

熊本市東部地域の地下水質の季節変動について

宮本裕美 赤星博興* 近藤芳樹 津留靖尚

*現生活衛生課

1 はじめに

地下水の硝酸性窒素汚染は、畑地への過剰な施肥や家畜排泄物の不適正な処理が原因とされており、汚染源そのものが拡がりをもつことから、全国で深刻な問題となっている。環境省は平成11年に亜硝酸性及び硝酸性窒素を環境基準項目に設定し地下水の監視を続けているが、依然、高い頻度で検出を続けている。熊本市でも平成6年～9年に市内全域で実施された実態調査により、一部地域での高濃度汚染が確認された。これを受けて、現在も汚染地域のモニタリング調査を継続して行っているほか、平成19年に「第1次熊本市硝酸性窒素削減計画」、平成22年には「第2次硝酸性窒素削減計画」を策定し、硝酸性窒素汚染対策の強化に力を入れているところである。

近年、熊本市の主要な地下水流域にあたる東部地域においても、硝酸性窒素濃度の著しい上昇が見られる。この地域にある観測井では、年2回実施している地下水質の定期モニタリング調査より、時期によって水質が異なることが報告されており¹⁾、硝酸性窒素の季節変動を把握し今後の対策に活用するため水質調査を行ったので報告する。

2 調査概要

(1) 調査地点

調査は、東部地域で定期モニタリング調査を行っている4本の井戸で行った。井戸の位置及び深度を図1に示した。

(2) 調査回数

平成21年3月から平成22年3月まで、毎月1回調査を行った。

(3) 調査項目

水温は現地で測定し、残りの項目は持ち帰り測定した。pHはガラス電極法、重炭酸イオンは硫酸滴定法で求め、ナトリウムイオン、アンモニウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオン、フッ化物イオン、塩化物イオン、亜硝酸イオン、硝酸イオン、硫酸イオンはイオンクロマトグラフによって測定した。

また、地下水位は熊本市ホームページ「熊本市地下水位情報」³⁾から、降水量は熊本気象台ホームページ⁴⁾より引用した。

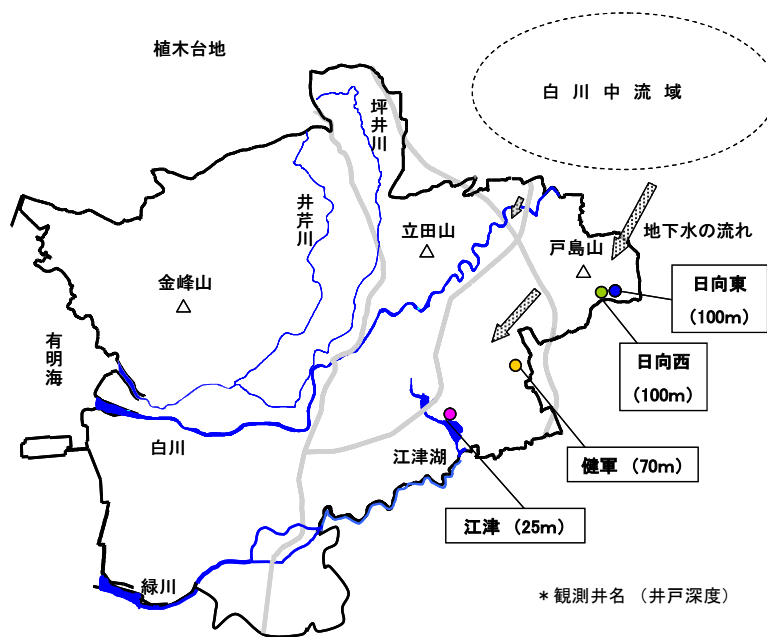


図1 調査地点及び井戸深度

3 調査結果

(1) 対象地域の概要

調査の対象とした地域は、本市の東部に位置し、約9万～27万年前に起こった阿蘇山の4度の大噴火により噴出した阿蘇火砕流堆積物が広く分布している。図1に示したように、灌漑用水として利用された白川の河川水によって大量の地下水が涵養されている白川中流域から江津湖に向う地下水の流路に位置している。

