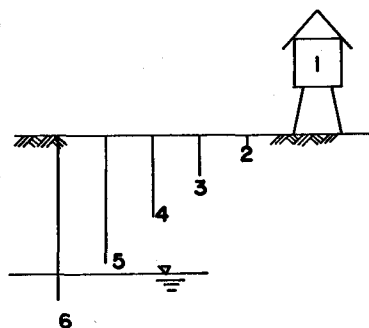


地温，地下水温の長期観測 A Long Series of Survey for the Temperature of Ground and Ground Water

東洋大学工学部 正員 田中修三
東洋大学工学部 正員 荻原国宏

1. はじめに

最近、表流水を井戸あるいは貯水池より地下の滞水層に注入する地下ダムが、水資源開発の一手法として検討されてきている。表流水の水温は気温の昇降にすみやかに追従して変動するので、夏期には高い水温の水を、冬期には低い水温の水を人工的に注入することになり貯水だけでなく貯熱の現象として研究をすすめる必要がある。そこで本研究では、注入する以前の地温、地下水温がどの様に変動しているかを調べる必要があることより、気温、地温、地下水温の変動を長期観測し、まず夏期・冬期・降雨時の変動特性について考察し、さらに、時系列解析により、相関係数、パワースペクトル、コヒーレンス、システム関数等を求めることにより、地盤の特性について検討を加えている。



2. 観測方法

本学敷地内に、サーミスタ温度計を6本図-1の様に配置し、気温、地温、地下水温を連続的に観測した。No. 1 は気温、No. 2 (0.2 m)、No. 3 (0.8 m)、No. 4 (1.7 m)、No. 5 (2.65 m) で各地温、No. 6 (3.5 m) で地下水温を測定している。

図-1

3. 観測結果

1). 夏期の変動特性

図-2 (昭56.8) に示す様に、日中No. 1 (気温)は 30°C 以上でありNo. 2 (0.2m)も 30°C を越し振幅も大きく受熱期の様子をうかがうことができる。また、明確な周期変動を示し、時間遅れについてもその規則性がわかる。No. 3 (0.8m)以深はいずれも日変動は見られない。No. 3 (22.2°C)、No. 4 (17.7°C)、No. 5 とNo. 6 (14.3°C)である。

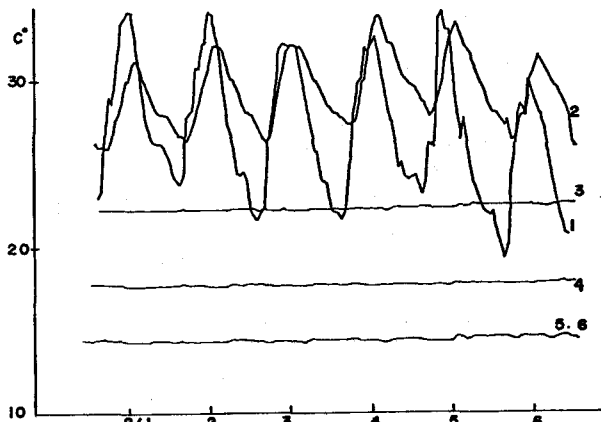


図-2

2). 冬期の変動特性

図-3 (昭56.12) に冬期の観測記録を示す。気温の振幅は夏期に比べて大きいですが、地温の振幅は大気への熱放射により小さくなっているのがわかる。また、No. 3 (13.3°C)とNo. 4 (17.1°C)は低くなり、No. 5とNo. 6 (18.0°C)は高くなってきている。

3) 台風(大雨)時の変動特性

昭和57年8月2日、渥美半島に上陸し中部山岳地帯を横断し、富山湾から日本海へ抜けた大型台風10号は大雨を伴ない各地に被害を与えた。

この間の大雨と温度分布の関係をとらえたのが図-4である。

7月31日から8月2日の変動を見ると地温が上昇しており、台風時における浸透水による熱移流の影響が表われている。また、冬期における雨によっては地温が下がる記録も得ている。台風通過後は図-2と同様の傾向を示しているが、No. 2 (0.2mの地温) については大きく異なっている。これは地盤の土壌が湿っているため、蒸発熱および蒸発に伴う毛管作用による上昇流による熱移流のための土中への熱伝達が阻害されているためである。

4) 長期変動について

図-5は昭和56年8月から昭和57年10月にわたっての温度と月のグラフである。この図は1日の3,6,9,12,15,18,21,24時の各温度を平均し、それをさらに10日間で平均して整理したものである。

