

# 熊本流域での水循環保全と その健全な水利用に関する研究

川越 保徳<sup>1</sup>・山田 文彦<sup>2</sup>・田中 健路<sup>3</sup>・柿本 竜治<sup>4</sup>・外村 隆臣<sup>5</sup>  
田中 伸廣<sup>6</sup>・上月 裕<sup>7</sup>・廣畑 昌章<sup>8</sup>・岩佐 康弘<sup>9</sup>・的場 弘行<sup>10</sup>・下津 昌司<sup>11</sup>

<sup>1</sup>研究代表者 熊本大学大学院自然科学研究科准教授

<sup>2</sup>学内共同研究者 熊本大学大学院自然科学研究科准教授

<sup>3</sup>学内共同研究者 熊本大学大学院自然科学研究科助教

<sup>4</sup>学内共同研究者 熊本大学政策創造研究センター准教授

<sup>5</sup>学内共同研究者 熊本大学工学部技術部技術官

<sup>6</sup>学外共同研究者 熊本県環境生活部水環境課環境生活審議員

<sup>7</sup>学外共同研究者 熊本県環境生活部水環境課参事

<sup>8</sup>学外共同研究者 熊本県環境生活部水環境課参事

<sup>9</sup>学外共同研究者 熊本市水道局総務部経営企画課技術主任

<sup>10</sup>学外共同研究者 熊本市環境保全部水保全課水道局主任技師

<sup>11</sup>学外共同研究者 白川リバーカウンセラー・元熊本大学教授

本プロジェクト研究は、熊本流域圏水における健全な水利用のあり方について政策提言を行うことを目的としている。今年度は、熊本市水道水の水質的特徴を明らかにして飲料水としての魅力を評価するとともに、水道利用者を対象として水道水の飲用を促進するための新たなマネジメント手法の開発を試みた。熊本市水道水の水質は、取水地がある地下水流域の水質特性を反映し、“おいしい水”としての評価は、市販のボトル水と同等以上であることが明らかとなった。また、交通政策の1つであるモビリティマネジメント技術の適用可能性を検討し、3段階に及ぶアンケート調査を実施してコミュニケーションと学習効果による水利用者の意識変化や態度変容の促進を検証した結果、その有用性が確認された。

## 1. はじめに

熊本県では生活用水の約8割を地下水で賄っている。特に熊本市では60万人を超える市民の飲料水の全てを地下水に依存しており、世界的にも希有な地下水都市である。この豊富な地下水は、阿蘇外輪山西麓側における水循環過程（地表水と地下水の相互作用）に依存している。熊本の地下水は、阿蘇火砕流堆積層を通過して地下溶岩層で育まれており、豊富であるだけでなく、その水質は極めて良好で適度なミネラル分を含む“名水”としても知られている<sup>1)</sup>。

しかしながら近年、地下水位の低下や湧水量の減少が顕著になっており、地下水資

源の回復が地域の重要な政策課題となっている<sup>2)</sup>。熊本市の地下水源は、阿蘇外輪山西麓を源として白川中流域で涵養され、熊本市東南部地下にある広大な砥川溶岩に蓄えられている。このような阿蘇山から熊本市を経て有明海に渡る地下水の大まかな流れは明らかにされているものの、降雨など気象条件から取水・用水量までを網羅するような水の収支についてはいまだ不明な点が多い。また、熊本県・市が平成8年に策定した「熊本地域地下水総合保全管理計画」では、地下水採取量の抑制と地下水涵養の促進が大きな柱となっているが、涵養水源の手当てや涵養方法の確定は今後の課題とされている。さらに、熊本地下水域での産業・生活用水の利用実態については、個別的、地域的資料やデータは存在するが、それらを包括的、経時的にまとめたものはなく、地下水や表流水水質についても個別データは存在するものの、流域全体での位置づけと水資源への影響までを含めて解析した事例はない。一方、利用者側に目を向けると、安価で非常に良質な水道水が供給されているにも関わらず、飲料水として水道水ではなくペットボトルのミネラルウォーターを買って飲む住民が増えている。このような住民の身近な水への認知不足も地下水保全への取組みを遅らせている一因となっている。

熊本都市圏において、持続可能な地域社会の形成に欠かせない地下水は大気を含む大きな水循環システムの一片であり、その保全はその循環システムの中で捉えられるべきである。将来にわたる健全な地下水の保全を実現するためには、広域的な地下水流動機構を把握するとともに、山林の保護や河川の保全、適切な水利用などの地下水域全体としての総合的な取り組みが必要である。熊本地下水域における健全な水循環は、良質な水資源の確保だけでなく、洪水など災害の軽減を考える上で、また、水圏生態系の維持を図る上でも非常に重要となる。すなわち、水に関わる、治水、利水、環境といった種々の問題は、それが生じている場所のみに着目するのではなく、上流域から下流域へ、また降雨→地表水→地下水へという水循環の立体的なつながりを視野に入れて総合的に対処し、解決を図っていく必要がある。

そのためには、流域圏（集水域、利水域、氾濫域）を単位とし、土地利用を含めて、利水・治水・環境に対する地域間、分野間の要求と対立を調整し、それぞれにバランスがとれ、持続可能な充足度が与えられるように調整・管理する流域圏水マネジメントが重要な概念となる。そこで、本プロジェクト研究では、熊本流域圏水マネジメントのフレームを構築し、将来に向けての流域水資源の健全な水利用のあり方について政策提言を行うことを目的としている。

プロジェクトの初年度となる本年度においては、熊本流域圏における水量・水質モデル構築と水利用マネジメントフレーム作成のための基礎データの集積と電子データベース化を進めてきた。これらデータについては、現在も収集途中であり、一定の整理ができ次第報告する予定である。一方、水循環データの集積・解析とは別に、流域圏市民の地下水への関心と認知を促すことで、健全な水保全への取り組みや政策提言につなげるといった戦略・方策は、持続的な地下水保全対策として有効と考えられる。そこで本年度は、最も身近な水資源である熊本の水道水について水質の特徴を明らかにし、わが国で三指に入るおいしい“銘水”としての魅力について評価を行った。また、交通行動変容手法として用いられているモビリティ・マネジメントを応用し、

水道利用者を対象とした新たなマネジメント手法を新規に開発し、水道利用者の水道水に対する意識・行動変化を促した上で、マネジメント手法の有用性を検証した。

## 2. 熊本市水道水水質の特徴付けとその魅力に関する検討

熊本市の地下水は60万人を越える市民の飲料水の全てをまかなっている。また、豊富であるだけでなく、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」にて、全国で三指に入るおいしい水であるとされた<sup>3)</sup>。そこで熊本市では、地下水を都市戦略の資源と位置付けて水環境の保全や地下水を活用した魅力あるまちづくりに取り組んでおり<sup>4)</sup>、現在、その一環として熊本市水道水の「魅力」再発見事業が進められている。そこで、本研究では、このような背景を踏まえて、熊本市水道水の水質の特徴付けとその魅力を科学的に明らかにするための検討を行った。

本研究では、はじめに地下水・飲料水水質やおいしい水に関し、水質を特徴づける上で参考となる水質項目と水質を特徴づける手法や指標に関する調査を行った。続いて、熊本市水道水、市販の各種ボトル水、および熊本県内湧水などの水質データを比較解析し、熊本市水道水の水質の特徴付けを行った。また、熊本市水道水、および市販ボトル水についておいしさや味に関する官能試験を実施し、熊本市水道水のおいしさや味を位置づけ、水質との関係を考察した。さらに、水質の異なる複数の熊本市水道水を比較した結果、おいしさに有意な差異が認められたことから、“おいしい熊本の水道水の中のおいしい水”を抽出するための新たな指標の提案について検討した。

### (1) 調査・実験方法

#### a) 「おいしい水」研究の現状

一般的なおいしい水の要件や指標については、これまでにいくつかの提案がなされている。旧厚生省（現厚生労働省）の「おいしい水研究会」では、日本各地の飲料水についてきき水試験を実施し、その結果をもとに、表-2.1のような“おいしい水”の水質要件を示している<sup>5)</sup>。

表-2.1 旧厚生省によるおいしい水の水質要件

水 質 項 目	数 値
蒸発残留物 [mg/l]	30～200
硬 度 [mg/l]	10～100
遊離炭酸 [mg/l]	3～30
過マンガン酸カリウム消費量 [mg/l]	3 以下
臭 気 度 [度]	3 以下
残留塩素 [mg/l]	0.4 以下
水 温 [°C]	20 以下

また、橋本らは、水のおいしさや健康への影響を評価するため、共存するミネラルの相対比を基本とする指標を提案した。すなわち、水の味に関係すると考えられる主要なミネラル成分Ca, Mg, K, Cl, SO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>について、各々水のおいしさに貢献す

る成分を分子に，おいしさを損なうと考えられる成分を分母に置くことで，式(1)のような「おいしい水指標」（以下OIと示す）が作成している．また，健康に良い水指標についても，骨を形成しイライラを解消する効果があるとされるCa濃度から，一般的に塩分成分として一般的に体に良くないとされるNaを差し引いた値を，「健康によい水指標」（以下KIと示す）として提案している<sup>6)</sup>．

おいしい水指標と健康に良い水指標

$$\text{おいしい水指標 (OI)} \quad : \quad OI = \frac{Ca + K + SiO_2}{Mg + SO_4} \quad \dots (1)$$

$$\text{健康に良い水指標 (KI)} \quad : \quad KI = Ca - 0.87Na \quad \dots (2)$$

ここで，おいしい水指標においては， $OI \geq 2.0$ であればおいしいとされ， $KI \geq 5.2$ を満たす水が健康によい水とされる．すなわち，両条件を満たした水はおいしく，健康によい水と評価されることになる．

水質と水のおいしさとの関係やおいしさの指標に関する提案についてはこれらOI，KI以外にも，自治体の研究機関や日本各地の銘水を対象とした研究が盛んに行われている<sup>7,8)</sup>．たとえば佐々木らは広島県の軟水を対象にした水のおいしさを特異的に評価するため，軟水においておいしさへの寄与が高いと推定される水質項目（有機物濃度，総硬度，重碳酸イオン，鉄）を抽出し，(3)式と(4)式に示すような重回帰分析によるおいしい水指標を提案している<sup>9,10)</sup>．これら以外にも，ヘキサダイアグラムやトリリニアダイアグラムを用いたおいしい水の分類手法<sup>11-15)</sup>や，判別分析による水のおいしさの判定手法などが報告されている<sup>16,17)</sup>．

佐々木らによるおいしい水指標

$$\text{広島地区} \quad : \quad y = 94.8894 - 5.8659x_1 - 0.1383x_2 - 0.8438x_3 + 17.6725x_4 \quad \dots (3)$$

$$\text{全国} \quad : \quad y = 82.0524 - 5.8829x_1 + 0.0536x_2 - 0.3754x_3 - 72.2729x_4 \quad \dots (4)$$