図2に示したように、日向東、日向西観測井は井戸深度が100mでAso-2とAso-3を帯水層としており、本市の主要な地下水流の最も上流に位置し、地下水の動向を把握するうえで重要な地点である。周辺には畜舎と飼料畑が広がり、近年、硝酸性窒素の上昇が著しことから、第2次熊本市硝酸性窒素削減計画では発生源対策の重点地域とされている。

健軍観測井は、日向西と江津観測井の中間に位置し、井戸深度は70mでAso-2とAso-3に連なる砥川溶岩を帯水層としており、周辺は幹線道路に沿った市街地である。また、江津観測井は、Aso-4と託麻砂礫層を帯水層としており、日量約40万m³の地下水が湧き出る江津湖に面した動植物園内にあり、近くには本市最大規模の健軍水源地がある。

この地域の地下水は、カルシウムイオンと重炭酸イオンの多いCa-HCO₃型の地下水で、溶存成分量が比較的多く、戸島から健軍、田迎にかけての広い範囲に分布している。²⁾

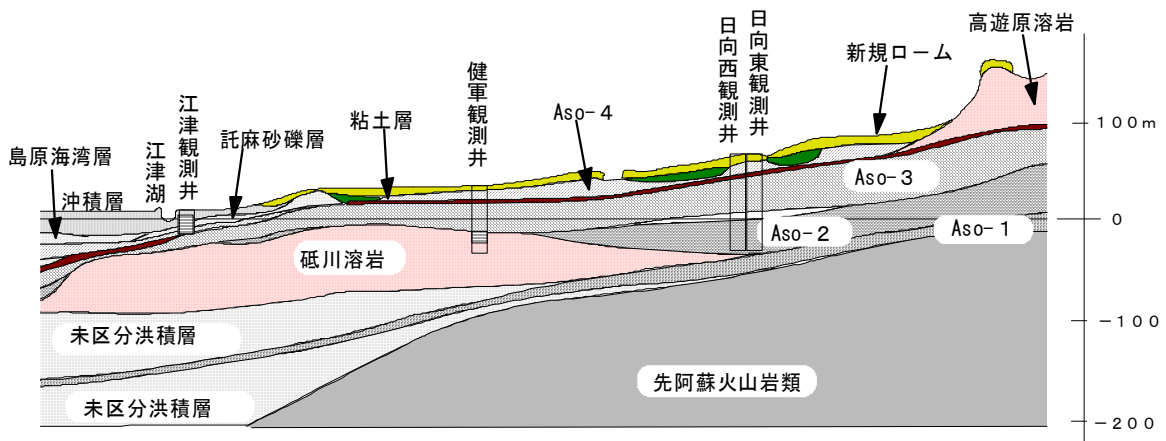


図2 調査地域の地層断面模式図

(2) 地下水位

各地点の水位の年間変動を図3に示した。

日向西の水位は3月(20.1m)から5月(19.2m)まで緩やかに低下し、その後10月(24.0m)の最高値まで急上昇、再び翌年3月(18.7m)まで低下した。なお、日向東は、8月から10月まで欠測しているが、過去の水位データから

