

熊本市江津湖における地下水の湧水特性と 硝酸性窒素汚染の進行状況について

小島智佳*, 市川 勉**

On the spring water characteristic and progress of nitrate nitrogen pollution of groundwater in the EZU-Lake, Kumamoto-city

by

Tomoka KOJIMA and Tsutomu ICHIKAWA

(Received: September 30, 2011, Accepted: February 24, 2012)

Abstract

Kumamoto area (area; about 1,000 km², population; about 1,000,000) comprising 11 cities, towns and villages including Kumamoto-City is biggest groundwater using area in Japan because of high groundwater circulation speed. However, recently, groundwater contamination by nitrate nitrogen is worried. It is thought that this contamination is caused by infiltration of nitrate nitrogen occurring from fertilization and animal husbandry waste to underground through ground surface.

Aquifer including groundwater in Kumamoto area consists from two aquifers of the second deep aquifer and the first shallow aquifer. The authors calculated spring water rate and the nitrate nitrogen concentration in each aquifer by using groundwater level data observed by Kumamoto prefecture and Kumamoto-city. As a result, spring water from the second aquifer was main part of discharge. And it was understood that the nitrate nitrogen concentration in the first aquifer fell during the paddy-rice planting period (from June to September) and rose up after October. From this result, it seems that the nitrate nitrogen concentration in the first aquifer changes between from 5mg/L to 10mg/L and be affected by fertilization from field in the southwest of middle area of the Shira-river, and be diluted by irrigation water and rainwater during rainy season. The concentration of the whole spring water is less than 5mg/L. It seems that the concentration of spring water in the EZU-lake is keeping in low concentration, because there is much quantity of spring water from the second aquifer.

However, we must do farther study by accumulating more data because the data which we used in this study is short observation period.

1. はじめに

熊本市を含む 11 市町村を含む熊本地域（面積約 1,000km²、人口約 100 万人、Fig.1 参照）は涵養地で

*東海大学大学院産業工学研究科社会開発工学専攻

**東海大学産業工学部環境保全学科教授

ある白川中流域周辺から流出域である水前寺・江津湖までの循環速度が 15 年～20 年と特に地下水循環速度が速いため、地下水利用が発達し、上水道水源の 100%を地下水依存している日本最大の地下水利用地域である。また、この地下水は非常に清冽で水温も年間を通して約 18～19℃と安定しているため、家庭用や農業用以外でも



Fig.1 熊本地域の概要

ICをはじめとした精密機器や飲料水などの工場で工業用水としても利用されている。

しかし、近年、地下水の硝酸性窒素汚染が懸念されている。この原因は施肥や畜産系廃棄物から地下への浸透が原因と考えられる。平成 21 年度に熊本市によって行なわれた観測井戸の硝酸性窒素濃度調査¹⁾では、第一帯水層の硝酸性窒素濃度は施肥の影響を強く受けていることが報告されている。また、著者らの過去の調査結果では、湧出水に含まれる硝酸性窒素濃度に季節変化が観測されており、季節変化の原因が第一及び第二帯水層の地下水の湧出割合に起因することが推察された。

本研究では江津湖の湧水量観測と同時に、湧水中の硝酸性窒素濃度の観測を行ない、熊本県環境局、熊本市水保全課によって観測されている第一帯水層、第二帯水層の地下水位データによって、江津湖の湧水の第一帯水層と第二帯水層からの湧出比率、および第一帯水層の地下水の硝酸性窒素汚染の進行状況について検討を行なった。

2. 熊本地域の地下構造と地下水の流動分布

豊富な地下水を育む熊本地域の地下構造は、阿蘇山の 4 度の噴火によって水理地質基盤とする先阿蘇火山岩類の上を層状に火砕流堆積物が覆った。この火砕流堆積物は古いものから ASO-1、-2、-3、-4 と呼ばれている。上層には砂礫層が形成され地上からの水の供給を促している (Fig.2 参照)。また、ASO-3 の下には阿蘇火山とは別の火山の溶岩からなる砥川溶岩と呼ばれる地層も存在し、この地層の上下部は発泡性の多孔質で内部には割れ目