ここで， $y$ は目的関数である検水の判定点（点）， $x_1$ ， $x_2$ ， $x_3$ ， $x_4$ はそれぞれ有機物，総硬度，重碳酸イオン，鉄（mg/l）を表す．

#### b) 水質データの収集

本研究では，H18年度の熊本市内の浄水19種類，市販されている各種ボトル水，および熊本県内湧水の水質データを使用した．これらデータは，熊本市水道局，熊本市環境総合研究所からのデータの提供を受けるとともに，県内湧水に関する文献<sup>18)</sup>などから水質データを抽出した．

#### c) 熊本市水道水の水質特性評価

収集整理した上記水質データについて，おいしい水研究会の水質要件，おいしい水指標，および健康に良い水など，種々の指標に照らして評価した．また，熊本市浄水といくつかの国内産のボトル水について，地下水水質を特徴づける際に適用される

ことの多いヘキサダイアグラムとトリリニアダイアグラム，および複数の水質項目によるレーダーチャートを作成し，水質成分比較を行った．

d) 官能試験（きき水）

熊本市浄水19種類と3種類の市販ボトル水を用意し，計15名のパネルにより水のおいしさや味に関する官能試験を行った．15名のパネルの内10名については，5種類の市販ミネラルウォーターを2系列用意してそれぞれに任意のマーカ―をつけ，2系列の各々から同じ味のものを選ぶといったプレテストを実施し，60%以上の的中率があることを確認した．残りの5名については，年齢，性別の違う一般的なパネルとして設定した．官能試験の質問内容を表-2.2に示す．質問項目は，おいしさ，甘さ，渋み（苦味），まろやかさ，重さ，味，においとし，各々の質問に対して，ランクをつける方法とした．試験水は，全て同様の2ℓのペットボトルに入れ，評価時の室温は，20～25℃，試験水温度は20～23℃とした．

表-2.2 官能試験における質問内容

質問内容	ランク			
	とてもおいしい	おいしい	何とも思わない	まずい
おいしさを4段階で評価してください	よい味	少し味	特にない	いやな味
味について4段階で評価してください	よいにおい	少しにおい	特にない	いやなにおい
においについて4段階で評価してください	甘い	少し甘い	甘くない	
甘さを3段階で評価してください	苦い	少し苦い	苦くない	
苦味（渋み）を3段階で評価してください	まろやか	特にない	すっきり	
まろやかさについて評価してください	重い（どっしり感）	どちらでもない	軽い（淡麗）	
重さについて評価してください				

e) 統計的手法

官能試験結果と水質成分データを用いて，官能試験結果（点数）の差に関する検定，および，水質と官能試験結果との相関，およびおいしい水指標の提案のために，クラスター分析および判別分析などの多変量解析を実施した．

(2) 結果および考察

a) 熊本市水道水の水質特徴

熊本市の地下水質は，山地部など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いる<sup>2,19)</sup>．熊本の地下水の源は，一般的に阿蘇外輪山の西麓に広がる斜面や菊池・植木・託麻台地等の台地面に降った雨水と白川中流域と呼ばれる涵養地帯に降った雨水である．これらの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，この火砕流堆積層は多孔質で水を通し，貯留能力にも優れている．ここを浸透した水は，不純物がろ過されると同時に種々のミネラル分が溶け込む．これが熊本の地下水に豊かな味を与え，熊本の水がおいしいと評される所以である．このようにして涵養された地下水は，熊本市域の健軍付近の下に横たわる砥川溶岩層と呼ばれる巨大な地下水貯留部に蓄えられる．砥川溶岩は阿蘇火砕流堆積物の間にあり，熊本の給水人口の3分の1以上にあたる地域の飲料水源を供給している．

表-2.3に熊本市の代表的な水道水である健軍水源地浄水（以下、健軍浄水と称する）の水質と市販ボトル水の平均値をまとめ、図-2.1にこれらの水質をもとに作成したトリリニアダイアグラムを、図-2.2には、健軍浄水と国内ミネラルウォーターの平均値のヘキサダイアグラムを示す。トリリニアダイアグラムとは、地下水の主要陽イオン（ $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ）と陰イオン（ $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ ）を3成分系として表す1対の3角図と、地下水中の主要イオンを陰イオンと陽イオンごとの当量百分率として4成分菱形図に投影したキーダイアグラムとで構成され、おおよその成分組成と、主要な陽・陰イオンの比率を同時に把握することができる。また、ヘキサダイアグラムとは、主要イオン6成分の当量値を横軸上にプロットし、各点を結んで作成したもので、図の形状や大小から水質組成や溶存分量が分かり、図形が単純であるため比較や分類が容易になる。

表-2.3 各水試料の水質データ平均値（n：試料数） 単位：mg/l（pHを除く）

	健軍	国内産 n=110	海洋深層水 n=9	温泉水 n=6	外国産 n=31
pH	6.8	7.6	7.3	9.1	7
蒸発残留物	176	119	676	201	650
硬度	78	49	327	15	342
遊離炭酸	6.7	5.2	1.8	1.6	158
アルカリ度	60	45	13	102	293
$\text{Na}^+$	11.9	12	55	52	66
$\text{K}^+$	4.3	1.8	10	1.6	5.3
$\text{Ca}^{2+}$	17	12	17	3.7	83
$\text{Mg}^{2+}$	8.5	4.5	65	0.9	17
$\text{F}^-$	0.07	0.1	0.04	1	0.1
$\text{Cl}^-$	9.0	10	235	9.7	21
$\text{NO}_3^-$	3.89	3.3	1	0.4	3.8
$\text{HCO}_3^-$	73.2	54.67	15.25	123.83	356.89
$\text{SO}_4^{2-}$	25	13	107	6.5	82
$\text{SiO}_2$	55.5	27	4	44	14

表-2.3、図-2.1で明らかのように、海洋深層水、温泉水及び外国産のボトル水では、硬度やアルカリ度、Ca、Mg、Na、 $\text{SO}_4$ 濃度などが非常に高いものあり、平均値もそれらを反映して高い値となっている。これらに対し、健軍浄水（熊本の地下）は、国内産ボトル水の平均値と比べてCaが17mg/lで1.4倍、Mgが8.5mg/lで1.9倍の値となっている。その他の陽イオン成分についても国内産の平均値を上回っており、蒸発残留物および硬度もそれに伴い高い値になっていることが分かる。また、火山岩系地域に特有の $\text{SO}_4$ 及び $\text{SiO}_2$ はそれぞれ25mg/lと55.5mg/lで、これらも国内産平均値の約2.1倍であった。一方、図-2のヘキサダイアグラムの形が似ていることから、熊本の地下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はやや多く含むものの、成分バランスは同様であることが分かる。

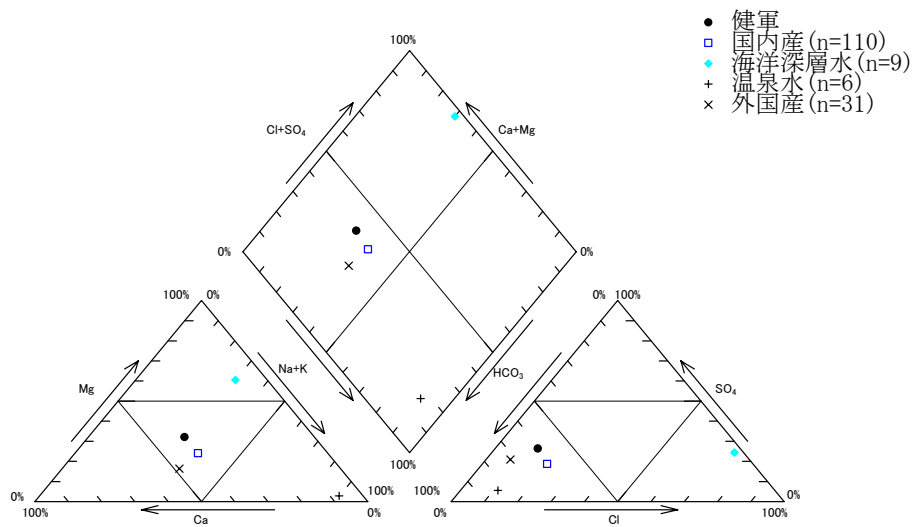


図-2.1 各水平平均水質データのトリリニアダイアグラム

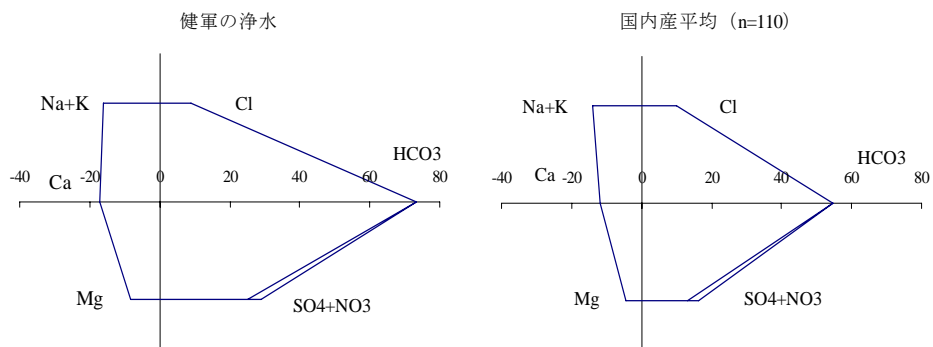


図-2.2 健軍浄水と国内産市販ボトル水の水質平均値のヘキサダイアグラム

b) おいしい水指標による熊本市水道水（地下水）の評価

表-2.1に示したおいしい水の水質要件と健軍浄水および市販ボトル水水質を表-2.3に合わせて示す。表-2.3から明らかなように、健軍浄水はすべての項目でおいしい水の水質要件を満たしていることが分かる。一方、市販のボトル水では、外国産および海洋深層水で蒸発残留物、硬度、遊離炭酸のいずれにおいても要件を満たさず、温泉水では蒸発残留物が若干高く、遊離炭酸が低い結果となった。国内産ボトル水は概ね、要件を満たしたが、中には要件値の範囲から大きく外れるものもあった。