No. 1, No. 2は8月にピークを示し、No. 3は9月頃に、No. 4は10月頃

、No. 5は12月頃、No. 6は2月頃にそのピークがきており、No. 1(気温)とNo. 6(地下水温)では丁度半年ずれていることがわかる。また、昭和56年、昭和57年の8月期を比べると、昭和57年のこの時期は雨、台風が多かったため、No. 3、No. 4、No. 5、No. 6の温度が高くなってきており、浸透水による熱移流の影響をうかがうことができる。

さらに、夏期の暖かい表層水が多量に地下水滞水層に流入したため、地下水温(No. 6)と地温(No. 5)が逆転している。図-6は温度と深度の関係を表わしたものである。実線は昭和56年8月から昭和57年6月を、破線は昭和57年8月から10月を表わしている。この図からも深層部分の温度上昇がわかる。

4. 時系列解析

入力として気温、出力として地温を考えると、地盤は熱エネルギーを蓄えることができるので現在の気温だけでなく過去の気温の影響をも強く受けて入出力の間に遅れを生じる。厳密には入力としては気温だけでなく、気象条件(風、雨、雲量等)すべてを考える必要があるが、ここでは気温と地温のみを考えて、それらの時系列解析を行い地盤の貯熱特性を明らかにしようとするものである。