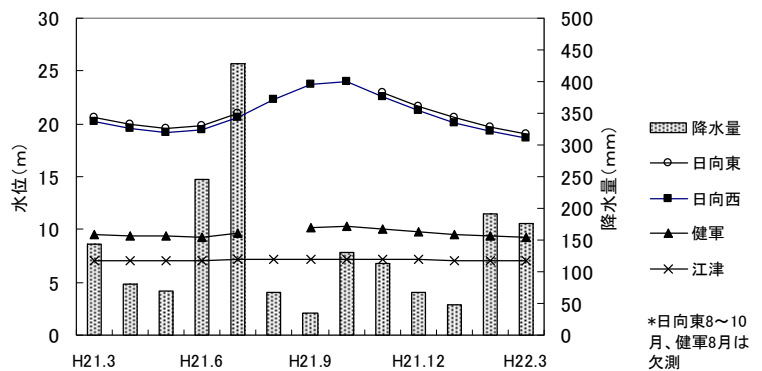


図3 地下水位変動と降水量

0.4m 程度高いものの、日向西と同様に変動したと推定される。健軍も5月(9.3m)から10月(10.3m)まで上昇し、翌年3月(9.2m)まで低下した。江津も他の地点と同様に5月(7.0m)まで低下した後10月(7.2m)まで上昇し、翌年3月(7.0m)まで低下した。いずれの地点もほぼ同様な季節変動を示すが、上流側ほど水位が高く、変動幅も大きかった。

なお、平成21年4月から平成22年3月までの年間降水量は1649mmで、平年値1993mmと比較して少なかった。月別では7月が429mmと最も多く、9月が34mmと最も少なかった。

水位の最高値は10月であり、降水量の最も多かった7月から3ヶ月遅れていた。

(3) 地下水質

ア pHと水温

各地点のpHと水温の季節変動を図4に示した。

pHは、4地点ともほぼ同様な挙動を示し、7月～9月と1月～2月に7.0以下が検出された。日向東の変動幅が最も大きく、6.18(1月)から7.91(5月)までの間で変動した。

水温は、4地点の中では健軍が最も高く、江津が低かった。4地点ともほぼ横ばいで推移しており、5月と12月、1月に低くなっていた。日向東・西は18.2～19.4℃、健軍は18.6～20.1℃、江津は17.9～18.9℃の間で推移していた。

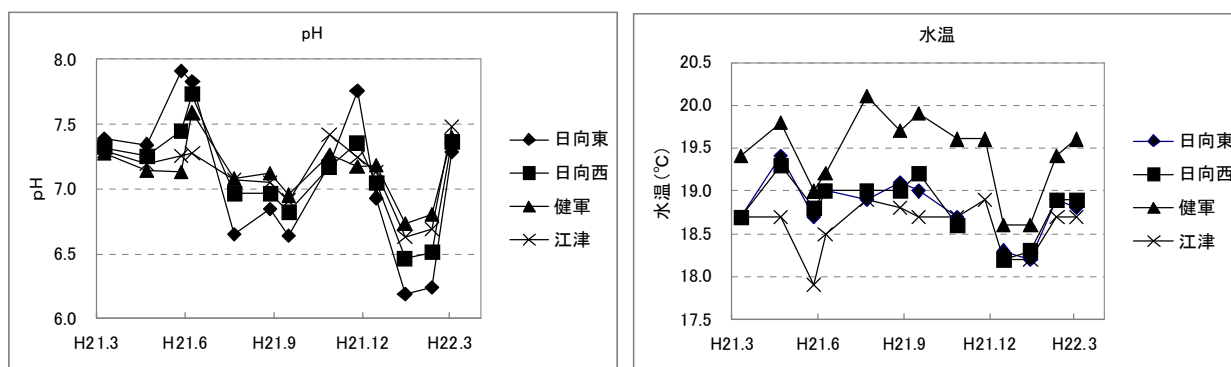


図4 pHと水温の季節変動

イ 陽イオン

各地点の陽イオンの季節変動を図5に示した。

ナトリウムイオンは4地点とも同様な挙動を示し、4月～8月と2月が低くなっていた。日向東及び日向西(以下「日向東・西」と示す)は11.8～12.8mg/lで、健軍は12.0～12.7mg/lで、江津は他の地点より濃度が高く12.2～13.3mg/lで推移していた。

