

1. はじめに

岡山県の中央部を流れる旭川には、大小幾つかの池を有する砂州があり、その中に不思議な池がある。その池の湧水温は、旭川本流の水温が 18℃前後となる 5 月に 11℃程度と低い値を示した。研究室ではこの現象を解明するため、周辺の池や井戸を対象に週一回の定期的な観測を 2000 年 5 月より継続している。現在先行研究において、河川から砂州へ流入した地下水である可能性や玉柏地区の平野を流動する地下水の影響などが示唆されてはいるものの、未だ明確な結論は得られていない。本研究では河川から砂州へ流入した地下水であると仮定し、研究室が蓄積してきた 10 年間以上のデータを用いて、この池の湧水と河川との関係を解析的に検討してみた。

2. 観測地点と観測方法、及び解析手法

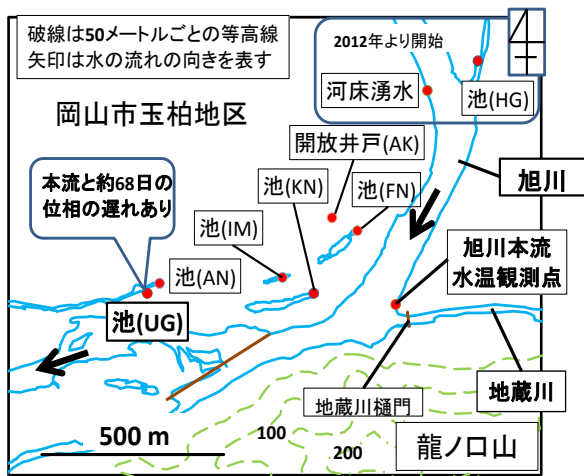


Fig.1 岡山市玉柏地区の河川・井戸・池観測地点

観測地(岡山市玉柏地区周辺)を Fig.1 に示す。毎週一回河川、井戸、池を対象に気温、水温、EC、pH、水位の観測を行った。またデータログ(Onset 社製 TidbiT v2 Water Temperature Data Logger:測定精度±0.2℃,応用地質社製 S&DL mini:水温測定精度±0.37℃,水位測定精度:±1cm)による観測も行った。観測値の年変動水温を、1周期を 365.25 日として三角関数で近似し、砂州中の熱拡散係数 κ を $5.00 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ とした場合の移流拡散を次の(1)~(4)式を用いて、流速の推定を行った。

*丸山 豊(岡山理大・理), 北岡豪一(岡山理大・理)

$$\theta(x,t) = \alpha + A \exp\left\{\left(\frac{U}{2\kappa} - \sqrt{a} \cos \frac{\varphi}{2}\right)x\right\} \cdot \sin\left\{\omega t + \varepsilon - \left(\sqrt{a} \sin \frac{\varphi}{2}\right)x\right\} \quad \dots(1)式$$

ここに

κ : 砂州中の熱拡散係数 (m²/s),

U : 地下水の平均流速 (m/s),

ω : 振動数 (rad/s),

A : 振幅 (°C),

α : 平均水温 (°C),

$$a = \sqrt{\left(\frac{U}{2\kappa}\right)^4 + \frac{\omega^2}{\kappa^2}} \quad \dots(2)式$$

$$\sin \varphi = \frac{1}{a} \frac{\omega}{\kappa} \quad \dots(3)式$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{a} \left(\frac{U}{2\kappa}\right)^2 \quad \dots(4)式$$

3. 結果と考察

観測地点における水温の観測結果を Fig.2 及び Fig.3 に示す。池(UG)の水温の年変動には旭川本流の水温の年変動に比べ、位相の遅れがみられた。また、旭川本流の最近 11 年間における水温変動には寒冷化の傾向があることが分かった。

