斜面や菊池・植木・託麻台地等の台地面に降った雨水である。これら地域には阿蘇の噴火に伴い噴出した火砕流堆積物が厚く堆積しており、この火砕流堆積は多孔質で水をよく透し、貯留能力にも優れているという性質を持っている。一方、白川中流域の天津町付近の台地には水田が広く分布し、その水田の灌漑用水として白川の河川水が多量に取水されている。この灌漑用水の一部は地下に浸透し、雨水とともにもう一つの地下水涵養源となっている。このようにして涵養された地下水は、白川中流域を経て熊本市域に流動し、健軍水源地で揚水されている。

そのため、熊本の地下水である87番の水は、火山岩系地域に特有の SO_4^{2-} や SiO_2 成分を多く含んでおり、水質組成としては Ca-HCO_3 と Ca-SO_4 の中間型を示していた。なお、熊本の地下水より火山の影響を受けている阿蘇カルデラ内の白川水源の水(89番)は、熊本の地下水よりも SO_4 濃度が高く、 Ca-SO_4 型を示していた。

(b) 国内産市販ペットボトル水の水質特性

国内産市販ペットボトル水の水質分析の結果を水源地及び水の種類とともに表4に示し、これをもとにヘキサダイヤグラム、トリリニアダイヤグラムを作成した(図1)。

図1のヘキサダイヤグラムから国内産市販ペットボトル水の水質組成は採水地により様々であり、溶存成分の量にはかなりの差があることが判る。溶存成分が少ないものとしては、14番や80番などが挙げられるが、これは青森県の白神山地や広島県の天上山に降った雨水が浸透後、比較的短時間で湧出しているためと考えられる。一方、溶存成分が多い水としては鹿児島県の霧島の水(104~107番)などがあり、 Ca^{2+} が41~45mg/L、 Mg^{2+} が10mg/Lと比較的多く、硬度は約136~152であった。

図1のトリリニアダイヤグラムで水質組成を見ると、大きく分類して Ca-HCO_3 型を示すものが多く見られた。 Ca-HCO_3 型の典型的な水として石灰岩地域の水があげられるが、これに該当する岩手県の竜泉洞の地底湖の水(17番)や養老山麓の水(67番)は、 Ca^{2+} と HCO_3^- が多く、その他の溶存成分は少ないという特徴を持っている。国内産市販ペットボトル水の多くは Ca-HCO_3 型であるが、各溶存成分量はばらついており、それぞれに特徴のある組成となっている。これは、それぞれの地域の地層の特色や流動期間の違いなどを反映しているものと思われる。

(c) 海洋深層水の水質特性

海洋深層水とは水深200mより深い層にある海水のことで、表層水に比べると年間を通じて水温が低く、硝酸塩やリン酸塩などの無機栄養塩、ミネラルなどの栄養分を多く含んでいる。

また、地上からの影響を受けないため、水質悪化の原因となる有機物質や化学物質、細菌などが混ざることがなく、清浄で安定した状態が保たれている。これを原料とし、飲料水として適した状態に加工・調整された水がペットボトル入り海洋深層水として市販されている。

このペットボトル入り海洋深層水の分析結果及びヘキサダイアグラム、トリリニアダイアグラムをそれぞれ表5と図2に示す。分析の結果、市販海洋深層水は電気透析により脱塩処理したミネラル豊富な水を、塩もミネラル成分も含まない淡水で希釈する方法で製造されているため、メーカーによりミネラル成分を多く含むものとそうでないものが見られた。図2のヘキサダイアグラムを見ると、111番～114番のように Na^+ と Cl^- を多く含むものは Mg^{2+} や SO_4^{2-} も多い傾向があり、逆に115番～117番のように Na^+ と Cl^- が少ないものは Mg^{2+} や SO_4^{2-} も少ない傾向が見られた。これは希釈して硬度を調整しているためと考えられる。海洋深層水は一般的なミネラルウォーターよりも Na^+ と Mg^{2+} が多く、おいしさより健康によいことを売りにしている感が強い。

(d) 温泉水の水質特性

温泉水を原水としたペットボトル水の分析結果等を表6及び図2に示す。温泉水は Na^+ が34～68mg/L、 HCO_3^- が97～182mg/Lと高く、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} は少ない。水質組成は Na-HCO_3 型を示しており、pHが8以上のアルカリ性であった。また、 Ca^{2+} 及び Mg^{2+} ともに少ないため、硬度は低い水が多い。地下水を源泉とした他のミネラルウォーターにはあまり見られない型である。

(e) 外国産市販ペットボトル水の水質特性

外国産市販ペットボトル水の分析データ及びヘキサダイアグラム、トリリニアダイアグラムをそれぞれ表7と図3に示す。外国産市販ペットボトル水の中でもヨーロッパの水は溶存成分量が国内産と比較して非常に多く、硬度が200以上のものが多く確認された。その中でもフランスのコントレックスヴィルを水源地とする水(131番)とイタリアのクールマイヨールの水(139番)は硬度が1,000以上もある超硬水であり、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及び SO_4^{2-} の濃度が著しく高い値を示した。