カリウムイオンは、陽イオンの中では濃度が最も低く、変動幅も小さかった。4地点とも同様な挙動を示し4.2～5.0mg/lで推移していたが、江津では2月に急上昇し、3月には9.1mg/lが検出された。

陽イオンの中ではカルシウムイオンが最も高く、日向東では4月(14.6mg/l)の最低値から10月(19.3mg/l)の最大値まで上昇し、翌年2月(16.8mg/l)まで減少した。日向西も同様な挙動であった。健軍は8月(15.8mg/l)の最低値から11月(17.8mg/l)まで上昇し、以後は横ばいで推移した。最低値の時期が、日向東・西と4ヶ月ずれていた。江津は年間を

通して、他地域よりも濃度は低く変動も穏やかだった。

日向東のマグネシウムイオン濃度は、4月(6.9 mg/l)の最低値から上昇し10月(9.1 mg/l)に最高値を示し、2月(8.0 mg/l)まで減少した。日向西もほぼ同様の挙動であった。健軍は4月(7.4 mg/l)から上昇し最高値が1月(8.7 mg/l)となり、日向東・西から3ヶ月の遅れがあった。江津は7月から1月まで8.5 mg/l前後で推移し明確なピークは見られなかった。

なお、アンモニウムイオンについては、江津で0.2 mg/l程度検出されることがあったが、他の地点は全て0.05 mg/l未満であった。

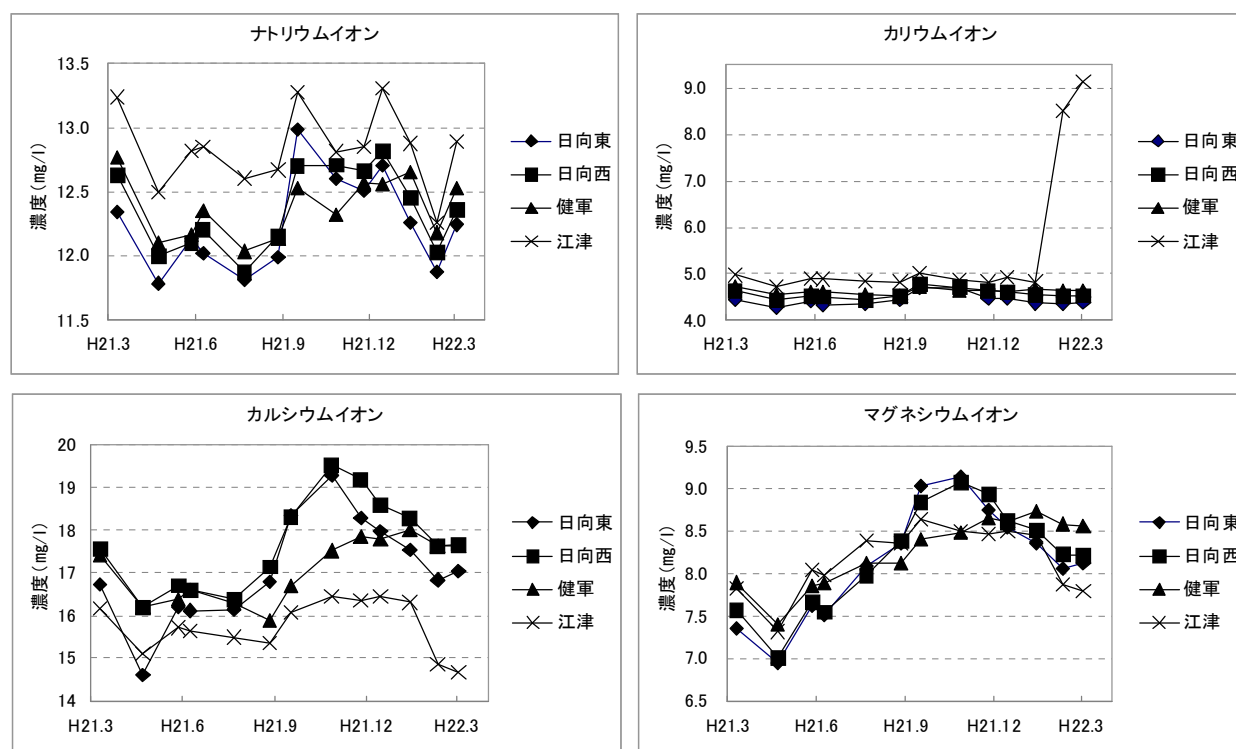


図5 陽イオンの季節変動

ウ 陰イオン

各地点の陰イオンの年間推移を図6に示した。

塩化物イオンは、全地点でほぼ同じ挙動を示し7.0~9.1 mg/lの間で変動していた。3月から8月まで徐々に低下した後9月に急上昇し、10月以降はほぼ横ばいで推移していた。