表-2.4に、各水試料のOIとKIの値を示す。健軍浄水はOI、KIがともにインデックスの要件を満たしており、本指標によれば「おいしく、かつ健康な水」と評価されることが分かった。また、今回使用した国内産ボトル水の平均値はOIのみ要件を満たし、健康に良い水としての評価は低い結果となった。これは、国内産ボトル水では、硬度やカルシウム等の濃度が非常に低い、いわゆる軟水が多いため、平均値が抑えられたことによる。一方、海洋深層水は両インデックスともに要件から著しく外れており、温泉水はKIが、外国産ボトル水ではOIが要件から外れた。海洋深層水や温泉水については、身体に良い水、健康に良い水という謳い文句で販売されるものが多いが、Ca含量から評価されるKIでは非常に低い値となり、健康に良い水との評価は得られなかった。また、外国産ボトル水では水質のばらつきが大きく平均値での評価が必ずしも妥当とは言えないものの、国内産ボトル水に比べると硬度、ミネラル分の高いものも多く、結果としてKI値が高くなり、また、MgやSO<sub>4</sub>濃度の高さからOI値が低くなる結果となった。OIとKIの作成にあたっては、日本で古くから銘水と称される水が高い値になるように設計されており、当時、熊本市の地下水もその一つとされていた。したがって、健軍浄水で高い評価が得られるのは当然の結果と言えなくもないが、少なくとも、日本人がおいしいと考える水に関して、健軍浄水に代表される熊本地下水は、市販ボトル水と同等以上のおいしい水の要件を有していることが改めて検証された。

表-2.3 おいしい水の水質要件と健軍浄水および市販ボトル水との比較

水質項目	要件	健軍浄水	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 [mg/l]	30~200	176	119	676	201	650
硬度 [mg/l]	10~100	78	49	327	15	342
遊離炭酸 [mg/l]	3~30	6.7	5.2	1.8	1.6	158
過マンガン酸カリウム消費量 [mg/l]	3以下	<0.5	—	—	—	—
臭気度 [度]	3以下	なし	—	—	—	—
残留塩素 [mg/l]	0.4以下	0.3	—	—	—	—
水温 [℃]	20以下	18.7	—			

表-2.4 健軍浄水と市販ボトル水のOI値およびKI値の比較

インデックス	健軍	国内産 n=110	海洋深層水 n=9	温泉水 n=6	外国産 n=31
おいしい水インデックス (OI)	2.3	2.3	0.2	6.7	1.0
健康に良い水インデックス (KI)	2.9	1.6	-30.9	-41.5	25.6



c) 官能試験による熊本市水道水のおいしさの評価

官能試験の結果、味、匂い、まろやかさ、硬さの質問項目については、今回の評点方法では回答がばらつき、水試料間での有意差は認められなかった。図-2.3に、試料間のスコアに統計的有意差が認められたおいしさに関する結果を、表-2.5に試験に使用した試料水の水質データを示す。また、図-2.3には官能試験のスコアが同点で取水地（水源地）が近接し、かつ水質特性が類似している9試料について結果を示した。図-2.3、表-2.5においてK1～K9は熊本市浄水、JB1は市販ボトル水、FB1とFB2は外国産ボトル水を示している。今回使用した外国産ボトル水はともに硬度が300以上と高く、蒸発残留物も高いことから独特の味と臭いが認められ、図-2.3からも明らかのようにほとんどのパネルからおいしくないとの評価を受けた。ただし、これら外国産ボトル水の場合には、日常の飲用というよりもむしろ嗜好品としての性格が強く、ブランドイメージの先行もあり、必ずしも「おいしい」ことが必要ではないと考えることもできる。また、一般的に日本の水は軟水であるため、海外の水が日本人にとって違和感があるのも理解できる。

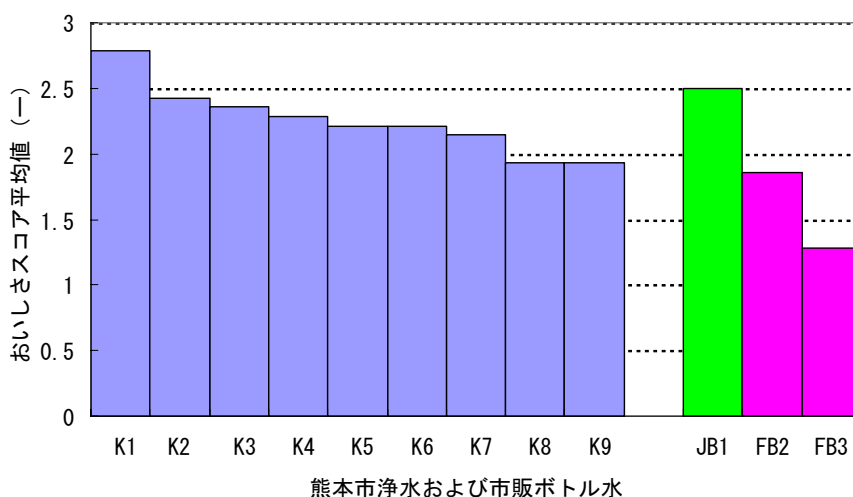


図-2.3 官能試験評価結果

一方、熊本市の浄水の中でも特にK1については、最高点を獲得し全ての試験水において最もおいしい水であるという結果が得られた。

各水試料で得られたおいしさの得点の平均値にて、試料間での有意差を t 検定 (Welchの方法) にて検討した。その結果、最も高い得点の得られたK1 (合計42点) と最も低い得点のK9 (合計28点) では、片側検定で1%未満の危険率で有意差有り、同じくK1とK5およびK6では5%未満の危険率で優位差あり、K1と2番目の高得点であるK2 (合計36点) とでは約8%の危険率で、ボトル水JB1 (合計点38点) とでは約20%の危険率でそれぞれ有意差有りと判定された。水のおいしさは、個人の嗜好や気分、状況など様々な要因に影響されるため、統計処理にてその判断の妥当性を証明できるわけではないが、官能試験を行ったパネルの自由記述からもK1の水が高い評価を得ていることがうかがえたこと、また、おいしさという曖昧な変数にも関わらず、統計処理

にて有意な数値が得られたことから、1) 熊本市水道水は市販のボトル水と同等以上のおいしさを有すること、2) 熊本の水の中でも取水地の地下水水質によっておいしさにも差が生じる可能性のあること、3) 熊本市水道水よりも（日常の飲用水としては）まずいと評価される水が市販されていること、等が示唆される。

表-2.5 官能試験試料水水質データ 単位：mg/l (pHを除く)

	K9	K8	K7	K6	K5	K4	K3	K2	K1	A	V	C
pH	7.2	7.3	6.9	7.3	7.1	7.1	7.1	6.8	6.8	7.7	7.7	7.7
蒸発残留物	150	130	188	204	192	194	196	176	202	134	437	2419
硬度	48	49	67	62	66	75	69	78	90	63	344	1686
遊離炭酸	0.3	0	2.6	0	2.1	1.7	3.5	6.7	0.4	3.3	7.5	3.9
アルカリ度	48	48	68	75	77	72	73	60	67	58.1	213	131
Na+	9.4	6.3	12.8	23.4	21.7	14.0	22.7	11.9	12.5	9.30	7.24	0.11
K+	4.0	2.6	5.5	5.1	5.3	5.1	4.9	4.3	4.7	4.59	4.67	0.16
Ca <sup>2+</sup>	11.8	10.4	16.8	16.1	17.2	18.7	15.0	17.0	22.0	14	87.2	53.3
Mg <sup>2+</sup>	4.4	5.6	6.0	5.3	5.6	6.8	7.7	8.5	8.6	6.12	19	6.53
F-	0.10	0.19	0.50	0.20	0	0.33	0.25	0.07	0.14	0.06	0.07	0
Cl-	6.8	4.5	9.5	20.3	17.9	13.1	16.3	9.0	10.6	8.31	3.07	0.1
NO <sub>3</sub> -	4.39	3.06	2.21	2.86	1.52	3.19	2.20	3.89	4.61	0	0.04	0.14
HCO <sub>3</sub> -	58.6	58.6	83.0	91.5	93.9	87.8	89.1	73.2	81.7	70	259	160
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5.6	3.7	9.6	6.7	7.6	6.9	26.0	25.0	24.4	5.4	116	137
SiO <sub>2</sub>	70.1	50.4	65.3	60.3	58.1	60.0	56.9	55.5	55.0	59	8.6	4
OI	8.6	6.8	5.6	6.8	6.1	6.1	2.3	2.3	2.5	6.7	0.7	0.4
KI	0.9	2.7	1.8	-9	-7	2.3	-10	2.9	6.6	5.9	81.0	53.2

#### d) 判別分析による熊本市水道水のおいしさの評価

上記の結果から、熊本市の水道水の中でもおいしさに差があることが示されたため、ここでは、「おいしい水の中のおいしい水」を評価、あるいは判定するための指標について検討することにした。表-2.6に、官能試験の結果（おいしさの点数）との単相関係数を示す。表-2.6から、水のおいしさとの相関係数が比較的高い項目として、SiO<sub>2</sub>、硬度、Mg、SO<sub>4</sub>、Caが抽出された。これらに次いで、NO<sub>3</sub>、K、F等が抽出された。

はじめに、既に報告されているおいしい水指標の適用を検討したが、表-2.5から明らかのように、熊本市の水道水の場合には、Fe濃度が低く、有機物濃度も全有機炭素（TOC）で0.5mg/l未満となり、試料間での差がほとんど無いため、例えば、Feや有機物量を指標の変数とする佐々木らの指標は不相当であることが分かった。そこで今回は、19種類の熊本市水道水を便宜上おいしい水とおいしくない水の2群に分け、それを適切に判定できるような指標（基準）となる判別式を作成できる判別分析を適用することとした。判別分析とは、一定の基準のもとに分けられた2群のデータについて判別モデルを作成し、測定データがどちらの群に属するかを判別しようとする方法であり、その基準となるのが判別式である。今回、判別分析を行うための説明変数（水質項目）の選択にあたっては、官能試験の評価との相関が高いこと、説明変数間の相関が低いこと、および文献等から水のおいしさに影響があると推定される成分で

あることなどを考慮し、かつ判別結果が最も高い説明変数として、硬度、 $\text{SiO}_2$ 、および遊離炭酸を選択した。表-2.7に、判別分析用群別点数表、表-2.8に判別分析の結果を、式(5)に判別式を示す。

$$\text{Index} = 0.0608x_1 - 0.3227x_2 - 0.1429x_3 + 15.6167 \quad \dots (5)$$

ここで $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ はそれぞれ硬度、 $\text{SiO}_2$ 、遊離炭酸(mg/l)を表す。

この式でIndexが正の場合はおいしい、負の場合はおいしくないと判別される。すなわち、符号が正の成分は水をおいしいと感じさせ、負の場合はおいしくないと感じさせる成分であることを示している。