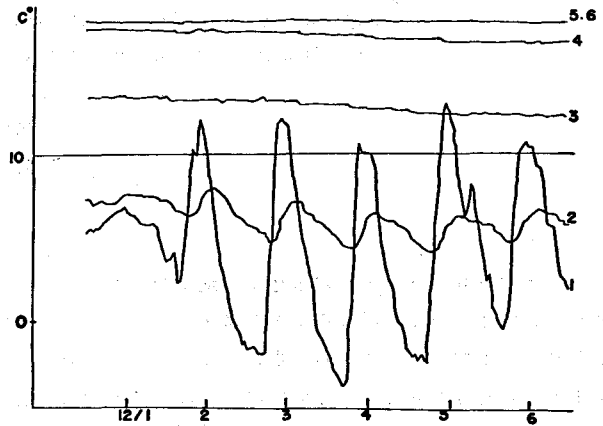


図-3

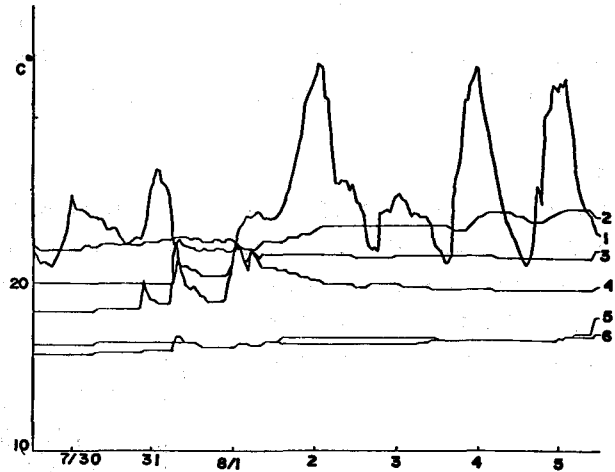


図-4

使用データは昭和56年8月1日から16日の観測記録である。ここでの地温とはNo. 2 (0.2m) のものである。

相関係数、パワースペクトル、コヒーレンス、フェイズ、システム関数を求め、さらにシステム関数により熱伝導係数を求めている。

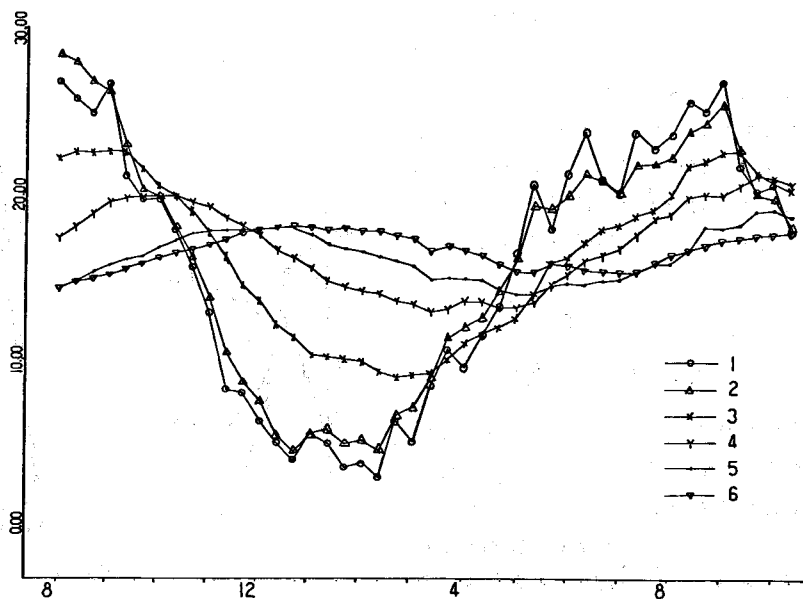


図-5

1). 相関関数、パワースペクトル

観測記録の一部はすでに図-2に示しているように気温はだいたい1日を周期として変動し、これに少し遅れて地温が追隨していることがわかる。これを詳細にみるために自己相関係数 R_{xx} 、 R_{yy} と相互相関係数 R_{xy} を図-7に示す。気温と地温は日周期をそれぞれ示し、地温は気温に比べ数時間の遅れを有していることがわかる。図-8に気温と地温のパワースペクトルを示す。24時間の周期をもって変化していることがわかる。エネルギーの面からみると地盤は気温の長周期成分のパワーを低減させる特性をもっている。また、日周期成分より短い周期成分のパワーは非常に小さい。

2). コヒーレンスとフェイズ

気温と地温の相互関係を周波数成分ごとにみるために、コヒーレンスとフェイズを求めた結果が図-9、図-10である。周波数が $0.125 \text{ }^1/\text{hour}$ を境にして性質の異なる二つの領域に分かれている。周波数 0.125 以下 (周期2日以上) の成分は地中深くへの熱伝達に寄与する成分で、周波数 0.125 以上 (周期2日以下) の成分は地盤表面での受熱と放熱に寄与する成分である。また、周波数 0.125 以上では、測定入力 (気温) 以外の入力 (風、雨、雲量等) による出力 (地温) への影響をうかがうことができる。

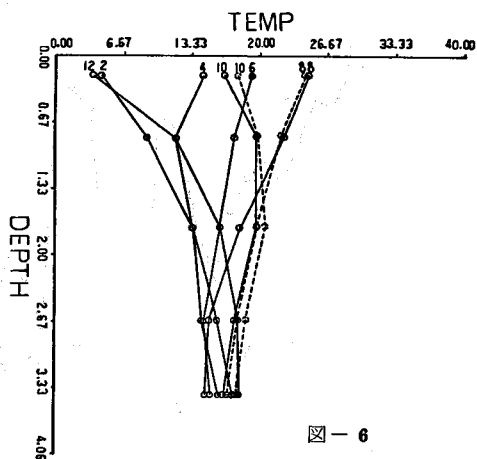


図-6

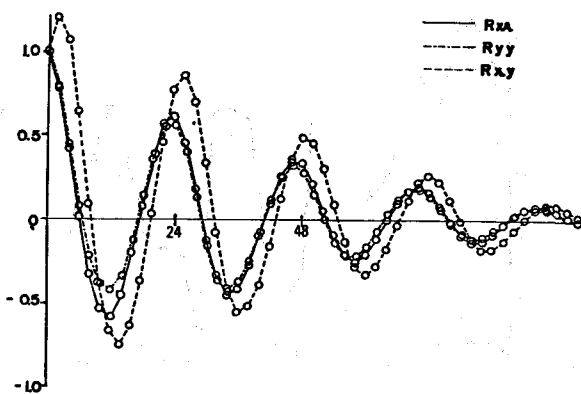


図-7

3). システム関数と熱伝導係数

気温(入力)のスペクトル、気温と地温(入出力)クロススペクトルよりシステム関数を計算し、図-11にゲイン要素を図-12に位相要素を示している。一方、地表で $T_A e^{i\omega t}$ なる温度変化があるとした場合の一次元の熱伝導方程式の解は、

$$T = T_A \cdot \text{Exp}(-\sqrt{\frac{\omega}{2k}} \cdot Z) \cdot \text{Exp}(i(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2k}} \cdot Z))$$

で表わされる。そこで、気温と地温の応答が $T=24\text{hour}$ で $\text{Exp}(\sqrt{\frac{\omega}{2k}} Z)$ となっているとして k を求めると $0.006 \text{ cm}^2/\text{s}$ を得た。また $T=24\text{hour}$ での位相のずれ $\phi(f)$ の値と $(\sqrt{\frac{\omega}{2k}} Z)/\omega$ の関係より求