硝酸イオンも、全地点で同じ挙動を示し、7月の最低値まで徐々に低下した後、2月まで緩やかに上昇し、日向東は14.5~17.4 mg/lで、日向西は15.8~18.3 mg/lで、健軍は15.0~16.8 mg/lで、江津は11.4~13.0 mg/lで変動した。上流ほど濃度が高くなる傾向が見られたが、7月から11月にかけては、健軍が日向東より高くなっていた。なお、平成21年3月と平成22年3月の濃度を比較すると、この1年間で、日向東は0.59 mg/l、日向西は0.68 mg/l、健軍は0.26 mg/l、江津は0.39 mg/l上昇していた。

重炭酸イオンは、全イオン成分の中で最も濃度が高く、70.7~80.0 mg/lの範囲で変動しており、3月から徐々に上昇し、翌3月に減少した。全地点でほぼ同じ挙動を示した。

日向東の硫酸イオンは6月(18.8 mg/l)まで穏やかな減少を示すが、10月(31.6 mg/l)の最高値に向けて急上昇し、その後3月(20.3 mg/l)まで急激に減少した。日向西も同様に6月

(18.9mg/l) から 10 月 (30.2mg/l) に向けて上昇し、3 月 (20.7mg/l) まで著しく減少した。健軍では、7 月 (19.4mg/l) まで緩やかに減少した後 11 月 (24.9mg/l) まで上昇し、その後は 2 月までほぼ横ばいだった。日向東・西と比較して、健軍は上昇開始時期が 1 カ月程度遅れており、濃度の増減の変化も穏やかであった。江津は、24.7mg/l～26.2mg/l の範囲で推移しており、年間を通してほとんど変動がなかった。