今回の結果では、 $\text{SiO}_2$ と遊離炭酸が負となっており、水をおいしくないと感じさせる成分であると判定され、橋本らのおいしい水インデックス(OI)とは異なる結果となった。また、遊離炭酸についても、濃度が高い場合には水のおいしさを損なうことが示唆され、旧厚生省のおいしい水要件とは異なる解釈となった。これらの理由は不明であるが、今回の検討ではおいしいと評価できる熊本の地下水の中でも特においしい水を選別しようとするものであることから、これまでのおいしい水の要件があてはまらなかったと考えられる。また、おいしい水インデックス(OI)の分子に $\text{SiO}_2$ が含まれている理由は、日本のおいしい水の多くは火山性地質で蓄えられた地下水に由来していることから、おいしさの成分というよりもむしろ「地下水由来であることを表す指標成分であるから」とされている<sup>20)</sup>。したがって、 $\text{SiO}_2$ が水のおいしさに直接影響するわけではない。さらに、「おいしい水研究会」では、 $\text{SiO}_2$ について「高濃度に含む水は硬い味がするが、通常見られる濃度ではほとんど味に影響を及ぼさない」としている<sup>5)</sup>。これに対し、熊本の地下水の $\text{SiO}_2$ 濃度は全国平均の2倍以上と高く、わが国の一般的な濃度を上回っていることから、 $\text{SiO}_2$ がおいしくないと成分として影響を及ぼす濃度以上であることが推定される。

上記のIndexを熊本市水道水に適用した場合、あらかじめおいしい水として分類した12試料は全ておいしい水に、残り7試料では5試料がおいしくないと判定され、判別式の誤判別確率は10.5%となった。ここで、今回設定したおいしい水とまずい水の境界は最上位から危険率5%での優位差を生じる点数とした。今回得られたIndexや、判別分析に使用した水質成分、おいしさの境界線設定が妥当かどうかについては今後さらに検討を進める必要があるが、これまでのおいしい水指標では評価できない水のおいしさを水質から判定する手法として判別分析の有用性が示された。

今後は、特に国内の市販ボトル水と熊本の地下水を対象とした官能試験を実施し、これまでのおいしい水の要件を満たす水のおいしさをさらに評価可能なシンプルな指標の作成を検討する予定である。さらに、熊本の地下水、水道水水質の特徴とおいしさなどの魅力に関する情報を広く発信することにより、熊本地下水流域における水利利用者の地下水に対する関心を喚起し、市民レベルでの健全な地下水資源の保全へ認知と取り組みの向上を図っていきたい。

表-2.6 熊本市水道水の各水質成分と官能試験評価との相関分析結果

水質成分	おいしさ点
pH	-0.1246
蒸発残留物 (mg/L)	-0.0146
硬度 (mg/L)	0.4305
HC03- (mg/L)	0.0480
遊離炭酸 (mg/L)	-0.1826
アルカリ度 (mg/L)	0.0480
Na+ (mg/L)	-0.1013
K+ (mg/L)	-0.2563
Ca2+ (mg/L)	0.3306
Mg2+ (mg/L)	0.4315
F- (mg/L)	-0.2160
Cl- (mg/L)	-0.0784
NO3- (mg/L)	0.2597
P043- (mg/L)	0.1896
S042- (mg/L)	0.3364
Si02 (mg/L)	-0.5165

表-2.7 判別分析用群別点数表

(おいしい水とまずい水の境界は最上位から危険率5%での優位差を生じる点数とした)

第1群 (おいしい水グループ)	おいしさ点	第2群 (まずい水グループ)	おいしさ点
A	42	M	33
B	36	N	33
C	36	O	33
D	36	P	32
E	36	Q	30
F	35	R	30
G	35	S	28
H	35		
I	34		
J	34		
K	34		
L	34		

表-2.8 判別分析結果

<p>[選択されたデータと帰無仮説]</p> <p>x1 : 硬度 (mg/L)</p> <p>x2 : Si02 (mg/L)</p> <p>x3 : 遊離炭酸 (mg/L)</p> <p>帰無仮説 : 第1群と第2群の分散共分散行列は等しい.</p>
<p>[ボックスのM検定]</p> <p>統計量 (カイ2乗分布) : 12.4452, p=0.0527</p> <p>危険率5%で帰無仮説を支持, 線形判別関数を判別式として適用可能</p>
<p>[線形判別関数]</p> <p><math>Z = 0.0608*x1 - 0.3227*x2 - 0.1429*x3 + 15.6167</math></p> <p>Z &gt; 0 : 第1群に属する.</p> <p>Z &lt; 0 : 第2群に属する.</p>
<p>[誤判別率]</p> <p>第1群 : 0/12 = 0.0000</p> <p>第2群 : 2/7 = 0.2857</p>

### 3. 水道利用者の行動変容を促すマネジメント手法の開発

#### (1) マネジメント手法の概要

##### a) マネジメントフロー

今回実施したマネジメント手法のフロー図を図-3.1に示し、詳細を以下に述べる。

##### ・Wave1 事前アンケート

事前アンケートでは、熊本市の水道利用の現況を探るため、無作為に抽出した対象者にアンケート調査を行った。

##### ・Wave2 コミュニケーションの実施

事前アンケートに返信をした回答者をさらにコミュニケーション施策群と制御群に選別し、施策群に対しては、動機付け情報の付与を行い、熊本市の水道水について学習させる。また、学習するだけでなく、実際に水道水を飲用したかについても把握するため、ダイアリー調査を行った。また、事前アンケートのフィードバック情報として、アンケートの実施結果も同時に送付している。

##### ・Wave3 事後アンケート

Wave2で選別された施策群と制御群の行動変容と意識変化を比較するために、事後アンケートを実施した。前段階でダイアリー調査を実施したものには、フィードバック情報を与えた。制御群にはこの段階で事前アンケートの結果をフィードバックしている。

##### ・Wave4 長期的事後アンケート

コミュニケーション施策群と制御群の学習効果の違いによって行動変容が認められた場合、その効果が持続しているか検証するために長期的事後アンケートを実施することとした。実施時期は、事後アンケートを実施してから約半年後に行うこととする。

本研究ではWave3の事後アンケートの回収までが終了しており、その結果を以下に述べていく。

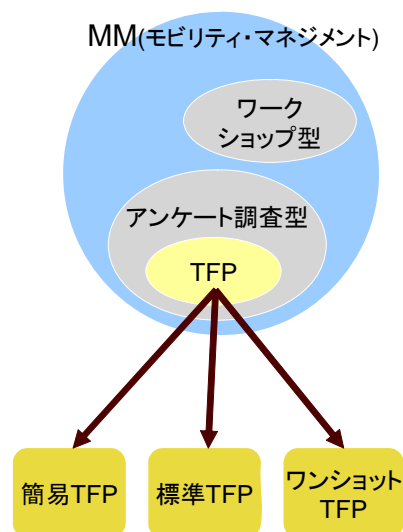


図-3.1 MM と TFP

## b) モビリティ・マネジメント

本研究では、コミュニケーションを通じた行動変容の促進手法としてモビリティ・マネジメントを参考とした。モビリティ・マネジメント（Mobility Management, 略称MM）とは、個人の交通行動が社会的にも個人的にも望ましい方向へ自発的に変化することを促すコミュニケーションを通じた交通政策<sup>21)</sup>である。

MMの手法としてもっとも基本的なものにTFP(travel feedback program)があり、個人または世帯に対してアンケートなどコミュニケーションを複数回行う。MMとTFPの概要図を図2.1に示す。ここでは、アンケートを調査ではなく、コミュニケーションの一部にとらえていることの注意されたい。また、コミュニケーションの種類によって、簡易TFP、ワンショットTFP、標準TFPと分類されるが、今回は標準TFPを参考とした。

現在までにMMは国内外を問わず様々な事例が蓄積されており<sup>22-25)</sup>、コミュニケーションを実施する場所は居住地区以外に、職場や学校教育の現場など多岐にわたる。しかし、その目的は交通行動変容に、他の分野に応用されている事例はまだ少ない。

## (2) Wave1 熊本市の水道利用の現況の把握

### a) 事前アンケートの概要

第一段階では、熊本市の水道利用の現況を把握するために事前アンケートを実施した。回収数は1,385世帯である。表-3.1に概要を示す。調査表は、世帯票と調査票に分けており、質問は全12項目とした。

表-3.1 事前アンケート調査の概要

対象世帯	: 熊本市に居住する4,000世帯
サンプルの抽出	: 住民基本台帳から無作為抽出
調査方法	: 郵送配布・郵送回収
有効回答数	: 1,377世帯
回収率	: 34.4%

### b) 飲用形態について

飲用形態に関する質問の有効回答は1,301件で「そのまま飲むか、沸かして飲む」と回答したのは73.1%、「浄水器を通して飲む」は19.8%、「全く飲まない」は7.0%であった。飲用形態に関する質問と他属性とのクロス集計結果を以下に示す。

#### ・住居形態

図-3.2に住居形態ごとの飲用形態を示す。「そのまま飲む」と回答した割合が最も高かったのは一戸建てで、76.8%であった。集合住宅では、一戸建てに比べ「そのまま飲む」割合が低く、逆に「浄水器を通して飲む」、「全く飲まない」割合が高い。集合住宅は一戸建てと水道供給機構が異なり、貯水槽に一旦水道水を貯留してから各世帯に供給されている。したがって、集合住宅の居住者はこれら供給施設に関して不安を感じているため、水道水を飲むことを避けていると考えられる。

#### ・年齢

図-3.3に年齢ごとの飲用形態を示す。「そのまま飲むか、沸かして飲む」という回

答が20歳代で74.6%であったのに、30歳代では59.3%、40歳代では62.1%と20歳代の回答より少なくなった。50歳代～80歳代の利用者では、約75～80%程度が「そのまま飲むか、沸かして飲む」、約14～18%前後が「浄水器を通して飲む」と回答しており、50歳代以降の回答者では年齢が上がるとともに「そのまま飲むか、沸かして飲む」が増加し、「浄水器を通して飲む」、「全く飲まない」は減少していく傾向にあると言える。逆に言うと、30歳代～80歳代の間では若い世代ほど水道水を直接飲まない傾向にあると言えるのだが、第一の要因として、結婚や出産などによる世帯構成の変化が考えられる。したがって、世帯構成による飲用形態の違いなどを今後新たに検討していく必要がある。第二の要因として、ボトルドウォーター（ペットボトルに入った水）の普及が挙げられ、ペットボトルの普及に伴って飲料水の需要構造が変化し、市販の飲料水を購入しやすい状況になったと予想される。とりわけ若い世代は、上の年代よりも日常的にボトルドウォーターを購入する割合が高いのではないだろうか。この仮説を検証するため、今後はボトルドウォーターのシェアの経年変化と年代別の市販の水利用状況を比較していく必要がある。また、30歳代、40歳代と比較して、20歳代の回答者の直接飲用率が高くなったのは、20歳代のサンプル数が相対的に少ないからであると考えられる。

・その他の属性との相関

県外居住経験の有無、性別、配水区、職業といった属性と飲用形態とのクロス集計を行ったが、これらの属性は飲用形態との相関が見られなかった。

c) 水道水の味の評価

水道水の味については有効回答が1,314件で、そのうち「おいしいと思う」が41.8%、「ときどきまずいと思う」が26.2%、「まずいと思う」が8.4%、「特に何も思わない」が23.7%であった。以下に他属性とのクロス集計結果を以下に示す。