が発達し、地下水を内包しやすくなっている。この砥川溶岩の厚さは約 100m あると言われており、この部分を含む帯水層を第二帯水層と呼ぶ。ASO-3 の上に布田層 (ASO3/4 堆積物) があり、この層は透水性が悪い粘土層で、この層を境に地下水が二分され、この上部の帯水層を第一帯水層と呼んでいる。これらの帯水層中の地下水の流れは、Fig.3 に示すように高遊原台地北部に位置する白川中流域水田地帯周辺で涵養された地下水が南西方向に流下し、途中、他の地域で涵養された地下水を併せ、江津湖、嘉島地区の湧水群で湧出すると考えられている。平成 21 年度に熊本市によって行なわれた観測井戸の硝酸性窒素濃度調査¹⁾では、熊本市の北部、北東部、東部などで、飲用基準を超過した井戸があった。しかし、この市の観測では、第一、第二帯水層の観測データが混在しており、汚染の進行状況を正確に把握することは困難である。

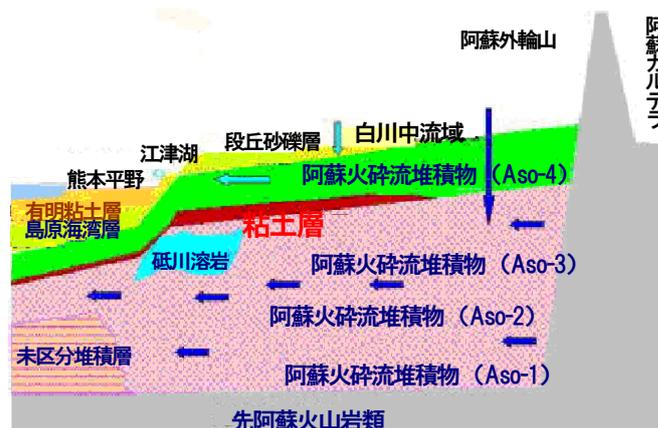


Fig.2 熊本地域の地下構造³⁾



Fig.3 熊本地域の地下水動向⁹⁾

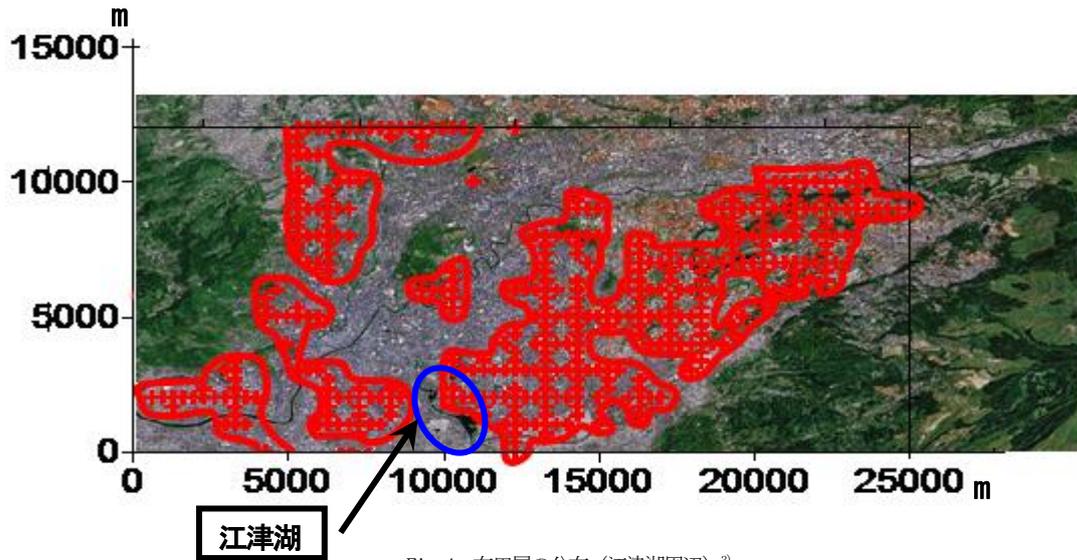


Fig. 4 布田層の分布 (江津湖周辺) ③

第一帯水層と第二帯水層を区分する粘土からなる布田層は、全体的に分布するのではなく、一部欠落しているといわれていた。東海大学中山のグループ(熊本地盤研究会)が、熊本地域の地質構造を解析し、布田層の分布が Fig.4 の赤線で囲まれた領域のように分布していることを示した⁴⁾。その結果、江津湖のすぐ上流で布田層が欠落するため、江津湖に流出する湧水が、第一帯水層の地下水と第二帯水層の地下水の混合であると考えられる。