逆にカナダのプリティッシュ・コロンビア州の水(132番)などは氷河が溶解してできた水であるため、溶存成分をほとんど含んでいなかった。また、ヨーロッパ産のペットボトル水にはフランスのヴェルジェーズを水源地とする水(137番)のように遊離炭酸が高い水も数種類見られた。この水は1億4千年前に地下5,000mで地殻変動が起こり、この際にできた断層や亀裂により地下水とガスが混ざり合い、幾層もの地層を通る間に浄化され地上に湧出したもの言われているが、このように外国産の水は日本とは地形や地層などの異なる条件が生み出したものであり、国内産の地下水とは水質的に大きく異なっている。

(2) 各溶存成分の分布

各市販ペットボトル水の水質データの中から硬度など数項目を頻度分布として図4に示した。各項目についての分布を見ると、硬度は国内産の水は20～30mg/Lをピークとした160mg/Lまで

の範囲の山なりの分布となった。約 90%は硬度 100 mg/L 以下の軟水であり、平均値は 49mg/L であった。これに対し、外国産は 1,700 mg/L までの範囲で 0~20mg/L の軟水のピークと 300mg/L 以上のピークが見られ、U 字型の分布となった。平均値は 342mg/L であり、国内産の平均値の約 7 倍の値であった。pH については国内産が 7.4~7.8 でピークとなり、6.2~8.4 に 97%が入る。外国産は 7.6~7.8 が 35%と多く、酸性側に 5.3 まで少しずつ分布している。一方、温泉水は逆に 8.0 以上のアルカリ性を示した。

次に各々の溶存成分であるが、Ca²⁺は国内産の約 8 割が 0~20mg/L に入るが、外国産は幅広い範囲で分布し、最高は 131 番の 453mg/L であった。Mg²⁺についても国内産は 0~10mg/L に約 8 割が入り、最高でも 12 番の 31 mg/L であるのに対し、外国産は分布幅が 100 mg/L までと広く、平均値は 20mg/L と国内産平均値 4.5 mg/L の 4 倍強の値であった。Na⁺は国内産が 0~20mg/L に 9 割弱が入るが、高いものでは 50mg/L 以上のものも 4 試料見られた。外国産は国内産と同じく 0~5mg/L をピークに同じく 50mg/L 以上のものが見られる。海洋深層水と温泉水は逆に 50mg/L 以上のものが多い。K⁺については国内産は 0.5~1.0 mg/L をピークに一旦下がるが 4mg/L 以上で再び多くなった。外国産も同様の傾向が見られ、U 字型となっている。

(3) 熊本の地下水と他のペットボトル水の水質比較

熊本の地下水の水質特性を把握するため、国内産の水 110 試料の平均水質と比較した。表 8 にそれぞれの水質データの平均値を示す。

表 8 各水の水質データの平均値 (n: 試料数) 単位: mg/L (pH を除く)

| | 熊本の水 87 番 | 国内産 n=110 | 海洋深層水 n=9 | 温泉水 n=6 | 外国産 n=31 |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|-------------|
| 蒸発残留物 | 156 | 119 | 676 | 201 | 650 |
| 硬度 | 76 | 49 | 327 | 15 | 342 |
| pH | 7.1 | 7.6 | 7.3 | 9.1 | 7.0 |
| 遊離炭酸 | 4.0 | 5.2 | 1.8 | 1.6 | 158 |
| アルカリ度 | 56 | 45 | 13 | 102 | 293 |
| Ca ²⁺ | 17 | 12 | 17 | 3.7 | 83 |
| Mg ²⁺ | 8.1 | 4.5 | 65 | 0.9 | 17 |
| Na ⁺ | 12 | 12 | 55 | 52 | 66 |
| K ⁺ | 4.4 | 1.8 | 10 | 1.6 | 5.3 |
| F ⁻ | 0.1 | 0.1 | 0.04 | 1.0 | 0.1 |
| Cl ⁻ | 7.7 | 10 | 235 | 9.7 | 21 |
| NO ₃ ⁻ | 4.6 | 3.3 | 1.0 | 0.4 | 3.8 |
| SO ₄ ²⁻ | 34 | 13 | 107 | 6.5 | 82 |
| SiO ₂ | 49 | 27 | 4 | 44 | 14 |

熊本の水は国内産の水の平均値と比べて Ca^{2+} が 17mg/L で 1.3 倍、 Mg^{2+} が 8.1mg/L で 1.8 倍の値であり、蒸発残留物及び硬度もそれに伴い高い値となった。火山岩系地域に特有の SO_4^{2-} 及び SiO_2 はそれぞれ平均値の 2.6 倍、1.8 倍であった。しかし、図 5 のヘキサダイアグラムで比較すると熊本の水は国内産ペットボトル水の平均的な水質組成よりもミネラル成分を全体的にやや多く含むものの、類似した組成であることが判った。参考として海洋深層水、温泉水及び外国産の水の平均値も併せて示したが、国内産の水の水質組成と比較して、硬度やアルカリ度、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 濃度などが非常に高いものが目立った。