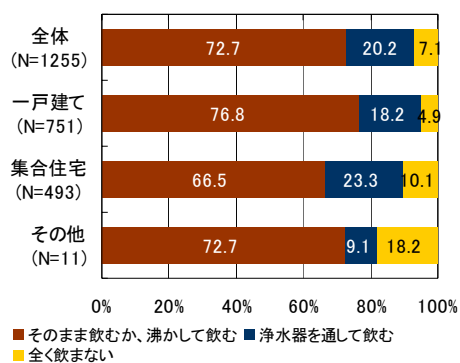


図-3.2 住居形態ごとの飲用形態

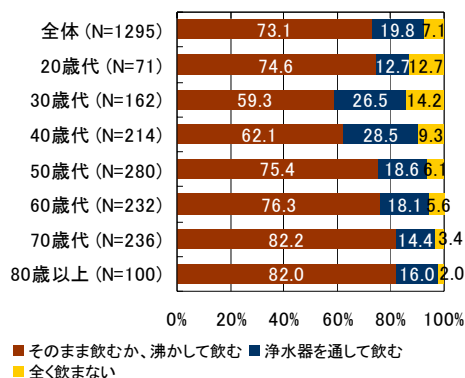


図-3.3 年齢ごとの飲用形態

・住居形態

図-3.4に住居形態毎の味の評価を示す。水道水を「おいしいと思う」という回答をしたのは一戸建てで47.0%、集合住宅で33.0%である。一方、「まずいと思う」という回答をしたのは一戸建てで4.4%、集合住宅で14.4%であり、つまり、水道水の

味の評価に関しては、一戸建ての方ではプラス評価が高く、集合住宅ではマイナス評価をしやすい傾向にあると言える。集合住宅居住者が水道水を「まずいと感じる」と評価しているのは2つのケースが考えられる。1つ目は実際に飲んで不安に感じたというケースである。集合住宅には貯水槽が存在するため、貯水槽の管理によっては一戸建てと比較して水道水の味に変化が生じた可能性がある。また、2つ目は水道水の味が一戸建てのものと変わりがなくとも、集合住宅で貯水槽が存在するという事実によって「水道水はまずい、危ない」という思い込みを生じさせているケースである。

#### ・年齢

図-3.5に年齢と味の評価を示す。「おいしいと思う」という回答は20代～40代では30%未満と低く、50代からは年齢があがるにつれ、増加している。特に60歳代、80歳代の高齢者では半数以上が「おいしいと思う」と答えており、「まずいと思う」と答えたのは10%以下にとどまった。また、20代では38.9%が「特に何も感じない」と回答している。図-3.3と比較すると、同じ「そのまま飲むか、沸かして飲む」という飲用形態でも、70代、80代は“おいしいと感じながら飲んでいる層”であり、20代は“特に何も感じないが飲んでいる層”であると言える。飲用形態と同様に、性別や県外居住経験の有無、配水区などその他の属性による差異は見られなかった。

#### d) 水道水の知識の有無による味の評価の違い

図-3.6に水道水の知識の有無と味の評価の関係を示す。水道水に関する知識レベルは「熊本市が67万市民の水道水をすべて天然地下水で賄っていることを知っていますか。」という設問に対し、「よく知っている」「ある程度知っている」「あまり知らない」「まったく知らない」の4肢より1つの選択を要請し、調査した。

水道水が地下水で賄われている事に関して、「よく知っている」と答えたグループでは、半数以上が水道水を「おいしいと思う」と回答しており、「ときどきまずいと思う」、「まずいと思う」という回答は合わせて30%未満にとどまった。その他のグループでは、水道水に関する知識が少ないグループほど、水道水の味について「おいしいと思う」というプラス評価が高く、「ときどきまずいと思う」、「まずいと思う」というマイナス評価が低い傾向があった。したがって、水道水に関する知識を与えることで、利用者の水道水に対する味の評価がプラスに変化する可能性が示唆された。また、水道水が地下水で賄われている事に関して、「あまり知らない」、「まったく知らない」と答えたグループでは、40%以上が水道水の味について「特に何も感じない」と回答している。この回答者は水道水に関する知識を付与することによって水道水の味に対する評価が変化する可能性があり、次の情報付与が有効に働く可能性の高い集団と言える。

#### e) 水道水の不安要因と理由

図-3.7に、水道水への不安要因を示す。有効回答者1,347人のうち、71.1%が「何らかの不安がある」と回答している。また、「何らかの不安がある」と答えた回答者が不安に思う要因を図-3.8に示す。設問は各選択肢のうち、不安に思う項目すべての選択を要請した。またその中で最も不安に思う項目があれば1つ選択するよう要請した。

水道水に対する不安要因のうち、特に多かったのは「自分の家の水道管・貯水タン



クのよごれ」, 「水道管を流れる間の水の汚染」であった. したがって, 配水施設の安全性等に関する情報提供を行うことにより, 利用者の不安を軽減できる可能性がある. また, 塩素消毒についての不安は項目の中で最も低かったため, 不安要因としてはやや弱いと言える. しかしながら, 水道水をまずいと感じる理由のうち「カルキ臭いから」が最多であったため, 塩素消毒は味の評価に関わる因子であることが分った. したがって, 次段階での情報付与では塩素消毒の意義や, 水道水を飲用する際に塩素臭を除去する方法などについて周知していく必要がある.

また, 何らかの不安があると答えた利用者には, 不安に思うきっかけ(理由)についても回答を要請した結果, 最も多い理由として「テレビや新聞の報道」があげられ, 何らかの不安を感じている利用者がメディアの影響を受けている. 次に「実際に飲んで不安に感じた」が多い. その他の理由としては, 多い順に「本や雑誌を見てから」「知人等から聞いて」が挙げられた.

f) 水道水について学習したい項目

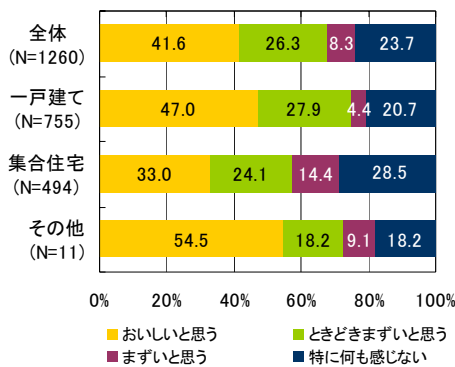


図-3.4 住居形態ごとの味の評価

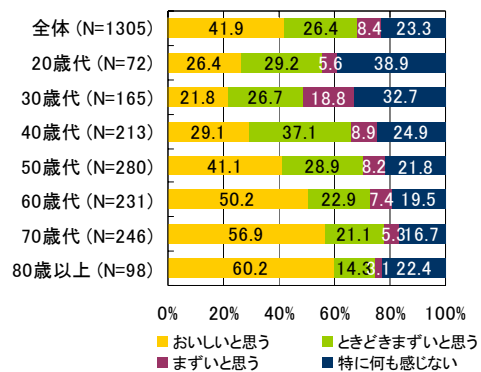


図-3.5 年齢ごとの味の評価

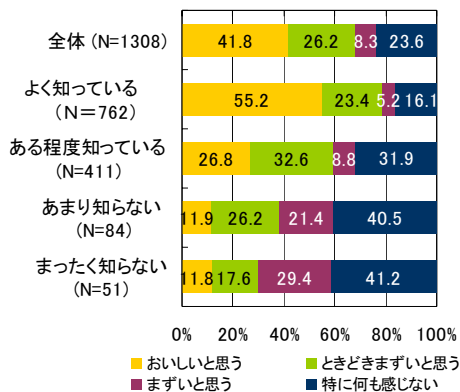


図-3.6 水道水の知識の有無と味の評価

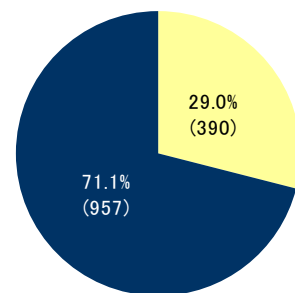


図-3.7 水道水に対する不安 (有効回答数 1,347)

次段階の情報付与課程では, 利用者が知りたいと思う情報を提供する事が顧客満足度の上昇, ひいては効果的な行動変容を促すことにつながると考えられる. したがって, 事前アンケートでは水道の利用状況の他に, 水道水について学習してみたい項目についても調査した. 設問では, 学習したい項目について選択肢について複数回答を

要請した。その結果、「水道水の安全性」が学習してみたい項目の中で最多であり、次いで「自宅の水道水の水質に関する情報」が多く挙げられた。それ以外は多い順に「水源の情報」、「おいしい水道水の飲み方」、「水と健康の関係」、「水道水の供給のしくみ」となった。したがって、情報誌ではこれらの情報を掲載することとした。

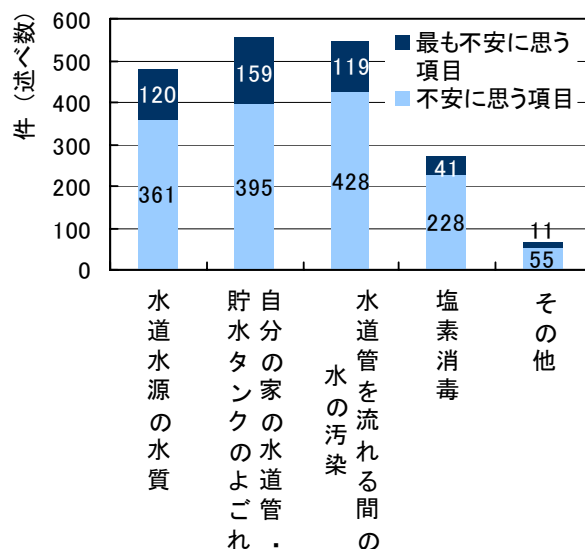


図-3.8 水道水の不安要因

### (3) Wave2 水道水飲用促進を目的としたコミュニケーションの実施

#### a) コミュニケーションの概要

Wave2では、事前アンケート回答者をコミュニケーション施策群、制御群の2つに分け、施策群のみ情報提供等のコミュニケーションを行い、熊本市の水道水について学習するようアプローチした。Wave2の概要を表-3.2に示す。施策群は事前アンケート回答者の中から1,000世帯を無作為抽出し、熊本の水道水について総合的に学習できるツールとして、ミニ情報紙『くまもとの水道水』、熊本市の水道水に関するクイズ、ダイアリー調査票の3点を配布した。各学習ツールの詳細を以下に説明する。

#### ・熊本市の水道水に関するミニ情報紙

ミニ情報紙『くまもとの水道水』では、利用者の不安感を軽減させ、水道飲用を促進させるための動機付け情報を掲載した。内容は熊本の水道水に関する基礎知識、「水道水をおいしく飲む方法」、「健康によい水の飲み方」に大別される。個々の記事の具体的内容を以下に説明する。