3. 江津湖の湧水量観測結果

熊本市にある江津湖の湧水量を求めるために Fig. 5 に示した 14 地点で流量観測を行なった。Fig. 6 には観測を開始した 1992 年から 2011 年の江津湖全湧水量と降水量の経年変化を示している。1992 年から 2005 年までに約 14 万 m³/日もの湧水量が減少している。



Fig. 5 江津湖流量観測ポイント

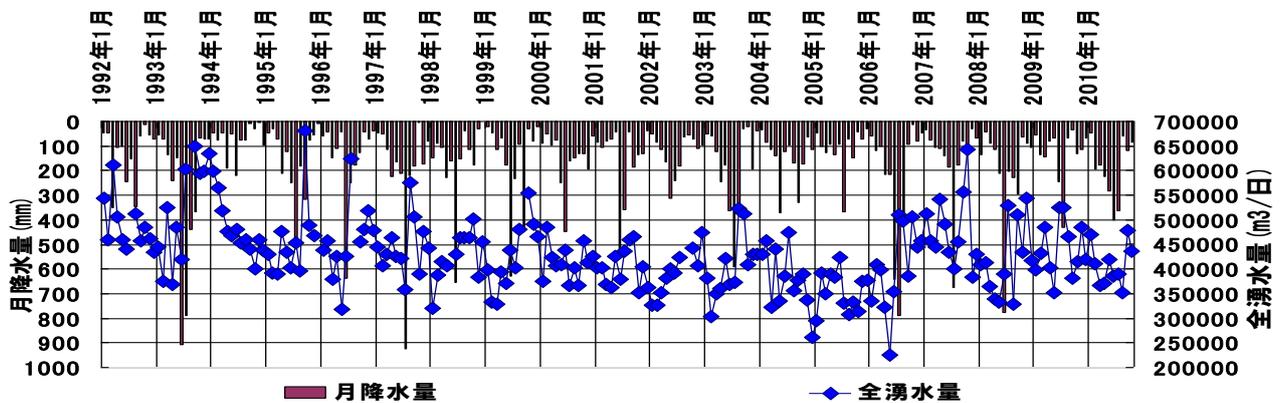


Fig. 6 降水量と江津湖全湧水量の経年変化

これは涵養地の農地における都市化や減反などの影響で地下水の涵養地となる農地や水田が減少したためと考えられるが、2005年から減反田における湛水事業が始まり、2006年から増加傾向を示し、観測当初の1992年までの値までは回復してはいないが、1995年前後の水準まで回復しているのがわかる。しかし、2011年のデータでは若干の減少傾向が見られた。

4. 江津湖における水質観測

江津湖に湧出する水質を観測するためにFig-7に示した9地点でデジタルバックテストで観測した。これらのうちで、湧水は6地点で、湧水量の観測も行なった。Fig. 8に湧水の硝酸性窒素濃度の観測結果を示す。

Fig. 8に示しているように、湧水中の硝酸性窒素濃度は、年間を通じて2mg/L~6mg/L程度の間で変化しているのがわかる。年間で濃度が高いのは3月から12月の地下水位が低い時期（湧水量が最も少ない時期）で、5mg/Lを上回る値であり、逆に低いのは、9月ごろの地下水位が高い時期（湧水量が最も多い時期）で、およそ2mg/Lであることがわかる。

5. 第一、第二帯水層からの湧水量と硝酸性窒素濃度の推定

これまで、熊本市環境局水保全課がインターネットに公開している御幸笛田の第一、第二帯水層の地下水位データを利用して解析してきたが⁹⁾、2010年10月から熊本市動植物園南門近く（下江津湖湖畔）の自噴井戸（Pic. 1）の硝酸性窒素濃度観測を始め、熊本県環境部から新たな地下水位データの提供を受けた。この地下水位データは、第一帯水層の地下水位を下江津湖湖畔にある熊本市動植物園内に、第二帯水層の地下水位データは県庁内にある観測井戸のデータとした。これらの観測井戸は直線距離で1,500m程度しか離れていないので、これらのデータを用い、第一帯水層と第二帯水層からどの程度地下水が湧出しているかを推定する。

したがって、今回の解析で使用した地下水位観測データは、Fig. 9の御幸笛田地点（Fig. 9赤丸地点）と水前寺・出水地点（Fig. 9の赤楕円地点）の二箇所の地下水位を使