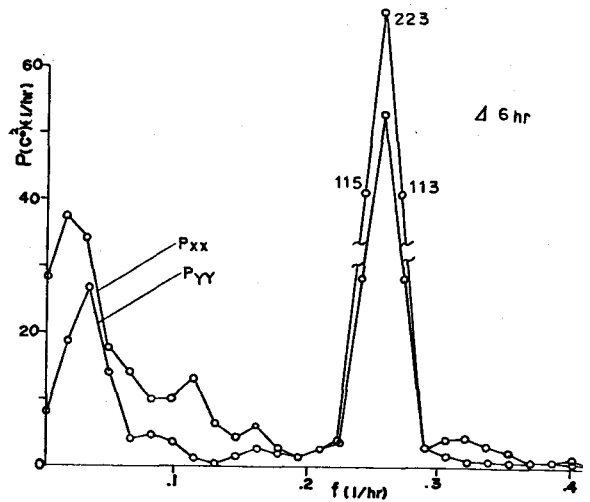


図-8

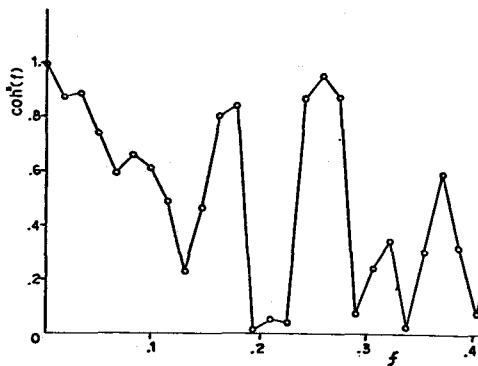


図-9

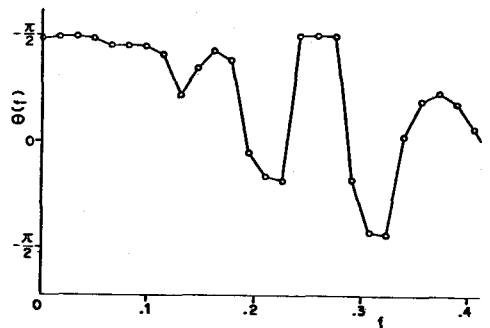


図-10

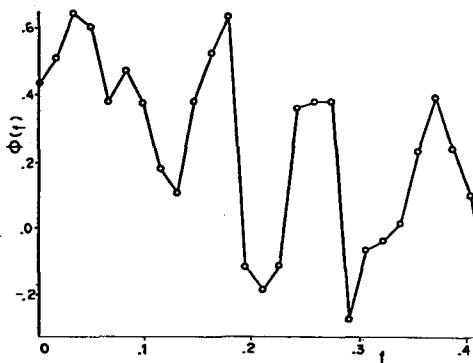


図-11

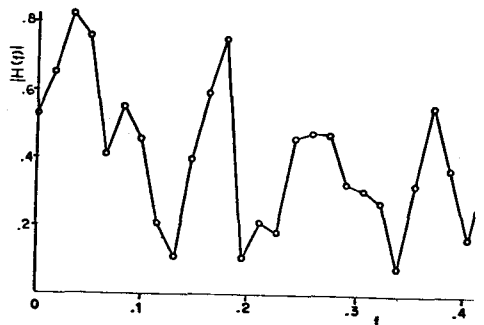


図-12

めた k は $0.003 \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。

5. おわりに

夏期、冬期、台風(大雨)時の変動特性、さらに、時系列解析により地盤の貯熱システムについて明らかにすることができた。今後は、短期変動と長期変動での熱伝導係数、深度別での熱伝動係数について差があるか否かを検討する必要がある。計算には東洋大学電算センター三菱MELCOM-COSMO-700Ⅲを使用した。最後に本研究は昭和56年度文部省科学研究費、一般研究 C「熱の移流を伴う地下水現象に関する研究」によって行なわれているものの一部である。記して関係方面に感謝するしだいで。

参考文献

- 1) 荻原国宏：熱拡散を伴う地下水流，東洋大学工学部研究報告（昭54）
- 2) 田中修三，荻原国宏：地温，地下水温の季節変動について，第37回年次講演会（昭57.9）
- 3) 堀正浩，荻原国宏，田中修三：地下への熱拡散の長期変動，第10回関東支部年次講演会（昭58.1）
- 4) 日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店
- 5) 得丸英勝 訳：ランダムデータの統計的处理