表-3.2 コミュニケーションの概要

対象世帯	: 事前アンケート回答者のうち、無作為抽出した1,000世帯
調査方法	: 郵送配布・郵送回収
有効回答数	: 324世帯
回収率	: 32.4%
送付資料	: (1) 事前アンケートの結果 (2) ミニ情報紙『くまもとの水道水』 (3) くまもとウォーターライフダイアリー (4) 熊本の水道水に関するクイズ

「熊本の水道水に関する基礎知識」では、熊本市の水道水のミネラル成分が市販のミネラルウォーター（平均値）よりも高いことを示し、市販の水の利用者の意識を変化させるよう働きかけた。また、水源の情報、塩素消毒の必要性などについても紹介した。

「水道水をおいしく飲む方法」では、“塩素の除去方法と” “自宅の水道管・貯水タンクの汚れ” の2点への対策を紹介し、水道水の味に不満を感じる利用者や、品質に不安を感じる利用者に対して意識変化を促した。

「健康に良い水の飲み方」では、健康に役立つ水の飲み方についても紹介した。これは、もともと水道水に対して何も感じていない利用者に対し、水道水を飲むメリットを提示することで積極的な飲用を促すことを目的とした。

・ダイアリー調査の実施

ミニ情報誌で紹介した“水道水をおいしく飲む方法”，“健康に良い水の飲み方”を利用者が実践したか調査するため、ダイアリー調査を行った。ダイアリー調査は情報誌が届いた日から2週間以内で、任意の3日間について記入をすることとし、任意での返送を要請した。調査票では、水道水をおいしく飲む方法、健康に良い水の飲み方のうち「朝、コップ1杯の水を飲んだ」、「夜、コップ1杯の水を飲んだ」、「朝、バケツ1杯の水を流してから使った」「水道水に茶葉を入れ、塩素を消した」、「水道水を冷蔵庫で冷やして飲んだ」の5項目について、実践した項目はすべてチェックするよう要請した。また、その他に実践した水をおいしく飲む工夫や健康に役立てる工夫、市販の水の利用状況については自由記述とした。

・熊本市の水道水に関するクイズ

ダイアリー調査票の裏面には、熊本市の水道水に関するクイズを掲載した。クイズはミニ情報誌から出題している事を明記し、より多くの利用者が情報紙を読むように促した。また、記入した上で返送した者に事後報酬を抽選で提供することを告知し、任意での返送を要請した。

b) ダイアリー調査の結果と考察

ダイアリー調査票の返信数は344世帯であり、その中で有効回答数は325件、回収率は32.5%であった。有効回答のうち、「水道水を全く飲用しなかった」と回答したのは2世帯で、その他の323世帯は水道水を飲用し調査項目のいずれかを実践していた。図-3.9にダイアリー調査項目の実施世帯数について示す。

調査票のチェック項目のうち、実施数が多かったのは、「朝、コップ1杯の水を飲んだ」、「夜、コップ1杯の水を飲んだ」であった。どちらも1日あたり200世帯前後、

有効回答者数の61.7%が実施したと回答している。それ以外の項目については、3日間の実施世帯の平均値の多いものから順に「冷蔵庫に冷やしてから飲んだ（1日あたり平均79世帯，有効回答者数のうち24.4%）」，「朝，バケツ1杯の水を流してから使った（1日あたり平均67世帯，有効回答者数のうち20.7%）」，「水道水に茶葉を入れ，塩素を消した（1日あたり平均41世帯，有効回答者数のうち12.6%）」であった。以上のような結果を受け，手軽で実施しやすい項目が実施されやすい傾向にあることが示唆された。また，回答者の中にはチェック項目をもともと習慣として実施していたという意見もあり，情報誌を読んで新規に実践した項目と習慣的に実践していた項目の区別をつけることは不可能であった。市販の水利用では，市販のミネラルウォーター，ペットボトルの炭酸水，ウォーターサーバーの水，温泉水の他，わき水をくみに行くといった回答が得られた。

水をおいしく飲む工夫，健康に役立てる工夫について最も多かったのは，「水道水に柑橘類の果汁を入れて飲む」であった。以上の結果を踏まえ，事後アンケートではダイアリー返送者の行動変容の継続度を調査する必要がある。また，コミュニケーション施策群のうちダイアリーを返信したグループと返送しなかったグループについて，意識の変化や行動変容について詳細を検討していく。

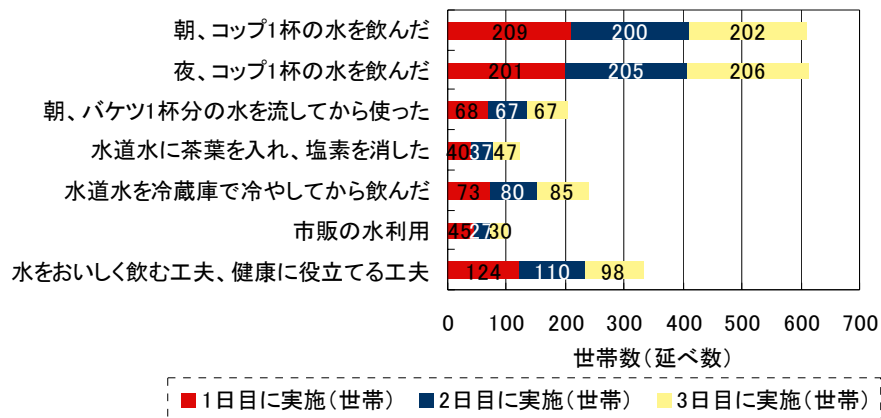


図-3.9 ダイアリー調査項目と実施世帯数

#### (4) Wave3 コミュニケーション施策群と制御群の行動変容

##### a) 事後アンケートの概要

学習による意識変化・行動変容を検証するために事後アンケートを実施した。表-3.3に事後アンケート調査の概要を示す。また，事前アンケート回答者1,385名中4名はWave2以降のアンケート協力への拒否意志を表明していたため，事後アンケートの対象外としている。

##### ・学習度による分類

事後アンケートでは，コミュニケーション実施の有無と，ダイアリー調査の返信の有無の2条件によって，対象者を3つのグループに選別した。図-3.10にグループ分けのチャートを示し，各群の説明を以下に述べる。

1群は，事後アンケート回答者の中で無作為に抽出された“マネジメント施策群”に属しており，ダイアリー調査に協力したグループである。この群は情報紙を読んだ

上で、おいしい水の飲み方を実践したグループであるため、3つのグループの中で最も学習度の高いグループであると言える。

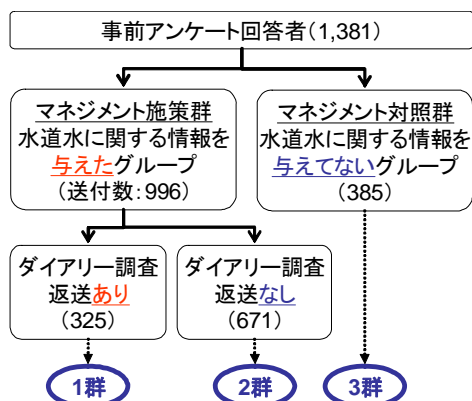


図-3.10 事後アンケートでのグループの分類

2群は1群と同様に“マネジメント施策群”に属するが、1群と異なるのはダイアリー調査には協力していない点である。したがって、情報紙を読んだか、おいしい水の飲み方を実践したかが不明なグループである。情報紙の提供を受けていない3群に比べると、学習している可能性は高いが、“おいしい水の飲み方の実践”という観点からみると、1群より行動変容の程度は劣ると見込まれる。

3群は“マネジメント対照群”に属しており、表-3.4に示すように情報誌の提供を受けていない。したがって、すべての群の中で最も学習度の低いグループと言える。

表-3.3 事後アンケート調査の概要

対象世帯	: 事前アンケートに回答した 1,381 世帯
調査方法	: 郵送配布・郵送回収

表-3.4 事後アンケートでの送付資料

	1群	2群	3群
事後アンケート票	○	○	○
事前アンケートの結果	*	*	○
ダイアリー調査の結果	○	×	×
ミニ情報紙	*	*	×

( \* 印はWave2ですすでに送付済みであることを示す。 )

#### 調査項目

事後アンケートの調査項目を目的別に3つに分類した。詳細を以下に述べる。

「学習度別の意識変化・行動変容を検討する項目」

事後アンケートで選別した群ごとの比較であり、言い換えれば同じ時間軸での比較である。設問は「飲用形態」, 「水道水に対する味の評価」, 「水道水に対する不安要素」, 「水道料金と水道水の品質・安全性の釣り合い」, 「おいしい水の飲み方」 「熊本市の水道水のイメージ」に関するものである。

「学習過程前後での意識変化・行動変容を検討する項目」

学習過程前後での意識変化・行動変容を把握できるよう、事後アンケート表には事

前アンケートと同じ設問を用意した。設問は「飲用形態」，「水道水に対する味の評価」，「水道料金と水道水の品質・安全性の釣り合い」についてである。言い換えれば，異なる時間軸での比較を行うものである。

「情報誌の効果の検討する項目」

この検討項目の対象者は，1群，2群で「情報誌を読んだ」と答えた回答者であり，情報誌の学習効果を把握するための設問である。設問内容は，「情報誌の内容に対する興味」，「（情報誌を読んで）水道水中の塩素に対する不安の解消度」，「水道水の安全性に対する意識の変化」とした。

#### b) 学習による飲用形態の変化

図-3.11に，各群における学習前後での飲用形態の変化を示す。各群の回答結果に変化があると認められるか統計的に検証するため $\chi^2$ 検定を行なった。

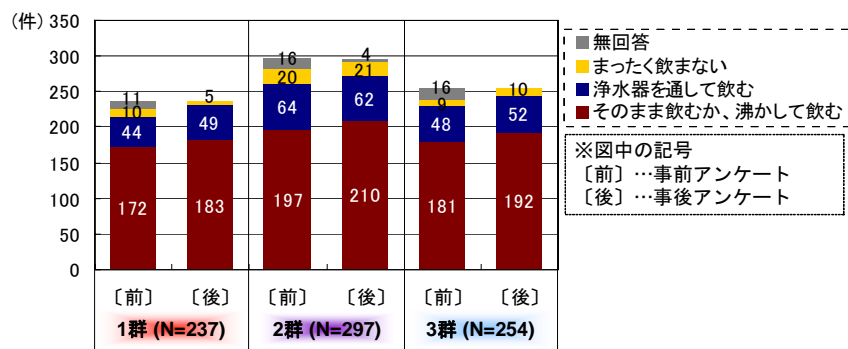


図-3.11 学習前後での飲用形態の変化

検定の結果，すべての群で有意差が見られず，学習による行動変容は認められなかった。これは，事前アンケートの段階で「そのまま飲むか，沸かして飲む」が多かったため，事後アンケートでの変化が顕著には現れなかったからである。また，今回は，群という大きなまとまりで事前アンケートと事後アンケートの回答に変化が見られたかどうかを検定していたが，本来ならば個人の回答の推移を考慮しなくてはならない。表-3.5に各群の回答の推移を示す。事前アンケートで「そのまま飲むか，沸かして飲む」以外を選択した回答者のうち何人が，事後アンケートで「そのまま飲むか，沸かして飲む」に推移したかを調べると，1群では16人，2群では23人が推移していた。したがって統計的に有意差がないという結果が出て，学習したグループでは意識変化が見られないわけではない。また，水道水について学習をしていない3群でも回答に推移が見られ，25人が「そのまま飲むか，沸かして飲む」に推移している。本来ならば学習していないグループには回答に変化は生じないはずである。したがって，3群の回答の変化の原因としては，その時々で生じる回答の“ぶれ”つまり，誤差のようなものが発生したためではないかと考えられる。もちろんこの誤差は3群だけでなく，学習をしている1群，2群についても生じうるが，群ごとに発生確率なども異なると考えられる。したがって，今後は回答のぶれを考慮した上で各群の推移を検討し，群ごとの行動変容をさらに検討していくことが必要である。