用することとした。



Fig. 7 江津湖の水質観測ポイント

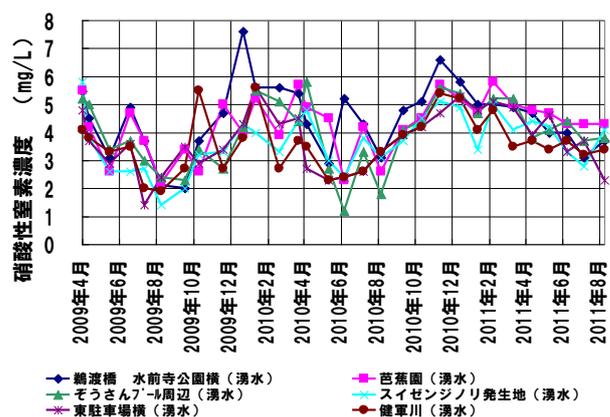
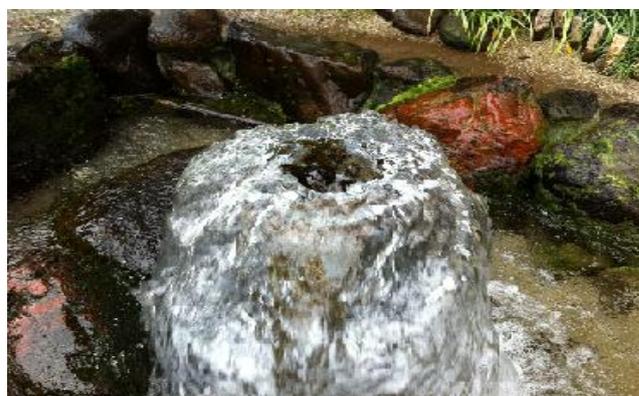


Fig. 8 江津湖の湧水の硝酸性窒素濃度の経月変化



Pic. 1 自噴井戸



Fig. 9 定点観測井戸の配置⁶⁾ (赤丸が計算に使用する井戸)

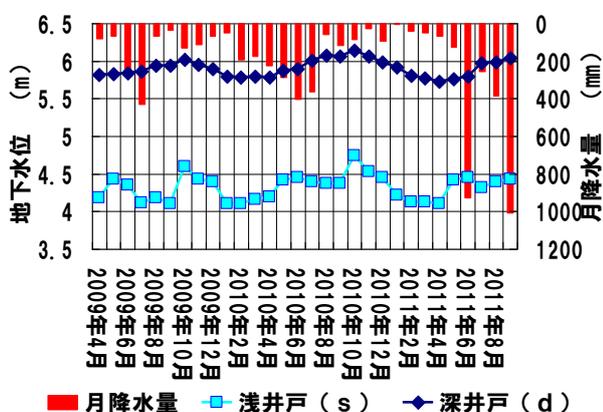


Fig. 10 御幸笹田地下水位の年変化

Fig. 10 は江津湖近くの御幸笹田にある深井戸(第二帯水層)・浅井戸(第一帯水層)の2009年4月から2011年9月までの地下水水位標高と熊本地方気象台の月降水量の変化である。これを見ると第二帯水層では5月頃から水位が上昇し9、10月ごろに最高水位となり、3、4月ごろで最低の水位となる。第一帯水層の地下水水位は、10月に突然水位が高くなり、2009年は夏(7月～9月)に低く、2010年、2011年では、1月～5月に水位が低い状態になっている。これは、灌漑用水に地下水を汲み上げて使用している水田が近くに存在している影響である。

著者らが観測している項目は、江津湖の全湧水量 Q 、湧水の水質である硝酸性窒素濃度 C (硝酸性窒素濃度は6地点で観測している湧水の値の平均値を取った) である。未知量は、第一帯水層からの湧出量 Q_s 、第二帯水層からの湧出量 Q_d 、第一帯水層の硝酸性窒素濃度 C_s 、第二帯水