なお、フッ化物イオンは、全地点で年間を通して 0.12mg/l 前後で推移しており、亜硝酸イオンは全て不検出だった。

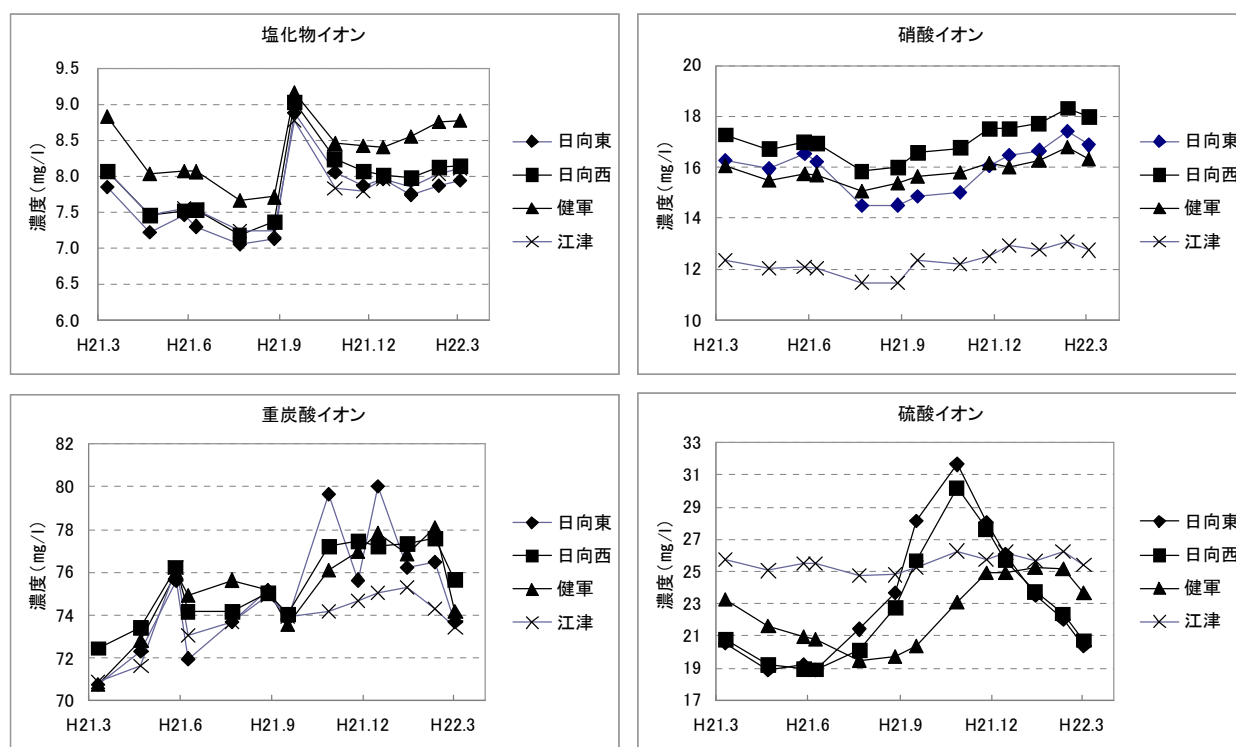


図 6 陰イオンの季節変動

(4) 各地点の水質変化

各イオン成分をイオン当量に換算し、地点毎の季節変動を図 7 に示した。

日向東・西では、5 月の地下水位が最も低く、10 月が最も高くなっており、その水位差は約 5m 見られたが、硫酸イオン (濃度差: 日向東 13mg/l、日向西 11 mg/l) もほぼ同様な挙動を示しており、カルシウムイオン (同: 日向東 4.7mg/l、日向西 3.3 mg/l) とマグネシウムイオン (同: 日向東 2.1mg/l、日向西 2.0 mg/l) も最低濃度の時期が 4 月とずれていたが最高濃度は 10 月と同じであった。日向西において、水位と硫酸イオンの相関は 0.83 と高く、硫酸イオンとカルシウムイオン及びマグネシウムイオンの 2 価イオン間の相関係数もそれぞれ 0.94 と 0.90 で高かった。なお、ナトリウムイオンや塩化物イオンも水位の高くなる秋から冬にかけて濃度が高くなる傾向が見られた。

白川の河川水は、火山堆積物の影響で硫酸イオン (70 mg/l 程度) やカルシウムイオン (20 mg/l 程度)、マグネシウムイオン (10 mg/l 程度) を多く含んでおり、灌漑時期には大量に地下に浸透することから、このような季節変動の起こる原因となっているものと考えられる。

一方、硝酸イオンは、7月に最低濃度となった後2月まで緩やかに上昇しており、濃度差は2.5~2.9mg/lあるものの、水位や2価イオンとは異なる挙動を示しており、硝酸イオンと関連の高い項目は見られなかった。

健軍では、年間の水位差は約1mで、硫酸イオン（濃度差：5.7mg/l）やカルシウムイオン（濃度差：2.1mg/l）、マグネシウムイオン（濃度差：1.3mg/l）にも季節変動が見られたが変動幅は水位と同様に小さかった。江津でも、年間で約0.2mの水位差が見られたが、イオン成分については明確な季節変動は見られなかった。なお、硝酸イオンについては、年間の濃度差が健軍で1.8mg/l、江津で1.6mg/l見られた。