〔前〕\〔後〕	そのまま飲むか、沸かして飲む	浄水器を通して飲む	まったく飲まない	無回答	総計
そのまま飲むか、沸かして飲む	165	6	1	0	172
浄水器を通して飲む	6	38	0	0	44
まったく飲まない	6	0	4	0	10
無回答	6	5	0	0	11
総計	183	49	5	0	237

(1群)

〔前〕\〔後〕	そのまま飲むか、沸かして飲む	浄水器を通して飲む	まったく飲まない	無回答	総計
そのまま飲むか、沸かして飲む	187	3	6	1	197
浄水器を通して飲む	8	52	1	3	64
まったく飲まない	7	3	10	0	20
無回答	8	4	4	0	16
総計	210	62	21	4	297

(2群)

〔前〕\〔後〕	そのまま飲むか、沸かして飲む	浄水器を通して飲む	まったく飲まない	無回答	総計
そのまま飲むか、沸かして飲む	167	9	5	0	181
浄水器を通して飲む	9	39	0	0	48
まったく飲まない	5	0	4	0	9
無回答	11	4	1	0	16
総計	192	52	10	0	254

(3群)

表-3.5 飲用形態の推移

## c) 水道水に対する味の評価の変化

図-3.12は各群の水道水に対する味の評価を示す。学習の有無による行動変容の違いを把握するため $\chi^2$ 検定を行なった。

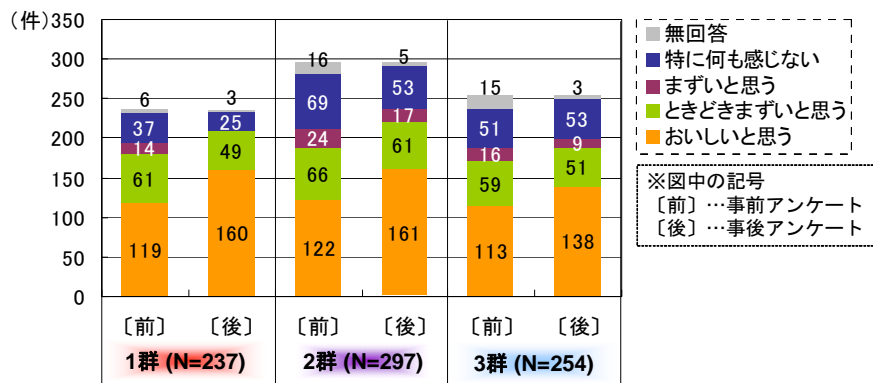


図-3.12 学習前後での味の評価の変化

検定の結果、1群は有意差1%で帰無仮説が棄却され、2群は有意差5%で帰無仮説が棄却されたため、学習によって行動変容が促された可能性が高いことが分かる。3群は有意差がなく、行動変容は認められなかった。しかしながら、これらの分析はいずれも、前節と同様に群での評価であるため、さらに個人レベルでの検討が必要である。

また、各群における飲用形態の回答の推移と同様に、各群の味の評価の回答の推移を表-3.6に示す。これらの表を用いて、回答のぶれを考慮しながら詳細な回答の推移を検討する必要がある。

〔前〕\〔後〕	おいしいと思う	とききまずいと思う	まずいと思う	特に何も感じない	無回答	総計
おいしいと思う	94	15	1	11	1	122
とききまずいと思う	32	21	1	10	2	66
まずいと思う	1	8	11	3	1	24
特に何も感じない	29	10	3	27	0	69
無回答	5	7	1	2	1	16
総計	161	61	17	53	5	297

(1群)

〔前〕\〔後〕	おいしいと思う	とききまずいと思う	まずいと思う	特に何も感じない	無回答	総計
おいしいと思う	94	15	1	11	1	122
とききまずいと思う	32	21	1	10	2	66
まずいと思う	1	8	11	3	1	24
特に何も感じない	29	10	3	27	0	69
無回答	5	7	1	2	1	16
総計	161	61	17	53	5	297

(2群)

〔前〕\〔後〕	おいしいと思う	とききまずいと思う	まずいと思う	特に何も感じない	無回答	総計
おいしいと思う	98	4	1	10	0	113
とききまずいと思う	16	33	2	6	2	59
まずいと思う	3	7	5	1	0	16
特に何も感じない	16	3	0	31	1	51
無回答	5	4	1	5	0	15
総計	138	51	9	53	3	254

(3群)

表-3.6 学習前後での味の評価の推移

#### d) 学習前後での不安感の変化

図-3.13に各群での学習前後における不安項目を示す。事前アンケートと同様、各選択肢のうち不安に思う項目を複数選択するよう要請した。複数選択であるがゆえに $\chi^2$ 検定は実施不可能であったため、以下では定性的な変化を検討した。コミュニケーション施策群である1群、2群に注目し、各項目の件数を見てみると、学習前よりも学習後の方が低くなっている傾向がある。1群に関しては、すべての項目が事後アンケートで低くなっている。2群では事後アンケートで「塩素消毒」「自分の家の水道管・貯水タンクの汚れ」が増えていた。これは、情報誌では「塩素の除去方法」や「自宅の家の水道管・貯水タンクの汚れの対処法」を掲載しており、今までそれらを気にしていなかった利用者が情報誌を読んだことで気になり始めたのではないかと考えられる。3群は情報誌を配布していないが、事前アンケートの結果を読んで、逆に不安感が増したのではないだろうか。したがって、ただ情報を与えるだけではなく、実際に不安感を取り除くために水道水を飲むよう働きかけるなど、実際に行動に移さなければ意味がないということ示唆された。

また、熊本市の水道水に対して「不安がない」と回答した利用者の数を図5.5に示す。1群では2件と小幅に増加しており、2群、3群では「不安がない」という回答が逆に減少している。特に3群では23件と大幅な減少となった。これは、3群の利用者が事前アンケートの結果を読み、不安が増大した可能性が考えられる。また、事前アンケートでは水道水を不安に思う理由について回答を要請したところ、「アンケートが送られてきたことによって、不安に思うようになった」と回答した利用者もいたため、アンケートの送付事態が不安を増幅させている可能性もある。

したがって、前述の結果と合わせると、情報誌等の動機付け情報の付与によって行動変容を促す事は可能であっても、不安感の軽減を図るのは現時点では困難であると言える。1群は情報紙に記載したおいしい水の飲み方を実践しているにも関わらず、不安感の軽減を図れなかったため、今後の課題として、情報紙等の学習ツールの見直しを行う事が指摘される。また、意識変化は情報付与を継続的に実施することで徐々に達成される可能性があるため、今後も引き続き情報付与を行い、意識変化を検証していく必要がある。また、情報付与の媒体は今回送付した情報紙の他、水道局の広報誌、テレビ、ラジオ、インターネットといったメディアの活用も有効であると考えられる。

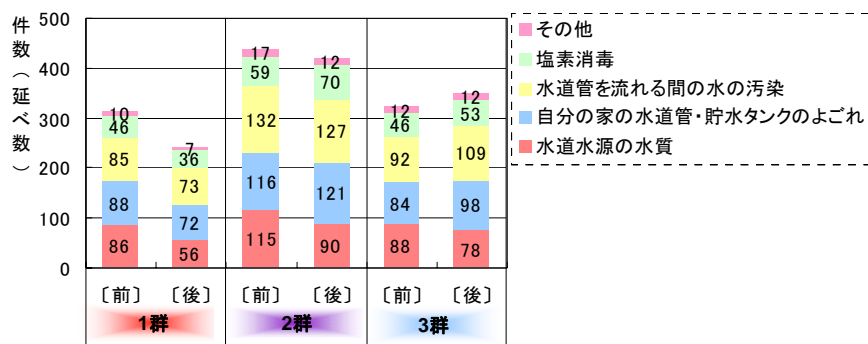


図-3.13 学習前後での水道水に対する不安項目

#### e) 情報紙によるその他の意識変化・行動変容



水道水に対して不安に思う項目とその回答数については、前節で述べたように、学習前後での変化に有意差は認められなかった。そこで、不安感の変化やその他の行動変容可能性をさらに別の視点から把握することを目的として、1群と、2群のうち情報誌を読んだと答えた回答者に対し、情報誌を読んだ後の式の変化について別途調査した。学習後の塩素に対する意識変化を図-3.14に示す。「塩素に対する不安は解消された」という回答が1群では58.7%，2群では21.7%であった。また、「不安は変わらない」という回答は1群では得られず、2群では7.8%存在した。したがって、情報誌の提供という同一条件の下でも、水道水に対する意識が高いグループ（1群）と、そうでないグループ（2群）では、1群が相対的に塩素への不安解消の程度が高い傾向にあることが把握された。

図-3.15に学習後の水道水の安全性に対する意識変化を示す。「安全だと思うようになった」と回答したのは1群で42.9%，2群では35.3%であり1群が相対的に多い。また、「やや安全だと思うようになった」と回答したのは1群で28.6%，2群では40.2%と2群が相対的に多いという結果となった。しかしながら、これらの選択肢は順序尺度であり、各項目の選択行動は個人の主観に基づいて行われるため、項目の選択基準があいまいになりがちである。したがってここでは、「安全だと思うようになった」、「やや安全だと思うようになった」という回答を合わせたものをプラスの意識変化としてまとめて比較する。その結果、1群ではプラスの意識変化が71.5%，2群では75.5%でありほぼ同じ割合となった。そのほかの項目に関しても大きな差が見られない。今後は母平均の検定を行うなど、選択肢ごとの回答数の違いが統計的に独立したものであるか検証し、改めて群ごとの違いを検討していく必要がある。