層の硝酸性窒素濃度 C_d である。江津湖の水位の標高は、湧水量観測時に測っているため、この江津湖の水位標高と地下水水位標高の差が湧出圧力になる。この湧出圧力を第一帯水層で h_s 、第二帯水層で h_d とすると、湧水量は湧出圧力に比例する (Darcy 則より)。比例定数を第一、第二帯水層共に同じとして、 K とすると、関係式は以下のようになる。

$$Q = Q_s + Q_d$$

$$Q_s \times C_s + Q_d \times C_d = Q \times C$$

$$K = \frac{Q}{h_s + h_d}$$

$$Q_s = K \times h_s$$

$$Q_d = K \times h_d$$

これらの式を用い第一帯水層、第二帯水層からの湧出量を求めた。ただし、上記の式だけでは、 Q_s 、 Q_d 、 C_s 、 C_d を求めることはできない。そこで、 C_d は熊本県保健環境科学研究所が発行した研究報告書³⁾ より得られた硝酸イオン濃度平均が年間を通じて、ほぼ一定であったので硝酸性窒素を 2.26mg/L の固定値を用いた。しかし、この結果はあくまでも推測であり、正確なものではない。そこで熊本大学大学院、小野 晶彦らの研究成果⁷⁾ から熊本市動植物園南門近くの自噴井戸は第二帯水層からの湧水であるという結果を用い、先述したように2010年10月からの実測データを用い計算を行った。

まず、御幸笹田の観測データを用い、推定した結果を示す。

Fig. 11 は、第一帯水層と第二帯水層からの湧水量を計算し図に示したものである。この図から第一帯水層からの湧水量は第二帯水層からの湧出に比べて少なく、10～20万 m^3 の間を推移していることがわかる。しかし、第二帯水層からの湧出は、全湧水量と同様な変化を表し、全湧水量の約60%占め、江津湖に湧出している湧水は第二帯水層からの湧出が主であることがわかる。

Fig. 12 は、計算により得られた第一帯水層の硝酸性窒素濃度である。ここで、第二帯水層の硝酸性窒素濃度は観測値である。第一帯水層の濃度の変化が激しいのは、

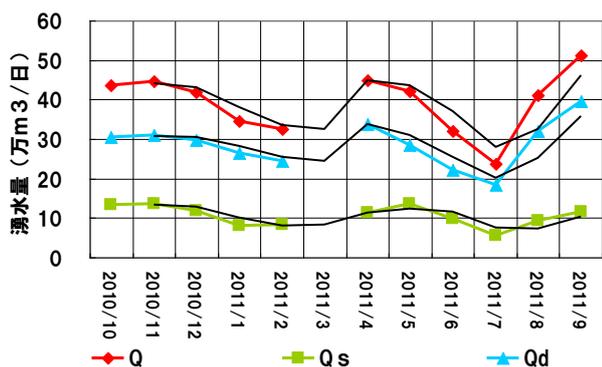


Fig. 11 湧水量の経年変化

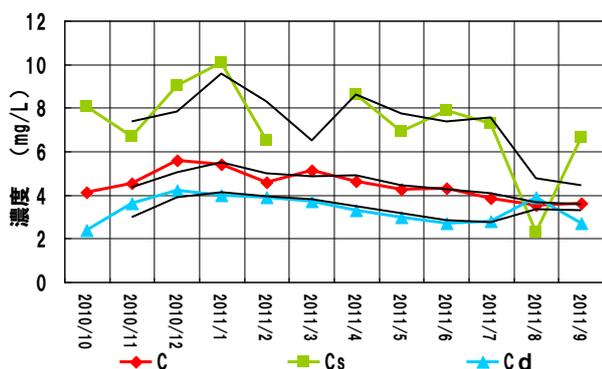


Fig. 12 硝酸性窒素濃度の年変化

全湧水量と第二帯水層からの湧水の硝酸性窒素濃度が観測値であり、ばらつきがあった影響を受けている。図中の黒い線は移動平均で平滑化ものである。この結果を見ると、第一帯水層の硝酸性窒素濃度は水稻作付け期（6月頃から9月頃）に低下し、10月以降上昇している。これは、白川中流域周辺以西にある畑作農業地帯からの肥料などの影響を第一帯水層が受けやすいからと考えられ、その濃度は6mg/L～10mg/Lの間を推移している。2011年8月の第一帯水層の低下は実測値である第二帯水層の濃度が上昇したため計算結果に影響した。第二帯水層上昇の原因は2011年6月～8月の合計降水量が平年値の1.6倍であり地下水流の涵養源には畑地が広がり、布田層が欠落している為、そこから第二帯水層へ硝酸性窒素が流入したと考えられる。全湧水量の濃度を見ると5mg/L以下であり第二帯水層からの湧水が多いため希釈され、やや低めの濃度に保たれていると考える事ができる。