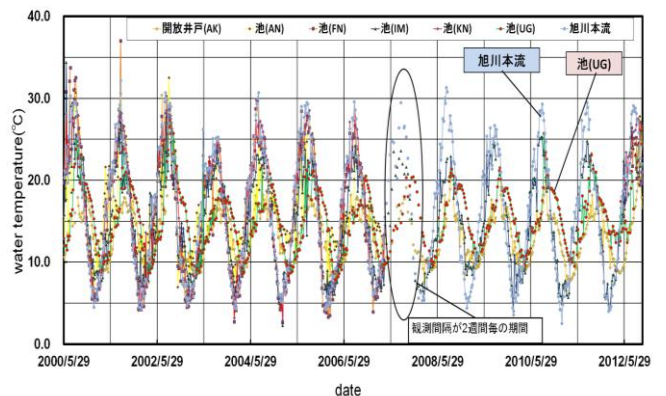


Fig.2 河川・井戸・池における水温の年変動

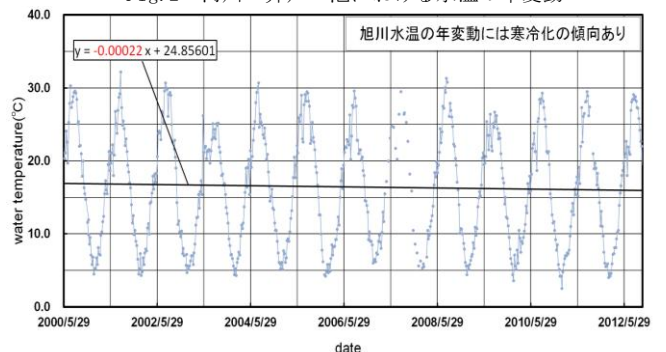


Fig.3 旭川本流の水温年変動にみられる寒冷化の傾向

年変動水温に対する調和解析の結果を Fig.4 に示す。旭川本流の年変動水温を基準とした場合、池(UG)では約 68 日の遅れがあり、振幅は約 0.53 倍となった。

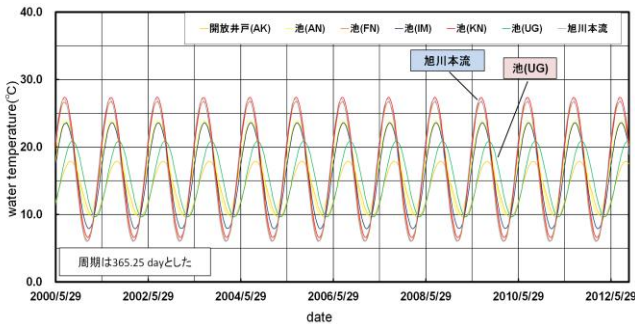


Fig. 4 河川・井戸・池における年変動水温に対する三角関数近似の結果

この振幅の減衰と位相の遅れに対し移流拡散を仮定して計算を行い、旭川本流を基準とした振幅比の対数値と位相の遅れの関係を示した図が Fig.5 である。直線は地下水流速 U が 0,10,20,50 m/year における理論的な値を表している。これより、池(UG)は地下水流速が 10 m/year に相当すると考えられる。

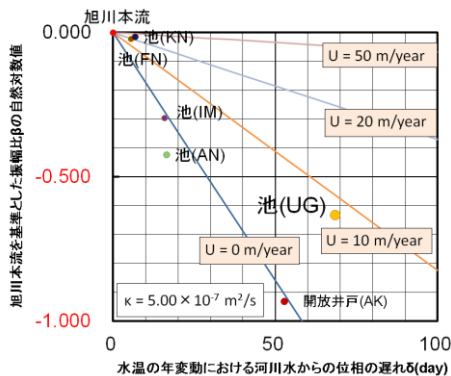


Fig. 5 旭川本流を基準とした振幅比の対数値と位相の遅れの関係

池(UG)付近を流れる地下水流速を 10 m/year とし振幅比と位相の遅れから、地下水への流入点から池(UG)の湧水点までの距離を求めた。すると、振幅比より約 3.4 m、位相の遅れより約 3.0 m となり、同程度の値を得るが、池(UG)は砂州の地形より河川本流から約 1 km 上流に地下水流入点があると推測され、この結果では不合理である。