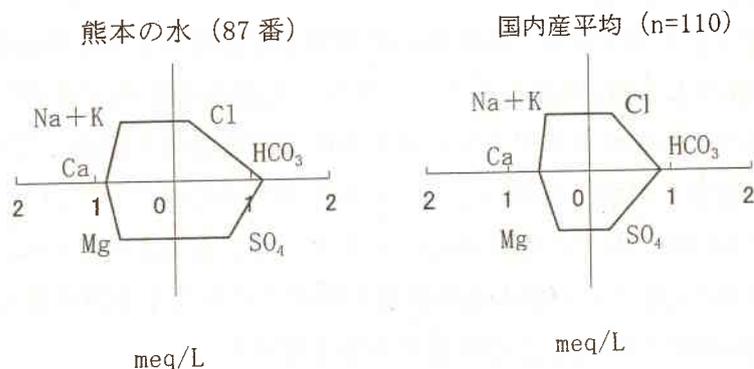


図 5 熊本の水と国内産市販ペットボトル水の平均値のヘキサダイアグラム

(4) おいしい水の水質要件

水のおいしさについての要件は、専門家により様々な意見があり、項目やおいしいとされる範囲は一定していない。そもそも、おいしさは個人の感覚的なものであり、感度や好みなどは個人や地域などにより差があるため絶対的な指標となるものはない。しかし、一般的なおいしい水の水質要件としてはいくつか提案されており、その一つとして厚生省の「おいしい水研究会」が示したものがある。これは 1985 年に旧厚生省の「おいしい水研究会」が各地で行われた利き水試験及びアンケート調査の結果を基に、全国のおいしいとされる水道水の分析結果を参考に臭気や pH、硬度といった 7 つの項目について一般的においしいと言われる範囲を示したものである。その要件を表 9 に表す。

表 9 おいしい水の水質要件

| 水質項目 | 数値 | 熊本の地下水 |
|---------------|-------------|-------------------|
| 蒸発残留物 | 30~200 mg/L | 156 |
| 硬度 | 10~100 mg/L | 76 |
| 遊離炭酸 | 3~30 mg/L | 4.0 |
| 過マンガン酸カリウム消費量 | 3 mg/L 以下 | <0.2 [※] |
| 臭気度 | 3 以下 | 異常なし [※] |
| 残留塩素 | 0.4 mg/L 以下 | 0.2 [※] |
| 水温 | 20℃ 以下 | 18.6 [※] |

※平成 16 年度熊本市水道局年報の健軍水源地 5 号井(原水)の値

この水質要件と照らした結果、熊本の地下水は、すべての項目で要件を満たしていた。

一方、市販されている国内産の水は、概ねおいしい水の水質要件を満たしていると考えられるが、中には蒸発残留物、硬度、遊離炭酸が要件の値より高い水も見られた。

4 まとめ

国内産市販ペットボトル水の水質組成は採水地により様々であり、硬度が1mg/L未満のものから150mg/L程度のものまで幅広く見られたが、その中でも20~30mg/Lの範囲のものが最も多く、30%弱を占めていた。水質組成の型で見るとCa-HCO₃型が最も多かったが、中にはNa-SO₄型やCa-SO₄型も見られた。

一方、海洋深層水及び外国産市販ペットボトル水はミネラル成分など溶存成分が非常に多く、硬度は国内産の6~7倍の値であった。また、外国産市販ペットボトル水は遊離炭酸を多く含む水が数種類あり、国内産とは異なる特徴を示していた。

熊本の地下水は、国内産市販ペットボトル水110種類の平均的な水質組成よりも全体的にミネラル分がやや多く、Ca²⁺が平均値の1.3倍、Mg²⁺が1.8倍であり、火山岩系地域に特有のSO₄²⁻が2.6倍、SiO₂が1.8倍あるものの、ヘキサダイヤグラムは平均的な水質組成と類似していた。また、旧厚生省の「おいしい水研究会」が示したおいしい水の要件はすべて満たしていた。

今回の調査から、熊本の地下水はおいしさの面においても名水として市販されているペットボトル水と遜色ないことが確認された。地下水が熊本市の貴重な財産であることを再認識し、市民・行政が一体となり水環境の保全に努めていくことが重要であると思う。

5 文献

- 1) 熊本日日新聞, 8月29日, 1985
- 2) 小島貞男, おいしい水の探求, NHK ブックス, 60, 1985
- 3) 熊本県・熊本市, 熊本地域地下水総合調査報告書, 19-20, 1995