また熊本県環境局から江津湖より地下水の上流側の水位データ提供していただいた (Fig. 13 参照)。このデータから動植物園内観測井戸を第一帯水層、熊本県庁内観測井

戸を第二帯水層とし、湧水量の計算を行った。その結果を以下に示す。

Fig. 14は、湧水量の算結果を示したものである。この図を見ると第二帯水層からの湧水量は全湧水量の約70%で、第一帯水層からの湧水量は10万m³/日を推移しており、御幸笛田の地下水位データを利用した場合（10～20万m³/日）よりも第二帯水層からの湧水が多くなっている。

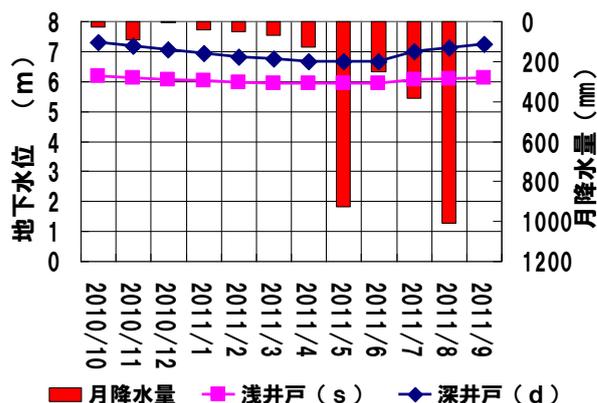


Fig. 13 水前寺第二帯水層、出水第一地帯水層の地下水位月変化

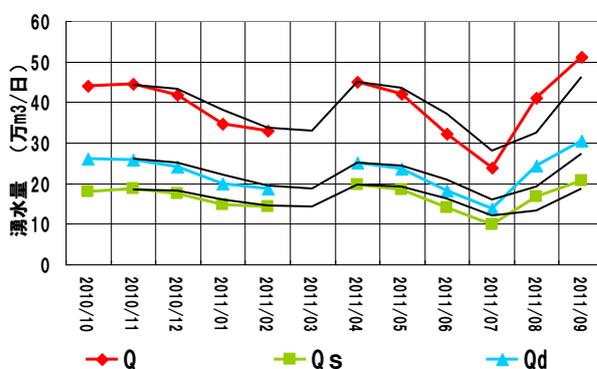


Fig. 14 上流側湧水量の月変化

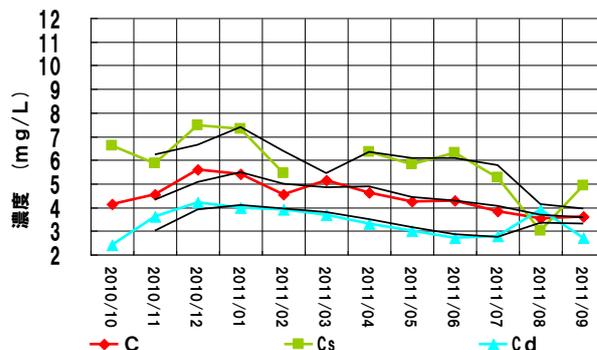


Fig. 15 上流側硝酸性窒素濃度の月変化

Fig. 15は硝酸性窒素濃度の月変化を示している。硝酸性窒素濃度は観測地点が上流側であるためか、第一帯水層からの湧水の濃度が10mg/Lを超えることなく、約6mg/Lを推移している。この事は、第二帯水層からの湧水の硝酸性窒素濃度に実測データを使用し、3~4mg/Lの一定値とした場合より多いため、第一帯水層の窒素濃度が低くなった。

Fig. 16は第二帯水層からの硝酸性窒素濃度を2.26mg/Lに固定して計算した場合と実測値を用いた場合の第一帯水層の硝酸性窒素濃度の比較である。濃度の最大値と最小値の差が5.78mg/Lであり、今回の実測値での計算と大きな違いがあった。

また、Fig. 17に降水量と第一帯水層からの湧水の硝酸性窒素の関係を示したものである。2011年は降雨量が多く6月の月降雨量は928.5mmで平年値404.9mmと比べると約2.3倍となる。したがって、地表面の影響を受けやすい第一帯水層の硝酸性窒素濃度が著しく低下したことが考えられるが江津湖に流出するまでの期間によってそのずれはどの程度になるかを見てみたが、2ヶ月程度である。