そこで、旭川本流の年変動水温を基準とした池(UG)における年変動水温の位相の遅れが数周期ずれていると考え、それぞれの場合における距離と位相の遅れの関係を Fig.6 に示す。ただし距離は旭川本流水温観測点からの直線距離を用いた。また、振幅比の対数値と距離との関係を Fig.7 に示した。

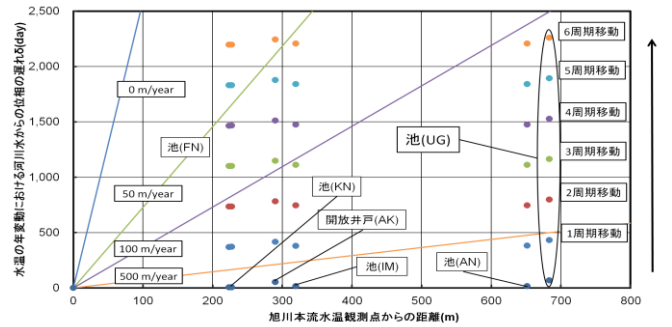


Fig. 6 旭川本流水温観測点を基準とした距離と位相の遅れの関係

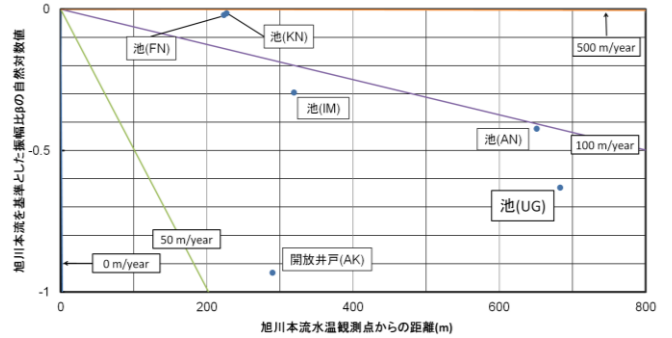


Fig. 7 旭川本流水温観測点を基準とした距離と振幅の対数値の関係

Fig.7 をみると池(UG)付近を流れる地下水流速は 100 m/year 程度であり、Fig.6 においてこの流速に最も近い値をとるものは 6 周期移動させた場合である。この流速を用いて流動距離が 1 km として再度計算を行い、池(UG)の年変動水温と比較した結果が Fig.8 である。これより、計算値は池(UG)の年変動水温をほぼ一致しているが、位相の遅れを 6 周期移動させた場合湧出まで 6 年かかることになり、100 m/year という流速と矛盾するため、一次元移流拡散のみでは池(UG)の水温変動は説明できない。

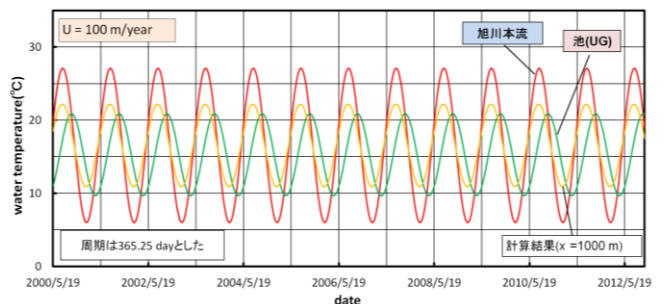


Fig. 8 再計算結果と旭川本流と池(UG)の年変動水温の近似線との比較

4. 今後の課題

河川から砂州へ流入した地下水は浅層を通過するため、流下に伴い地表面から熱の出入りが起きている可能性が考えられる。今後はこの影響を考慮した解析に取り組んでゆく予定である。