また、情報誌を読んだ利用者が情報誌に掲載したおいしい水の飲み方を実践したかどうかについて図-3.16に示す。設問では、「朝起きて（または夜寝る前に）コップ1杯の水道を飲んだ」、「水道水を冷蔵庫で冷やして飲んだ」、「水道水に茶葉を入れ、塩素を消してから飲んだ」、「朝一番の水はバケツ1杯流してから使った」の5肢について1回でも実施した項目をすべて選択するよう要請した。以上の項目がそれぞれ実施された割合を集計し、群ごとに比較を行った。設問では複数回答を要請しているため、項目の実施率の合計は100%にはならない事に注意されたい。各項目の実施率をそれぞれ群同士で比較すると、すべての項目において1群の実施率が2群を上回る結果となった。継続実施率についても同様であり、結果を図-3.17に示す。また、3群では「水道水を飲む際に、おいしく飲む工夫や健康に役立てる工夫をしていますか。」という設問に対し、「工夫はしていない」という回答が75%であり、情報を与えた1群、2群と比較しても水道水の飲み方に違いがあることが分かる。

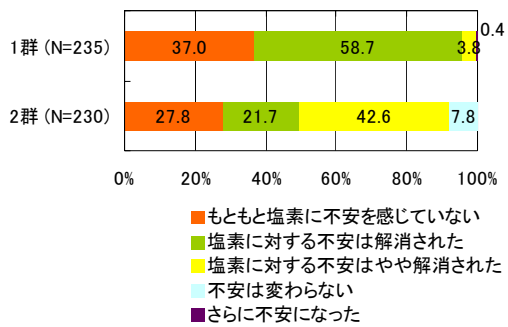


図-3.14 学習による塩素に対する意識の変化

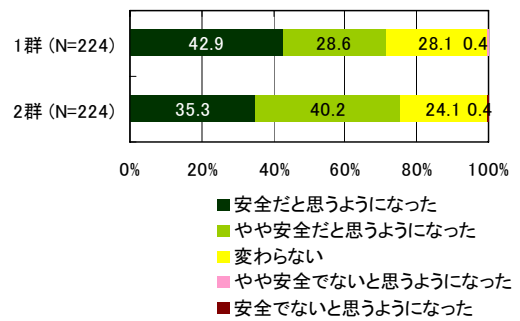


図-3.15 学習の程度による安全性に対する意識変化

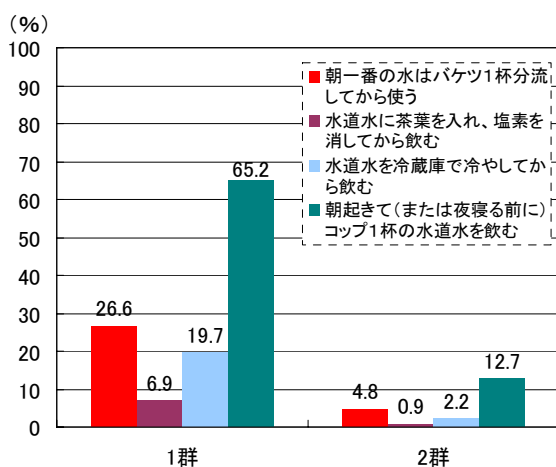


図-3.16 おいしい水の飲み方の実施率

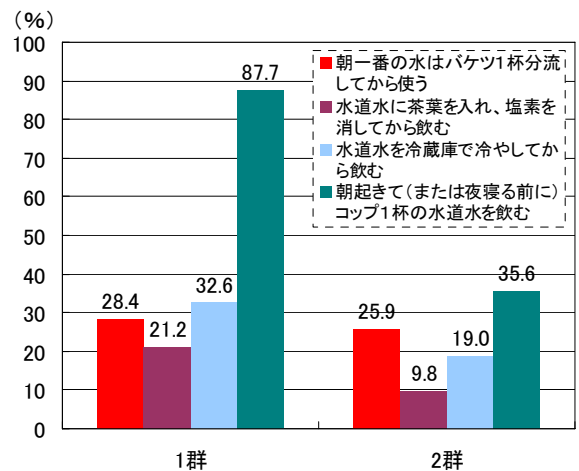


図3-17 おいしい水の飲み方の継続実施率

#### 4. 結論

本プロジェクトでは、熊本流域圏水における健全な水利用のあり方について政策提言を行うことを目的として開始した。初年度の今年度は、熊本市水道水の水質的特徴を明らかにして飲料水としての魅力について評価検討するとともに、水利用者の態度変容を促すことへのモビリティマネジメント技術の適用可能性を検証し、以下の知見が得られた。

- 1) 熊本市水道水と市販ボトル水を比較した結果、熊本の地下水は国内産ペットボトル水の平均的な水質組成バランスに類似し、ミネラル成分をやや多く含む水質特性を有することが分かった。
- 2) 熊本市の水道水は、これまでに提案されているおいしい水指標や健康によい水指標の要件を満たし、市販ボトル水よりもおいしく健康によい水と評価された。これに対し、市販ボトル水の中にはこれら要件を著しくはずれるものもあることが分かった。
- 3) 水のおいしさに関する官能試験の結果、熊本市水道水は国内産ボトル水と同等以上のおいしさを有することが分かった。

- 4) 判別解析手法を用いることで、熊本地下水間におけるおいしさの程度を評価し「おいしい水の中のおいしい水」を判定できる可能性が示唆された。しかしながら、本年度は一度のみの官能試験結果による検討であり、主に熊本地下水を対象とした場合の結果であることから、今後は結果の再現性の検証、他ボトル水との比較検討を進め、シンプルで汎用性の高い「おいしい水の中のおいしい水指標」の作成を検討し、熊本地下水・水道水の魅力の創出につなげていきたい。
- 5) 水道水の飲用形態は住居形態と年齢に相関があることが示唆され、具体的に、集合住宅に居住する利用者は一戸建てに比べ直接飲用率が劣り、水道水の味についてもおいしくないと否定的であることが示された。
- 6) 水道水に対する味の評価は水道水に対する知識の有無と相関があり、熊本の水道水をよく知っているほど、水道水をおいしいと感じる傾向が高いため、学習過程によって味の評価が好意的になる可能性が明らかになった。
- 7) 水道水に対する不安要素について最も多く挙げられたのは貯水槽や水道管など配水設備に関するものだった。貯水槽の管理体制や、水道水を安全においしく飲む方法をアピールすることで、利用者の不安感を軽減できる可能性が示された。
- 8) 水道水について学習し、水道水をおいしく飲む工夫を実施した場合に直接飲用率が向上し、水道水の味についてもおいしいと感じる割合が高くなった。また、学習によって、塩素に対する不安も解消され安全だと思えるようになった等の明確な意識変化が確認された

## 参考文献

- 1) 小島貞夫: おいしい水の探求. NHKブックス, 日本放送出版協会, 1972
- 2) 熊本県・熊本市: 熊本地域地下水保全対策調査報告書. , 2005
- 3) 熊本日日新聞社: 熊本日日新聞. 熊本日日新聞 (昭和59年8月29日朝刊) , 1984
- 4) 赤星博興, 末吉栄志, 津留靖尚, 中熊秀光, 田島幸治: 熊本の地下水と市販ペットボトル水の水質比較. 熊本市環境総合研究所報 13:64-81, 2000
- 5) おいしい水研究会: おいしい水について. 水道協会誌 54(5):76-81, 1985
- 6) 橋本奨: 健康飲料水とおいしい飲料水の水質評価とその応用に関する研究. 空気調和・衛生工学会誌 63(6):1-6, 1989
- 7) 小西泰次郎: おいしい水・甲府市の水道水. 地下水技術 42(6): 25-55, 2000
- 8) 永富孝則, 武富眞, 安本義信: おいしい水の尺度作り. 第45回全国水道研究発表会 :554-555, 2004
- 9) 佐々木健, 岩永千尋, 渡辺昌規, 鈴木洗次郎, 浜岡 尊, 近藤 暹: 水質化学成分と官能試験によるおいしさとの相関. 日本農藝化学会誌 70 (10):1103-1116, 1996
- 10) 岩永千尋, 佐々木健: ファジィ推論を適用したおいしい水の判定. 水環境学会誌 19(3):209-219, 1996
- 11) 松橋鐵次郎: 飲料水 (ミネラルウォーター) の品質表示ー消費者のための水質ダイアグラムの利用ー. 食品工業 6.15: 62-73, 2004

- 12) 佐藤彰: おいしい水の化学成分と評価. 生活学園短期大学紀要 13:15-27,1990
- 13) 永井茂: おいしい水と地下水. 計測と制御 33(8): 665-666,1994
- 14) 祝部大輔, 森本稔, 松本健治: ミネラルバランスによるナチュラルミネラルウォーターの水質評価. 日本水処理生物学会誌 42(4): 207-213,2006
- 15) 北原節子, 黒川公美子, 小川侑子, 田中和明: アンケート調査からみたおいしい水およびその飲料水質. 用水と廃水 47(5):378-383,2005
- 16) 川合信行, 浜下一正, 畑本二美, 中島一郎: 多変量解析による市販ミネラルウォーターの味の解析. 日本食品工業学会誌 41(11):810-820,1994
- 17) 川合信行, 浜下一正, 畑本二美, 中島一郎: 多変量解析による自然水の味の解析と成分によるおいしさの判別. 日本食品工業学会誌 41(11):778-784,1994
- 18) 熊本の湧泉研究会: 水は伝える熊本の湧泉. 熊本電波工業高等専門学校出版会,2004
- 19) 熊本県・熊本市: . 熊本地域地下水総合調査報告書 :19-20,1995
- 20) 藤田正憲: おいしい水の科学と文化: 食品と開発 31(7): 10-13, (1996)
- 21) 土木学会: モビリティ・マネジメント(MM)の手引き～自動車と公共交通の「かしこい」使い方を考えるための交通施策～, p.6, 2006
- 22) 萩原剛, 藤井聡: 事務所における組織的なモビリティ・マネジメントに関する分析, 土木学会論文集, vol.63 No.2 pp.161-181, 2007熊本県・熊本市: . 熊本地域地下水総合調査報告書 :19-20,1995
- 23) 谷口綾子, 萩原剛, 藤井聡, 浜野雅輝, 井上靖之, 原文宏: 2002年度札幌市における教育型TFPの取り組み, 土木計画学研究・講演集, CD-ROM, No.27, 2003
- 24) 松村暢彦・源田剛史・新田保次: 行動プラン法の公共交通利用促進効果に関する実証的研究, 土木計画学・講演集, CD-ROM, No.27, 2003
- 25) 松村暢彦: マイカー通勤削減を目的とした通勤手当に対する通勤者の意識と行動に関する研究, 日本都市計画学会論文集, No.37, pp.259-265, 2002