6. まとめ

熊本市を中心とする熊本地域の約100万人の飲料水は地下水であり、これは我が国で最も規模が大きい地下水利用地域である。その地下水を保全する取り組みが涵養地で湛水事業として行なわれ、多くの注目を集めている。反面、地下水の硝酸性窒素汚染が進行しつつある。

江津湖は、我が国でも珍しい都市部湧水湖であり、この湧水の量と質は熊本地域地下水のバロメーターとして重要であり、調査・研究の場としても重要である。この江津湖の湧水の硝酸性窒素も年々高くなりつつある。熊本地域の地下水は、布田層と呼ばれる粘土層で二つの地下水に区切られており、二つの地下水から同時に湧出する江津湖における湧水の区分の研究の必要性が増してきている。

本研究で、著者らは熊本県と熊本市の観測した地下水水位データを利用し、二つの帯水層の湧水量と硝酸性窒素濃度変化を解析した。その結果、江津湖の湧水は第二帯水層からの湧水が主な供給源であった。第一帯水層の硝酸性窒素濃度は水稲作付け期(6月頃から9月頃)に低下

し、10月以降上昇していることがわかった。また、この

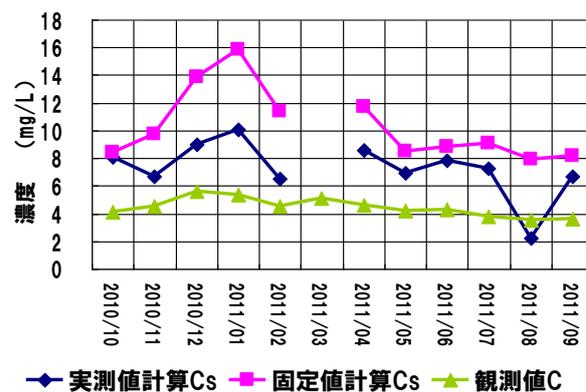


Fig. 16 第一帯水層硝酸性窒素濃度比較(御幸笛田データ使用時)

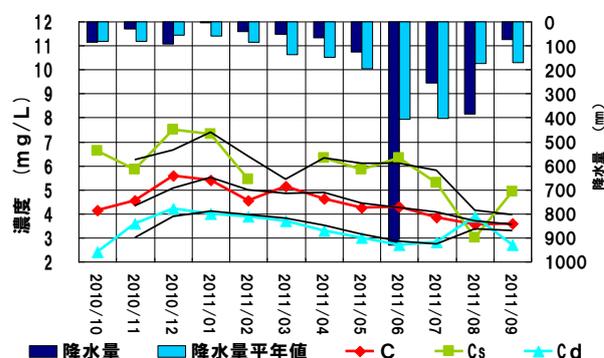


Fig. 17 硝酸性窒素濃度と降水量の関係

結果から、第一帯水層の硝酸性窒素濃度は5mg/L~10mg/Lであり、白川中流域の南西にある畑作地帯の施肥や畜産廃棄物の影響を受け易く、灌漑用水や梅雨の雨水に希釈されると考えられる。湧水全体の濃度は第一帯水層の濃度より低い5mg/L以下であり、これは第二帯水層からの湧水量が多いため、希釈され、やや低めの濃度に保たれていると考える事ができる。しかし、今回の解析データの期間は短期間であるので、今後、データを蓄積して更に詳細な検討を進めたい。

参考文献

- 1) 熊本市 第二次熊本市硝酸性窒素削減計画 p8 (2010)
- 2) 熊本県保健環境科学研究所水質科学部地下水科学室、火山性河川水に由来する化学成分の地下水における挙動研究成果報告書、p. 34、2009.
- 3) 熊本市ホームページ、熊本の地下水情報、地下水を育む地層
http://www.city.kumamoto.kumamoto.jp/kankyo/sougou_center/chikasu/chisou.html

4) 熊本地盤研究会、熊本周辺の地質断面図 (2010)

5) 熊本市ホームページ、地下水物語、地下の動き

http://www.city.kumamoto.kumamoto.jp/mizu_midori/contents02_2.ht

6) 熊本市 熊本市環境保全局環境保全部水保全課 熊本市の地下水位ホームページ

<http://www.kumamoto-groundwater.jp/>

7) 小野 晶彦ほか、熊本市江津湖における水中 ^{222}Rn 濃度を用いた地下水湧出量の評価、日本陸水学会誌投稿中、(2011)