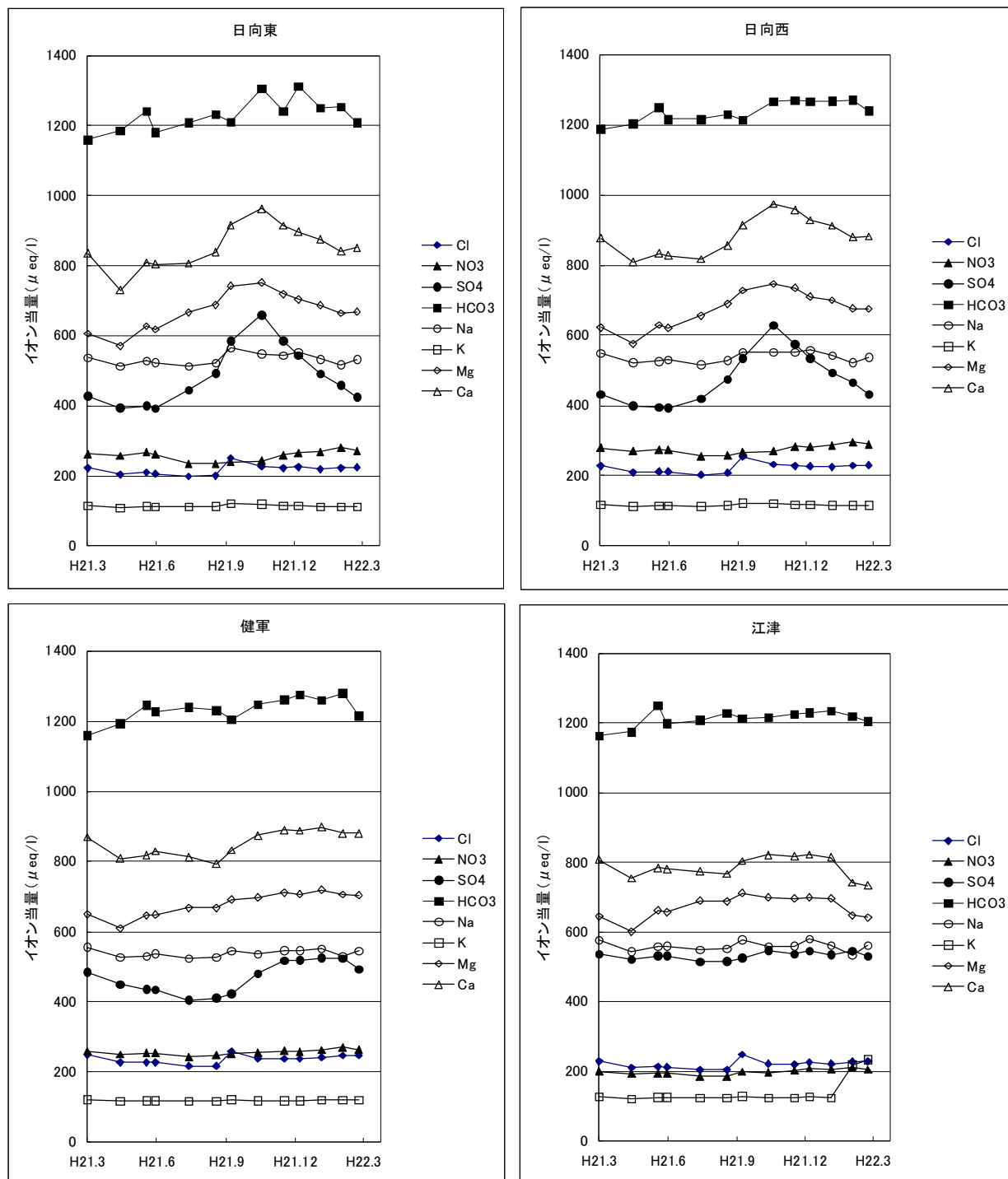


図7 地点別のイオン成分の季節変動

表1 各項目間の相関表（日向西観測井）

	水位	pH	Na	K	Mg	Ca	Cl	NO3	HCO3	SO4	降水量	水温
水位	1.00											
pH	-0.17	1.00										
Na	0.58	0.03	1.00									
K	0.74	-0.08	0.86	1.00								
Mg	0.74	-0.39	0.64	0.70	1.00							
Ca	0.65	-0.23	0.85	0.80	0.88	1.00						
Cl	0.46	-0.27	0.73	0.87	0.59	0.70	1.00					
NO3	-0.41	-0.16	0.26	0.10	0.12	0.37	0.40	1.00				
HCO3	0.15	-0.35	0.24	0.16	0.64	0.62	0.19	0.53	1.00			
SO4	0.83	-0.28	0.74	0.76	0.90	0.94	0.60	0.10	0.57	1.00		
降水量	-0.28	0.14	-0.50	-0.46	-0.24	-0.40	-0.44	-0.22	-0.23	-0.35	1.00	
水温	-0.04	0.23	-0.56	-0.22	-0.44	-0.61	-0.13	-0.44	-0.63	-0.45	0.23	1.00

4 まとめ

調査対象とした地域は、本市の主要地下水の上流側に位置しており、地下水の動向を把握するうえで重要な地点であり、今回の調査により次のようなことが明らかとなった。

- 1) 調査対象とした観測井では、5月を最低水位とし、10月を最高水位とする季節変動が見られた。水位差は0.2m～4.7mで上流側ほど大きかった。なお、最高水位は、降水量の最も多かった7月から3ヶ月遅れていた。
- 2) 地下水位の変動と同様に日向東、日向西及び健軍では硫酸イオンの濃度も変動しており、カルシウムイオンやマグネシウムイオンにも同様な季節変動が見られた。最低濃度の時期が、日向東及び日向西では、硫酸イオンが6月、カルシウムイオンとマグネシウムイオンが4月と最低水位の時期とは異なっており、健軍では、それより1～4ヶ月遅れていた。
- 3) 硝酸イオンは、水位や硫酸イオン等と異なった季節変動を示し、全地点で7月から2月まで緩やかに上昇していた。また、他の項目との相関は見られず、硫酸イオンとは異なる起源を持つと推定された。平成22年3月時点で、前年に比べて0.26 mg/l～0.68 mg/l 上昇していた。

我々は、本市の北部、北西部地区の硝酸性窒素汚染地区において、硝酸性窒素と他イオン成分との相関から汚染原因の推定を試みており、施肥による汚染の場合、硫酸イオンとの相関が高く、有効な手段であると考えてきた。東部地域についても同様な手法で、汚染原因の特定を試みるため年間を通じた詳細な水質調査を行ったが、対象地域の地下水は硫酸イオンを豊富に含む白川の

河川水で涵養されており、その影響で水質が大きく季節変動しており、硝酸イオンとともに汚染源から地下に浸透するイオン成分を特定することが困難であることがわかった。

いずれにしても、対象地域は、本市の主要な地下水の上流側に位置しており、地下水の動向を把握するうえで重要な地点であり、今後も引き続き調査を行い上昇傾向にある硝酸イオンの挙動を監視するとともに、降水量や白川中流域における灌漑水量の変化が地下水質に及ぼす影響についても検討していきたい。

5 参考文献

- 1) 津留靖尚他：熊本市の地下水質の経年変化について，熊本市環境総合研究所報，13，52-63，2005.
- 2) 津留靖尚他：熊本市の地下水質について(1)，熊本市環境総合研究所報，3，34-42，1995.
- 3) 熊本市ホームページ「熊本市地下水位情報」：<http://www.kumamoto-groundwater.jp>
- 4) 熊本気象台ホームページ：<http://www.jma.go.jp>